

## **Modellierung der Problemwahrnehmungen und Handlungen von Akteuren im Problemfeld „Mobile organische Fremdstoffe in Gewässern“**

Christiane Döll und Petra Döll<sup>1</sup>

### **Zusammenfassung**

Im Zuge der Ausrichtung auf ein nachhaltiges Wassermanagement sind nicht mehr nur technologische Lösungen gefragt, sondern integrative Maßnahmen, die das Zusammenwirken vieler Akteure (z.B. Wassernutzer, chemische Industrie, Umweltschutzverbände) erfordern. Um umsetzbare integrative Maßnahmen zu identifizieren, werden im Rahmen einer akteursbasierten Modellierung die Problemwahrnehmungen, Ziele und Handlungsoptionen von aggregierten Akteuren in Akteursnetzwerken abgebildet und ausgewertet. Desweiteren werden Sequenzen von Handlungen der Akteure und ihre Folgen unter unterschiedlichen Randbedingungen simuliert. Dabei wird angenommen, dass die Akteure so handeln, dass der Nutzen bezüglich ihrer eigenen Ziele gemäß ihrer spezifischen Problemwahrnehmung maximal ist. Dadurch werden alternative Szenarien des Akteurshandelns und der sich daraus ergebenden Entwicklung der Faktoren, die vom Akteurshandeln beeinflusst werden, erstellt. Für die akteursbasierte Modellierung wurde die Software DANA („Dynamic Actor Network Analysis“) erweitert. Die akteursbasierte Modellierung wird für das Problemfeld „Mobile organische Fremdstoffe in Gewässern“ am Beispiel des Phosphorsäureesters TCCP, das als Flammschutzmittel Verwendung findet, dargestellt. Im Projekt „Integrierte Analyse von mobilen, organischen Fremdstoffen in Fließgewässern“ (INTAFERE) werden die Simulationsergebnisse, die die Entwicklung von Größen wie Produktion, Import und Abbaurate in Kläranlagen umfassen, auf das Hessische Ried übertragen. In einem partizipativen Prozess werden die Ergebnisse mit Stakeholdern diskutiert und angepasst.

### **1. Einleitung**

Für ein nachhaltiges Wassermanagement ist es notwendig, nicht nur technologische Maßnahmen zu berücksichtigen, sondern eine integrative Perspektive einzunehmen und dabei gesellschaftliche Akteure, wie z. B. Umweltschutzverbände und die Weiterverarbeitende Industrie, mit einzubeziehen. So heben ANTUNES et al. (2006: 44) hervor, dass man für Entscheidungsfindungen im Umweltbereich und für die Entwicklung von „sustainability pathways“ eine „integration of complex interactions between ecological, economic and social aspects“ benötigt. Dabei sollten alle relevanten Stakeholder bereits frühzeitig aktiv beteiligt werden (ANTUNES et al. 2006). Um ein nachhaltiges Wassermanagement in einem partizipativen Prozess durchzuführen, ist eine strukturierte Darstellung der sozialen, ökonomischen und ökologischen Zusammenhänge in Form eines integrierten Modells mit einer Simulation der Auswirkungen von Handlungen auf die Umwelt sinnvoll. „Erst auf dieser Basis ist ein gemeinsames Lernen darüber möglich, wie Handlungskontext und Problemsicht der verschiedenen Akteure zu einem bestimmten gesellschaftlichen Umgang mit stofflichen Risiken führen“ (INTAFERE 2007: 8).

---

<sup>1</sup> Christiane DÖLL (email: c.doell@em.uni-frankfurt.de)

Prof. Dr. Petra DÖLL (email: p.doell@em.uni-frankfurt.de)

Institut für Physische Geographie, Fachbereich Geowissenschaften/Geographie, Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main, Altenhöferallee 1, 60438 Frankfurt am Main

Das Integrated Assessment umfasst die Bewertung von Handlungsoptionen und die Verwendung verschiedener Methoden und Ansätze aus den Natur- und Sozialwissenschaften (BAILEY et al. 1996, GOUGH et al. 1998). Zentrale Punkte im Integrated Assessment sind partizipative Methoden und die Abstimmung und Vernetzung der disziplinären Ergebnisse, die oft auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalen vorliegen (ROTMANS 2006). Integrierte Modelle sollten zwei Anforderungen erfüllen: zum einen sollten die Modelle die komplexen Kausalbeziehungen möglichst vollständig beschreiben und zum anderen sollten die Modelle – und insbesondere die Modell-Annahmen und Ergebnisse – für die Stakeholder transparent und nachvollziehbar sein. Die meisten Modelle im Integrated Assessment (IA) richten ihren Schwerpunkt nach CARMICHAEL et al. (2004: 171) auf eine der beiden Anforderungen: „On the one hand, IA practitioners seek to develop more complex and sophisticated interdisciplinary models of human and natural systems. On the other hand, different practitioners focus their efforts on bringing these models to the public in order to explore perceptions of environmental change, collective representations of environmental issues and the human behavioural dimensions of social systems.“ Akteursbasierte Modellierung, wie sie in dieser Veröffentlichung vorgestellt wird, ist eine Methode, die für beide Ausrichtungen anwendbar ist. Einerseits kann sie ein Baustein einer komplexen integrierten Modellierung sein, andererseits aber auch als „stand-alone“ Modell, das soziales Lernen der Akteure durch transparente Darstellung und Auswertung der Problemwahrnehmungen der aggregierten Akteure unterstützt. Zentral ist dabei die Modellierung der Problemwahrnehmungen und die darauf basierende Entwicklung von alternativen Zukunftsszenarien, die sowohl die Handlungen der Akteure als auch die Entwicklung der Faktoren, die von den Handlungen beeinflusst werden, umfassen (DÖLL und DÖLL 2006). Die simulierten Szenarien werden partizipativ durch VertreterInnen der modellierten Akteure validiert.

Mit einer Akteursanalyse, die vor allem in der Politikwissenschaft und den Wirtschaftswissenschaften verwendet wird, ist es möglich komplexe Zusammenhänge und Handlungen von gesellschaftlichen Akteure darzustellen. Die Methode der Akteursanalyse erlaubt aber nur die Abbildung eines gegebenen Zustandes, eine Simulation zukünftiger Entwicklungen ist nicht möglich. In der Arbeit, die in diesem Beitrag vorgestellt wird, wurde die von Pieter BOTS von der TU Delft entwickelte Software DANA „Dynamic Actor Network Analysis“ (BOTS et al. 2000, BOTS 2007) verwendet. Mit der Software können Akteurswahrnehmungen formal durch einen Wahrnehmungsgraphen (Einflussdiagramm) abgebildet und semi-quantitativ analysiert werden. In Kooperation mit Pieter Bots wurde das Programm DANA weiterentwickelt, so dass nun, aufbauend auf den Ergebnissen der Akteursanalyse, eine akteursbasierte Modellierung durchgeführt werden kann, in der Handlungen und deren Einfluss auf Systemvariablen (Faktoren, die durch die Handlungen beeinflusst werden) modelliert werden können (DÖLL und DÖLL 2006). Im Gegensatz zu agentenbasierten Modellierungen, bei denen Entscheidungen aufgrund von vergleichsweise einfachen Agenteneigenschaften und Regeln getroffen werden, resultieren bei der akteursbasierten Modellierung Handlungsentscheidungen aus komplexen Problemwahrnehmungen und Zielen aggregierter Akteure, die spezifisch für jeden Akteur erhoben wurden.

## **2. Das Projekt INTAFERE**

Die akteursbasierte Modellierung und die partizipative Entwicklung von Szenarien ist Teil des Forschungsprojektes „Integrierte Analyse von mobilen organischen Fremdstoffen in Fließgewässern“ (INTAFERE), einem Kooperationsprojekt der J.W. Goethe-Universität Frankfurt am Main und dem Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE). Ziel des Projekts ist es, gemeinsam mit Stakeholdern innovative Verfahren der Risikobewertung für mobile organische Fremdstoffe zu entwickeln. Dafür werden Zukunftsszenarien zur Entwicklung der Gesamtbelastung der Fließgewässer im Hessischen Ried mit ausgewählten Substanzen erstellt. Warum sind bestimmte chemische Substanzen in Fließgewässern ein Problemfeld des nachhaltigen Wassermanagements? In der Europäischen Union werden ca. 100.000 chemische Substanzen verwendet, von denen nur wenige umfassend öko- und humantoxikologisch untersucht sind. Unter diesen Chemikalien befinden sich auch die sogenannten mobilen organischen Fremdstoffe (MOF), die persistent und im Wasser mobil sind. Einige dieser Substanzen stehen im Verdacht, bereits in Spurenkonzentrationen biologisch wirksam und damit potenziell gefährlich für aquatische Ökosysteme und natürliche Wasserressourcen

zu sein. MOF sind in alltäglichen Produkten enthalten und werden durch Nutzung und Entsorgung in Oberflächengewässer eingetragen, wobei die Eintragspfade und Mengen nicht genau bekannt sind. Als Untersuchungsgebiet wurde das südlich von Frankfurt gelegene Hessische Ried ausgewählt, das sowohl Quellflüsse aus dem Odenwald als auch von Kläranlagen gespeiste Flüsse aufweist. Zu den untersuchten Chemikalien gehören Bisphenol A, das als Weichmacher in Kunststoffen enthalten ist, Octyl- und Nonylphenol, die vor allem in Autoreifen, in Farben und Lacken und als Leder- und Textilhilfsmittel Verwendung finden (LEISEWITZ und SCHWARZ 1997) und die Organophosphate, die als Flammschutzmittel, zum Beispiel in Möbeln und Dämmstoffen, eingesetzt werden.

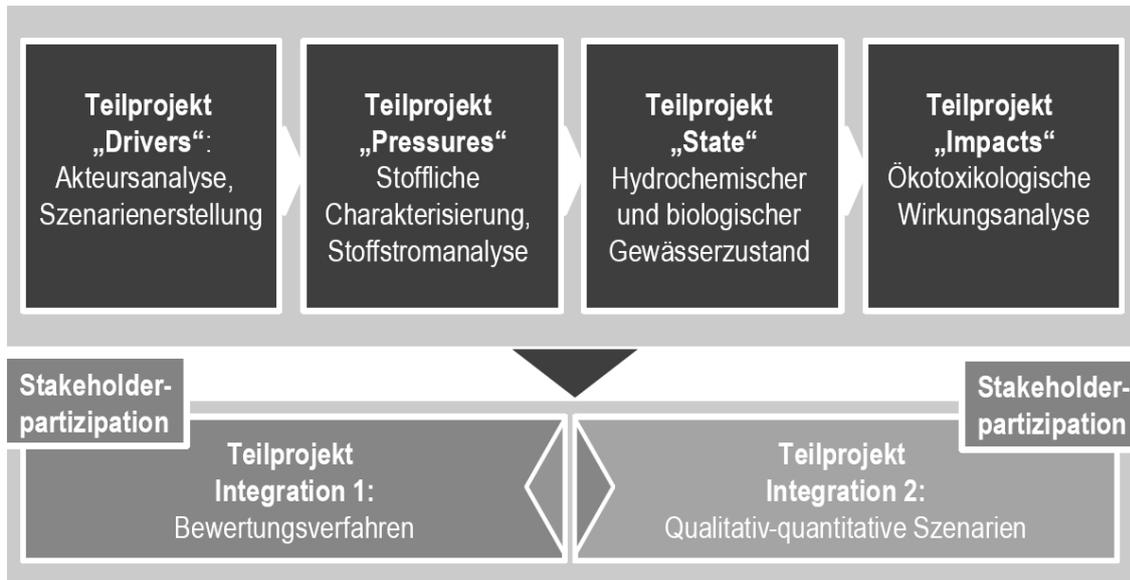


Abb. 1: Übersicht der Teilprojekte im Projekt INTAFERE

Anhand des Flammschutzmittels TCPP (Tris-(2-chlorisopropyl)-phosphat) wird in diesem Beitrag die Methode der aktorsbasierten Modellierung vorgestellt. Der im Projekt INTAFERE gewählte Ansatz zeichnet sich durch die Verknüpfung gesellschaftlicher und ökologischer Problemdimensionen aus, die in den vier Teilprojekten „Drivers“, „Pressures“, „State“ und „Impacts“ bearbeitet werden (siehe Abbildung 1). Das Wissen und die Perspektiven der Stakeholder fließen durch Expertengespräche und vier Stakeholder-Workshops in das Projekt ein.

Der Modellierungsansatz im Projekt INTAFERE umfasst drei Modelle (siehe Abbildung 2): Im Akteursmodell wird die soziale (und eingeschränkt die ökonomische) Dimension erfasst und darauf aufbauend für ausgewählte MOF die Veränderung der Schlüsselfaktoren Produktion, Import, Ersatzstoffproduktion und Abbaurrate in Kläranlagen für verschiedene zukünftige Szenarien simuliert. Diese Schlüsselfaktoren bilden die Schnittstelle zum so genannten Kopplungsmodell, das die räumlichen Skalenunterschiede überbrückt und aus den Ergebnissen der aktorsbasierten Modellierung punktuelle und diffuse Stoffemissionen in die Fließgewässer des Hessischen Rieds berechnet.



Abb. 2: Die drei Modelle im Projekt INTAFERE (INTAFERE 2007: 8)

Im Regionalmodell werden diese Emissionen in Frachten und Konzentrationen umgerechnet und graphisch für bestimmte Punkte ausgegeben. Geplant ist eine Darstellung der Konzentrationen festgelegter Gewässerabschnitte. Als Basis dient dem Regionalmodell ein statistisches Modell zur Ausbreitung von Substanzen, bestehend aus einem Fließmodell und einem Transportmodell. Im Modell enthalten sind die georeferenzierte Gewässerstruktur, 26 Probenahmestellen der hydrochemischen Messungen des Projekts und die Zuläufe der Kläranlagen. Kalibriert wurde das Regionalmodell mit den erhobenen Daten der Stoffkonzentrationen und der Durchflussmengen von Wasser. Damit werden im Regionalmodell die Auswirkungen der Akteurshandlungen auf den ökologischen Zustand und die chemische Belastung der Oberflächengewässer im Untersuchungsgebiet berechnet und dargestellt. (INTAFERE 2007)

### **3. Theorie und Methodik der akteursbasierten Modellierung**

#### **3.1 Theorie**

Der akteursbasierten Modellierung liegen vier Annahmen zugrunde:

1. Die Akteure besitzen eine subjektive Problemsicht. Diese beinhaltet eine subjektive Einschätzung der eigenen Handlungsmöglichkeiten und der von anderen Akteuren sowie die Wirkung dieser Handlungen.
2. Die Akteure handeln rational, gemäß der Annahme des methodologischen Individualismus und der Rational Choice Theorie: „alle Handlungen gelten als Entscheidungshandlungen, die von rationalen Akteurinnen und Akteuren getroffen werden. Oberstes Prinzip ist die Nutzenmaximierung: man versucht, den Einsatz (die Kosten) gering zu halten und den Gewinn (den Nutzen) zu vergrößern“ (TREIBEL 2006: 151). Im Unterschied dazu steht der „homo sociologicus“, dessen Handeln „durch primäres Streben nach Erwartungssicherheit gekennzeichnet [ist], die ihm durch normative Handlungsorientierungen geliefert wird“ (Schimank 2000: 69).
3. Der Akteur agiert nur innerhalb seiner subjektiven Problemsicht und ist dadurch – im Gegensatz zum „homo oeconomicus“ – nicht „vollkommen über mögliche Macht- und Tauschbeziehungen informiert“ und verfügt auch nicht „über eine vollkommene Voraussicht“ (TREIBEL 2006: 133).
4. Bei der akteursbasierten Modellierung spielen nicht – wie in mikrotheoretischen Theorien wie der Rational Choice Theorie – die Individuen die zentrale Rolle, sondern der Verband, das Unternehmen, die Behörde etc., die der Akteur repräsentiert und vertritt. Damit werden nicht Handlungen von Individuen, sondern von Akteuren wie der Weiterverarbeitenden Industrie oder des Umweltbundesamtes simuliert.

Das Vorgehen der akteursbasierten Modellierung geht konform mit dem Ansatz des Soziologen und Wissenschaftstheoretikers Hartmut Esser, der mit seiner „erklärenden Soziologie“ eine Verknüpfung von Mikro- und Makroebene erzielen möchte (TREIBEL 2006). Nach Esser muss das Handeln auf der Akteursebene systematisch untersucht werden, um Prozesse auf der Makroebene erklären zu können (ESSER 1993, 1999). Dabei geht Esser davon aus, dass „Der Mensch [...] ein Resourceful, Restricted, Expecting, Evaluating, Maximizing Man“ sei (ESSER 1993: 238). Die Akteursebene (im Sinne der Mikroebene von ESSER) wird in der akteursbasierten Modellierung durch die einzelnen Wahrnehmungsgraphen abgebildet. Die Makroebene wird durch das Akteursnetzwerk dargestellt, in dem alle relevanten Akteure, Faktoren und Handlungsmöglichkeiten enthalten sind. Die Simulation beruht auf den obigen Annahmen und einer Nutzen-Berechnung. In Anlehnung an die von Esser aufgeführten Eigenschaften stellen sich für die Simulation die folgenden Fragen: Welche Ressourcen bzw. Handlungsmöglichkeiten haben die Akteure? Wie werden die Restriktionen und Erwartungen der Akteure im Modell berücksichtigt? Wie wählen die Akteure ihre Handlungsstrategie aus? Nach welchen Regeln wird der Nutzen der Handlungsmöglichkeiten bewertet? Die Ressourcen bzw. Handlungsmöglichkeiten werden in leitfadengestützten Interviews von den Akteure erfragt und in die

Wahrnehmungsgraphen eingefügt. Ebenso werden die Restriktionen (wie groß ist die Handlungsreichweite?) und Erwartungen (wie entwickeln sich nicht beeinflussbare Faktoren?) der Akteure im Modell berücksichtigt. Die Auswahl der Handlungsstrategie erfolgt nach dem Prinzip der Nutzenmaximierung, bei der die eigenen und die Handlungsmöglichkeiten der anderen Akteure hinsichtlich der Zielerreichung des Akteurs bewertet werden.

Für die Berechnung der Nutzenmaximierung sind die Ziele der Akteure in den Wahrnehmungsgraphen von entscheidender Bedeutung: Die Ziele stellen die gewünschten Veränderungen der Akteure im System dar. Man kann die Ziele nach Niklas LUHMANN als binäre Codierung auffassen, wenn man sich die Akteure als Repräsentanten eines Funktionssystems (wie z.B. der Wirtschaft) vorstellt: „Die wichtigsten Funktionssysteme strukturieren ihre Kommunikation durch einen binären, zweiwertigen Code, der unter dem Gesichtspunkt der jeweils spezifischen Funktion universelle Geltung beansprucht [...] Entsprechend operiert das Rechtssystem unter dem Code von Recht und Unrecht. Für die Wirtschaft ist entscheidend, daß sich in bezug auf Eigentum und Geld Haben bzw. Nichthaben deutlich unterscheiden lassen“ (LUHMANN 1986: 75f.). Diese Codes sind in der akteursbasierten Modellierung die treibenden Kräfte, wenn es um die Wahl der besten Handlungsstrategie geht. Aufbauend auf Niklas Luhmann hat Uwe Schimank formuliert: „Äußerst wichtige Deutungsstrukturen [...] sind weiterhin die binären Codes der verschiedenen gesellschaftlichen Teilsysteme. Diese Codes orientieren die jeweiligen teilsystemischen Handlungslogiken – etwa Wahrheitsstreben im Wissenschaftssystem, Machtstreben im politischen System oder Profitstreben im Wirtschaftssystem“ (SCHIMANK 2000: 177).

Wie in den Annahmen beschrieben, gehen wir von rationalen Handlungslogiken der Akteure aus. Neu ist, dass die Entscheidungen der Akteure entsprechend ihren Zielen in ihrem spezifischen Wahrnehmungsgraph getroffen werden, die Auswirkungen aber im Akteursnetzwerk zum Tragen kommen und andere Akteure in ihrer Entscheidung beeinflussen können. Um die optimale Handlungsstrategie zu ermitteln, wird der Nutzen aus den Wirkungen der Handlungsoptionen unter Berücksichtigung der gewünschten Ziele für jeden Akteur berechnet. Dies ist nur durch die Quantifizierung der qualitativen Aussagen möglich.

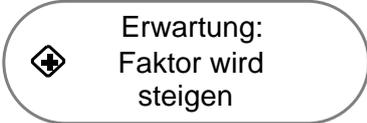
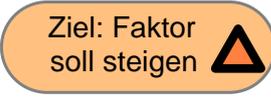
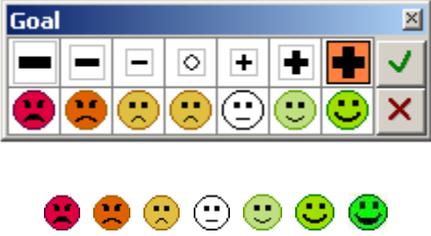
### **3.2 Methodik**

Relevante Akteure im Problemfeld sind die MOF-produzierende Industrie, die Weiterverarbeitende Industrie, Umweltschutz- und Verbraucherschutzverbände, das Umweltbundesamt sowie die für das Hessische Ried zuständige Obere Wasserbehörde und der dort tätige Wasserversorger. Die Erstautorin führte zusammen mit Immanuel STIEß vom Institut für sozial-ökologische Forschung neun qualitative, leitfadengestützte Experteninterviews mit den genannten Akteuren. Die Durchführung der Experteninterviews folgte der Methodik der Sozialwissenschaftler MEUSER und NAGEL (1991, 1994). Für die weitere Bearbeitung wurden die ca. dreistündigen Interviews protokolliert oder auf Tonband aufgenommen und anschließend transkribiert und mit Hilfe von Randnotizen strukturiert.

Für die akteursbasierte Modellierung werden die von den Akteuren explizit oder implizit genannten Ziele, Handlungsmöglichkeiten und relevanten Faktoren mit der Software DANA in Wahrnehmungsgraphen abgebildet. Daraufhin werden die von den Akteuren genannten Kausalbeziehungen zwischen den Handlungen, den Faktoren und den Zielen eingetragen. Als Voraussetzung für eine Analyse werden nach der Erstellung aller Wahrnehmungsgraphen die Ziele und Faktoren vereinheitlicht und ggf. ergänzt. Die Wahrnehmungsgraphen aller Akteure werden dann zu einem Akteursnetzwerk kombiniert, das die Gesamtdynamik der problembezogenen Handlungen aller beteiligten und betroffenen Akteure repräsentiert. Pro Substanz wird ein eigenes Akteursnetzwerk entwickelt. Die unterschiedlichen Rahmenbedingungen der vier entwickelten qualitativen Szenarien werden in diese stoffspezifischen Akteursnetzwerke integriert, so dass pro Szenario und Substanz ein eigenes Akteursnetzwerk erstellt wird.

Tabelle 1 zeigt die zentralen Elemente im Programm DANA: Faktoren, Erwartungen, Handlungen und Ziele. Diese werden durch Einflusspfeile miteinander zu einem Wahrnehmungsgraphen verknüpft (als Beispiel für einen Wahrnehmungsgraphen siehe Abbildung 7). Die Einflusspfeile repräsentieren

Kausalbeziehungen, wobei entweder eine (starke, mittlere oder schwache) positive Korrelation („wenn A zunimmt, dann wird B zunehmen“ und zugleich „wenn A abnimmt, dann wird B abnehmen“) oder eine negative Korrelation möglich ist.

Beschreibung	Symbolik in DANA
Die Änderungen einer Handlung sind auf einer semi-quantitativen Skala mit sieben Optionen definiert (von starker Annahme der Handlung über keine Veränderung der Handlung bis hin zu einer starken Zunahme der Handlung).	
Ein Faktor ist eine Systemvariable, die von Handlungen und anderen Faktoren beeinflusst werden kann.	
Eine Erwartung wird als vorhergesehene Änderung eines Faktors definiert und kann nicht durch Handlungen oder andere Faktoren beeinflusst werden.	
Ein Ziel ist ein Faktor einschließlich der vom Akteur erwünschten Änderung des Faktors.	
Die Zielfestlegung erfolgt in Form der Bewertung aller sieben möglichen Änderungen des Faktors mit Symbolen. Die sieben Symbole spiegeln Emotionen wider, die der Akteur bei der Änderung des Faktors hat (von sehr unglücklich bzw. ärgerlich über neutral bis zu sehr glücklich). Für die Bewertung stehen 42 Kombinationen der nebenstehenden sieben Symbole zur Verfügung.	

Tab. 1: Beschreibung und Symbolik der zentralen Elemente in DANA

Wie in Kapitel 3.1 erläutert, sind für die Berechnung der Nutzenmaximierung neben den möglichen Handlungsoptionen die Ziele der Akteure zentral, daher zur Verdeutlichung der Zielfestlegung zwei Beispiele. Das in Abbildung 3 gezeigte Ziel bedeutet: Der Akteur wünscht sich einen verstärkten Umweltschutz, je intensiver der Umweltschutz sich entwickelt, desto mehr wird dies den Akteur erfreuen (grüne Smileys). Würde der Umweltschutz in seiner gegenwärtigen Situation verharren (keine Veränderung gegenüber heute), so würde dies den Akteur ärgern (roter Frowney), noch negativer wird jede Art von Verminderung des Faktors Umweltschutz bewertet (dunkelrote Frowneys).



Abb. 3: Ziel „Umweltschutz soll steigen“

Im zweiten Beispiel möchte der Akteur, dass der Umweltschutz nicht abnehmen soll. Keine Veränderung sowie eine leichte, mittlere und starke Zunahme wird neutral bewertet (siehe Abbildung 4). Die drei Stufen der Abnahme des Faktors werden negativ empfunden. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass für die Nutzenberechnung der glücklichste Smiley als maximale positive Bewertung als Maßstab genutzt wird. Wenn bei der Zielsetzung auf die grünen Smileys verzichtet wird, so kann der erwartete Nutzen nie einen positiven Wert, sondern maximal 0 annehmen.



Abb. 4: Ziel „Umweltschutz soll nicht abnehmen“

Um den Nutzen der unterschiedlichen Handlungen im Hinblick auf die Zielerreichung berechnen zu können, werden die semi-quantitativen Symbole in quantitative Werte konvertiert (siehe Abbildung 5). Über die Multiplikation der „change levels“ mit den „change multipliern“ der Kausalbeziehungen und durch den Vergleich mit den „utility levels“ wird der Nutzen aller Handlungsoptionen ermittelt. Dabei kennzeichnet der Buchstabe  $c$  eine Veränderung mit  $c \in \{ \ominus, \omin�, \omin�, \odot, \oplus, \oplus, \oplus \}$ .

BOTS (2007) definiert ein Ziel („goal“) als ein geordnetes Paar  $g = (f, \bar{u})$ , wobei  $f$  ein Faktor und  $\bar{u}$  ein Nutzen-Vektor  $(u[\omin�], u[\omin�], u[\omin�], u[\odot], u[\oplus], u[\oplus], u[\oplus])$  mit  $u[c] \in \{ \text{red sad}, \text{orange sad}, \text{yellow sad}, \text{neutral}, \text{neutral}, \text{neutral}, \text{green happy} \}$  ist.

Der Nutzen ist nach BOTS (2007) wie folgt definiert: Es sei  $g = (f, \bar{u})$  ein Ziel,  $\bar{c}$  ein Veränderungs-Vektor und  $\mathcal{G}_3$  der maximale Ziel-Bewertungswert („Utility level“), der dem Symbol zugeordnet ist, dann gilt:

$$utility(g, \bar{c}) = \sum u[c] / \mathcal{G}_3 \text{ für } c = \omin�, \dots, \oplus$$

Damit kann der maximale Nutzen in einem Wahrnehmungsgraph pro Ziel den Wert 1 und der minimale den Wert -1 erreichen. Basierend auf der Nutzen-Berechnung werden die optimalen Handlungskombinationen bestimmt. Weiterhin ist eine vergleichende Analyse von Wahrnehmungsgraphen, die Identifikation von Ziel- und Handlungskonflikten sowie die Abhängigkeit von Handlungen anderer Akteure möglich.

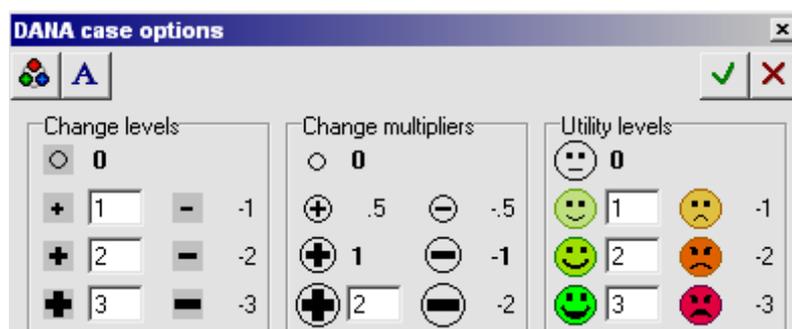


Abb. 5: Quantifizierung der semi-quantitativen 7er-Skalen „Change levels“ (Handlungsoptionen), „Change multipliers“ (Multiplikatoren der Kausalbeziehungen) und „Utility levels“ (Ziel-Bewertungs-Symbole)

In der aktorsbasierten Modellierung wird von jedem Akteur als wahrscheinlichste Handlungskombination diejenige ermittelt, die den größten Nutzen – bei gleichzeitig geringst möglichem Aufwand – hinsichtlich der Erfüllung seiner genannten Ziele erwarten lässt. Für die

Simulation wird eine sequentielle Modellierung durchgeführt. In einer festzulegenden Anzahl von Sequenzen (= Runden) handeln die Akteure nach einer vorgegebenen Reihenfolge. Die Entwicklung von heute bis zu einem Zeitpunkt in der Zukunft (im Projekt INTAFERE bis zum Jahre 2030) kann dadurch plausibler dargestellt werden, da die Akteure auf die Wirkungen der Handlungen der anderen Akteure und auf veränderte Rahmenbedingungen in der nächsten Runde „reagieren“ können. Zuerst wird der Einfluss der beiden Rahmenbedingungen (in INTAFERE Regulierung und Verbraucherverhalten, siehe Abbildung 6) berechnet. Dann „handelt“ der Akteur, der in seiner Wahrnehmung nur eigene Handlungen, die Regulierung und das Verbraucherverhalten berücksichtigt. Der nächste Akteur berücksichtigt neben seinen eigenen Handlungen auch die des 1. Akteurs usw. Jede Handlungsentscheidung wird in die Wahrnehmungsgraphen der nächsten Akteure eingespeist und damit für ihre Entscheidungsfindung berücksichtigt. Neben der Veränderung der Rahmenbedingungen ist es möglich, die Simulation durch Einschränkung bzw. Erweiterung der Handlungsoptionen zu steuern. Zu Beginn haben beispielsweise die Handlungen „umwelt- und verbraucherorientierte Richtlinien erlassen“ und „Ersatzstoffe entwickeln“ nur 3 von 7 Handlungsoptionen: leichte Zunahme, gleichbleibend und leichte Abnahme der Handlung im Vergleich zu heute. In der 2. Runde werden die Handlungsoptionen auf 5 von 7 und in der 3. Runde auf 7 von 7 gesetzt. Damit wird einem realistischeren Verlauf Rechnung getragen, da sowohl eine gesetzliche Regulierung als auch eine Ersatzstoffentwicklung Zeit benötigt.

Im Falle von INTAFERE werden die Faktoren Produktion, Import, Ersatzstoffproduktion und Abbauraten in Kläranlagen entscheidend von den Handlungen der Akteure beeinflusst. Die Veränderung dieser Faktoren wird berechnet, indem jedem Faktor zu Beginn der Wert 100 (= 100%) zugeordnet wird. Dieser Wert steigt oder sinkt je nach dem Einfluss der Handlungen. Dabei werden die Veränderungen gemäß der Werte in Abbildung 5 umgerechnet. So hat eine mittlere Zunahme einer Handlung multipliziert mit einem „Change multiplier“ von 0,5 die Wirkung einer schwachen Zunahme (kleines Plus). Welche prozentuale Wirkung hat dies nun auf den Faktor? Dafür muss zuerst in den Programm-Optionen eine Festlegung erfolgen. Bei allen Modellen wurde dem Symbol „mittleres Plus“ eine 20%ige Zunahme zugeordnet, alle anderen Symbole sind relativ dazu. Damit würde in diesem Beispiel der Faktor um 10% auf 110% steigen. Falls in der 2. Runde erneut eine Veränderung um 10% hinzukäme, so stiege der Faktor auf 121%. Damit ist nur eine prozentuale Veränderung der Faktoren im Vergleich zu heute möglich. Die auf diese Weise berechneten Werte fließen in das im Kapitel 2 beschriebene Kopplungsmodell und in das Regionalmodell ein.

#### **4. Modellierung der Problemwahrnehmungen und Handlungen am Beispiel TCPP**

Am Beispiel der Substanz TCPP wird im folgenden gezeigt, welche Handlungen simuliert werden und welche Auswirkungen dies auf die jeweilige Entwicklung der gewählten Schlüsselfaktoren Produktion, Import, Ersatzstoffproduktion und Abbauraten in Kläranlagen hat. In INTAFERE wurden im Rahmen eines Stakeholder-Workshops vier explorative Szenarien für MOF erstellt, die vier alternative Zukünfte repräsentieren, in denen die Akteure unterschiedlich handeln (siehe Abbildung 6). Die Rahmenbedingungen dieser vier Szenarien wurden konkretisiert und in einem weiteren Stakeholder-Workshop mit den Experten für die einzelnen Substanzen angepasst. Gekennzeichnet sind die Szenarien durch ein unterschiedliches Verbraucherverhalten und eine geringe bzw. starke Regulierung. Das nachhaltigkeitsorientierte Verbraucherverhalten spiegelt sich im Szenario A1 durch die Festlegung regionaler Grenzwerte von TCPP durch die Gewässerbeiräte im Rahmen der WRRL wider. Im Szenario B2 mit starker Regulierung und nachhaltigkeitsorientiertem Verbraucherverhalten kommt es in der 1. Runde zu einem Verbot für gewässerrelevante Anwendungen von TCPP. Da diese Maßnahme die TCPP-Konzentrationen nicht stark genug senken kann, kommt es in der 2. Runde zusätzlich zu einer Importregulierung von Produkten mit TCPP aus nicht EU-Ländern. Im zweiten Szenario mit starker Regulierung, aber nicht-nachhaltigkeitsorientiertem Verbraucherverhalten (Szenario B2), werden in der 1. Runde EU-weite Grenzwerte u.a. für TCPP in Fließgewässern festgelegt. Die Kläranlagen werden aufgerüstet, allerdings führt dies nicht zum erwünschten Rückgang der Konzentrationen, da lediglich die Punkteinträge von TCPP durch die Kläranlagen erfasst werden,

die diffusen Einträge gelangen weiterhin in Flüsse und Bäche. Als Konsequenz wird in der 2. Runde ein Verbot für gewässerrelevante Anwendungen von TCPP erlassen. In der 3. Runde kommt – analog zu Szenario B1 – eine Importregulierung hinzu. Im Szenario A2 schließlich gibt es keine Regulierungsinstrumente (aktuelle Situation).

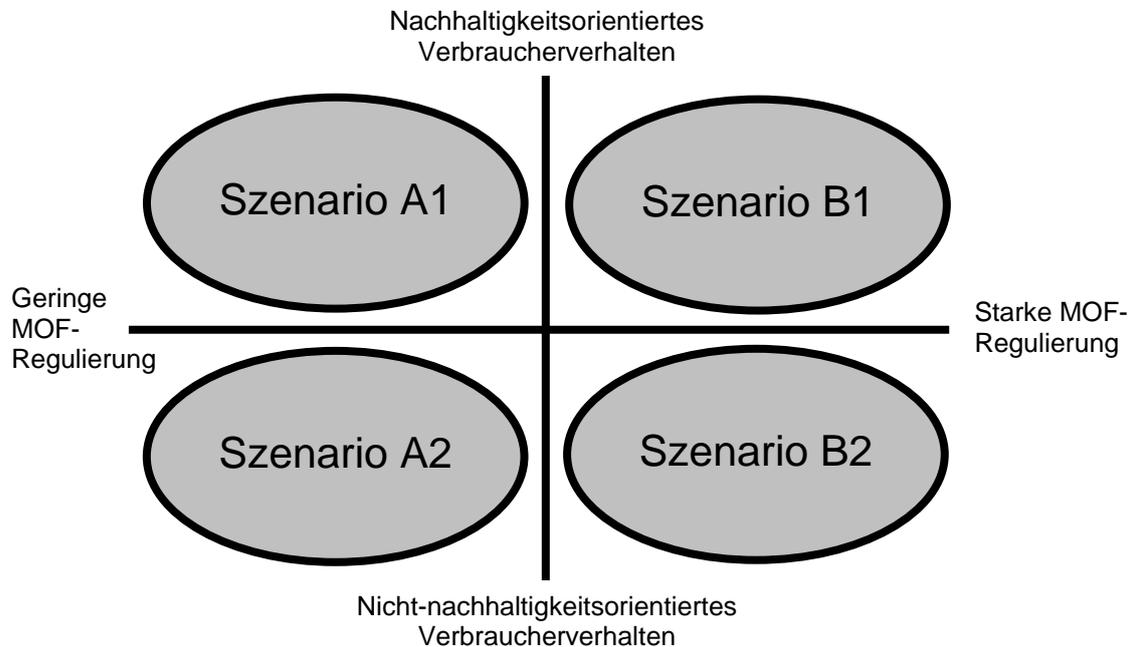


Abb. 6: Die vier Szenarien in INTAFERE, mit unterschiedlichen Ausprägungen der Rahmenbedingungen „Regulierung“ und „Verbraucherverhalten“

Für die Simulation wurden zunächst acht Wahrnehmungsgraphen der analysierten Akteure bezüglich TCPP modelliert. In Abbildung 7 ist der Wahrnehmungsgraph für die Obere Wasserbehörde abgebildet, mit den Zielen „Umweltschutz soll steigen“ und „Partizipation der Gewässerbeiräte soll leicht steigen“. Von den drei Handlungen, die auf die Faktoren einwirken, können zwei vom Akteur selbst ausgeführt werden. Der Hauptunterschied zwischen diesen beiden Handlungen besteht darin, dass nur die Handlung „Gewässerbeiräte moderieren“ Einfluss auf beide Ziele hat (siehe die Wirkungsbeziehungen in Abbildung 7). Der Akteur Europäische Union (EU) beeinflusst aus Sicht der Oberen Wasserbehörde über die Handlung „umwelt- und verbraucherorientierte Richtlinien erlassen“ nur das Ziel „Umweltschutz“. Durch die Erwartung „öffentlich-rechtliche Finanzierung wird sinken“ wird das Ziel „Umweltschutz“ über die Faktoren „Umsetzung der Wasserqualitätsziele“ und „Umsetzung der Umweltqualitätsziele“ auf zwei Wegen verringert.

Abbildung 8 zeigt beispielhaft, welchen Nutzen Änderungen der Handlung „Gewässerbeiräte moderieren“ der Oberen Wasserbehörde (siehe Abbildung 7) bezüglich der Ziele Umweltschutz und Partizipation haben. In der sogenannten „Multi-Criteria Analysis“ (Abbildung 8 zeigt nur einen Ausschnitt der in DANA erstellten Tabelle) wird jede Handlung einzeln auf alle Ziele abgeglichen und der erwartete Nutzen für jede der sieben Handlungsoptionen berechnet, ohne Berücksichtigung der Erwartungen. In diesem Beispiel ist der maximal zu erreichende Nutzen von 1 nur durch die Handlungsoption „starke Zunahme“ der Handlung „Gewässerbeiräte moderieren“ zu erreichen. Daneben errechnet DANA unter „Single Goal Strategies“ die Taktiken (Handlungskombinationen), die den höchsten Nutzen in Bezug auf jeweils ein Ziel des Akteurs erwarten lassen, dabei werden alle Handlungskombinationen und der Einfluss der Erwartungen berücksichtigt

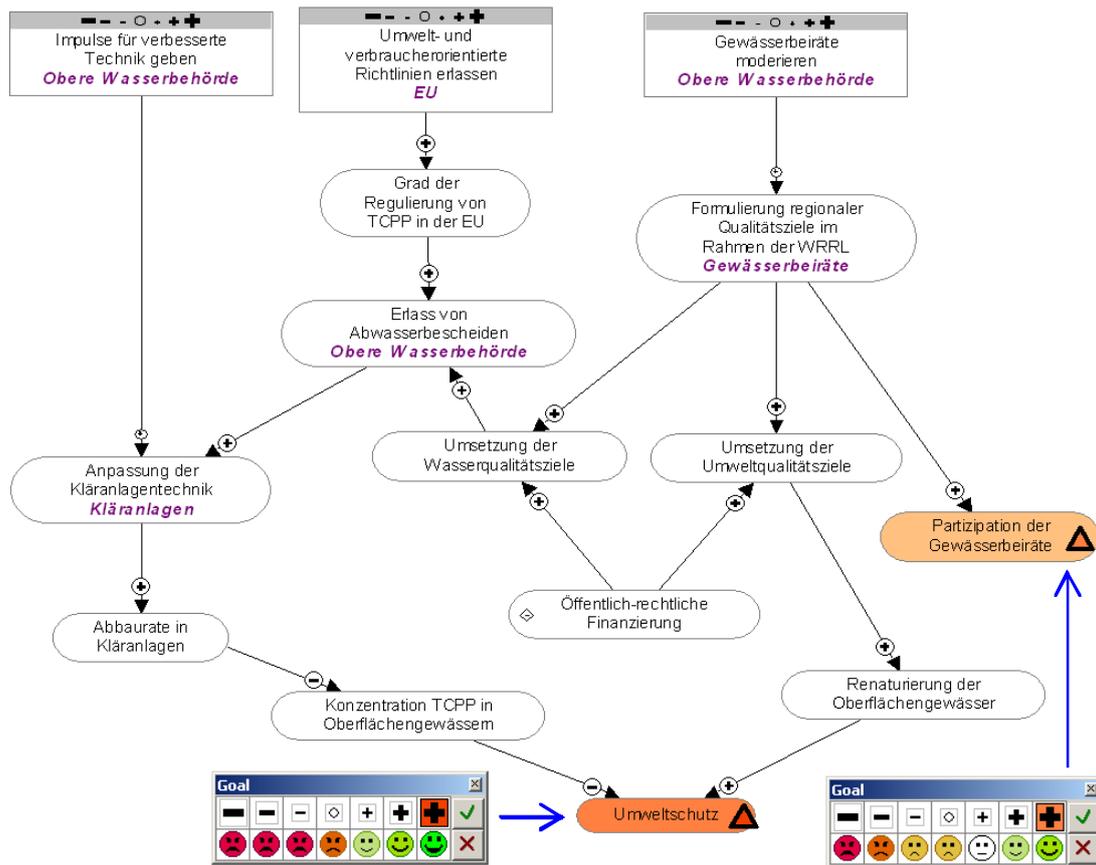


Abb. 7: Wahrnehmungsgraph des Akteurs „Obere Wasserbehörde“

Bei den zusammenführenden „Inferred Strategies“ (siehe Abbildung 9) werden alle Handlungskombinationen in Bezug auf alle Ziele abgeglichen und der Nutzen für gleichbleibende Handlungen („Base“), für den maximalen Nutzen („Ideal“) und für den minimalsten Nutzen („Worst“) errechnet. In diesem Falle gibt es 18 Handlungskombinationen, die zum maximalen Nutzen führen, davon zwei, die mit dem geringsten Aufwand (kleinste Entfernung zur Handlungsoption „keine Veränderung“) erreichbar sind. Allerdings wird nicht der theoretisch maximale Nutzen erreicht, da der Faktor „Partizipation“ durch den Multiplikator von 0,5 (siehe die Kausalbeziehung zwischen der Handlung „Gewässerbeiräte moderieren“ und dem dazugehörigen Faktor in Abbildung 7) bei einer mittleren und auch bei einer starken Zunahme der Handlung nur eine leichte Zunahme erreicht, was durch die Zielsetzung lediglich einen Nutzen von 0 ergibt. Dadurch liegt die „Satisfaction“ nur bei 50%. Interessant an dem Analyseergebnis ist, dass die Gewässerbeiräte im Rahmen der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) und die EU einen gleich großen Einfluss auf das Ziel Umweltschutz haben. Obwohl der erste Multiplikator die Wirkung der Handlung der Oberen Wasserbehörde um die Hälfte reduziert, wird ihr Einfluss zum einen über die Faktoren „Umsetzung der Wasserqualitätsziele“ und die „Abbaurrate in Kläranlagen“ und zum anderen über die „Umsetzung der Umweltqualitätsziele“ und die „Renaturierung der Oberflächengewässer“ auf das Ziel Umweltschutz verdoppelt und erreicht damit die gleiche Einflussgröße wie die EU mit ihrer Handlung. So wäre die beste Strategie aus Sicht der Oberen Wasserbehörde, wenn die EU eine mittlere oder starke Zunahme ihrer Handlung veranlassen würde. Gleichzeitig müsste sich die Obere Wasserbehörde entweder für eine starke oder eine mittlere Zunahme der Handlung „Gewässerbeiräte moderieren“ entscheiden. Die Handlung „Impulse für verbesserte Technik geben“ hat durch ihren geringen bzw. keinen Einfluss auf die Ziele keine Relevanz (siehe Abbildung 9).

einzelne Wahrnehmungsgraphen TCPP			
Obere Wasserbehörde			
Tactics	Goal	Effect	Σ Expected utility
Gewässerbeiräte moderieren [Obere Wasserbehörde]	Partizipation der Gewässerbeiräte Umweltschutz		-0.33 -1 <b>Sum: -1.3</b>
	Partizipation der Gewässerbeiräte Umweltschutz		-0.33 -1 <b>Sum: -1.3</b>
	Partizipation der Gewässerbeiräte Umweltschutz		-0.33 -1 <b>Sum: -1.3</b>
	Partizipation der Gewässerbeiräte Umweltschutz		-0.33 -0.67 <b>Sum: -1</b>
	Partizipation der Gewässerbeiräte Umweltschutz		-0.33 0.33 <b>Sum: 0</b> +0.33 -0.33
	Partizipation der Gewässerbeiräte Umweltschutz		0 0.67 <b>Sum: 0.67</b>
	Partizipation der Gewässerbeiräte Umweltschutz		0 1 <b>Sum: 1</b>

Abb. 8: Teilergebnis der „Multi-Criteria Analysis“ des Wahrnehmungsgraphen des Akteurs Obere Wasserbehörde

einzelne Wahrnehmungsgraphen TCPP			
Obere Wasserbehörde			
Factors	Base	Ideal	Worst
Gewässerbeiräte moderieren [Obere Wasserbehörde]		1  2 (+16)	1  (+191)
Impulse für verbesserte Technik geben [Obere Wasserbehörde]		1  2 (+16)	1  (+191)
Umwelt- und verbraucherorientierte Richtlinien erlassen [EU]		1  2 (+16)	1  (+191)
Utility	-1.3	1	-1.3
Satisfaction	0%	50%	0%
Frustration	67%	0%	67%
Detailed analysis	Partizipation der Gewässerbeiräte Umweltschutz <b>Utility: -1.3</b>	  <b>Utility: 1</b>	  <b>Utility: -1.3</b>

Abb. 9: Ergebnis der „Inferred Strategies“ des Wahrnehmungsgraphen des Akteurs Obere Wasserbehörde

Nach der Modellierung der Problemwahrnehmungen der Akteure in Form von Wahrnehmungsgraphen wurden in einem nächsten Schritt alle Wahrnehmungsgraphen halbautomatisch zu einem Akteursnetzwerk zusammengeführt (siehe Abbildung 10). Die Kausalbeziehungen im Akteursnetzwerk wurden auf einem Stakeholder-Workshop von den beteiligten Akteuren verifiziert (INTAFERE 2007) und stellen damit eine gemeinsam getragene Einschätzung der Wirkungsbeziehungen dar. In INTAFERE wurde für die Simulation die Anzahl von drei Runden gewählt, um die aufeinander aufbauenden Regulierungsinstrumente (maximal drei) und die Rahmenbedingung „Verbraucherverhalten“ mit ihren drei plausiblen Erweiterungen des Handlungsspielraumes (3 von 7 Möglichkeiten in der 1. Runde, 5 von 7 in der 2. Runde und 7 von 7 in der 3. Runde) angemessen zu berücksichtigen. Nach der Festlegung der Reihenfolge der handelnden Akteure wurden für jedes Szenario und vor jeder neuen Runde Einstellungen, wie die Erweiterung der Handlungsoptionen und die Änderung von Erwartungen, vorgenommen. In jeder Runde wurden nun die optimalen Handlungen der Akteure mit der Analyse „Inferred Strategies“ berechnet und automatisch in die Wahrnehmungsgraphen aller nachfolgenden Akteure und in das Akteursnetzwerk eingefügt. Damit konnten die Akteure die Entscheidungen der anderen Akteure berücksichtigen, soweit deren Akteurshandlungen in ihrem Wahrnehmungsgraph vorkamen.

Im Akteursnetzwerk wurden die Veränderungen der Schlüsselfaktoren Produktion, Import, Ersatzstoffproduktion und Abbauraten in Kläranlagen für jedes der vier Szenarien berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 aufgelistet. Dabei entspricht 100% den heutigen Werten. Das Jahr 2030 ist nur als ungefähre Zeitraum zu verstehen, da keine echte dynamische Modellierung erfolgt.

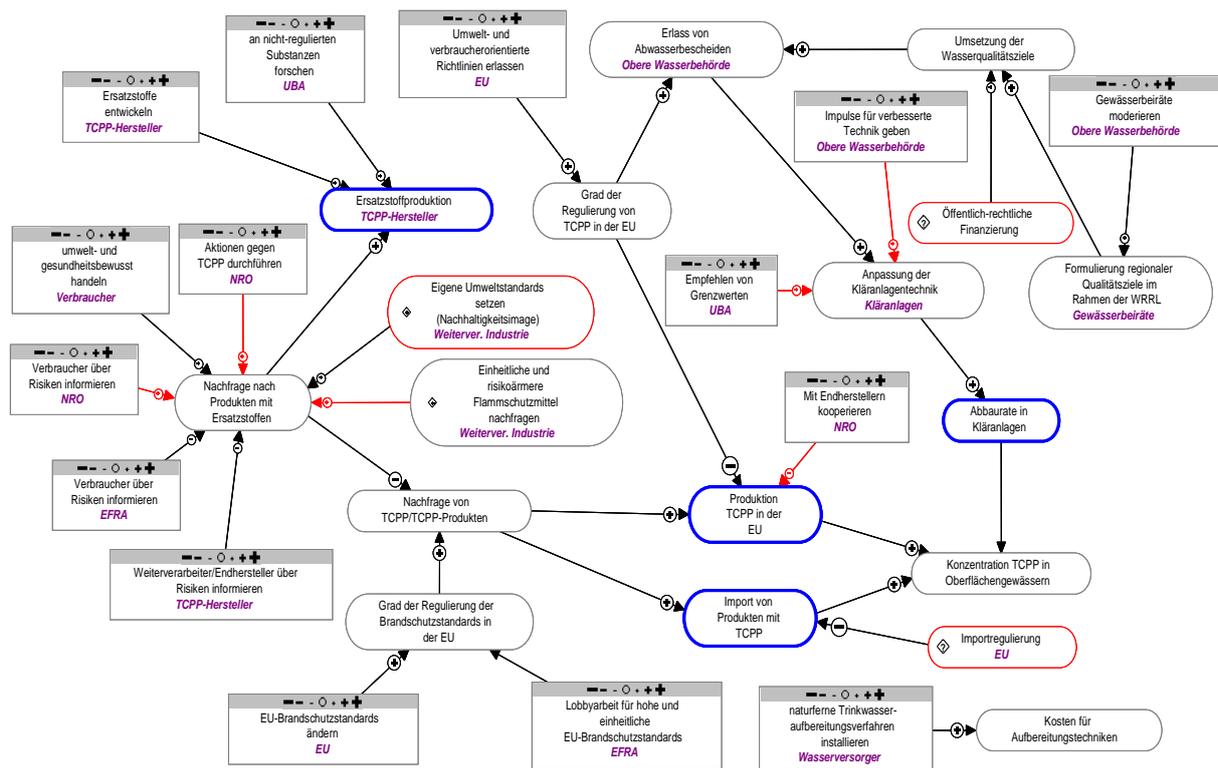


Abb. 10: Akteursnetzwerk TCPP. Die Schlüsselfaktoren Produktion, Import, Ersatzstoffproduktion u. Abbauraten in Kläranlagen sind blau umrandet, die Erwartungen und Kausalbeziehungen, die sich auf Grund der Rahmenbedingungen in den einzelnen Szenarien und Runden ändern, sind rot dargestellt.

TCPP - Jahr 2030		Szenario A1	Szenario A2	Szenario B1	Szenario B2
Szenarien	Abbaurrate in Kläranlagen	188%	110%	152%	246%
	Import von Produkten	51%	127%	14%	63%
	Produktion in der EU	48%	127%	3%	26%
	Ersatzstoffproduktion	195%	90%	195%	110%

Tab. 2: Mit DANA berechnete Änderungen der Schlüsselfaktoren Produktion, Import Ersatzstoff-produktion und Abbaurrate in Kläranlagen

In einer Welt mit starker MOF-Regulierung und umweltbewussten Verbrauchern (Szenario B1) wird die Produktion und der Import von TCPP noch stärker zurückgehen als in einer Welt mit starker Regulierung und nicht-nachhaltigem Verbraucherverhalten (Szenario B2). In Szenario B2 wird stattdessen die Abbaurrate in Kläranlagen sehr hoch sein, um die Regulierungsziele zu erreichen. In einer Welt mit geringer Regulierung und nicht-nachhaltigem Verbraucherverhalten (Szenario A2) ergibt sich ein Anstieg von Produktion und Import, eine nur geringe Erhöhung der Abbaurrate in Kläranlagen und eine Abnahme der Ersatzstoffproduktion. Treffen geringe Regulierung und ein nachhaltiges Verbraucherverhalten zusammen (Szenario A1), führt dies zu derselben Verdoppelung der Ersatzstoffproduktion wie in Szenario B1, jedoch nur zu einer Halbierung von Produktion und Import. Die Abbaurrate in Kläranlagen verbessert sich trotz geringer Regulierung stärker als in Szenario B1, da dort die „öffentlich-rechtliche Finanzierung“, die auf die Umsetzung der Umweltqualitätsziele einwirkt, abnimmt, während die Finanzierung in Szenario A1 gleichbleibend ist.

Die Ergebnisse der aktorsbasierten Modellierung wurden, wie im Kapitel 2 beschrieben, in das Kopplungsmodell eingespeist, dort mit substanzspezifischen Werten verknüpft und auf das Untersuchungsgebiet übertragen. Im Regionalmodell wurden Frachten und Konzentrationen der Stoffe für bestimmte Punkte im Gewässernetz berechnet und graphisch ausgegeben. In Abbildung 12 ist das Ergebnis für das Flammschutzmittel TCPP in Form von Balkendiagrammen für alle vier Szenarien abgebildet. Die durch die aktorsbasierte Modellierung simulierte Änderung der Schlüsselfaktoren und die berechneten TCPP-Konzentrationen für das Hessische Ried erscheinen plausibel. Diese Einschätzung wird von den beteiligten Stakeholdern und Wissenschaftlern im Projekt INTAFERE geteilt (INTAFERE 2007).

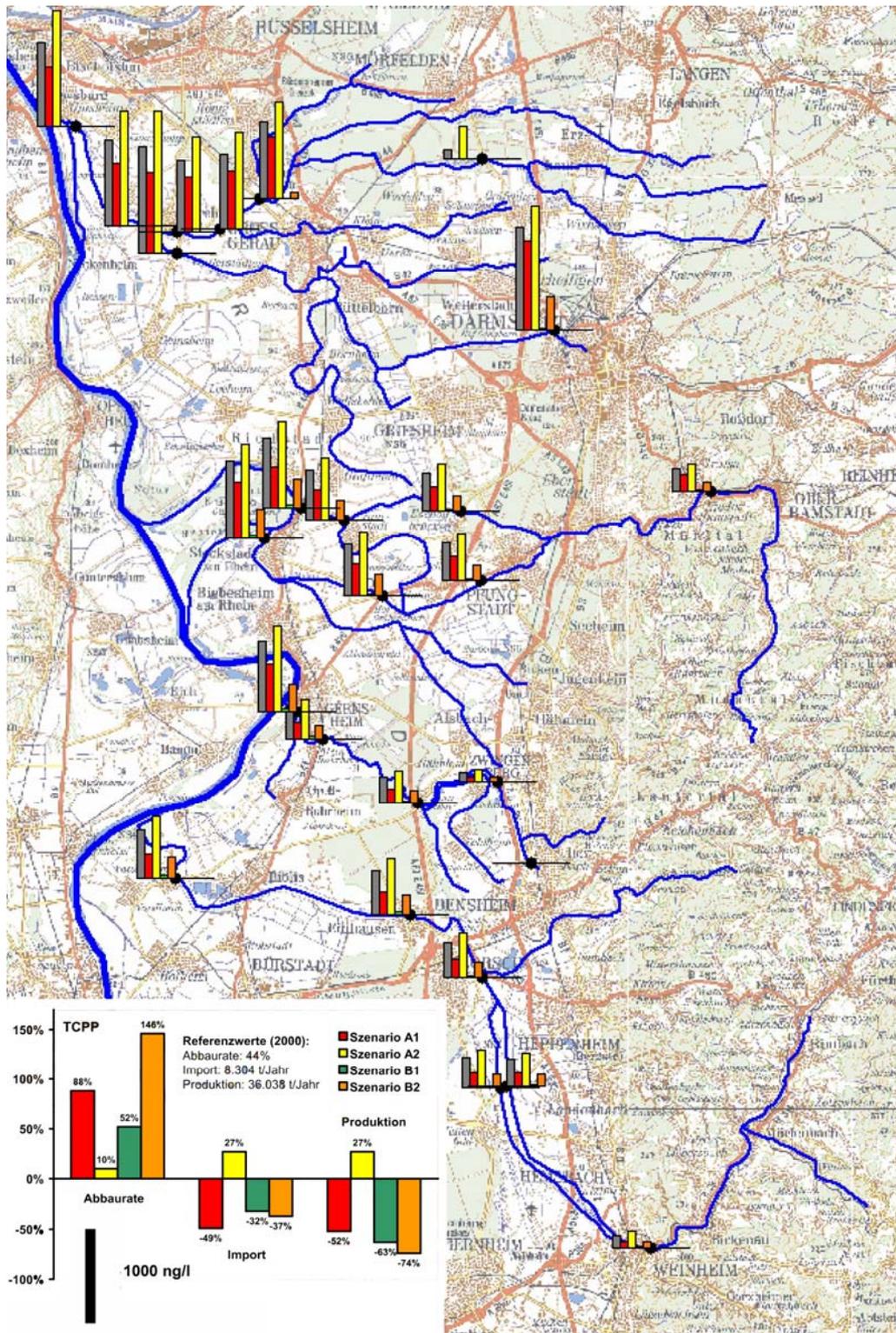


Abb. 12: TCPP-Konzentrationen im Hessischen Ried an 26 Messpunkten mit den Werten für heute (graue Balken) und für alle vier Szenarien. Die Höhe des schwarzen Balkens in der Legende zeigt die Referenzkonzentration von 1000 ng/l an. (Quelle: INTAFERE 2007)

## 5. Grenzen und Möglichkeiten der aktorsbasierten Modellierung mit DANA

Die hier vorgestellte aktorsbasierte Modellierung hat auch Limitationen. So sind nicht alle Aspekte, wie versteckte Ansichten und implizite, strategische Informationen abbildbar. Die Akteursbeziehungen sind festgelegt und können sich nicht verändern. Ein mögliches Lernen der Akteure kann nicht stattfinden. Weiterhin können mit DANA keine Informations- und Stoffströme berechnet werden. In DANA haben nur Handlungen und Erwartungen Einfluss auf die Faktoren und dieser Einfluss kann nicht zurückwirken, weder auf die Handlungen und Erwartungen selbst, noch auf die Faktoren (BOTS 2000, 2007). Daher sind Rückkopplungen nicht möglich. Auch nicht-lineare Prozesse können nicht dargestellt und analysiert werden, da als Wirkungsbeziehungen nur eingeschränkte Kausalbeziehungen vorgesehen sind (siehe Abbildung 5 „Change multipliers“).

Eine sicherlich schwierige Aufgabe ist es, einen Mittelweg zwischen einer zu hohen Komplexität und einer Trivialität der Wirkungsbeziehungen zu finden. Da die aktorsbasierte Modellierung in transdisziplinären Projekten Verwendung findet, in denen Stakeholder in den Modellierungsprozess einbezogen werden, erscheint es sinnvoll die Komplexität soweit wie möglich zu reduzieren. Ein weiterer Punkt ist die Validität der empirischen Grundlagen, da durch das Expertenwissen von ausgewählten Akteuren keine statistische Repräsentativität gegeben ist. Eine Schwierigkeit besteht auch in der Umsetzung der Ergebnisse der qualitativen Experteninterviews in die formale Darstellung der Wahrnehmungsgraphen in DANA. Der Analyst muss hier eine „Übersetzungsleistung“ erbringen und die Ergebnisse von den Interviewpartnern bzw. Akteuren validieren lassen. Dies kann auf mehreren Wegen geschehen: Die Wahrnehmungsgraphen können als Text ausformuliert oder als Graph mit einer Erläuterung versehen den Akteuren zur Validierung gegeben werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, verschiedene Zielsetzungen und Wirkungsbeziehungen in einem Wahrnehmungsgraph für jeweils einen Akteur zu analysieren und diese Analyseergebnisse in Kombination mit den dazugehörigen Wahrnehmungsgraphen (bzw. den unterschiedlichen Zielsetzungen und Wirkungsbeziehungen) mit dem Akteur zu diskutieren, um eine vom Akteur validierte Darstellung der Elemente und Wirkungsbeziehungen im Wahrnehmungsgraphen zu erhalten.

Eine Akteursmodellierung mit DANA macht die Problemwahrnehmung und die Ziele der relevanten Akteure in einem Problemfeld transparenter, sowohl den im partizipativen Prozess Beteiligten als auch den WissenschaftlerInnen. Das Systemverständnis wird erhöht und die Identifizierung von Win-Win-Handlungsoptionen sowie soziales Lernen wird befördert. Die hier vorgestellte Methodik verfolgt nicht den Anspruch, sichere Vorhersagen zu erbringen, sondern szenariogestützte Möglichkeitsräume aufzuzeigen und damit einen Beitrag zur Erhöhung des gesellschaftlichen Handlungsvermögens zu leisten. Die aktorsbasierte Modellierung strebt an, Wissen zu produzieren, dass die gesellschaftlichen Akteure in die Lage versetzen soll, Probleme besser zu lösen.

## 6. Fazit und Ausblick

Durch die Erweiterung von DANA zu einer Software für eine aktorsbasierte Modellierung von Faktoren wird die Erstellung von Szenarien wissenschaftlich besser fundiert. Gesellschaftliches Handeln wird aus den erhobenen Problemwahrnehmungen und Zielen der relevanten Akteure abgeleitet, und nicht, wie sonst bei Zukunftsszenarien üblich, ad-hoc in Form von qualitativen Annahmen (Storylines) festgeschrieben. Die Modellierung von MOF im Rahmen des Projektes INTAFERE ist die erste Anwendung der aktorsbasierten Modellierung mit DANA.

Unserer Meinung nach kann aktorsbasierte Modellierung nur durch Integration in einen partizipativen Prozess ihr volles Potenzial entfalten. Akteursbasierte Modellierung hat keine Handlungsprognose zum Ziel, sondern ein verbessertes Verständnis des Mensch-Umwelt-Systems. Die transdisziplinäre Integration kann in Form von Expertengesprächen und Workshops geschehen.

Zur Zeit sind die Problemwahrnehmungen und Zielsetzungen der Akteure statisch und spiegeln die heutige Lage wieder. Ziel weiterer Arbeiten wird es sein, kognitives und soziales Lernen der Akteure zu modellieren.

## Danksagung

Das Projekt wird gefördert vom Hessischen Ministerium für Wissenschaft und Kunst. Die Verfasserinnen danken den am Projekt beteiligten Institutionen sowie den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Forschungsprojekts, insbesondere Dr. Stefan LIEHR und Ronja DÜFFEL für die konstruktive Zusammenarbeit und die in diese Veröffentlichung eingeflossenen Ergebnisse. Vor allem gilt unser Dank Dr. Pieter BOTS, der die Software DANA entsprechend unserer Wünsche modifiziert hat.

## Literaturverzeichnis

- ANTUNES, P.; SANTOS, R.; VIDEIRA, N. (2006): Participatory decision making for sustainable development - the use of mediated modelling techniques. *Resolving Environmental Conflicts: Combining Participation and Multi-Criteria Analysis*. In: *Land Use Policy* 23 (1), 44-52.
- BAILEY, P.; GOUGH, C.; CHADWICK, M.; MCGRANAHAN, G. (1996): *Methods for Integrated Environmental Assessment: Research directions for the European Union*. Stockholm Environment Institute (SEI), Stockholm, Sweden.
- BOTS, P.W.G. (2007): Analysis of multi-actor policy contexts using perception graphs. In: *Proceedings of the International Conference on Intelligent Agent Technologies (IAT'07)*. Lin, T.Y. (eds.), IEEE Computer Society Press, Los Alamitos.
- BOTS, P.W.G.; van Twist, M.J.W.; van Duin, J.R.H. (2000): Automatic pattern detection in stakeholder networks. In: *Proceedings HICSS-33*. Nunamaker, J.F., Sprague, R.H. (eds.), IEEE Press, Los Alamitos.
- CARMICHAEL, J.; TANSEY, J.; ROBINSON, J. (2004): An integrated assessment modeling tool. In: *Global Environmental Change* 14, 171-183.
- DÖLL, C.; DÖLL, P. (2006): Akteursanalyse und -modellierung im Rahmen des Projektes 'Integrierte Analyse von mobilen, organischen Fremdstoffen in Fließgewässern'. In: *Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften. Workshop Leipzig 2006*. Wittmann, J., Müller, M. (Hrsg.), Shaker Verlag, Aachen, 109-118.
- ESSER, H. (1993): *Soziologie. Allgemeine Grundlagen*. Frankfurt am Main.
- ESSER, H. (1999): *Soziologie. Spezielle Grundlagen. Band 1: Situationslogik und Handeln*. Frankfurt am Main.
- GOUGH, C. et al. (1998): Integrated Assessment: an emerging methodology for complex issues. *Environmental Modeling and Assessment* 3 (1,2), 19-29.
- HARE, M.P.; PAHL-WOSTL, C. (2002): Stakeholder categorisation in participatory integrated assessment processes. *Integrated Assessment* 3, 50-62.
- INTAFERE (2007): *Risiken durch mobile, organische Fremdstoffe: Modellierung als Instrument gemeinsamen Lernens. Ergebnisbericht des dritten INTAFERE Stakeholder-Workshops*. Frankfurt am Main.
- LEISEWITZ, A.; SCHWARZ, W. (1997): *Stoffströme wichtiger endokrin wirksamer Industriechemikalien (Bisphenol A; Dibutylphthalat/Benzylbutylphthalat; Nonylphenol/Alkylphenolethoxylate)* Forschungsbericht 106 01 076 im Auftrag des Umweltbundesamtes. Frankfurt/Main.
- LUHMANN, N. (1986): *Ökologische Kommunikation. Kann die moderne Gesellschaft sich auf ökologische Gefährdungen einstellen?* Opladen.
- MEUSER, M.; NAGEL, U. (1991): ExpertInnenwissen – vielfach erprobt, wenig bedacht. Ein Beitrag zur qualitativen Methodendiskussion. In: Garz, D; Kraimer, K. (Hrsg.): *Qualitativ-empirische Sozialforschung. Konzepte, Methoden, Analysen*. Opladen, 441-447.

- MEUSER, M.; NAGEL, U. (1994): Expertenwissen und Experteninterviews. In: Hitzler, R.; Honer, A.; Maeder, C. (Hrsg.): Expertenwissen. Opladen, 180-192.
- ROTMANS, J. (2006): Tools for Integrated Sustainability Assessment: A two-track approach. The Integrated Assessment Journal 6 (4), 35-57.
- SCHIMANK, U. (2000): Handeln und Strukturen. Einführung in die akteurtheoretische Soziologie. Weinheim.
- TREIBEL, A. (2006): Einführung in soziologische Theorien der Gegenwart. 7. Aufl. Wiesbaden.

