



**University of
Zurich^{UZH}**

**Zurich Open Repository and
Archive**

University of Zurich
Main Library
Strickhofstrasse 39
CH-8057 Zurich
www.zora.uzh.ch

Year: 2007

Einsatz der Computersimulation in der Umweltpsychologie

Tobias, Robert ; Mosler, Hans-Joachim

Other titles: Applying computer simulation to environmental psychology

Posted at the Zurich Open Repository and Archive, University of Zurich

ZORA URL: <https://doi.org/10.5167/uzh-121747>

Journal Article

Published Version

Originally published at:

Tobias, Robert; Mosler, Hans-Joachim (2007). Einsatz der Computersimulation in der Umweltpsychologie. *Umweltpsychologie*, 11(2):22-37.

Einsatz der Computersimulation in der Umweltpsychologie

Robert Tobias & Hans-Joachim Mosler



Robert Tobias

1966, Dipl.-Ing. & Dr. phil., wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Systemanalyse, Integrated Assessment und Modellierung (SIAM) der Eawag. Forschungsgebiete: Wissenschafts-

basierte Planung und Durchführung von Kampagnen zur Veränderung von Alltagsverhalten, computerunterstützte Modellierung sozialer Systeme.



Hans-Joachim Mosler

1954, Prof. Dr. phil. et dipl. zool., Leiter der Gruppe Soziale Modellierung der Abt. Systemanalyse, Integrated Assessment und Modellierung der Eawag. Forschungsgebiete: Umwelt-

psychologie, Computersimulation in der Sozialpsychologie, Einstellungs- und Verhaltensänderung im Umweltbereich.

Die Methode ist besonders für Problemstellungen geeignet, bei denen sich der Gegenstand nicht auf Interaktionen weniger einfacher Teilsysteme reduzieren lässt. Weiter ist die Methode ideal zur Untersuchung und Prognose dynamischer Entwicklungen über die Zeit.

Werden Simulationsmodelle zur Planung und Durchführung von Kampagnen zur Beeinflussung sozialer Entwicklungen verwendet, ist es entscheidend, deren Resultate nicht direkt in die Realität zu übertragen. Simulationsergebnisse müssen vielmehr zu Plänen konkretisiert werden, in denen auch Aspekte berücksichtigt werden, von denen das formale Modell abstrahiert wurde. Weiter sind Simulationsmodelle laufend an die im Rahmen der Realisierung einer Kampagne gewonnenen Informationen über das beeinflusste System anzupassen.

Zusammenfassung

Die Methode der Computersimulation stellt ein noch junges, aber gerade für umweltpsychologische Fragestellungen besonders geeignetes Werkzeug zur Untersuchung komplexer Systeme dar. Dieser Artikel gibt einen ersten Überblick über die Methode, insbesondere deren Anwendungsfelder, das Vorgehen bei der Entwicklung von Simulationsmodellen und Ideen zur Anwendung bei der Lösung praktischer umweltpsychologischer Aufgaben.

Schlüsselwörter: Computersimulation, Zeitreihendaten, Theorieintegration, Kampagnenplanung, Verhaltensänderung

Abstract

Application of computer-simulations in environmental psychology

The method of computer-simulation is still a young field, but especially useful for the investigation of complex systems typical for

topics of environmental psychology. This paper offers a brief overview of the method, especially its field of application, the procedure of developing simulation models and ideas for using them for solving practical tasks of environmental psychologists.

The method is especially useful for handling problems, where the system of interest can not be reduced to a few simple parts with a few simple interactions. Additionally, the method is ideal for investigating and forecasting dynamic developments over time.

When using simulation models for planning and guiding campaigns, which aim at influencing social developments, it is crucial not to assign their results directly to reality. Simulation-results must be concretized to plans, which also consider aspects that were not included in the abstract formal model. Further, the simulation models must be adapted continuously to information about the influenced system that becomes available during the realization of the campaign.

Key words: computer simulation, time series data, theory integration, campaign planning, behaviour change

1 Anwendungsbereiche der Simulationsmethode

Das entscheidende Problem jeder Untersuchung der Interaktion zwischen Menschen und ihrer sozialen und physischen Umwelt ist die Komplexität der involvierten Wirkfaktoren und Prozesse. In vielen Bereichen der Sozialwissenschaften ist es möglich, reale Phänomene in einfache Teilprobleme zu zerlegen, welche dann mit traditionellen Methoden z.B. im Rahmen von Experimenten untersucht werden können. Die berücksichtigten Wirkgefüge sind von einfachster Natur und komplexe Interaktionen werden ebenso vernachlässigt wie dynamische Entwicklungen über die Zeit. Obschon auch in

der Umweltpsychologie einzelne Fragen isoliert untersucht werden können, so liegt doch die Komplexität der Interaktion von Menschen mit ihrer Umwelt im Fokus dieser Forschungsrichtung. Was die Umweltpsychologie von anderen psychologischen Forschungstraditionen unterscheidet, ist gerade, dass die Umwelt nicht auf einen einzelnen Stimulus reduziert wird und Menschen nicht nur eine einzige Reaktion auf einen Umwelteinfluss zeigen können. In diesem Artikel wird eine Methode vorgestellt, welche Umweltpsychologen dabei unterstützen kann, diese enorme Komplexität in den Griff zu bekommen: die Modellierung mittels Computersimulation.

Bei dieser Methode werden Regelmäßigkeiten menschlichen Verhaltens sowie natürlicher und technischer Systeme in Form von Computerprogrammen modelliert. Mit diesen Programmen können dann Entwicklungen über die Zeit unter verschiedenen Randbedingungen und Einwirkungen errechnet werden. Letztlich handelt es sich dabei um die Deduktion von Hypothesen aus vorhandenem abstrahierten und formalisiertem Wissen und explizit definierten Annahmen, welche natürlich auch ohne Computer durchgeführt werden kann. Die Algorithmisierung des zu untersuchenden Modells erlaubt jedoch ungleich schnellere und zudem fehlerfreie und unverzerrte Ableitungen. So können eine Vielzahl von Varianten desselben Modells berechnet und miteinander verglichen werden, um z.B. festzustellen, wie sich die Variation welchen Parameters auf die Dynamik des Systems auswirkt.

Der Artikel ist so strukturiert, dass zunächst auf Anwendungsbereiche der Methode eingegangen wird, um aufzuzeigen, wann es

Simulationen können die Komplexität der Interaktion von Mensch und Umwelt abbilden

sich lohnt, sich auf diese Methode einzulassen. Anschließend wird die Entwicklung und Untersuchung von Simulationsmodellen allgemein und anhand eines Beispiels erläutert. Dies soll einen Einstieg in die Methode erlauben und zur weiteren Vertiefung anregen. Im dritten Kapitel wird auf die Anwendung von Simulationsmodellen zur Lösung praktischer umweltpsychologischer Aufgaben eingegangen. Damit wird unterstrichen, dass Simulationsmodelle nicht zum Selbstzweck entwickelt werden sollten, sondern wertvolle Instrumente zur Lösung realweltlicher Probleme sein können. Abschließend werden die Methode, deren Vor- und Nachteile, sowie Entwicklungstendenzen diskutiert, um Chancen und mögliche Schwierigkeiten für eigene Projekte zu verdeutlichen.

Die Anwendung der Methode bringt noch gewisse Schwierigkeiten mit sich, da sie sich in der psychologischen Forschung erst zu etablieren beginnt. Dennoch erscheint uns deren Anwendung in vielen Fällen geboten, nämlich insbesondere wenn:

- ein oder mehrere Teile des untersuchten Systems für sich komplexe Wirkgefüge oder Dynamiken aufweisen bzw. von diesen nicht abstrahiert werden können. In diesen Fällen hilft die Methode, die Wirkgefüge zu beschreiben und darzustellen. Weiter erlaubt die Methode das Generieren von Hypothesen, welche dann isoliert getestet werden können.
- die Anzahl der interagierenden Teilsysteme zu groß oder die Form der Interaktion zwischen diesen Teilsystemen zu komplex ist. Hier kann mittels der Methode das Gesamtsystem in einfachere Teilsysteme und in Regeln über den Aufbau des Gesamtsystems zerlegt werden.
- der untersuchte Gegenstand die Integration von Befunden und Theorien aus verschiedenen Bereichen verlangt. Durch die Explizierung und Möglichkeit der Systemzerlegung ist die Methode ideal geeignet, um verschiedene wissenschaftliche Erkenntnisse zu integrieren. Dabei ist es sowohl möglich, sich widersprechende Befunde in verschiedenen Modellversionen zu berücksichtigen, als auch die Teilsysteme von verschiedenen Experten entwickeln zu lassen (z.B. Integration sozialer, natürlicher und technischer Teilsysteme in einem Gesamtsystem).
- zeitliche Entwicklungen im Zentrum der Untersuchung stehen. Simulationsmodelle erlauben das Generieren und Analysieren von Zeitreihendaten, wobei diese nicht nur beschrieben, sondern auch die Abhängigkeiten ihrer Entstehung erklärt werden.
- erhobene oder erhebbare Daten sich schlecht mit traditionellen Methoden analysieren lassen (z.B. nicht direkt erhebbare Daten, Daten mangelhafter Qualität, etc.). Die Methode erlaubt es, explizit Zusammenhänge z.B. zwischen Indikatoren und nicht erhobenen Variablen oder Korrekturen von Verzerrungen zu modellieren.
- zukünftige Entwicklungen eines Systems prognostiziert werden oder auf komplexe Systeme eingewirkt werden soll, z.B. Verhalten durch eine Kampagne verändert werden soll. Neben den schon genannten Möglichkeiten bietet die Methode hier den Vorteil, schnell viele verschiedene Szenarien zu untersuchen, Modelle einfach an neue Informationen anzupassen und Erfahrungen zu kumulieren, da viele Grundlagen von Entscheidungen expliziert und strukturiert als formales Modell vorliegen.

- komplexe Sachlagen vermittelt oder neue Verhaltensweisen geschult werden sollen. Die Möglichkeit der direkten „Interaktion mit dem Wissen“ kann genutzt werden, um Sachlagen in spielerischer Weise zu veranschaulichen (z.B. Unterstützung partizipativer Prozesse) oder um ohne Risiken neue Verhaltensweisen zu trainieren (z.B. Schulung von Führungspersonal).

Die genannten Problemstellungen finden sich vielfach in der umweltpsychologischen Forschung. Konkrete Anwendungen der Methode finden sich insbesondere im Feld des Ressourcenmanagements (Antona, Bommel, Bousquet & Le Page, 2002; Mosler & Brucks, 2003; Ernst, 1994), bei der Untersuchung kognitiver und emotionaler umweltrelevanter Prozesse (Bergius & Engemann, 1985; Jager, 2000; Nerb, 2000), im Rahmen der Erforschung des Managements ökologisch-ökonomischer Systeme (Hare, Medugno, Heeb & Pahl-Wostl, 2002; Krywkow, Valkering, van der Veen & Rotmans, 2002) oder auch beim Entwerfen von Interventionen für umweltrelevante Verhaltensänderungen (Doran, 2001; Mosler, 2000; Tucker & Smith, 1999) (eine Zusammenfassung findet man bei Mosler & Tobias, im Druck). In diesem Artikel wird v. a. auf das Entwerfen von Interventionen fokussiert, da sich hier die Eigenheiten und Möglichkeiten der Simulationsmethode besonders deutlich aufzeigen lassen.

Als nächstes soll nun darauf eingegangen werden, wie umweltpsychologische Simulationsmodelle entwickelt und untersucht werden. Anschließend wird die Anwendung der Methode bei der Planung von Interventionen erläutert.

2 Entwicklung und Untersuchung von Simulationsmodellen

Der Simulationsmethode wird eine Fülle von Verfahren zugeordnet (s. z.B. Gerndt, 1978) und auch die Computersimulation weist zahlreiche, z. T. sehr verschiedene Ansätze auf (s. z.B. Gilbert & Troitzsch, 1999). Im Rahmen dieses Artikels kann nur auf einen der verschiedenen Ansätze näher eingegangen werden, der allerdings in den Sozialwissenschaften weit verbreitet und für die Anwendung in der Umweltpsychologie besonders gut geeignet ist: die agentenbasierte Modellierung (ABM) bzw. Simulation (ABS) (s. Schmid, 2001). In diesem Ansatz werden Systeme aus der Perspektive der diese Systeme konstituierenden Individuen (Agenten) modelliert. Der Ansatz erlaubt die Modellierung komplexer Systeme aus einfachen, anschaulichen und leicht testbaren Bausteinen sowie mit Regeln, nach denen die Bausteine zusammengesetzt werden. Auf der Mikro-Ebene entwickelte psychologische Theorien und Daten können verwendet werden, um die für die Umweltpsychologie interessanten Phänomene auf der Makroebene zu untersuchen. In diesem Kapitel soll die Entwicklung wissenschaftlicher agentenbasierter Simulationsmodelle und deren Anwendung zur Erkenntnisgewinnung anhand eines Beispiels erläutert werden.

Besonders geeignet ist die agentenbasierte Modellierung

Die Beispiel-Simulation thematisiert die Teilnahme an kollektiven Aktionen. Konkret geht es um die Teilnahme an einer Kampagne, welche die Bevölkerung einer Schweizer Kleinstadt zum langsameren Autofahren bewegen sollte. Die Kampagne wurde in Mosler, Gutscher & Artho (2001) und das Modell in Tobias & Mosler (im

Druck) dargestellt. Es geht um die Frage, welche Personen an der Aktion teilnehmen und wie sich die Teilnehmerzahlen über die Zeit entwickeln. Diese Information ist entscheidend, um zu bestimmen, mit welchen Maßnahmen zu welchem Zeitpunkt die Kampagne optimal gefördert werden kann und um die Kampagne im Nachhinein zu evaluieren. Als Nächstes sollen die Vorgehensschritte kurz erläutert werden, mittels derer Simulationsmodelle entwickelt werden (siehe auch Mosler, 2000). Die aufgeführten Schritte werden dabei nicht einer nach dem anderen abgeschlossen, vielmehr erfolgt die Modellentwicklung als iterativer Prozess, bei dem aufgrund der Resultate eines bestimmten Schrittes frühere Schritte erneut durchlaufen werden können.

1.) *Explizieren von Zweck und Aufgabe des Modells.* Da Modelle nie die ganze Realität wiederzugeben vermögen, muss die Auswahl der zu modellierenden Phänomene so bewusst und explizit wie möglich vorgenommen werden. Insbesondere müssen die verschiedenen, auf die Modellentwicklung wirkenden Interessen (siehe z. B. Meadows & Robinson, 1985, S. 375) sowohl den Entwicklern wie auch den Anwendern des Modells bewusst sein. Dieser Schritt kann im Rahmen des Beispiels nur sehr verkürzt vorgenommen werden. Es soll die individuelle Entscheidung zur Teilnahme an der Aktion modelliert werden, wobei sowohl der Einfluss anderer Personen wie auch schon erfolgter Entscheidungen berücksichtigt werden soll. Das Hauptinteresse besteht dabei darin, die realisierte Kampagne dahingehend zu evaluieren, durch

welche Maßnahme wie viele Teilnehmer mobilisiert werden könnten.

2a) *Modellieren der Individuen bzw. Agenten.* Ist der Zweck des Modells festgelegt, geht es darum, die interessierenden Phänomene bzw. vermuteten Prozesse des gewählten Systemausschnitts in Form von Konstrukten und Wirkungen zwischen diesen Konstrukten zu formalisieren. Dies ist eine kreative Tätigkeit, zu der keine Regeln angegeben werden können. Ausgangspunkt sind meist sozialwissenschaftliche Theorien, Befunde oder auch Annahmen von Experten oder den Entwicklern selbst. Im Beispiel werden Theorien aus verschiedenen Bereichen integriert: Soziologische Theorien (z.B. Marwell & Oliver, 1993; Oberschall, 1994; Olson, 1965) erklären die Teilnahme v. a. basierend auf einem Kosten/Nutzen-Kalkül, bei dem der Nutzen von der Anzahl der Teilnehmer an der Aktion abhängt. Sozialpsychologische Theorien wie die Theorie des geplanten Verhaltens (Ajzen & Madden, 1986) erklären Verhalten allgemein basierend auf Überzeugungen, wie der Einstellung oder sozialen Normen, sowie der Schwierigkeit, das Verhalten auszuführen. Weiter können Theorien identifiziert werden, die die Veränderung dieser Faktoren erklären, wie z.B. das Elaboration Likelihood Model von Petty & Cacioppo (1986) (als Simulation siehe Mosler, Schwarz, Ammann & Gutscher, 2001), das die Veränderung der Einstellung erklärt oder Theorien des sozialen Vergleichs (z.B. Festinger, 1954; Latané, 1981), die Wirkungen auf subjektive soziale Normen zum Gegenstand haben. Diese Beispiele verdeutlichen, dass schon einfache Fragestellungen die Integration einer Vielzahl von Befunden und Theorien nötig machen, und dass solch eine Integration mit Hilfe der Simulationsmethode möglich ist. Das Modell des Beispiels ist in

Verschiedene Befunde, Theorien und Expertenmeinungen können in einem gemeinsamen Simulationsmodell integriert werden

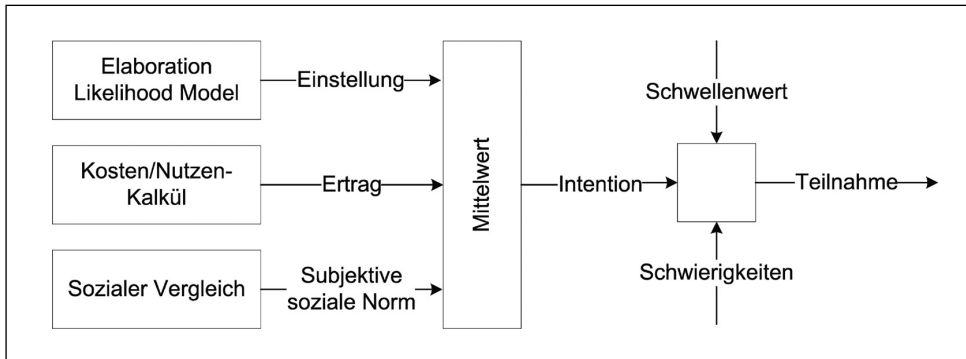


Abbildung 1: Blockdiagramm der individuellen Entscheidung zur Teilnahme an kollektiven Aktionen des Beispielmotells. Pfeile sind Variablen, Blöcke sind Funktionen bzw. Gruppen von Funktionen

Abb. 1 als Blockdiagramm (s. Bossel, 1994) wiedergegeben.

2b) *Modellieren der Interaktionen zwischen den Individuen bzw. Agenten.* Soll in der Simulation eine größere Population untersucht werden, benötigt man ein Netzwerkmodell, mit dem festgelegt wird, welche Agenten miteinander in Kontakt treten und in welcher Form sie sich gegenseitig beeinflussen können. Zur Generierung von Netzwerkmodellen liegen nur wenige Theorien vor. Bei der datenbasierten Generierung stellt sich das Problem, dass sich soziale Netzwerke großer Populationen nicht vollständig erheben lassen. Eine Möglichkeit zur Lösung des Problems besteht darin, aus relationalen Daten einer Stichprobe (z.B. wie gut sich die Kontakte einer Person untereinander kennen) Kennwerte zu ermitteln, welche das Netzwerk charakterisieren und dann, basierend auf diesen Kennwerten, das Modellnetzwerk für die Population zu generieren (vgl. Burt, 1983). Weiter werden Charakteristika der Individuen erhoben, welche es erlauben, die Modellindividuen auf adäquaten Positionen des Netzwerks zu platzieren.

Im Beispiel wurden 6878 Modellindividuen generiert, welche alle nach denselben Prinzipien funktionieren, deren Variablenausprägungen aufgrund hochgerechneter empirischer Daten aber verschieden festgelegt sind. Im Rahmen der modellierten Kampagne wurden keine Informationen zum Netzwerk erhoben, weshalb dieses aufgrund plausibler Annahmen generiert werden musste. Die Modellindividuen wurden derart miteinander vernetzt, dass die Intentionen der Kontaktindividuen zusammen der empirisch erhobenen subjektiven sozialen Norm möglichst nah kommen und eine vorgegebene Anzahl von Kontakten nicht überschritten wird.

2c) *Modellieren von Umweltwirkung und Maßnahmen.* Umweltpsychologische Simulationen können sich nicht auf Eigenschaften der Personen beschränken, sondern müssen Wirkungen der Umwelt sowie von Interventionsmaßnahmen berücksichtigen. Dies erfolgt grundsätzlich analog zur Modellierung der Individuen und deren Interaktionen. Sollen komplexere, natürliche oder technische Systeme im Modell berücksichtigt werden, können Modelle von Naturwissenschaftlern oder Ingenieuren eingebunden werden (z.B. Brucks & Mosler,

2002). Im Beispiel wurden verschiedene Diffusionsmaßnahmen modelliert, insbesondere Standaktionen und Briefaktionen. Die Modellierung erfolgt dabei jeweils derart, dass die Diffusionsmaßnahmen die Schwierigkeit einer Teilnahme für einige Individuen senkt. Für welche Individuen die Schwierigkeit wie stark gesenkt wird, hängt dabei sowohl von der Maßnahme als auch von der Position des Individuums im sozialen Raum ab. Wer z.B. sehr aktiv in der Gemeinde ist wird eher von einer Standaktion betroffen als jemand, der sich nur zum Schlafen in der Stadt aufhält.

3.) *Implementierung in ein lauffähiges Programm.* Das Modell muss nun in ein lauffähiges Computerprogramm übersetzt werden.

Die Umsetzung in den Programmcode ist verhältnismäßig einfach

Dies ist in der Regel einfach, da im Rahmen umweltpsychologischer Simulationen kaum komplexe Algorithmen benötigt werden. Dies kann in jeder beliebigen Programmierumgebung erfolgen. Speziell für agentenbasierte Simulationen entwickelte

Software hat jedoch den Vorteil, dass viele nicht-inhaltliche Prozeduren wie z.B. Datenverwaltung oder graphische Datenaufbereitung schon vorbereitet sind. Eine Evaluation solcher Programmbibliotheken in der Sprache Java findet sich bei Tobias und Hofmann (2004). Das Beispielmodell wurde in einer weit verbreiteten Office-Anwendung in Visual Basic programmiert. Wie die Formalisierung bedeutet auch die Umsetzung in einen Programmcode nichts anderes, als einen verbal formulierten Sachverhalt zu explizieren. Im Beispielmodell wird z.B. der Zusammenhang zwischen der Anzahl der Teilnehmer und dem Ertrag einer Teilnahme derart modelliert, dass die Modellindividuen annehmen, der Nutzen der Aktion werde nur dann zum Tragen kommen, wenn eine minimale Anzahl von Teilnehmern mobilisiert werden kann bzw. erwartet wird, dass diese Teilnehmerzahl noch erreicht wird. Die Kosten der Teilnahme werden hingegen in jedem Falle in Rechnung gestellt. Im Programmcode sieht dies wie folgt aus (Text hinter einem Apostroph ‘ sind Kommentare, welche vom Computer ignoriert werden):

<p>If Erwartete < TNZahl Then</p> <p style="padding-left: 40px;">Erwartete = TNZahl</p> <p>End If</p>	<p>‘Ist die aktuelle Anzahl Teilnehmer größer als erwartet,</p> <p>‘wird die aktuelle Teilnehmerzahl in Rechnung gestellt,</p> <p>‘sonst die erwartete Anzahl Teilnehmer.</p>
<p>If Erwartete < Schwelle Then</p> <p style="padding-left: 40px;">Nutzen = 0</p> <p>End If</p>	<p>‘Ist die Anzahl Teilnehmer kleiner als die Schwelle,</p> <p>‘wird kein Nutzen in Rechnung gestellt,</p> <p>‘sonst der von der Person erwartete Nutzen.</p>
<p>Ertrag = Nutzen – Kosten + Anreize</p>	<p>‘Der Ertrag wird berechnet aus dem Nutzen minus den Kosten plus allfälligen Anreizen</p>

Dieses Beispiel zeigt, dass auch mathematisch komplexe nicht-lineare Zusammenhänge sehr einfach und nahe an der verbalen Formulierung in einen Programmcode umgesetzt werden können. Sicherlich sind andere Programmiersprachen wie z.B. Java für Laien etwas schwieriger zu lesen und neben den inhaltlich relevanten Programmteilen ist stets auch umfangreicher und oft recht komplexer ‚Verwaltungscode‘ erforderlich. Ist aber ein Modell in Form eines Codes wie dem obigen formuliert, so kann auch ein Anfänger ohne große Programmierkenntnisse zu einer lauffähigen Simulation gelangen, indem er entweder eine geeignete Simulationsumgebung verwendet oder den Code von einem professionellen Programmierer implementieren lässt.

4.) *Test, Kalibrierung und Systemanalysen.* Schon während der Implementierung muss das Modell ständig dahingehend getestet werden, ob die Formalisierung und Programmierung zu den Resultaten führen, welche die verbalsprachliche Formulierung vorsieht und welche plausibel erscheinen. Ist das Modell vollständig programmiert, muss es zunächst kalibriert werden. Dabei werden eigens dafür vorgesehene Parameter, deren Werte nicht durch direkt erhobene Daten bestimmt werden können, systematisch variiert, bis ein bestimmtes Modellverhalten erreicht ist. Idealerweise werden die Parameter so eingestellt, dass eigens zur Untersuchung des Modells erhobene Daten von der Simulation repliziert werden. Zur empirischen Fundierung von Simulationsmodellen sei auf Janssen & Ostrom (2006) verwiesen. Modelle können aber auch anhand von Befunden aus der Literatur oder gar nur mittels Plausibilitätsüberlegungen kalibriert werden. Zur Optimierung von Parameterausprägungen existiert eine Fülle von Algorithmen (für eine Übersicht siehe z.B. Papa-georgiou, 2000). Entsprechend liegt das

größte Problem bei der Kalibrierung meist darin, die zu erreichenden Modellverhalten (die so genannten Zielfunktionen) festzulegen. Die Einstellung der Parameter ist dann meist einfach. Ziel ist es, mit der Simulation die Zielfunktionen möglichst gut zu replizieren. Die Qualität der Passung kann qualitativ durch Experten beurteilt oder auch quantitativ mittels Kennwerten (z.B. Fehlerquadratsummen) ausgedrückt werden.

Obschon die Übereinstimmung simulierter mit empirischen Daten ein anschauliches Gütekriterium für ein Modell darstellt, sollte es nicht überschätzt werden. Es existieren stets unendlich viele Modelle, welche ähnlich gute Passungen erreichen. Die entscheidende Frage ist deshalb nicht, wie gut die Passung ist, sondern wie diese erreicht wird. Dies wird mit systemanalytischen Methoden untersucht. Am bekanntesten ist hier wohl die Sensitivitätsanalyse (siehe z.B. Saltelli Chan & Scott, 2000). Bei dieser werden die Ausprägungen von Parametern variiert und untersucht, welche Auswirkungen dies auf das Modellverhalten hat (z.B. wie sich die Passung an eine Zielfunktion verändert). Parameter sollten eine gewisse Sensitivität aufweisen, da sie sonst bedeutungslos sind. Die Sensitivität sollte aber auch nicht zu groß sein, da sich sonst schon Ausprägungsvariationen auswirken, welche sich weder messen noch interpretieren lassen. Bei Identifizierbarkeitsanalysen (z.B. Brun, Reichert & Künsch, 2001) wird die Frage untersucht, inwieweit mit unterschiedlichen Parameter-einstellungen ähnlich gute Lösungen erreicht werden können. Zeigt sich, dass sich Veränderungen von Parameterausprägungen durch die Veränderung der Ausprägungen anderer Parameter kompensieren lassen, ist das Modell nicht identifizierbar und

Das Computermodell muss getestet, kalibriert und analysiert werden, bevor es angewendet werden kann

die Anzahl Parameter sollte reduziert werden. Mittels Featureanalysen (z.B. Guyon & Elisseeff, 2003) wird schließlich untersucht, welche Rolle jeder Parameter dabei spielt, verschiedene Verhaltensmuster zu erzeugen. Z.B. kann untersucht werden, welche Parameter entscheidend dafür sind, ob sich eine Entwicklung stabilisiert oder ob sie eskaliert. Dabei sollten inhaltlich relevante Unterschiede im Verhalten von inhaltlich relevanten Parametern abhängen und zwar idealerweise von denen, welchen aufgrund von Befunden diese Rolle zugeschrieben werden kann.

Neben diesen formalen Untersuchungen muss auch geprüft werden, inwieweit ein Modell seinen Zweck erfüllt. So nennen Jacobsen & Bronson (1997, S. 101) neben der empirischen Validität oder Adäquatheit eines Modells, welche mit den eben erläuterten Methoden untersucht wird, auch eine pragmatische Adäquatheit. Diese gibt die Zielangemessenheit des Modells wieder, d.h. inwieweit das Modell dem Ziel und Zweck der Modellbildung gerecht wird und seine Aufgabe zu erfüllen vermag. Die pragmatische Adäquatheit lässt sich nur durch eine Bewährung des Modells in der Praxis testen. Zentrale Kriterien sind dabei einerseits, wie nützlich das Modell von Anwendern beurteilt wird, ob es also verlässlich ist und Aufwand einsparen hilft. Andererseits muss gezeigt werden, ob das Modell tatsächlich maßgeblich zur Verbesserung eines Zustands beiträgt bzw. eine Verschlechterung verhindert oder zumindest den erforderlichen Aufwand reduziert hat.

Dieser Schritt der Modellentwicklung ist der mit Abstand aufwändigste und schwierigste. Entsprechend müssen hierfür genügend Ressourcen vorgesehen werden. Auch stellen diese Untersuchungen einen guten

Indikator für die Professionalität eines Simulationsprojekts dar. Von der Beispielsimulation kann hier nur das Resultat der Kalibrierung gezeigt werden. In Abb. 2 findet sich der Verlauf der empirischen Teilnehmerzahlen und die simulationstechnische Replikation. Es ist erkennbar, dass das Modell gut die Daten zu replizieren vermag.

5.) *Experimente und Folgerungen.* Geht das Modell erfolgreich aus der Testphase hervor, können damit beliebige Experimente durchgeführt werden. Dabei werden entweder Parameter in bestimmten Bereichen systematisch variiert, um zumindest einen Teil des Lösungsraums des Modells auszuloten (faktorielle oder fraktioniert-faktorielle Versuchspläne bei Harbordt, 1974) oder es werden Ausgangszustände und Einwirkungen bestimmt, von denen ausgehend die weitere Entwicklung des Systems untersucht wird ('Was-wäre-wenn-Szenarien'). Mit Experimenten der letzteren Art können z.B. Kampagnen geplant und evaluiert werden. Solche mit dem Beispielmmodell durchgeführten Experimente sind ebenfalls in Abb. 2 dargestellt. So wurde z.B. untersucht, ob eine Verlängerung der Kampagne oder der Einsatz zusätzlicher Anreize zu deutlich mehr Teilnehmern geführt hätte. Bemerkenswert ist dabei insbesondere das Resultat der Verlängerung der Kampagne: Aufgrund einer statistischen Extrapolation ergibt sich nur ein vernachlässigbarer Anstieg der Teilnehmerzahl, während die Simulation eine deutliche Erhöhung prognostiziert. Weiter erlaubt die Simulation auch, diese Entwicklung zu erklären: Da eine Vielzahl von Personen als kritische Schwelle für das Gelingen der Aktion eine Teilnehmerzahl von 1.000 angegeben hatten, steigt das Interesse für eine Teilnahme bei Erreichen dieser Anzahl an Teilnehmern. In Abb. 2 findet sich weiter die hypothetische Entwicklung der Teilnehmerzahlen, wenn den Teilnehmern

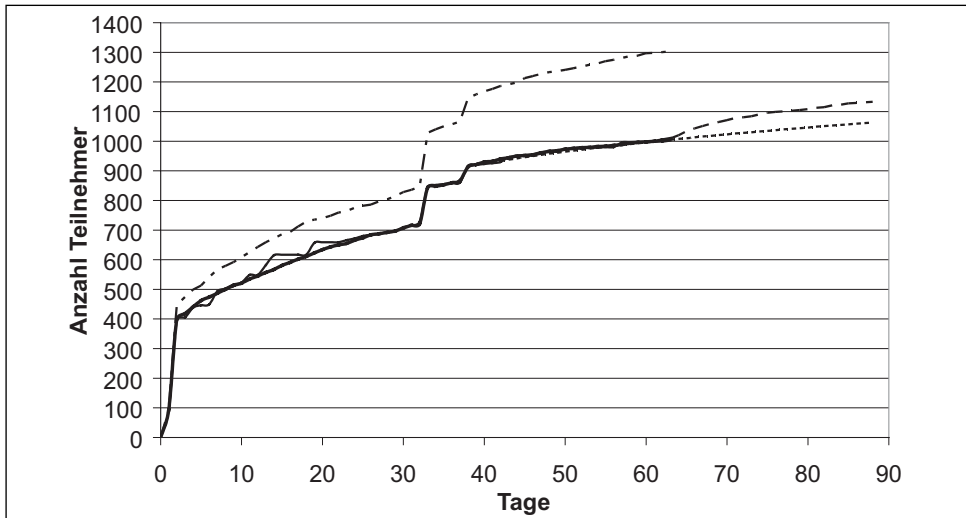


Abbildung 2: Resultate der Computersimulation. Anzahl Teilnehmer an der kollektiven Aktion pro Simulationsschritt (Tag). Die dünne durchgezogene Linie zeigt die empirischen Daten, die dicke die Replikation mit dem Simulationsmodell. Die punktierte Linie extrapoliert den Verlauf der empirischen Daten mit einer logistischen Funktion und die gestrichelte Linie simuliert weitere 25 Tage. Die strichpunktlinie gibt das Was-wäre-wenn-Szenario wieder, dass Teilnehmern eine Belohnung für die Teilnahme gegeben wird

eine kleine Belohnung für ihre Teilnahme offeriert worden wäre.

Simulationsuntersuchungen führen meist zu einem Berg von Daten, der sich nur schwer überschauen lässt. Umso wichtiger ist es, dass die Forscher die produzierten Daten selbst interpretieren und Folgerungen für die Grundlagenforschung und Praxis ableiten. Dabei sind in der Regel nicht nur die Resultate der Experimente von Interesse, sondern der ganze Prozess der Modellentwicklung liefert entscheidende Erkenntnisse: Aufgrund der Formalisierung der Theorien werden Ungereimtheiten, Redundanzen und Lücken in der Forschung sichtbar. Die Simulationsexperimente ermöglichen es, zwischen vorhandenen Befunden zu interpolieren und über sie hinaus zu extrapolieren (Stasser 1990, S. 133). Dies führt zu neuen Arbeitshypothesen für empirische Untersuchungen. Weiter können

Entwicklungen untersucht, Alternativen miteinander verglichen und Änderungsmöglichkeiten ausgelotet werden. Letzteres ist besonders wichtig, denn es genügt nicht, Probleme aufzudecken und wünschenswerte Alternativen aufzuzeigen, vielmehr ist oft der Veränderungsprozess an sich die eigentliche Schwierigkeit. Auf diese Aspekte der Anwendung von Simulationsmodellen in der umweltpsychologischen Praxis soll nun näher eingegangen werden.

3 Anwendung von Simulationsmodellen zur Lösung praktischer umweltpsychologischer Aufgaben

In diesem Kapitel skizzieren wir einen Vorschlag, wie mit Hilfe von Computermodellen sozialwissenschaftliche Erkenntnisse in den Prozess der Verbesserung sozialer Entwicklungen eingebracht werden können.

Die Vorgehensweise und deren Hintergründe sind in Tobias (2000) umfassend dargestellt. Bisher wurde zwar noch kein Projekt vollständig in der beschriebenen Form durchgeführt, einzelne Schritte und Aspekte wurden aber schon in vielen Projekten zur Verhaltensänderung eingesetzt (s. Mosler, 2002) und Projekte, in denen das Vorgehen vollständig realisiert wird, stehen vor der Ausführung (siehe EAWAG, 2007).

Die Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse zur Beeinflussung sozialer Prozesse weist eine Reihe schwerwiegender Probleme auf:

- Soziale Systeme sind nur beschränkt bekannt und beschränkt kontrollierbar.
- Eingriffe in die Realität bedeuten stets eine Auseinandersetzung mit der gesamten Komplexität des Zielsystems. Phänomene können nicht isoliert betrachtet werden.
- Eingriffe in die Realität setzen Entscheidungen voraus, die nicht wissenschaftlich abgeleitet sind, sondern unter Übernahme von Verantwortung getroffen werden müssen.

Es soll hier eine allgemeine Vorgehensweise der Planung und Realisierung von Kampagnen skizziert werden, mit der die genannten Probleme bewältigt werden können. Das Vorgehen ist zwar nicht wissenschaftlich, da eine wissenschaftliche Planung von Interventionen aufgrund der genannten Problematik nicht möglich ist, doch erlaubt dieses Vorgehen, wissenschaftliche Erkenntnisse unter den schwierigen Bedingungen der Praxis zu nutzen. Auf die einzelnen Schritte soll nun näher eingegangen werden.

1.) *Partizipative Ausarbeitung eines Entwurfs der Intervention.* Ausgangspunkt jeder Intervention ist eine Zielvorstellung über einen neu-

en Zustand in einem Sozialsystem. Die Zielvorstellung muss in einen physisch realisierbaren Entwurf umgesetzt werden, in dem festgelegt wird, was genau gewünscht, aber auch, was vermieden werden soll. Die Entwurfsphase kann folgende Schritte enthalten:

1. Vorabklärung von Problemen, Zielen, Möglichkeiten, Randbedingungen, etc. mit Vertretern der Bevölkerung, Entscheidungsträgern und Experten (s. Matthies, 2000).
2. Erste breite Befragung der Bevölkerung und Erhebung aktueller Verhaltensweisen im Sinne einer ‚User Needs Analysis‘ (z.B. Linneweber, 1993, S. 76-79).
3. Analyse der beschafften Daten u. a. mittels ersten Simulationsuntersuchungen inkl. Abschätzen und Bewerten möglicher Konsequenzen und der Konsensfähigkeit (vgl. Mosler, Tamas, Tobias, Caballero Rodríguez, & Guzmán Miranda, im Druck).
4. Partizipatives Ausarbeiten des Entwurfs (also der eigentlichen Aufgabenstellung an die Planer) und Austragen von Interessenkonflikten (vgl. de Haan, Kuckartz & Rheingans-Heintze, 2000).
5. Dokumentation und Publikation des Entwurfs sowie Vorbereitung der nächsten Phasen (vgl. Kap. 3 in Bortz & Döring, 1995)

2.) *Design, Modellierung und Durchführung der Computersimulation.* Mit dem Abschluss der Entwurfsphase sollte nun feststehen, was erreicht und was verhindert werden soll. Die Datengrundlage für die Modellierung sollte bereitstehen. Bevor jedoch ein Modell konstruiert und gerechnet werden kann, muss der Planer einige Design-Entscheidungen treffen, bei denen er sich allein auf Erfahrung und Intuition stützen kann:

- Welche Maßnahmen sollen überhaupt untersucht werden? Entscheidend ist hier, verschiedene Alternativen in Betracht zu ziehen und Maßnahmen zu verwenden, deren Scheitern sich frühzeitig und leicht erkennen lässt und welche für sich allein noch nicht die ganze Kampagne in Gefahr bringen.
- In welcher Weise können die Maßnahmen und Interventionen scheitern? Während sich die Auswahl der untersuchten Maßnahmen an den Zielzuständen orientiert, wird im Rahmen der Simulationsuntersuchungen auf das Vermeiden des Scheiterns von Maßnahmen hingearbeitet. Entsprechend muss festgelegt werden, welche Formen des Scheiterns zu untersuchen und damit zu verhindern sind.
- Welche Aspekte lassen sich sinnvoll algorithmisieren und welche werden nicht in das Computermodell aufgenommen? Ein anwendungsorientiertes Modell enthält nicht alle wesentlichen Aspekte, sondern nur diejenigen, die sich sinnvoll und effizient algorithmisieren lassen. Im Rahmen der Planung von Interventionen müssen Modelle nicht die ‚Realität wiedergeben‘, sondern den Planungsprozess dahingehend leiten, dass mit geringem Aufwand konsequent durchdachte, ausgewogene und verhältnismäßige Interventionen ausgearbeitet werden, die aufgrund bisheriger Erfahrungen erfolgreich und ökonomisch sein sollten.

Ist schließlich das Simulationsmodell einsatzbereit und dokumentiert, so kann die eigentliche Berechnung beginnen. Dabei wird eine große Zahl von Berechnungen in einem iterativen Prozess durchgeführt, die dem Planer insbesondere dazu dienen, ein mentales Modell vom zu intervenierenden System und den Interventionen zu entwi-

ckeln (siehe z. B. Mayntz, 1967, S. 25). Ausgehend von unerwünschten Zuständen wird untersucht, wie Entwicklungen hin zum Scheitern einer Intervention erkannt werden können und welche Maßnahmen zu treffen sind, um das zu verhindern.

3.) *Ausarbeitung eines Interventionsplans.* Der Interventionsplan gibt an, welche Maßnahmen wann bzw. unter welchen Umständen zu treffen sind und damit auch, was für die Intervention vorzubereiten ist. Der Plan ist aber nicht ein ‚Programm‘, das stur abzuarbeiten ist, sondern er muss von den ausführenden Personen wiederum interpretiert werden. Dies wird durch Erläuterungen von Seiten des Planers unterstützt, wodurch die Realisierung schnell und flexibel unter Berücksichtigung der Eigenheiten der Situation erfolgen kann. Die zentrale Schwierigkeit bei der Entwicklung des Interventionsplans besteht darin, die Simulationsresultate unter Berücksichtigung der nicht im algorithmisierten Teil des Modells enthaltenen Aspekte zu interpretieren bzw. zu konkretisieren. Die Rechenresultate dürfen nie direkt in den Plan übernommen werden. Sie zeigen aber, worauf das System sehr empfindlich reagiert und worauf sehr schwach, was eher zu einer sichereren und was eher zu einer riskanteren Intervention führt bzw. wie breit die Schere zwischen zwei unerwünschten Zuständen ist. Des Weiteren zeigen die Ergebnisse den zeitlichen und räumlichen Verlauf bestimmter Prozesse und wie diese in Erscheinung treten, das Spektrum der Ausprägungen verschiedener Konstrukte und anderes. Überlegungen dazu, wie aus Simulationsuntersuchungen Empfehlungen für die Realisierung von Kampagnen abgeleitet werden können, finden sich z.B. in Mosler & Tobias (2000).

4.) *Realisierung der Intervention.* Aufgrund des Plans wird die Intervention vorbereitet. Dabei werden in der Regel verschiedene Maß-

nahmen vorbereitet, um die Intervention an Reaktionen des Systems anpassen zu können. Wesentlich ist, dass ein Monitoringsystem (vgl. Scollon, Kim-Prieto & Diener, 2003) eingerichtet wird, das den Planer über den Verlauf der Intervention informiert. Hierbei werden in engen Zeitabständen Daten bei einer kleinen Auswahl von Personen erhoben. Da Kampagnen meist über Monate oder gar Jahre laufen, können die mittels Monitoring gesammelten Daten in den Planungsprozess zurückfließen. In der Tat stellen die aktuellen Erfahrungen mit dem Zielsystem die wichtigsten Informationen zur Planung der nächsten Maßnahmen in einer Kampagne dar. Viele Unsicherheiten können so schon nach kurzer Zeit ausgeräumt, die Modelle und Parameter besser eingestellt und interpretiert, sowie besser geeignete Maßnahmen eingesetzt werden. Dieses adaptive Vorgehen ermöglicht die Bewältigung des Problems, dass Sozialsysteme stets nur eingeschränkt bekannt und kontrollierbar sind.

Wird die Intervention beendet, sollte nochmals eine repräsentative Befragung durchgeführt werden, um die Wirkung der Intervention und der verschiedenen getroffenen Maßnahmen zu evaluieren. Neben einer erneuten Erhebung von Modellkonstrukten geht es nun um die Fragen,

Was ist bei der Interventionsplanung mit Hilfe von Computersimulationen zu beachten?

was erreicht wurde, was davon wünschenswert ist, bzw. was nicht und wie das vor der Intervention Gewünschte und Unerwünschte nun beurteilt wird (nun im Sinne einer ‚Post Occupancy Evaluation‘ gemäß Linneweber, 1993, S. 76-79). Weiter muss der gesamte Planungs- und Umsetzungsprozess dokumentiert werden, insbesondere wie es zu den entsprechenden Entscheidungen kam und welche Effekte die getroffe-

nen Maßnahmen hatten. Dabei sollten unbedingt auch unerwünschte Wirkungen in die Dokumentation aufgenommen werden, da sie die wertvollsten Informationen für zukünftige Interventionen enthalten. Auch hier bietet der Einsatz von Computermodellen einen großen Vorteil, da sie die wichtigsten postulierten Prozesse explizit festhalten und diese sogar in zukünftigen Projekten wieder verwendet oder aber von anderen Personen kritisiert und überarbeitet werden können. Sie sind der Kern einer gewissen Standardisierung, mit der Erfahrungen sowohl hinsichtlich des Planungsprozesses wie auch hinsichtlich der sozialen Systeme, die verändert werden, kumuliert werden können. Schließlich soll noch darauf hingewiesen werden, dass Verhaltensänderungen nur mit einem bestimmten Aufwand erhalten werden können. Mit dem Abschluss einer Intervention sollte deshalb auch ausgearbeitet werden, wann und mit welchen Maßnahmen die Verhaltensänderung aufrechterhalten werden soll. Diese Untersuchungen laufen ebenso ab, wie für die Verhaltensänderung beschrieben, wobei meist auch die gleichen Modelle verwendet werden können. Wesentlich ist aber, die entsprechenden Ressourcen für spätere Interventionen vorzusehen.

4 Fazit

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass es sich bei der Computersimulation um eine noch junge Methode handelt, die jedoch gerade für die Umweltpsychologie ein enormes Potential aufweist. Die Formalisierung von Theorien und Hypothesen führt zu expliziten, vollständigen und widerspruchsfreien Modellen, deren Konsequenzen sich fehlerfrei ableiten lassen. Sie vereinfachen die Kommunikation, Zusammenarbeit und Akkumulation von Erfahrung und eignen sich deswegen unseres Erach-

tens besonders gut für partizipative Ansätze. Verschiedene Theorien und Befunde können integriert und dynamisch untersucht werden. Da auch sehr komplexe Systeme relativ leicht modelliert werden können, wird es möglich, die Modelle mit empirischen Daten in Beziehung zu setzen und reale Probleme der Praxis zu untersuchen. Schließlich erlauben Simulationsmodelle schnelle Ableitungen und können flexibel an neue Situationen angepasst werden. Das erlaubt, initiierte Entwicklungen während laufende Interventionen zu untersuchen und allenfalls noch korrigierend einzugreifen.

Demgegenüber steht als Nachteil der Simulationsmethode der große Bedarf an Ressourcen. Die im 2. Kapitel dargestellte Entwicklung und Untersuchung eines von Grund auf neuen Simulationsmodells beansprucht ca. drei Personenjahre. Die Beschaffung empirischer Daten zur Untersuchung des Modells ist hierbei noch nicht berücksichtigt. Idealerweise wird hierfür psychologische und informatorische Expertise kombiniert. Der Zeitbedarf wird dadurch zwar meist nur wenig reduziert, das entstehende Computermodell und die Qualität der Analysen jedoch beträchtlich verbessert. Simulationsmodelle sollten als längerfristige Investitionen verstanden werden. Bestehende Simulationsmodelle weiterzuentwickeln ist relativ einfach und das Verhältnis von Aufwand zu neuen Resultaten sehr günstig. Es besteht aber leider die Tendenz, in jedem Projekt ein völlig neues Simulationsmodell zu entwickeln und dieses nach Abschluss des Projekts nicht weiter zu nutzen.

Noch existieren erst relativ wenige Beispiele umweltpsychologischer Simulationen und die Methode kann in der umweltpsychologischen Forschung noch nicht als etabliert bezeichnet werden. Insbesondere feh-

len anerkannte Standards, wie Simulationsuntersuchungen durchzuführen sind und deren Publikation in Fachzeitschriften ist schwierig, da solche Untersuchungen schlecht ins Format traditioneller experimenteller Studien passen. Damit die Methode vermehrt zum Einsatz kommt und sich entsprechende Standards entwickeln können, muss sich auch die Denkweise von Umweltpsychologen ändern. Phänomene müssen als dynamische Systeme nichtlinearer Wechselwirkungen betrachtet werden und nicht nur als paarweise kovariierende Konstrukte. Statt Theorien immer weiter auszudifferenzieren sollte vielmehr versucht werden, die schon vorhandene Wissensbasis zu integrieren und so für die Anwendung fruchtbar zu machen. Die Simulationsmethode stellt hierbei keine Konkurrenz zu traditionellen Forschungsmethoden dar, sondern eine wertvolle Ergänzung, welche den Eigenheiten der Umweltpsychologie – die Auseinandersetzung mit komplexen, aus vielen Teilsystemen aufgebauten Systemen, die Interdisziplinarität und Anwendungsorientierung, die Bedeutung dynamischer und räumlicher Aspekte – in geradezu idealer Weise gerecht wird. Entsprechend bleibt zu hoffen, dass in Zukunft mehr umweltpsychologische Forschung mit dieser mächtigen Methode betrieben wird.

Die Entwicklung von Computersimulationen im Bereich der Umweltpsychologie ist aufwändig, aber lohnend

Kontakt

Dr. Robert Tobias
 Eawag
 Das Wasserforschungsinstitut des
 ETH-Bereichs
 Überlandstraße 133
 CH-8600 Dübendorf
 robert.tobias@eawag.ch

Literatur

- Ajzen, I. & Madden, T. J. (1986). Prediction of goal-directed behavior: Attitudes, intentions, and perceived behavioral control. *Journal of Experimental Social Psychology*, 22, 453-474.
- Antona, M., Bommel, P., Bousquet, F. & Le Page, C. (2002). Interactions and organization in ecosystem management: the use of multi-agent systems to simulate incentive environmental policies. In C. Urban (Ed.), *3rd Workshop on Agent Based Simulation* (pp. 85-92). Erlangen: SCS-European Publishing House.
- Bergius, R. & Engemann, A. (1985) Umsetzung von energiewirtschaftlichen Anforderungen in ein Modell zur Simulation der Wahl von Heizsystemen. In P. Day, U. Fuhrer, & U. Lauken (Hrsg.), *Umwelt und Handeln* (S.86-104). Tübingen: Attempto.
- Bortz, J. & Döring, N. (1995). *Forschungsmethoden und Evaluation*. Heidelberg: Springer.
- Bossel, H. (1994). *Modellbildung und Simulation. Konzepte, Verfahren und Modelle zum Verhalten dynamischer Systeme. Ein Lehr- und Arbeitsbuch* (2. Aufl.). Braunschweig: Vieweg.
- Brucks, W. & Mosler, H.-J. (2002). Applying Agents with Basic Needs and Social Psychological Characteristics for the Design of Shared Solar Power Plants. In: C. Urban (Ed.), *3rd Workshop on Agent Based Simulation* (pp. 99-104). Erlangen: SCS-European Publishing House.
- Brun, R., Reichert, P. & Künsch, H. R. (2001). Practical identifiability analysis of large environmental simulation models. *Water Resources Research*, 37, 1015-1030.
- Burt, R. S. (1983). Studying status/role sets using mass surveys. In R. S. Burt & M. J. Minor (Eds.), *Applied network analysis* (p. 100-118). Beverly Hills: Sage.
- De Haan, G., Kuckartz, U. & Rheingans-Heintze, A. (2000). *Bürgerbeteiligung in Lokale Agenda 21-Initiativen*. Opladen: Leske+Budrich.
- Doran, J. (2001). Intervening to Achieve Co-operative Ecosystem Management: Towards an Agent Based Model. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 4 (2), <<http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/4/2/4.html>>
- EAWAG (2007). Department of System Analysis, Integrated Assessment and Modeling (SIAM) Group 'Modeling Social Systems'. <http://www.eawag.ch/research/siam/sozialesysteme/group_websites/introduction/introduction.xml>
- Ernst, A.M. (1994). *Soziales Wissen als Grundlage des Handelns in Konfliktsituationen*. Frankfurt a.M.: Peter Lang.
- Festinger, L. (1954). A theory of social comparison processes. *Human Relations*, 7, 117-140
- Gerndt, H. (1978). *Methodologische Untersuchung der Simulationsmethode. Ein Ansatz für eine umfassende Definition*. Dissertation, Technische Universität Berlin, Fachbereich 20 (Informatik).
- Gilbert, N. & Troitzsch, K. G. (1999). *Simulation for the Social Scientist*. Buckingham: Open University Press.
- Guyon, I & Elisseff, A. (2003). An Introduction to Variable and Feature Selection. *Journal of Machine Learning Research*, 3, 1157-1182.
- Harbordt, S. (1974). *Computersimulation in den Sozialwissenschaften*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- Hare, M., Medugno, D., Heeb J. & Pahl-Wostl, C. (2002). An applied methodology for participatory model building of agent-based models for urban water management. In C. Urban (Ed.), *3rd Workshop on Agent Based Simulation* (pp. 61-66). Erlangen: SCS-European Publishing House.
- Jacobsen, C. & Bronson, R. (1997). Computer simulated empirical test of social theory: Lessons from 15 years' experience. In R. Conte, R. Hegselmann & P. Terna (Eds.), *Simulating Social Phenomena, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems* (Vol. 456, pp. 97-102). Berlin: Springer.
- Jäger, W. (2000). *Modeling consumer behaviour*. Groningen: Universal Press.
- Janssen, M. A., & Ostrom, E. (2006). Empirically based, agent-based models. *Ecology and Society*, 11 (2, 37).
- Krywkow, J., Valkering, P., van der Veen, A. & Rotmans, J. (2002). Coupling an agent-based model with an integrated assessment model to investigate social aspects of water management. In C. Urban (Ed.), *3rd Workshop on Agent Based Simulation* (pp. 79-84). Erlangen: SCS-European Publishing House.
- Latané, B. (1981). The psychology of social impact. *American Psychologist*, 36, 343-356.
- Linneweber, V. (1993). Wer sind die Experten. „User needs analysis“ (UNA), „post occupancy evaluation“ (POE) und Städtebau aus sozial- und umweltsychologischer Perspektive. In H. J. Harloff (Hrsg.), *Psychologie des Wohnungs- und Siedlungsbaus. Psychologie im Dienste von Architektur und Stadtplanung* (S. 77-85). Göttingen: Verlag für angewandte Psychologie, Hogrefe.

- Marwell, G. & Oliver, P. (1993). *The Critical Mass in Collective Action*. Cambridge: Press Syndicate of the University of Cambridge.
- Matthies, M. (2000). Partizipative Interventionsplanung. - Überlegungen zu einer Weiterentwicklung der Psychologie im Umweltschutz. *Umweltpsychologie*, 4 (2), 84-99.
- Mayntz, R. (1967). Modellkonstruktion: Ansatz, Typen und Zweck. In R. Mayntz (Hrsg.), *Formalisierte Modelle in der Soziologie* (S. 11-31). Neuwied am Rhein: Hermann Luchterhand.
- Meadows, D. H. & Robinson, J. M. (1985). *The Electronic Oracle. Computer Models and Social Decisions*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Mosler, H.-J. (2000). *Computersimulation sozialpsychologischer Theorien. Studien zur Veränderung von Umwelteinstellung und Umweltverhalten*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Mosler, H.-J. (2002). Agent-based simulation of an environmental action campaign: Changing people's behaviour via their inner contradictions. In A. E. Rizzoli & A. J. Jake-man (Eds.), *Integrated assessment and decision support. Proceedings of the 1st biennial meeting of the International Environmental Modeling and Software Society* (Vol 2, pp. 202-207). Como: iEMSS.
- Mosler, H.-J. & Brucks, W. (2003). Integrating resource dilemma findings in a simulation model. *European Journal of Social Psychology*, 33, 119-1133.
- Mosler, H.-J., Tamas, A., Tobias, R. Caballero Rodríguez, T., & Guzmán Miranda, O. (im Druck). Deriving interventions on the basis of factors influencing behavioral intentions for waste recycling, composting and reuse in Cuba. *Environment & Behavior*.
- Mosler, H.-J. & Tobias, R. (2000). Die Organisation kollektiver Aktionen durch Beeinflussung der individuellen Teilnahmeentscheidung. Eine Simulationsstudie. *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie*, 52, 264-290.
- Mosler, H.-J. & Tobias, R. (im Druck). Simulation und Modellierung. In E. D. Lantermann & V. Linneweber (Hrsg.). *Enzyklopädie der Umweltpsychologie Band 1: Grundlagen, Paradigmen und Methoden der Umweltpsychologie*. Göttingen: Hogrefe.
- Mosler, H.-J., Gutscher, H. & Artho, J. (2001). Wie können viele Personen für eine kommunale Umweltaktion gewonnen werden? *Umweltpsychologie*, 5 (2), 122-140.
- Mosler, H.-J., K. Schwarz, F. Ammann & Gutscher, H. (2001). „Computer simulation as a method of further developing a theory: Simulating the Elaboration Likelihood Model (ELM)“. *Personality and Social Psychology Review*, 5, 201-215.
- Nerb, J. (2000). *Die Bewertung von Umweltschäden: Kognitive und emotionale Folgen von Medienmeldungen*. Bern: Huber.
- Oberschall, A. R. (1994). Rational choice in collective action. *Rationality and Society*, 6, 79-100.
- Olson, M. (1965). *The logic of collective action*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Papageorgiou, M. (2000). *Optimierung. Statische, dynamische, stochastische Verfahren für die Anwendung*. 2. Auflage. Berlin: Springer.
- Petty, R. E., & Cacioppo, J. T. (1986). The Elaboration Likelihood Model of persuasion. In L. Berkowitz (Ed.), *Advances in Experimental Social Psychology* (Vol. 19, pp. 123-205). New York: Academic Press.
- Saltelli, A., Chan, K. & Scott, E. M. (2000). *Sensitivity Analysis*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Schmid, B. (2001). What are Agents and what are they for? In N. J. Saam & B. Schmidt (Eds.), *Cooperative Agents* (pp. 5-20). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Scollon, C. N. Kim-Prieto, C. & Diener, E. (2003). Experience Sampling: Promises and Pitfalls, Strengths and Weaknesses. *Journal of Happiness Studies*, 4, 5-34.
- Stasser, G. (1990). Computer simulation of social interaction. In C. Hendrick & M. S. Clark (Eds.), *Research methods in personality and social psychology* (pp. 120-141). London: Sage.
- Tobias, R. & Hofmann, C. (2004). Evaluation of free Java-libraries for social-scientific agent based simulation. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 7, 1. <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/7/1/6.html>
- Tobias, R. & Mosler, H.-J. (im Druck). Exploring the effects of campaigning strategies for the organization of collective action using empirical data. In Edmonds, B., Hernández, C. & K., Troitzsch (eds.), *Social Simulation Technologies: Advances and New Discoveries*. New York: Idea Group Publishing.
- Tobias, R. (2000). *Wissenschaftsbasierte anwendungsorientierte Planung von Interventionen in Sozialsysteme*. Eine theoretische Studie. Nichtveröffentlichte Literaturarbeit. Psychologisches Institut der Universität Zürich.
- Tucker, P. & Smith, D. (1999). Simulating household waste management behaviour. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2, <<http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/1/3/3.html>>