

# Toy Modeling: Warum gibt es (immer noch) sehr einfache Modelle in den empirischen Wissenschaften?

Niels Gottschalk-Mazouz

Zusammenfassung: Fortgeschrittene Computertechnologie ermöglicht es in der Wissenschaft, äußerst komplexe Modelle zu formulieren und zu lösen. Dennoch werden vielfach, vor allem in den Sozialwissenschaften, auch in Computersimulationen weiterhin sehr einfach gehaltene „toy models“ eingesetzt. Diese können schwerlich als Modellierungen von Realitätsausschnitten verstanden werden, so dass ihr Erkenntniswert aus wissenschaftstheoretischer Sicht zweifelhaft erscheinen muss. Der wissenschaftliche Wert solcher Modelle erschließt sich erst dann, wenn ein abbildendes Modellverständnis aufgegeben wird. Zwei Vorschläge für alternative Modellverständnisse werden entwickelt, ein epistemisches und ein realistisches.

Summary: Advanced computing technology allows for the processing of very complex scientific models. However, very simple „toy models“ are frequently being used in the social sciences and elsewhere. Such a model cannot be regarded as a model of a (real) target system, such that its epistemic value seems doubtful. The scientific value of toy modeling becomes visible only if one drops this understanding of models as depicting reality. Two suggestions for a more adequate understanding of toy modeling are proposed, an epistemic and a realistic one.

Genauigkeit ist nicht Wahrheit (Henri Matisse)

Das Bild, das die traditionelle Philosophie gefangenhält,  
ist das Bild vom Bewusstsein als einem großen Spiegel (Richard Rorty)

## 1. Einführung

In den Natur- und Sozialwissenschaften wird häufig mit Modellen gearbeitet. Diese Modelle sind mathematische Modelle, im Kern eine Reihe von Gleichungen oder Regeln, die - typischerweise auf einem Computer - für bestimmte Anfangs- und Randwerte, bestimmte Parameter, gelöst werden und deren Ergebnisse dann, teils grafisch, veranschaulicht werden.

Nun hat sich die Computerleistung mit der Zeit vervielfacht, und auch das Wissen über die zu modellierenden Domänen ist gewachsen. Dennoch werden vielfach, vor allem in den Sozialwissenschaften, auch in Computersimulationen weiterhin sehr simpel gehaltene Modelle eingesetzt. Ein „toy model“ ist ein solches Modell, und zwar ein - verglichen mit dem, wovon es ein Modell ist - sehr einfaches, manchmal geradezu lächerlich einfaches Modell. So einfach, dass man es als ein „toy“ ansehen könnte, als ein Spielzeug, als etwas, mit dem man vielleicht mal etwas herumspielen kann, aber das als Modell nicht ernstzunehmen ist, kein realistisches Modell, kein „realistic model“. Warum geschieht das, und wie ist dieses Geschehen einzuschätzen?

## 2. Motivation

Das, was ich in der Einleitung „realistische Modellierung“ genannt habe, glaube ich aus eigener Anschauung zu kennen, einerseits aus meiner früheren Arbeit als Physiker und andererseits aus den Arbeiten der natur- und ingenieurwissenschaftlichen Kollegen im Stuttgarter Exzellenzcluster „Simulation Technology“. Als Physiker war ich an einem Institut, in dem sowohl Experimente gemacht wurden als auch Theorie. Ich habe dort auch Modelle „gebaut“, d.h. Gleichungen aufgestellt und diese mit Methoden der nichtlinearen Dynamik analysiert und, für bestimmte Parameter, auf einem Computer gelöst (Gottschalk 1994). Es war klar, worauf sich diese Modelle beziehen. Das waren in meinem Fall Katalysatoren, aus Platin, die in eine Richtung ihres Kristallgitters glatt geschliffen waren und auf denen sich nun Sauerstoff und Kohlenmonoxid absetzen konnte, um zu Kohlendioxid zu reagieren und die Oberfläche wieder zu verlassen. Das Ganze lief in Vakuumkammern ab, mit kontrollierten Zu- und Abflüssen, und galt als Grundlagenforschung für kommerziell nutzbare Katalysatoren. Wichtig sind mir nun drei Dinge:

1. Wir hatten Experimente, Vakuumkammern, in denen unter genau definierten Bedingungen (Drücken, Temperaturen) diese Katalyse durchgeführt werden konnte und bei der man zusätzlich nicht nur die Stoffströme, d.h. den Input und Output, messen sondern auch die Bedeckungen der Katalysatoroberfläche abbilden konnte (mit einem Photoelektronenmikroskop). D.h. man konnte sehen, wo die Oberfläche überwiegend Sauerstoff- und wo überwiegend Kohlenmonoxid-bedeckt war und wie sich z.B. dazwischen dann Reaktionsfronten bewegt haben, sich Muster bildeten (Zielscheiben, Spiralen usw.).

2. Wir hatten eine Theorie: Die Gleichungen in unseren Modellen bildeten bekannte physikalische und chemische Gesetze ab, für die Experten: in Form von partiellen Differentialgleichungen mit druck- und temperaturabhängigen Reaktions- und Diffusionstermen. Diese Gleichungen lassen sich nicht mehr symbolisch lösen, also zu einem Lösungsausdruck umformen, sondern nur noch auf einem Computer näherungsweise berechnen.

3. Wir konnten Modellrechnungen und Messergebnisse miteinander vergleichen („gemessene Daten dort und errechnete Daten hier“). Wir konnten die Parameter unserer Modellrechnungen auf die experimentellen Parameter beziehen. In unserem theoretischen Modell konnten wir die experimentell beobachteten Muster so reproduzieren, und auch Prognosen treffen oder - auf den ersten Blick merkwürdig erscheinende - Phänomene erklären (z.B. dass in einem Experiment diese Muster plötzlich nicht mehr nur oval, sondern auch rechteckig waren).

Damals, Mitte der neunziger Jahre war das, gab es auch schon Modelle sozialer Phänomene, z.B. zur demokratischen Meinungsbildung. Die meisten Naturwissenschaftler haben diese Modelle belächelt, denn dazu gab es keine Experimente, man konnte auch keine Parameter messen oder zuordnen, und es gab auch keine theoretischen Gesetze, die man dem Modell zugrundelegen könnte. Inzwischen habe ich gelernt, dass der wissenschaftliche Stil vor allem in der Ökonomik ein anderer ist als in den Natur- und Ingenieurwissenschaften. So werden in überraschend vielen derjenigen Arbeiten, die formale Modelle aufstellen, empirische Daten nicht einmal erwähnt (vgl. Grüne-Yanoff 2009 m.w.N.). Wenn sich auf Daten bezogen wird, dann nicht so, wie typischerweise in den Natur- und Ingenieurwissenschaften (oder so, wie ich es dort als typisch erlebt habe). Es wird dann nämlich typischerweise nur am Anfang oder am Ende einer Publikation auf empirische Daten oder Phänomene sich bezogen. Diese Daten oder Phänomene scheinen den Autoren bestimmte generelle Fakten oder Zusammenhänge zum Ausdruck zu bringen, die sie auch in ihren Modellen sichtbar machen. Obwohl es sich also um quantitative Modelle handelt, werden die Modelldaten nicht zu empirischen Daten in Beziehung gesetzt, weder retrospektiv noch prognostizierend. Ja, das wird nicht einmal versucht. Und dennoch

gelten diese Publikationen als völlig seriös, sind einige dieser Publikationen zu regelrechten Klassikern geworden und haben ihren Autoren höchste akademische Ehren gebracht.

Ein Beispiel: Stellen Sie sich eine Reihe von weißen und schwarzen Steinen vor, in zufälliger Reihenfolge. Diese Steine werden nun bewegt, und zwar so: Wenn ein Stein in seiner Umgebung (von ein paar Steinen, die Zahl ist nicht wichtig) nicht mindestens 50% Steine seiner eigenen Farbe liegen hat, wird er bewegt. Und zwar zum am nächsten gelegenen Platz (in der Reihe), wo dieses Kriterium erfüllt ist. Nacheinander geht man die Steine durch und wendet diese Regel je einmal an, beginnt dann wieder von vorn mit einem weiteren Durchgang, so lange, bis keine Steine mehr bewegt werden müssen.

Wofür soll das ein Modell sein? Vielleicht wird das in zwei Dimensionen klarer! Stellen Sie sich ein Rechteck vor, geteilt in 13 Mal 16 Felder. Ähnlich wie ein Schachbrett, aber mit anderen Abmessungen und mit einfarbigen Feldern. Schwarze und weiße Steine werden zufällig darauf verteilt, pro Feld höchstens ein Stein, manche Felder bleiben auch leer. Und es gibt wieder eine Bewegungsregel: Wenn ein Stein mindestens  $x\%$  seiner Nachbarn in seiner Farbe hat, geschieht nichts. Wenn es weniger als  $x\%$  sind, dann bewege den Stein auf den nächstgelegenen freien Platz, für den es mindestens  $x\%$  sind.

Also, wofür soll das ein Modell sein? Die Antwort ist in beiden Fällen (vgl. Schelling 1969 bzw. 1971): Für den Wohnortwechsel von schwarzen und weißen Familien in US-amerikanischen Städten, für Segregation nach Hautfarbe.

So einfach sehen die Modelle aus, die ich „toy models“ nennen möchte (vgl. Sugden 2000 und 2009 für weitere Beispiele aus den Sozialwissenschaften bzw. auch der Biologie). Wenn man nun nicht davon ausgehen will, dass hier ganze akademische Disziplinen schief liegen, muss man sich überlegen, wie diese Modelle funktionieren. Denn so, wie es realistische Modelle tun, offenbar nicht. Was leisten diese Modelle, was sollen sie überhaupt leisten? Unter welchen Umständen kann man sagen, dass das (noch) gute empirische Wissenschaft ist, was da vor sich geht?

### 3. Empirischer Bezug beim toy modeling: Literaturpositionen und ein Beispiel...

Die Literatur scheint mir angesichts dessen, was ich hier „toy modeling“ genannt habe, einigermaßen ratlos. Vor allem kann sie nicht erklären, worin der empirische Bezug dieser Modelle genau liegt. Die dort vorfindlichen Positionen möchte ich in vier Gruppen einteilen:

Formalistische Positionen verstehen diese Modelle als bloße „tools for conceptual exploration“ (Hausman 1992: 221), von einem Realitätsbezug der Modelle wird dabei gänzlich abgesehen.

Deflationäre Positionen sprechen toy modeling einen schwachen Realitätsbezug zu, ähnlich wie einer Idealisierung, Metapher oder Karikatur (vgl. McCloskey 1983: 502–507, bzw. Gibbard und Varian 1978). Mich können diese nicht überzeugen, denn weder werden in toy models bestimmte Eigenschaften der Realität gesteigert, wie bei Karikatur und Idealisierung, noch nur auf bestimmte Eigenschaften hingewiesen, wie bei Metapher und Idealisierung.

Eine ausführliche Kritik an diesen ersten beiden Positionengruppen findet sich bei dem Ökonomen und Wissenschaftstheoretiker Robert Sugden (2000 und 2009). Seinen eigenen Vorschlag, toy models als „credible worlds“ zu verstehen, möchte ich als eine von mehreren possibilistischen Positionen bezeichnen. Diese nun lässt außer acht, dass die Modellwelten

gerade nicht credible im Sinne dessen sind, dass die reale Welt ganz gut „so sein könnte“ wie die Modellwelt und vermutlich auch so ist – denn bei vielen toy models wissen wir genau, dass sie nicht so ist (so beim Segregationsmodell, dazu gleich noch ausführlicher). Sie als „incredible counterfactual worlds“ (Kourikoski und Lethinen 2009) bzw. Gedankenexperimente verstehen zu wollen, lässt den Realitätsbezug jedoch wieder offen (und damit den Erkenntniswert bezüglich realer Phänomene), wie bereits die formalistischen Positionen. Man könnte diese zu einem kontrastierenden Verständnis der realen Welt einsetzen (etwa zeigen, dass Alternativen evolutionär nachteilig wären), doch dann müsste man wissen, inwieweit die reale Welt der Modellwelt analog ist und inwieweit sie davon abweicht, und was genau das für die fraglichen Phänomene zur Folge hat. Dann könnte man wohl auch behaupten, man erkunde mit solchen Modellen modale Eigenschaften der Realität.

Präliminaristische Positionen schließlich betonen eine Vorläufigkeit von toy models, welche als „offene Formeln“ oder als „partielle Erklärungen“ liefernd aufgefasst werden. Offene Formeln („open formula“ , Alexandrova 2008) sind etwas, das es im Zuge einer Erfassung realistischer Entitäten geeignet anzureichern gelte. Partielle Erklärungen liefernd (Aydinonat 2007) meint, dass nicht Wirklichkeiten, sondern - allerdings: reale - Möglichkeiten aufgezeigt werden. Toy models werden damit zu Vorstufen von realistic models, die als Vorstufen selbst (noch) keinen Erkenntniswert haben. Ähnlich ist die Situation, wenn man toy models einen didaktischen oder heuristischen Wert zuschreibt: Auch dann liegt in ihrer Wertschätzung eine Hypothek auf die Zukunft (und es bleibt offen, wie man mit ihnen lernen oder seinen Blick schärfen können soll).

Ich glaube daher, man ist gut beraten, sich die erfolgreichsten Toy-modeling-Publikationen noch einmal genau anzusehen auf die Frage hin, was deren Anspruch eigentlich ist. Die Beantwortung dieser Frage würde eine Menge vergleichende und klassifizierende Arbeit erfordern. Hier wird nur ein - immerhin m.E. stilbildender - Fall geprüft, und das ist die eingangs dargestellte Arbeit zu Segregation von Schelling 1971. Daran lässt sich zunächst eine Sache klarmachen: Ein realistisches Modellierungsverständnis im bisher ausgeführten Sinne wird ausdrücklich nicht vertreten. Schellings Modelle sollten nicht die Segregation in irgendeiner realen Stadt abbilden. Denn die tatsächlichen Verhältnisse sind stets komplexer, wie ausdrücklich zugestanden wird, und zwar schon zu Beginn des abstracts (143):

„Some segregation results from the practices of organizations, some from specialized communication systems, some from correlation with a variable that is non-random; and some results from the interplay of individual choices. This is an abstract study of the interactive dynamics of discriminatory individual choices.“

Hier schon, und dann auch weiter unten im Haupttext, macht Schelling deutlich, dass tatsächliche Segregation von vielen Faktoren abhängt, nicht nur von individuellen Wahlentscheidungen. Im Haupttext seiner Publikation sagt er zudem, dass diese Wahlentscheidungen natürlich nicht nur mit Blick auf die Farben der Nachbarn getroffen werden (und selbst wenn, dass dann kompliziertere Abhängigkeiten auftreten könnten als x%-Schwellen), er das aber in seinem Modell trotzdem auf bestimmte einfache Weisen annehmen will. Er operiert also unter bewusst unrealistischen Annahmen!

Was also lässt sich unter diesen Annahmen überhaupt lernen? Das aus Sicht des Autors wesentliche Ergebnis ist, lt. abstract (ebd.):

„The systemic effects are found to be overwhelming: there is no simple correspondence of individual incentive to collective results. Exaggerated separation and patterning result

from the dynamics of movement. Inferences about individual motives can usually not be drawn from aggregate patterns.“

Hier noch eine analoge Passage aus dem Haupttext seiner Publikation (ebd., 144):

„The paper examines some of the individual incentives, and perceptions of difference, that can lead collectively to segregation. The paper also examines the extent to which inferences can be drawn, from the phenomenon of collective segregation, about the preferences of individuals, the strengths of those preferences, and the facilities for exercising them.“

Schelling sagt bereits im abstract also ziemlich klar, was er zeigen wollte. Nicht nämlich, wie in irgendeinem wirklichen Wohngebiet Segregation wirklich zustande gekommen ist. Sondern, viel abstrakter, dass individuelle Entscheidungen aufgrund ihres dynamischen Zusammenwirkens zu überraschenden kollektiven Resultaten führen können (positiv formuliert). Und, dass es keine einfache Entsprechung individueller Anreize mit kollektiven Resultaten gibt, bzw. dass Rückschlüsse aus den kollektiven Resultaten auf individuelle Präferenzen unzulässig sind (negativ formuliert). Segregation (d.h. nach Hautfarben getrennte Wohngebiete) lässt keinen Rückschluss auf entsprechende Präferenzen zu (d.h. auf eine Präferenz dafür, mehrheitlich unter Seinesgleichen zu wohnen). Selbst dann nämlich, so will Schelling zeigen, wenn ein Wohnortwechsel ausschließlich von individuellen Nachbarschaftspräferenzen abhängen würde (und nicht auch von finanziellen, rechtlichen oder anderen Faktoren), könnte man aus dem Umstand, dass Menschen nach Hautfarben getrennt wohnen, nicht darauf schließen, dass sie dies auch gewollt haben. Dass es ein seinerzeit gängiges Vorurteil gewesen sei, diesen Schluss als plausibel anzusehen, wird in Schellings Artikel nicht behauptet. Somit glaube ich, dass Grüne-Yanoff (2009) auf der richtigen Spur ist, wenn er toy modeling so charakterisiert, dass darin eine Unmöglichkeitshypothese durch ein Gegenbeispiel widerlegt wird (auch wenn mir das etwas stark erscheint, da der Rückschluss nicht als alternativenlos, wohl aber als plausibel angesehen worden sein dürfte). Für diese Widerlegung, das ist der mir hier wichtige Punkt, braucht das Beispiel nicht tatsächlich realisiert sein!

Was nun tatsächlich ein bestimmtes Segregationsmuster in einer bestimmten Stadt hervorgerufen hat, bleibt offen. Es bleibt sogar, dies ein wesentliches Resultat des toy modeling, in noch stärkerem Maße offen als vorher gedacht! Schon unter ganz einfachen, unrealistisch einfachen Bedingungen lässt sich zeigen, dass überraschend komplexe Ergebnisse auftreten, die einer Ordnung allererst bedürfen. Mithilfe des toy models wird also eine weitere mögliche, mit den bisher als möglich angesehenen konkurrierende, Erklärung für Segregation skizziert. Es wird damit auf explizit oder implizit anerkannte Festlegungen aufmerksam gemacht, die sich nun als problematisch erweisen. Die resultierende Erklärungsstruktur ist daher dieselbe wie in einer wissenschaftlichen Kontroverse bzw. (auf Einzelfälle bezogen) einem Expertendilemma (Hubig 1997; s. dazu auch Gottschalk-Mazouz 2003): Mit alternativen Erklärungen wird auf die je offenen Enden der jeweiligen Standarderklärungen aufmerksam gemacht, d.h. auf diejenigen zugrundeliegenden Annahmen, für die sich nur mehr oder weniger gute Plausibilitätsargumente anbringen lassen (sog. abduktive Schlüsse), die man also nicht teilen muss.

Toy modeling richtet sich, möchte ich bis hierher zusammenfassen, nicht abbildend auf reale Zielsysteme. Sondern es richtet sich auf unsere Erklärungsschemata. Diese Schemata sind teils sehr simpel. Sie können für sich genommen diskutiert und in ihrer Stringenz kritisiert werden. Insofern, als sie sehr simpel sind, ist es auch legitim, wenn toy models sehr simpel sind. Dabei ist ein Realitätsbezug nicht im toy modelling selbst hergestellt oder herzustellen. Sondern dieser ist einer, den wir - wie für unsere Erklärungsschemata - immer erst noch selbst herstellen müssten,

wenn wir reale Phänomene damit erklären wollen würden (aus dem Ärmel geschüttelte Schlussfolgerungen für die wirkliche Welt verbieten sich daher!).

Allerdings ist dieses epistemische Verständnis von toy modeling in Schellings Arbeit dann doch von einem realistischen Verständnis überlagert. Für dieses wird der im Modell ausgedrückte Prozess als ein „Mechanismus“ neben anderen beschrieben, die in der wirklichen Welt wirksam sein und die diskutierten Phänomene zeitigen dürften. Deutlich wird dies, wenn Schelling verschiedene empirische Studien zum „tipping“ zitiert, d.h. dem bei Überschreiten einer gewissen Schwelle stets erfolgenden kompletten Umschwung einer Nachbarschaft z.B. von einer Farbe zur anderen. Und dann schreibt (S. 182): „This is evidently the kind of process our analysis has been dealing with.“ Denn damit wird ein empirischer Bezug zu den Fällen der Studien behauptet - ohne dass diese Behauptung eingelöst werden würde.

Ich möchte das zum Anlass nehmen, einen genaueren Blick darauf zu werden, wie realistische Modellierung funktioniert und unter welchen Voraussetzungen sie erfolgreich sein kann, um die Rolle genauer herauszustellen, die toy models - über das bisher Gesagte hinaus - dabei spielen könnten.

#### 4. Empirischer Bezug bei realistischer Modellierung

Der empirische Bezug bei realistischer Modellierung, möchte ich behaupten, kommt auf zwei unterschiedliche Weisen zustande, nämlich durch Import und durch Vergleich. Empirischer Bezug wird importiert, wenn - anderweitig empirisch gut bestätigte - Gesetze und Annahmen in das Modell eingebaut werden. Die Frage ist natürlich, ob das, wofür wir ein Modell bauen, auch unter diese Gesetze fällt. Das müssen wir zunächst unterstellen. Dann jedoch hat unser Modell empirischen Bezug durch die empirisch gesicherten Gesetze und Annahmen, die ihm zugrunde gelegt werden. Die zweite Weise empirischen Bezugs kommt zustande durch einen Vergleich der Lösungsverläufe des Modells mit empirischen Sachverhalten, und ggf. der Anpassung der Parameter zur Minimierung von Abweichungen. Die Struktur des Modells spielt dabei nur insofern eine Rolle, als sich evtl. nicht mit jeder Struktur jedes Lösungsverhalten erzielen lässt. Der empirische Gehalt liegt allein in der erfolgreichen Reproduktion oder Prognose von Phänomenen bzw. Daten.

Die hier angebotene Unterscheidung lässt sich sowohl auf Modelle als auch auf den Modellbau beziehen. Idealtypische Modelle der ersten Art könnte man prinzipienorientierte Modelle („principled models“) nennen und die der zweiten phänomenorientierte Modelle („phenomological models“). Idealtypischen Modellbau der ersten Art, prinzipienorientierten Modellbau, könnte man „konstruktiv“ nennen, den der zweiten hingegen „rekonstruktiv“.

Unsere besten Modelle, würde man jedoch sagen müssen, sollten sowohl die richtigen Prinzipien enthalten als auch phänomenadäquat sein. Also auf doppelte Art einen empirischen Bezug haben. Auf welche Probleme man dabei stößt, wird im Folgenden genauer ausgeführt.

##### 4.1 Prinzipienorientierte Modellierung

Bei der prinzipienorientierten Modellierung nutzt man aus, was man weiß über die Domäne, d.h. über die Erzeugung der Dynamik. Häufig sind dies generelle Prinzipien oder allgemeine Theorien (die unabhängig von unserem Modell gestützt sind, meist auch empirisch gestützt sind), angereichert mit kontextspezifischem Wissen. Diese werden im Modell zusammengefügt zu einem Mechanismus, d.h. einer bestimmten, parameterabhängigen Input-Output-Relation, die dann die Dynamik erzeugt.

Typischerweise führt dieser Weg in zwei Probleme. Ein erstes Problem entsteht, wenn es zu wenige oder zu viele plausibel erscheinende Mechanismen gibt. Der Königsweg zur Lösung dieses Problems wäre, aus der Ontologie der Domäne und der entsprechenden empirischen Fundierung den tatsächlichen Mechanismus zu identifizieren. Das gelingt aber nur in den seltensten Fällen. In den Sozialwissenschaften und insbesondere der Ökonomik, so die prominent vorgetragene Kritik z.B. von Nancy Cartwright (Cartwright 2009; vgl. bereits Cartwright 1999, 2007 und Alexandrova 2006), gebe es keine hinreichend gehaltvollen und gut bestätigten Hintergrundtheorien, so dass viele die Modellstruktur betreffenden Annahmen ad hoc getroffen werden müssten. Diese Annahmen jedoch seien folgenreich und nicht nur negativer Natur, d.h. dienen nicht wie in den Naturwissenschaften üblich lediglich dazu, bestimmte bekannte störende Einflüsse auszuschalten. Dieser Kritik lässt sich hinzufügen, dass einerseits bereits die Hintergrundtheorien selbst oder deren zentrale Elemente, wie etwa die Rational-Choice-Theorie oder das Eigennutzenaxiom, von vielen Autoren ausdrücklich nur hypothetisch verstanden werden, also nur Als-ob-Erklärungen erlauben und gar nicht den Anspruch erheben, tatsächlich auf die einzelnen Individuen zutreffend zu sein. Und dass andererseits auch in Frage steht, ob Soziale Systeme überhaupt als Aggregate des Mit- und Gegeneinander einzelner Personen zu beschreiben sind - und das betrifft die Ontologie des Sozialen selbst. All das erschwert die Identifikation eines tatsächlichen Mechanismus.

Ein zweites Problemfeld eröffnet sich, wenn der Mechanismus aus problematischen Elementen oder auf problematische Weise zusammengesetzt wurde. Modelle enthalten neben unproblematischen Elementen („so müsste es sein“; diese und nur diese haben dann vielleicht auch einen engen empirischen Bezug, sind z.B. über Versuchsreihen der experimentellen Ökonomik je für sich validiert) häufig auch problematische Elemente: Idealisierende („falsch, aber macht nichts“), exemplarische („eine von mehreren mgl. Alternativen realisiert“), spekulative („könnte so sein, könnte aber auch anders sein“; also vielleicht falsch), pragmatische („so ist es sicher nicht, aber wir haben keine bessere im gegebenen Rahmen umsetzbare Idee“, d.h. falsch aber geht nicht anders). Die Relationen zwischen diesen Elementen können ebenso problematisch sein. Was man mit dem Modell insgesamt lernen kann, hängt vom Status der jeweiligen Ingredienzen und ihres Zusammenwirkens ab. Häufig lässt sich aber gar nicht genau sagen, welcher Status das ist.

#### 4.2 Phänomenorientierte Modellierung

Bei dieser Form der Modellierung wird das Wissen über die beobachtete bzw. zu beobachtende Dynamik des Zielsystems ausgenutzt. Ziel ist, ein effektives Modell aufzustellen als ein Modell, das diese Dynamik reproduzieren bzw. prognostizieren kann (ähnlich wie beim reverse engineering).

Manche Autoren halten ein solches, phänomenologisches Vorgehen für „bloß“ phänomenologisch, da keine (grundlegenden, in der Physik etwa: quantenmechanischen) Prinzipien investiert werden würden, da aggregierte (Durchschnitts-)Größen nicht weiter aufgelöst werden, usw.; andere Autoren halten es für paradigmatisch für wissenschaftliche Modellbildung überhaupt (so etwa Cartwright 1999 oder Morrison/Morgan 1999). Diese grundlegende Frage können wir hier aber beiseitelassen, denn sie betrifft das Problem, wie die Prinzipien der prinzipienorientierten Modellierung selbst gerechtfertigt werden können. Bei einem jeweils vorliegenden Modell lässt sich unterscheiden, ob der empirische Gehalt über die importierten Prinzipien oder über den Vergleich der Ergebnisse gewährleistet sein soll, und darauf kommt es hier an.

Phänomenorientierte Modellierung ist nicht auf - häufig nicht bekannte oder problematische - Prinzipien angewiesen. Sie führt aber ebenfalls in Probleme. Erstens funktioniert sie nur, wenn sich geeignete Verhaltensweisen (eines Zielsystems) auch in der Realität beobachten lassen. Hier gibt es eine harsche Kritik an zu optimistischen Erwartungen (Arnold 2010; vgl. bereits Sugden 2000, 2009): Ökonomische (wie auch manche ökologische) Systeme lassen sich experimentell kaum isolieren, Einflüsse kaum gegeneinander abschirmen. Auch lassen sich Einflüsse nicht nach den bekannten Verfahren dekomponieren und additiv zusammensetzen (Cartwright 2009). Teils wirkt die Modellbildung selbst auf den Gegenstandsbereich zurück (Popper; Luhmann): Menschen sind lernfähig. Jedenfalls verändert der Gegenstandsbereich sich fortwährend, entwickelt sich, Wiederholbarkeit auch deshalb kaum gegeben. Daher gibt es pointiert gesagt in den Sozialwissenschaften und besonders der Ökonomik zwar jede Menge Zahlen, aber wenig „gute“ Daten, die sich mit Modellen in Verbindung setzen lassen.

Zweitens stellt sich die Frage, was man aus einem phänomenologischen Modell genau lernen kann. Eigentlich leistet es ja nur eine komprimierte Zusammenfassung der Beobachtung. Das Zielsystem wird als eine black box betrachtet und von den darin ablaufenden Prozessen abgesehen. Wenn unser Black-box-Modell beliebig kompliziert sein darf, wird es jedes beliebige Verhalten generieren können, auch ohne dass es irgendeinen Zusammenhang zwischen den Prozessen im Modell und denen im Zielsystem geben müsste.

## 5. Empirischer Bezug beim toy modeling: zwei ambitionierte Vorschläge

Wir könnten nun versuchen, aus der Not eine Tugend zu machen, und sagen: Zugegeben, prinzipien- und phänomenorientierte Modellierung führen beide in große Probleme. Der Versuch, realistischere Modelle zu bauen, macht diese jedenfalls komplexer. Da wir aber zu wenig A-priori-Wissen und zu wenig gute Daten haben, handeln wir uns in beiden Fällen jede Menge freier Parameter ein. Damit lässt sich letztlich alles und nichts beschreiben und erklären. Dann können wir aber auch gleich ein toy model nehmen!

Das wäre jedoch eine schwache Rechtfertigung, denn Kritiker würden weiterhin darauf beharren können, dass es in so einer Situation noch besser wäre, nicht ein toy model zu nehmen, sondern gar kein model zu nehmen. Wenn ein Modell sich weder auf gesicherte Prinzipien und Annahmen stützen noch empirisch validiert werden kann, sollte man der Redlichkeit halber auch nicht vorgeben, man hätte hier ein Modell für irgendetwas. Sondern entweder nach Wegen suchen, zu einem empirisch gehaltvollen Modell zu kommen, oder andere - z.B. qualitative - Wege der Erforschung der betreffenden Domäne suchen.

Bräche man an dieser Stelle die Überlegungen ab, dann wäre das allermeiste, was da in den Sozial- und Wirtschaftswissenschaften unter der Überschrift von Modellbildung und Simulation geschieht, als unseriös abzulehnen. Es wäre Spielerei und als solche zwar vielleicht nicht völlig nutzlos, ließe sich u.U. auch unter einem der oben genannten deflationären Etiketten vertreten (z.B. als conceptual exploration), könnte den Anspruch einer Modellbildung mit empirischem Bezug im genannten Sinne aber jedenfalls nicht erfüllen.

Welche Rolle könnten toy models unter Beibehaltung dieses Anspruchs spielen? Ich möchte dazu zwei Vorschläge machen, wobei mir bewusst ist, dass diese insofern ambitioniert sind als dass sie nicht einmal ansatzweise realisiert sind. Mit ihnen böte sich aber eine Perspektive, den oben erwähnten Anspruch auch einzulösen, modale Eigenschaften der Realität zu erkunden.

### 5.1 Ensembles einfachster Modelle



Phenomenological modeling wäre attraktiver, wenn wir die Verhaltensweisen der Systeme nach Einfachheit ordnen könnten und dafür jeweils einfachste Modelle angeben könnten. Wenn die Dynamik so einfach erscheint, wie sie erscheint, - könnte man dann sagen - so wirkt sich die Binnenkomplexität in dieser Hinsicht (=der betrachteten Dynamik) nicht komplexer aus, als durch das jeweilige effektive Modell erfassbar. Wie auch immer der tatsächliche erzeugende Mechanismus aussieht, er ist funktional äquivalent zu diesem effektiven Mechanismus. Damit ließe sich die Willkür beliebig komplexer Modelle eindämmen, und es ließen sich Hybridstrategien verfolgen, nämlich in Kombination mit dem „principled modeling“, dazu später mehr.

Die Rede von einem „einfachsten Modell“ unterstellt jedenfalls, dass wir über eine Hierarchie von (ein- oder mehrdimensional) zunehmend komplexeren Modellen verfügen, ggf. Einteilung in Modelltypen so, dass zumindest innerhalb der Typen eine solche Hierarchisierung möglich ist. Zunächst abgelöst von konkreten Erklärungsversuchen würde dies bedeuten, toy models als Teile eines zu entwickelnden Ensembles von generischen, einfachen Modellen zu untersuchen. Das Ensemble als Ganzes wäre dann ein Schubladensystem, mit dem man einerseits relevante Daten als solche identifizieren kann (d.h. engeren empirischen Bezug herstellen), weil man weiß, nach welchen Mustern in Daten man Ausschau halten muss, und mit dem man andererseits je passende minimale effektive Modelle gewissermaßen auf Vorrat, d.h. mit Blick auf zukünftige Daten, identifizieren würde.

Ein Beispiel für das, was mir hier vorschwebt, findet sich in der nichtlinearen Dynamik. Dort ist es nämlich gelungen, in der Bifurkationstheorie (vgl. Arnol'd et al. 1994), kontinuierliches Verhalten durch gewöhnliche Differentialgleichungen zu beschreiben und qualitative Veränderungen im Lösungsverhalten zu klassifizieren (Bifurkationen) und nach Komplexität zu ordnen (in Kodimensionen). Denen konnten dann je „Normalformen“ zugeordnet werden, d.h. minimal einfache Differentialgleichungssysteme, die das entsprechende Verhalten aufweisen. Eine andere Möglichkeit ist, statistische Methoden einzusetzen wie prominent in der econophysics (vgl. Sinha et al. 2010), um auf die bestimmte Variablen treibende Dynamik, z.B. Korrelationen von Ereignissen, rückzuschließen. Das macht deshalb Sinn, weil es ein Ensemble, ein System, solcher möglicher Korrelationen gibt. Für Agenten- und andere soziale Systeme kann man einerseits diese oder ähnliche, bereits erfolgreiche Strategien verfolgen, durch geeignete Parametrisierung. Andererseits aber müsste man zumindest versuchen, neue Wege zu finden: Vergleichbarkeit müsste, vor allem bei interaktiven Simulationen, über hinreichend allgemeine Sprache und geeignete Sortierung in Modellklassen allerdings erst hergestellt werden. Gesucht wäre eine formale Beschreibung (mit geeigneter Ontologie etc., hier wäre die Informatik gefragt) der stilisierten Fakten in möglichst vielen Modelltypen in möglichst vielen Domänen. Dann könnte man auch darüber sprechen, was minimale effektive (=„generische“) Modelle wären. Dieser Weg ist lang und steinig, aber wenn er gangbar wäre, würde er uns m.E. auch weiterbringen. Dann wüssten wir, was „einfach“ heißt, und was für ein Verhalten wir je damit verbinden.

## 5.2 Ensembles von Mechanismen: eine Hybridstrategie

Noch ambitionierter wäre es, nicht Ensembles von Modellen, sondern von Mechanismen konstruieren zu wollen. Nicht das Modell als Ganzes, als Black box, soll dann rekonstruiert werden, sondern es soll aus der Dynamik auf einzelne Strukturelemente des Modells zurückgeschlossen werden. Die - durchaus von Schelling und seiner Rede von Mechanismen, s.o., inspirierte - Idee wäre, die Menge vorstellbarer Mechanismen prinzipiengestützt einzuengen zu einer Menge plausibler Mechanismen, gleichzeitig diese Mechanismen nach Einfachheit ihres Lösungsverhaltens zu ordnen (und ebenso ihr Zusammenwirken).

Die hybride Vorgehensweise weist toy models dann ebenfalls eine sinnvolle Funktion zu. Anders als bei der rein phänomenologischen Vorgehensweise würden diese Modelle je bestimmte Mechanismen (bzw. auch ihr Zusammenwirken) darstellen, die je einzeln durch prinzipiengeleitete Mechanismushypothesen gestützt wären. Gemeinsam würden diese Mechanismen, nun jedoch als Komponenten, die je aktiv oder inaktiv sein können (sich vielleicht auch aktivieren oder inaktivieren können), die Dynamik eines realen Systems bestimmen.

Festzuhalten ist: Wir brauchen einen Alternativenraum möglicher Mechanismen, wir brauchen ein Wissen über jeweils typische Dynamiken, und diese Dynamiken müssen hinreichend spezifisch sein (mechanismusproprietär), um auf die dahinterstehenden Mechanismen schließen zu können. Das sind eine Menge Voraussetzungen. Diese Vorgehensweise hat damit die Probleme aller bisher genannter Vorgehensweisen, wenn auch je in abgemilderter Form. Ob sie insgesamt besser praktikabel ist, weiß man einfach nicht, denn auch diese Vorgehensweise ist Zukunftsmusik.

## 6. Schluss

Die Rede von „Modellbildung und Simulation“ legt den Anspruch eines Eins-zu-eins-Verhältnisses von konkretem Modell- und konkretem Zielsystem nahe. So sieht gelungene Modellierung aus: hier das Modell, da die modellierte Realität! Allerdings scheint der Erkenntniswert von toy models äußerst zweifelhaft, wenn man diesen Wert in einer Situation zu bestimmen versucht, in der mit einem solchen Modell, gar mit einer Simulation im Sinne einer Modellrechnung, ein bestimmter Realitätsausschnitt abgebildet und dessen Veränderungen erklärt werden sollen, d.h. wenn retrospektiv reproduziert oder prospektiv prognostiziert und dabei auf die wesentlichen Determinanten zurückgeführt werden soll. Unter einem solchen, einfachen Erklärungs begriff („straight-forward-Erklärung“) muss ein toy model nutzlos oder gar schädlich erscheinen. Wenn toy modeling sinnvoll sein soll, dann nur unter alternativen Verständnissen von Modellierung.

An einem zentralen Beispiel, Schellings Segregationsmodell, wurde zunächst ein epistemisches Verständnis von toy modeling entwickelt. Durch toy modeling sollen Argumentationen gestützt werden, die uns etwas über mögliche Erklärungen im Lichte anderer möglicher Erklärungen sagen. Kurz: Toy models helfen uns erwägen. Dies kann natürlich nur eine erste Hypothese sein, die auszuführen und an weiteren Beispielen zu erhärten wäre. Dann wurden zwei Möglichkeiten diskutiert, toy models realistische Verständnisaspekte abzugewinnen und mit ihrer Hilfe modale Eigenschaften der Realität zu erkunden. Entsprechende Forschungsstrategien werden bisher meines Wissens aber nicht verfolgt.

Allen diesen Verständnissen ist eine Einsicht gemeinsam: Ein toy model soll nicht ein konkretes Zielsystem abbilden. Es funktioniert indirekt, unter Bezugnahme auf auch andere Zielsysteme und andere Modelle. Einige solcher (legitimer!) Funktionen wurden oben benannt, weitere sollten sich aufdecken lassen - auch und gerade dann, wenn man sich von der Vorstellung, ein gutes Modell sei ein genaues Bild der Wirklichkeit, nicht länger gefangen halten lässt.

## Literatur

- Alexandrova, A.: Connecting economic models to the real world. In: Philosophy of the Social Sciences 36 (2006), S. 173-192  
 Alexandrova, A.: Making Models Count. In: Philosophy of Science 75 (2008), S. 383-404

- Arnold, E.: Tools of Toys? On Specific Challenges for Modeling and the Epistemology of Models and Computer Simulations in the Social Sciences - Conference Paper for Models & Simulations 4, 2010 (<http://philsci-archive.pitt.edu/id/eprint/5424>)
- Arnol'd, V. I. et al.: Bifurcation Theory. In: Arnol'd, V. I. (Hrsg.): Encyclopaedia of Mathematical Sciences Vol. V. (=Dynamical Systems V). Berlin/Heidelberg, Springer 1994, S. 1-206
- Aydinonat, N.: Models, conjectures and exploration: an analysis of Schelling's checkerboard model of residential segregation. In: Journal of Economic Methodology 4 14 (2007), S. 429-454
- Cartwright, N.: The dappled world: A study of the boundaries of science. Cambridge, Cambridge University Press 1999
- Cartwright, N. : Hunting causes and using them. Cambridge, Cambridge University Press 2007
- Cartwright, N.: If No Capacities Then No Credible Worlds. But Can Models Reveal Capacities? In: Erkenntnis 1 70 (2009), 45-58
- Gibbard, A.; Varian, H.: Economic models. In: Journal of Philosophy 75 (1978), S. 664-677
- Gottschalk, N.: Raumzeitliche Selbstorganisation in einer musterbildenden chemischen Reaktion, Physik-Diplomarbeit TU Berlin 1994 (<http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2009/2047/>)
- Gottschalk-Mazouz, N.: Wissen, Ungewissheit und Abduktion: Fundierung eines allgemeinen Modells zur Analyse von Dissensen in der Wissenschaft. In: Gottschalk-Mazouz, N.; Mazouz, N. (Hrsg.): Nachhaltigkeit und Globaler Wandel. Frankfurt/New York, Campus 2003, S. 21-58
- Grüne-Yanoff, T.: Learning from Minimal Economic Models. In: Erkenntnis 1 70 (2009), S. 81-99
- Hausman, D.: The Inexact and Separate Science of Economics. Cambridge, Cambridge University Press 1992
- Hubig, C.: Expertendilemma und Abduktion: Zum Umgang mit Ungewissheit, Antrittsvorlesung Universität Stuttgart 1997 (<http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2000/650/>)
- Kourikoski, J.; Lethinen, A.: Incredible Worlds, Credible Results. In: Erkenntnis 1 70 (2009), S. 119-131
- McCloskey, D.: The rhetoric of economics. In: Journal of Economic Literature 21 (1983), S. 481-517
- Morrison, M.; Morgan, M. S.: Models as mediating instruments. In: Dies. (Hrsg.): Models as Mediators. Perspectives on Natural and Social Science. Cambridge, Cambridge University Press 1999, S. 10-37
- Schelling, T. : Models of Segregation. In: The American Economic Review 2 59 (1969), S. 488-493
- Schelling, T.: Dynamic Models of Segregation. In: Journal of Mathematical Sociology 1 (1971), S. 143-186
- Sinha, S. et al.: Econophysics. An Introduction. Weinheim, Wiley-VCH 2010
- Sugden, R.: Credible worlds: The status of theoretical models in economics. In: Journal of Economic Methodology 1 7 (2000), S. 169-201
- Sugden, R.: Credible Worlds, Capacities and Mechanisms. In: Erkenntnis 1 70 (2009), S. 3-27