

## **Naturwissenschaftliche Modelle: Von Epistemologie zu Ontologie**

*Daniela M. Bailer-Jones*

Naturwissenschaftliche Modelle, im Gegensatz zu Theorien, waren lange Zeit das Stiefkind jeder wissenschaftsphilosophischen Diskussion. Als Modellen dann im Rahmen des naturwissenschaftlichen Theoretisierens größere Bedeutung eingeräumt wurde (vgl. Bailer-Jones 1999), wurden sie jedoch häufig als ausschließlich hypothetisch (Hesse 1953; Harré 1960, 1970) und für heuristische Zwecke bestimmt (Hutten 1954; Hesse 1966) interpretiert. Dies reflektiert die Einstellung, daß die Art, wie empirische Phänomene modelliert werden, keinen Aufschluß darüber gibt, wie die modellierten empirischen Phänomene *sind*. Die Einordnung von Modellen als hypothetisch ging z.B. einher mit der Aussage, daß Modelle weder wahr noch falsch seien (z.B. Hutten 1954, S. 296). Anerkannt war lediglich ihre temporäre Bedeutung für den Wissenserwerb. Man erwartete von Modellen die Beförderung von Kreativität und die Entwicklung neuer theoretischer Beschreibungen der empirischen Wirklichkeit im Rahmen des naturwissenschaftlichen Entdeckens (Hesse 1953, 1966; Black 1962, 1993; McMullin 1976; vgl. Bailer-Jones 2001a). Man erwartete nicht das Teilhaben von Modellen am eigentlichen theoretischen Beschreiben der empirischen Wirklichkeit. Die herrschende Grundannahme war, daß Theorien, und nicht Modelle, die Wirklichkeit beschreiben. In diesem Punkt hat sich das Blatt inzwischen gewendet. Nach neueren Ansätzen ‚vermitteln‘ Modelle gerade zwischen Theorien und der empirischen Welt (Morgan und Morrison 1999). Eine zentrale These dabei ist, daß die Anwendung von Theorien auf die Wirklichkeit durch Modelle erst möglich wird. So bedürfen Theorien immer der Spezifizierung durch Randbedingungen, die für eine bestimmte empirische Situation typisch sind und die in die Theorie eingefügt werden müssen, damit die Theorie, eingekleidet in ein Modell, auf die empirische Welt anwendbar wird. Daß es Modelle sind, die sich konkret *auf die empirische Welt beziehen*, legen zahlreiche Fallstudien, die die Eigenschaften von Modellen in der naturwissenschaftlichen Praxis untersuchen, nahe. Dies ist ja gerade der Grund, weshalb Modelle inzwischen immer häufiger als das zentrale Mittel zum Entwickeln und Handhaben wissenschaftlicher Beschreibungen empirischer Phänomene verstanden werden, gegenüber denen Theorien in den Hintergrund treten (z.B. Cartwright et al. 1995; Beiträge zu Morgan und Morrison 1999; Suárez 1999; Bailer-Jones 2000a). Deshalb lohnt es sich, die Auswirkungen dieser neueren Einsichten auf die wissenschaftsphilosophische Landschaft zu erwägen.

Zuerst umreißt ich jedoch kurz, was ich unter einem naturwissenschaftlichen Modell verstehe (vgl. Bailer-Jones 2001b,c): Ein Modell drückt eine Interpretation eines empirischen Phänomens aus, und zwar auf eine Weise,

die den (intellektuellen) Zugang zu diesem Phänomen erleichtert. Interpretationen kommen zustande z.B. durch Idealisierung, Vereinfachung oder Analogisieren. Dabei kann es sich bei einem Modell sowohl um konkrete als auch um theoretisch-abstrakte Gegenstände handeln. Im Gegensatz zu den konkreten geht es bei theoretisch-abstrakten Modellen natürlich nicht nur darum, den Zugang (bzw. die Wahrnehmung) zu erleichtern (Globus, Plastiksneeflocke), sondern darum, auch nicht direkt beobachtbare Eigenschaften der modellierten Phänomene zugänglich zu machen (z.B. die Struktur von DNS oder die Energieerzeugung im Inneren eines Sterns, etc.). Oft geschieht letzteres unter der Verwendung mathematischer Ausdrucksweisen. Neben mathematischen Gleichungen gibt es auch andere Mittel der ‚externen Repräsentation‘ wie Abbildungen, Graphen oder Diagramme. Immer geht es dabei mit Hilfe dieser verschiedenen ‚Ausdrucksweisen‘ darum, bestimmte zentrale Ideen über das modellierte Phänomen auszudrücken. Bei der Beschreibung findet also eine Auswahl statt; die Beschreibung ist dadurch immer nur partiell. Dabei stellt das Modell Informationen (aufbereitet) zur Verfügung, um einerseits Ideen über verschiedene Phänomene miteinander in Verbindung zu bringen und sie andererseits mit anderen Modellbenutzern auszutauschen. Soviel zum Modellbegriff.

Wenn man davon ausgeht, daß Modelle sich auf empirische Phänomene beziehen, also nicht lediglich heuristische Hilfsmittel sind, dann muß man sich überlegen, wie dieses ‚Sich auf die empirische Welt Beziehen‘ verstanden werden kann. Im Sinne eines *epistemischen* Realismus ist die Frage weniger, *ob* die Welt eine Struktur hat, sondern vielmehr, ob diese, wenn es sie gibt, auch von uns erkannt werden kann. Setzt man die grundsätzliche Erkennbarkeit der Struktur der Welt voraus, vertritt man also einen epistemischen Realismus, dann kann man im Prinzip erwarten, daß die Struktur naturwissenschaftlicher Modelle Aussagen über die ontologische Beschaffenheit der Welt nahelegt, weil Modelle sich auf Phänomene der empirischen Welt beziehen. Eine Hypothese wäre also, daß man aufgrund von Modellen, weil sie epistemologisch bedeutsam sind, ontologische Aussagen über die modellierte Welt ableiten kann.

Erkennt man Modellen die zentrale Rolle in der naturwissenschaftlichen Wirklichkeitsbeschreibung zu, die die gängige naturwissenschaftliche Praxis nahelegt, so ist dies, was eine mögliche Ontologie betrifft, von besonderer Brisanz, wenn man bedenkt, daß Modelle häufig eine oder mehrere der Eigenschaften Ungenauigkeit, Inkonsistenz und Aspekthaftigkeit in sich vereinen (Bailer-Jones 2000a). Dies sind Eigenschaften, um derenwillen man Modelle gern für ungenügend in Sachen realistischer Wirklichkeitsbeschreibung halten mag (Bailer-Jones 2001d). So erklärt sich auch das Herunterspielen von Modellen als lediglich hypothetisch und als rein heuristische Werkzeuge. Allerdings können die erwähnten Eigenschaften von Modellen auch kaum ignoriert werden angesichts dessen, wie wir Modellen in der naturwissenschaftlichen Praxis begegnen:

(i) *Ungenauigkeit*

Modelle beschreiben die empirische Wirklichkeit häufig nur *ungenau*, d.h. sie bedienen sich Annäherungen und Vereinfachungen. Will man z.B. die Umlaufbahn der Erde um die Sonne modellieren, benutzt man zur Vereinfachung die Annahme, daß außer Sonne und Erde keine anderen Körper existieren, die Gravitationskräfte auf Sonne und Erde ausüben. Diese Zusatzannahme ist natürlich nicht korrekt (Putnam 1974).

(ii) *Inkonsistenz*

Manchmal stehen Modelle im *Widerspruch* zu anerkannten Prinzipien, zu bekannten Tatsachen oder zu anderen Modellen. So bewegen sich z.B. Elektronen laut Bohrschem Atommodell auf festgelegten Kreisbahnen um den Atomkern, obwohl sie nach klassischem Verständnis dabei eigentlich Energie verlieren und sich auf niedrigere Energiestufen mit kleineren Radien begeben müßten.

(iii) *Aspekthaftigkeit*

Die meisten Modelle konzentrieren sich lediglich auf *Aspekte* eines Phänomens und geben damit keine vollständige Beschreibung desselben Phänomens. Um z.B. den Wasserfluß in einem Rohr zu beschreiben, beschreibt man Wasser als ideale Flüssigkeit, kontinuierlich und inkompressibel, gemäß der Bernoulli-Gleichung. Will man hingegen modellieren, wie ein Tropfen Tinte in Wasser diffundiert, behandelt man Wasser als aus diskreten Teilchen bestehend, die sich in Wärmebewegung befinden. Keines dieser Teil-Modelle leistet eine vollständige Beschreibung des Phänomens Wasser, ja ihre Grundannahmen widersprechen sich sogar. Durch diese Aspekthaftigkeit von Modellen ergibt sich, daß mehrere Modelle ein und desselben Gegenstandes, sogenannte multiple Modelle, existieren können, und sich diese in ihrer ‚Existenzberechtigung‘ nicht gegenseitig ausschließen.

Weil diese Eigenschaften, die sich in naturwissenschaftlichen Modellen zeigen, den gängigen Kriterien der Genauigkeit, Widerspruchsfreiheit und Vollständigkeit nicht entsprechen, mag man zu der Auffassung gelangen, daß Modelle nicht als angemessene, d.h. realistische, Beschreibungsform der Wirklichkeit gelten können, und das, obwohl es uns in der Praxis offensichtlich trotz dieser ‚Defizite‘ kaum Schwierigkeiten bereitet, Modelle als aussagekräftig über die empirische Wirklichkeit zu verwenden (vgl. Bailer-Jones 2000a).

Um zu betonen, daß Modelle, trotz aller potentiell als Defizite interpretierten Eigenschaften, tatsächlich so, wie sie sind, *sich auf die Wirklichkeit beziehen*, heißt es verschiedentlich, daß sie *repräsentieren* (Hughes 1997; Morrison 1998; Giere 1999a,b; Cartwright 1999; Suárez 1999; vgl. Bailer-Jones 2001c). Diese Begriffswahl zielt ab auf eine epistemologische Einordnung von naturwissenschaftlichen Modellen jenseits von Wahrheit und Falschheit, wie ich im folgenden skizzieren werde. Um zu illustrieren, in-

wiefern Modelle tatsächlich jenseits von Wahrheit und Falschheit einzuordnen sind, werde ich probierhalber ihre Analyse mit Hilfe von wahren und falschen Propositionen versuchen. Dies ist insofern sinnvoll, als es sich, wenn sich etwas auf die empirische Welt bezieht und dabei noch wahr oder falsch sein soll, um etwas durch Propositionen Ausgedrücktes handeln sollte. Wenn sich Modelle also nicht durch wahre oder falsche Propositionen analysieren lassen, so lassen sich entsprechend die Begriffe der Wahrheit und Falschheit nicht auf sie anwenden. Meine These ist dabei nicht, daß Modelle eine Menge von Propositionen *sind*, sondern daß sich mindestens Teile ihres Inhalts propositional ausdrücken lassen.

Nicht selten ist es wegen ihrer vermeintlichen Vorläufigkeit, daß Modelle als weder wahr noch falsch charakterisiert werden. Das durch das Modell Ausgesagte mag zum Beispiel insofern ungenau sein (also ‚nicht ganz wahr‘), als es in mancherlei Hinsicht der Ergänzung oder Präzisierung bedarf. Damit entspräche das Modell einer unvollständigen, d.h. nicht definitiv festgelegten Menge von Propositionen. Diese Menge wäre offen, so daß, je nach weiterer Entwicklung, Propositionen hinzugefügt oder u. U. auch entfernt werden könnten. Das Modell bezöge sich mit den Propositionen, aus denen es zu einem gegebenen Zeitpunkt besteht, auf die empirische Welt, aber ein Wahrheitswert könnte der Menge von Propositionen nicht zugeordnet werden, da der Inhalt dieser Menge nicht endgültig feststünde. Eine Reaktion auf diese Art der Ungenauigkeit wäre, daß Raum für Erweiterungen und Modifikationen, also für das Hinzufügen von Propositionen, bleiben muß, um nachfolgenden empirischen Test und Experimenten gerecht zu werden.

Ungenauigkeit kann andererseits auch dadurch zustandekommen, daß im Modell einzelne falsche Aussagen enthalten sind. Modelle können Propositionen enthalten, die gar nie für wahr bezüglich der empirischen Welt gehalten wurden, die also mit bekannten empirischen Tatsachen nicht im Einklang stehen. Wenn solche bekanntermaßen falschen Propositionen in Modellen verwendet werden, ergibt sich selbstverständlich, daß auch das Modell als Ganzes nicht ‚wahr‘, oder jedenfalls nicht *genau*, sein kann. Man denke nur an das Beispiel der Anwendung von Newtons allgemeinem Gravitationsgesetz auf die Erdumlaufbahn um die Sonne (Putnam 1974). Nur mit bestimmten Hilfsannahmen, meist Vereinfachungen, wird es möglich, die Erdumlaufbahn abzuleiten. Beispiele für solche Hilfsannahmen sind „Außer Sonne und Erde existieren keine anderen Körper“ oder „Sonne und Erde unterliegen ausschließlich den Gravitationskräften, die sie aufeinander ausüben“. Durch diese Hilfsannahmen wird die Theorie auf das reale empirische Phänomen anwendbar, also die Erdumlaufbahn, obwohl die Annahmen selbst stark vereinfacht und nicht im strengen Sinne wahr bezüglich der empirischen Welt sind.

Falsche in Modellen enthaltene Propositionen sind auch dafür verantwortlich, daß es überhaupt zu Inkonsistenzen zwischen Modellen und empi-

rischer Wirklichkeit (siehe obiges Beispiel) oder auch zu Inkonsistenzen zwischen verschiedenen Modellen desselben Gegenstandes kommen kann. Untersucht man z.B. Licht, dann wird man es aufgrund des Interferenzmusters beim Doppelspaltexperiment als Welle interpretieren, während die Eigenschaften, die beim photoelektrischen Effekt zutage treten, auf ‚portionierte‘ Energie, d.h. auf Teilchen, hinweisen. Damit hat man zwei verschiedene, nicht miteinander konsistente Modelle des Lichts, und die Aussage „Das Photon ist nicht ein Teilchen, sondern eine Welle“ ist in einem Modell falsch und im anderen wahr, obwohl sich beide Modelle mit dem gleichen Gegenstand befassen.

Die Aspekthaftigkeit von Modellen schließlich bringt es mit sich, daß gezielt nicht versucht wird, alles über einen Gegenstand auszusagen, was über ihn ‚gewußt‘ werden kann. Die von einem Modell herausgegriffene Menge von Propositionen ist per definitionem nicht vollständig, also offen und ergänzungsfähig, weil das Modell lediglich den Anspruch hat, sich auf einen *Aspekt* des modellierten empirischen Phänomens zu beziehen. Man denke dabei wieder an die Schwierigkeit, den im Doppelspaltexperiment gegebenen Sachverhalt zu modellieren, aber auch an das oben erwähnte Modellieren von Wasser, je nach dem, ob es fließt oder diffundiert.

Von diesen Überlegungen unabhängig gibt es noch die Möglichkeit, daß Modelle deshalb weder wahr noch falsch sind, weil sie nicht ausschließlich durch Propositionen erfaßt werden können und in ihnen neben Propositionen noch andere Mittel der ‚äußeren Repräsentation‘ Verwendung finden, wie z.B. Abbildungen, Diagramme, Graphen und Skizzen (Ruse 1991, Nersessian 1992, Giere 1996, Bailer-Jones 2001e), deren Inhalt sich nicht ohne weiteres propositional wiedergegeben läßt. (Ob eine propositionale Wiedergabe bildlicher Inhalte prinzipiell möglich ist, ist indes eine andere, hier nicht zu diskutierende Frage.)

Es zeigt sich nun deutlich, daß ein Verständnis dessen, wie sich Modelle auf die empirische Wirklichkeit beziehen, nicht ausschließlich auf Propositionen gestützt werden kann, denn der Inhalt von Modellen läßt sich weder ausschließlich durch wahre Propositionen erfassen noch mit einer festgelegten Menge von Propositionen. Soweit es möglich ist, habe ich es jedoch unternommen, Modelle im Rahmen von Wahrheit und Falschheit von Propositionen zu interpretieren, doch es zeigt sich, daß diesem Vorhaben klare, in den Eigenschaften von naturwissenschaftlichen Modellen begründete Grenzen gesetzt sind. Die Arten, wie Modelle weder wahr noch falsch sein können, geben keinen deutlichen Hinweis darauf, wie es kommt, daß Modelle trotz ihrer spezifischen Eigenschaften Repräsentationen empirischer Gegenstände sein können, d.h. gültige Aussagen über die empirische Wirklichkeit machen. Deshalb muß man sich fragen, durch welche Bedingungen Modelle in die Lage versetzt werden, sich mit ihrer Ungenauigkeit, Inkonsistenz und Aspekthaftigkeit auf Phänomene der empirischen Wirklichkeit zu beziehen. Dabei sind meines Erachtens drei Charakteristika ausschlagge-

bend, auf deren Hintergrund man verstehen kann, inwiefern ein Modell ein empirisches Phänomen repräsentiert. Diese Charakteristika, die ich kurz erläutern werde, sind Funktion, Selektion und Übereinstimmung mit den empirischen Daten (vgl. Bailer-Jones 2001c).

(A) *Funktion*

Ob ein Modell jeweils eine gute Repräsentation ist, muß in Abhängigkeit davon beurteilt werden, welche *Funktion* das Modell erfüllen soll. Wie ich eine Waschmaschine am besten repräsentiere, hängt auch davon ab, ob ich sie mit Hilfe der verwendeten Repräsentation z.B. reparieren oder bedienen will.

(B) *Selektion*

Ein Modell bezieht sich *selektiv* auf Aspekte eines Phänomens, wobei gewisse andere Aspekte des Phänomens bewußt ausgenommen (oder sogar mißrepräsentiert) werden – und ausgenommen werden dürfen.

(C) *Übereinstimmung mit den Daten*

Ein Modell repräsentiert ein Phänomen nicht im absoluten Sinne, sondern immer mit Bezug auf die zum entsprechenden Zeitpunkt verfügbaren Informationen oder Daten. Ob ein Modell ein Phänomen repräsentiert, kann immer nur für einen bestimmten Zeitpunkt und die zu diesem Zeitpunkt zur Verfügung stehenden Informationen entschieden werden. Nur weil sich ein Modell zu einem späteren Zeitpunkt als überholt und obsolet erweist, ist damit nicht gesagt, daß es zu einem früheren Zeitpunkt nicht den vorhandenen und bekannten empirischen Sachverhalt völlig zufriedenstellend repräsentierte.

Was heißt dies nun für die propositionale Analyse von Repräsentation?

*ad (A), Funktion*

Der Dreh- und Angelpunkt dieser Charakteristika von Repräsentation ist zu motivieren, warum auch falsche Propositionen in Modellen enthalten sein dürfen. So lassen sich falsche Propositionen z.B. rechtfertigen unter Bezugnahme auf die Funktion des Modells. Im Einzelfall sieht das dann so aus, daß die Funktion des Modells (z.B. zu erklären, anzuleiten, eine technische Anwendung zu ermöglichen) soweit Priorität genießt, daß dem Erfüllen dieser Funktion die Wahrheit bestimmter, im Modell enthaltener Sätze ‚geopfert‘ wird. Nimmt man im Bohrschen Atommodell Kreisbahnen an, so ist das zwar falsch, ermöglicht aber ein unseren Vorstellungsmöglichkeiten angepaßtes Modell. Das Ziel der Wahrheit aller im Modell enthaltenen Propositionen wird dem Ziel der Funktionserfüllung untergeordnet. Dies bedeutet gleichzeitig, daß irgendwo beim Modellieren eine Art Wertung stattfindet diesbezüglich, welche im Modell enthaltenen Propositionen so zentral sind, daß sie wahr sein *müssen*, damit das Modell nicht nur seine Funktion erfüllt,

sondern auch in angemessenem Maße sich auf den relevanten Aspekt der empirischen Wirklichkeit bezieht. Andere Sätze gelten hingegen als weniger zentral, so daß ihre Falschheit eher toleriert werden kann, wenn dies gewisse pragmatische Vorzüge mit sich bringt.

*ad (B), Selektion*

Die letzte Überlegung führt mich gleich zum nächsten Punkt, nämlich daß ein Modell selten in der Lage ist, ein empirisches Phänomen in seiner Ganzheit zu modellieren. Entsprechend gibt es auch tatsächlich Propositionen innerhalb des Modells, die den ausgewählten, zu modellierenden Aspekt mehr betreffen als andere. Deshalb ist deren Wahrheit auch zentraler als die bestimmter anderer Propositionen, die eher periphär zu dem ausgewählten Aspekt des Phänomens sind, der modelliert werden soll. Ein viel zitiertes Beispiel für solches selektives Modellieren sind die verschiedenen Modelle des Atomkerns, welche jeweils verschiedene Aspekte dieses empirischen Phänomens separat voneinander modellieren. In diesem Zusammenhang wird es ohne weiteres in Kauf genommen, daß ein Modell bezüglich eines in ihm nicht behandelten Aspekt des Phänomens falsche Aussagen macht. Versteht man z.B. den Atomkern als ein geladenes Flüssigkeitströpfchen mit einer Oberflächenspannung, so dient dieses Tröpfchenmodell dazu, die Bindungsenergie der Nukleonen untereinander zu beschreiben (Bindungsenergie ungefähr proportional zur Masse des Atomkerns). Deshalb eignet sich dieses Modell nur für Eigenschaften des Atomkerns, die sich monoton mit der Ordnungszahl der Kerne ändern. Das Schalenmodell hingegen erklärt, warum Kerne bestimmter Ordnungszahlen, den sogenannten magischen Nukleonenzahlen, besonders stabil sind (ähnlich wie bei den Elektronenschalen im Bohrschen Atommodell). Umgekehrt erklärt das gewöhnliche Schalenmodell nicht, wie sich die Bindungsenergie mit der Masse des Kerns verändert. (Die Selektion findet hier in Abhängigkeit von der Funktion des Erklärens statt.)

*ad (C), Übereinstimmung mit den Daten*

Die Erwartung, daß repräsentierende Modelle mit den für sie relevanten Daten in Einklang sind, ist insofern unproblematisch, als sie eigentlich nur zu wahren Propositionen führen sollte. Es gibt allerdings auch hier die eine oder andere Ausnahme. Ab und an wird ein Modell akzeptiert, obwohl es selbst in zentralen Punkten nicht mit den verfügbaren empirischen Daten übereinstimmt. Dies geschieht meist dann, wenn ein besseres, den Daten besser entsprechendes Modell nicht zur Verfügung steht (Bailer-Jones 2000b).

## **Modellbenutzer**

Wenn man einerseits voraussetzt, daß naturwissenschaftliche Modelle empirische Phänomene *repräsentieren*, und andererseits die oben genannten De-

fizite der Ungenauigkeit, Inkonsistenz und Aspekthaftigkeit betrachtet, so kann man dadurch, daß man Repräsentation in Abhängigkeit von Funktion, Selektion und verfügbaren Daten versteht, wenigstens einigermaßen motivieren, wie es überhaupt sein kann, daß wir Modelle als sich auf die Wirklichkeit beziehend verstehen. Es fehlen allerdings weiterhin spezifische Kriterien, nach denen festgelegt ist, welche Propositionen zentral zu einem Modell gehören, welche also schlicht nicht falsch sein dürfen. Meines Erachtens kann man sich hier der Einsicht kaum verschließen, daß es solche Kriterien zum Auswählen und Abwägen der zentralen Propositionen innerhalb der Modelle nicht gibt. Schlüsselte man den Repräsentationsbegriff nach Funktion, Selektion und verfügbaren Daten auf, so läßt sich kaum übersehen, daß Repräsentieren das das Modell verwendende Subjekt zur Bedingung hat (vgl. Mormann 1997). Nur die Modellbenutzer können die Tatsache der Funktion von Modellen, ihre Aspekthaftigkeit und die Beurteilung ihres Passens zu den Daten umsetzen:

- (a) Der Modellbenutzer sieht sich in der Lage, ein Modell angesichts seiner Funktion auf Brauchbarkeit hin zu beurteilen. Im Lichte der intendierten Funktion entscheidet sich dann, ob bestimmte falsche, im Modell enthaltenen Propositionen toleriert werden können.
- (b) Der Modellbenutzer sieht sich in der Lage, ein Modell dem Aspekt eines Phänomens zuzuordnen, für den das Modell formuliert ist. Dadurch können auch mehrere Aspekte eines Phänomens durch mehrere verschiedene Modelle beschrieben werden, selbst wenn diese nicht in jeder Hinsicht miteinander konsistent sind.
- (c) An sich sollte die Übereinstimmung eines Modells mit den für es relevanten empirischen Daten nicht interessengebunden, also vom Modellbenutzer unabhängig sein. Es gibt jedoch auch Ausnahmen, wo bezüglich der Übereinstimmung mit den empirischen Daten gewisse Zugeständnisse gemacht werden, um überhaupt ein Modell zur Verfügung zu haben. Die Einschätzung der Modellbenutzer bringt es mit sich, daß ein empirisch gesehen nicht ganz einwandfreies Modell dem völligen Fehlen eines Modellansatzes offensichtlich vorgezogen wird.

Nun ist es Zeit, daß ich zu meiner Ausgangsfrage zurückkehre, was passiert, wenn man einerseits naturwissenschaftliche Modelle als die Träger naturwissenschaftlicher Erkenntnis betrachtet und sich andererseits dem epistemischen Realismus verpflichtet fühlt. Dann hängen die zu postulierenden Entitäten von dem ab, was Modelle nahelegen, und dies kann bekanntlich selbst bei ein und demselben empirischen Phänomen variieren, eben je nach verwendetem Modell. Man denke nur an Wasser, das, wenn es in Rohren fließt, nach der Bernoulli-Gleichung modelliert wird, und als Teilchen, wenn es um Diffusion geht. Was ist dann Wasser eigentlich? Während sich

aus multiplen Modellen nicht unbedingt eindeutig solche Entitäten ableiten lassen, die uns bedeuten, ‚was die Welt im Innersten zusammenhält‘, ist die Vorgehensweise, welche sich multipler Modelle bedient, offensichtlich den kognitiven Fähigkeiten der Modellbenutzer trotzdem angemessen, was eher einen Instrumentalismus oder Idealismus nahelegt. Will man von dieser Vorgehensweise ausgehend aber auf eine den Phänomenen zugrundeliegende Struktur der Wirklichkeit schließen, wird es einfach problematisch. Einer *einheitlichen*, also nicht funktionsabhängigen und selektiven Erkenntnis sind insofern Grenzen gesetzt als die Formulierung von Modellen der ‚Intervention‘, d.h. der Wertung und Beurteilung, derer bedarf, die die Modelle formulieren und benutzen. Man kann natürlich auch, was die Ontologie angeht, radikale Konsequenzen ziehen. So besteht z.B. die Möglichkeit einer Flickenteppich-Ontologie. Nach Cartwright sollte ‚mixed modelling‘, bei all seinen antirealistischen bzw. instrumentalistischen Anklängen, niemanden daran hindern, Realist bezüglich *aller* verwendeter Modelle zu sein. Eigentlich darf es, laut Cartwright, kein Problem sein, verschiedene, auch sich widersprechende Beschreibungsweisen nebeneinander bestehen zu lassen, weshalb Cartwrights Vorschlag, gerade für den Bereich der Quantenmechanik, lautet: „assigning two different kinds of descriptions and counting both true (Cartwright 1999, S. 232). Die Welt ist ‚gesprenkelt‘ („dappled“), da sich in ihr nicht allgemein die Gesetzmäßigkeiten wiederfinden lassen, an die Naturgesetze uns glauben machen sollen. Eine angemessene Sichtweise der Welt ähnele einem aus Gesetzen zusammengestückelten ‚Flickenteppich‘ („patchwork of laws“), wobei Gesetze jeweils nur in einem von speziellen Modellen herausgegriffenen Bereich Gültigkeit haben; in jedem ‚Flickchen‘ könne dann eine andere Ontologie Gültigkeit haben.

Teilt man allerdings die Bereitschaft zu einer Flickenteppich-Ontologie nicht, wird es zunehmend fragwürdig, wie man, wenn man Modelle als die eigentlichen Erkenntnisträger naturwissenschaftlicher Forschung akzeptiert, von der sich in Modellen manifestierenden Erkenntnisform zu einer realistischen Position gelangen kann. Ich fürchte, Ronald Gieres (1999b) perspektivischer Realismus ist dementsprechend nur dem Namen nach ein Realismus. Das Interpretieren von Modellen, genau wie das von Landkarten, Gieres Lieblingsbeispiel (Giere 1999a), erfordert die Intervention der Modellbenutzer. Damit meine ich, daß Modellbenutzer hinsichtlich der Verwendung von Modellen Entscheidungen treffen müssen und sich bezüglich dieser auch untereinander einig werden müssen. Leider ergibt sich daraus, daß jegliche ontologische Annahmen, die auf die Modellbenützung gegründet werden sollen, auch von den pragmatischen Entscheidungen der Erkennenden abhängig sind. Der Sprung von Epistemologie zu realistischer Ontologie bleibt also in Anbetracht von naturwissenschaftlichen Modellen schwierig. Mein unzulänglicher Versuch, Modelle sozusagen in Grundeinheiten, d.h. in wahren und falschen Propositionen, zu fassen, macht dies mehr als deutlich. Wenn ein für Modelle entwickelter Repräsentationsbegriff an die

Stelle eines traditionellen Realismusverständnisses treten soll, dann bleibt dieser Übergang weiter zu analysieren. Ein rein propositionaler Repräsentationsbegriff, das ergibt meine Überlegung, reicht jedenfalls bei weitem nicht aus, um Modellen auch nur annähernd in ihrer Funktionsweise gerecht zu werden.

## Literatur

- Bailer-Jones, D. M. (1999): Tracing the Development of Models in the Philosophy of Science, in: L. Magnani, N. J. Nersessian und P. Thagard (Hrsg.): *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery*, New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, S. 23-40.
- Bailer-Jones, D. M. (2000a): Modelling Extended Extragalactic Radio Sources, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 31B, S. 49-74.
- Bailer-Jones, D. M. (2000b): Scientific Models as Metaphors, in: F. Hallyn (Hrsg.): *Metaphor and Analogy in the Sciences*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, S.181-198 .
- Bailer-Jones, D. M. (2001a, im Erscheinen): Models, Metaphors and Analogies, in: P. Machamer und M. Silberstein (Hrsg.): *Blackwell Guide to Philosophy of Science*, Oxford: Blackwell.
- Bailer-Jones, D. M. (2001b, im Erscheinen): Naturwissenschaftliche Modelle – philosophisch befragt, in: E. Lade (Hrsg.): *Christliches ABC – ein Handbuch für Lebensfragen und kirchliche Erwachsenenbildung*.
- Bailer-Jones, D. M. (2001c, unveröffentlichtes Manuskript): When Scientific Models Represent.
- Bailer-Jones, D. M. (2001d, im Erscheinen): Realist-Sein mit Blick auf naturwissenschaftliche Modelle, in: C. Halbig und C. Suhm (Hrsg.): *Realismusdebatten in der neueren Philosophie*.
- Bailer-Jones, D. M. (2001e, im Erscheinen): Sketches as Mental Reifications of Theoretical Scientific Treatment, in: M. Anderson, B. Meyer und P. Olivier (Hrsg.): *Diagrammatic Representation and Reasoning*, London: Springer-Verlag.
- Black, M. (1962): *Models and Metaphors*, Ithaca/New York: Cornell University Press.
- Black, M. (1993): More about metaphor, in: A. Ortony (Hrsg.): *Metaphor and Thought*, Cambridge: Cambridge University Press, S. 19-41.
- Cartwright, N. (1999): *The Dappled World*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Cartwright, N., Shomar, T., und Suárez, M. (1995): The tool box of science: Tools for the building of models with a superconductivity example, in: W. E. Herfel, W. Krajewski, I. Niiniluoto, und R. Wojcicki (Hrsg.): *Theories and Models in Scientific Processes*, Poznan Studies in the Philosophy of the Sciences and the Humanities, Amsterdam: Rodopi, S.137-149.
- Giere, R. (1996): Visual models and scientific judgment, in: B. Baigrie (Hrsg.): *Scientific Illustration: Historical and Philosophical Problems Concerning the Interaction Between Art and Science*, Toronto: University of Toronto Press, S. 269-302.

- Giere, R. (1999a): Using Models to Represent Reality, in: L. Magnani, N. Nersessian und P. Thagard (Hrsg.): *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery*, Kluwer Academic/Plenum Publishers: New York, S. 41-57.
- Giere, R. (1999b): *Science without Laws*, Chicago: University of Chicago Press.
- Harré, R. (1960): Metaphor, Model and Mechanism, *Proceedings of the Aristotelian Society* 60, S. 101-122.
- Harré, R. (1970): *The Principles of Scientific Thinking*, London: Macmillan.
- Hesse, M. (1953): Models in Physics, *British Journal for the Philosophy of Science* 4, S. 198-214.
- Hesse, M. (1966): *Models and Analogies in Science*, Notre Dame: University of Notre Dame Press.
- Hughes, R. I. G. (1997): Models and Representation, in: L. Darden (Hrsg.): *PSA 1996*, East Lansing: Philosophy of Science Association, S. S325-S336.
- Hutten, E. H. (1954): The Role of Models in Physics, *British Journal for the Philosophy of Science* 4, S. 284-301.
- McMullin, E. (1976): The Fertility of Theory and the Unit for Appraisal in Science, in: R. S. Cohen, P. K. Feyerabend und M. W. Wartofsky (Hrsg.), *Essays in Memory of Imre Lakatos*, Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, S. 395-432.
- Morgan, M., und Morrison M. (Hrsg.) (1999): *Models as Mediators*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Mormann, T. (1997): Ist der Begriff der Repräsentation obsolet?, *Zeitschrift für philosophische Forschung* 51, S. 349-366.
- Morrison, M. C. (1998): Modelling Nature: Between Physics and the Physical World, *Philosophia Naturalis* 35, S. 65-85.
- Nersessian, N. J. (1992): How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science, in: R. Giere (Hrsg.): *Cognitive Models of Science*, Minnesota Studies in the Philosophy of Science, Bd. XV, Minneapolis: University of Minnesota Press, S. 3-44.
- Putnam, H. (1974): The 'Corroboration' of Theories, in: P. A. Schilpp (Hrsg.): *The Philosophy of Karl Popper*, La Salle, Illinois: Open Court, S. 221-240.
- Ruse, M. (1991): Are pictures really necessary? The case of Sewell Wright's "adaptive landscapes", in: A. Fine, M. Forbes und L. Wessels (Hrsg.): *PSA 1990*, Bd. 2, East Lansing, Michigan: Philosophy of Science Association, S. 63-77.
- Suárez, M. (1999): Theories, Models, and Representations, in: L. Magnani, N. Nersessian und P. Thagard (Hrsg.): *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery*, New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, S. 75-83.