

## **Modelle als Grenzobjekte**

### **Wissenschaftliche Modellbildung zwischen Boghossians epistemischem Minimalismus und Otts Grenzontologie**

von Miguel deCursora

#### **Abstract**

Dieser Essay entwickelt eine ontologische Theorie wissenschaftlicher Modelle auf der Grundlage von Erwin Otts nicht-substantieller Grenzontologie und konfrontiert sie mit Paul Boghossians epistemischem Minimalismus. Die Ausgangsthese lautet, dass wissenschaftliche Modelle weder als Abbilder schematunabhängiger Tatsachen noch als soziale Konstrukte angemessen verstanden werden können. Sie sind vielmehr relationale Knotenpunkte, deren Identität durch ihre Position in einem Netz von Relationen zu Zieldomäne, mathematischen Strukturen, Messpraktiken und theoretischen Rahmungen konstituiert wird – eine Verfassung, die Otts fünf Strukturmomente (Relationalität, Prozessualität, Negativität, Gradualität, Offenheit) präzise erfasst.

Der Essay gliedert sich in zehn Abschnitte. Nach einer Einleitung, die das Problem der Modelle als philosophisches Stiefkind identifiziert, rekapituliert Abschnitt II Otts Forschungsdesiderat zum Verhältnis seiner Grenzontologie zu den Wissenschaften und weist wissenschaftliche Modellbildung als privilegierten Testfall aus. Abschnitt III rekonstruiert Boghossians Argument gegen den Konstruktivismus und Relativismus und konfrontiert es mit dem Bohr-Modell, um die ontologische Unterbestimmtheit seines epistemischen Minimalismus sichtbar zu machen. Abschnitt IV entwickelt den Begriff des Modells als Grenzobjekt in ontologischer Hinsicht, grenzt ihn von Star und Griesemers soziologischem Vorläufer ab und zeigt, dass die dreifache Zwischenstellung von Modellen (zwischen Tatsache und Konstrukt, Theorie und Phänomen, Gemeinschaften und Praktiken) ontologisch konstitutiv ist.

Abschnitt V übersetzt Otts fünf Strukturmomente systematisch in eine ontologische Theorie der Modellpraxis: Modelle sind relationale Knotenpunkte (5.1), deren Stabilisierung eine prozessuale Leistung ist (5.2), deren Bestimmtheit durch konstitutive Ausschlüsse (Idealisierungen, Abstraktionen) strukturiert wird (5.3), deren Adäquatheit graduell ist (5.4) und deren Anwendungsbereich prinzipiell offen ist (5.5). Abschnitt VI entwickelt die apophatische Dimension der Modellpraxis: Unterbestimmtheit wird nicht als epistemisches Defizit, sondern als Reflex der Grenzstruktur gedeutet (6.1-6.2), und die vier Strukturmerkmale performativer Apophatik (immanente Kritik, Asymmetrie von Destruktion und Konstruktion, Selbstanwendung, Verweisung auf das Nicht-Assertorische durch Vollzug) finden eine präzise Entsprechung in der wissenschaftlichen Modellpraxis (6.3). Wissenschaftliche Modellierung erweist sich damit als epistemischer Vollzug der Grenzstruktur (6.4).

Abschnitt VII behandelt das Kernproblem der Normativität und entwickelt eine relationale Normativitätstheorie, die weder auf vollständig bestimmbare Standards angewiesen ist noch in Relativismus führt. Drei komplementäre Strategien werden vorgeschlagen: Normativität

als relationale Kohärenz (Integration in das wissenschaftliche Relationsnetz), Normativität als prozessuale Bewährung (Fruchtbarkeit, Übertragbarkeit, Präzisierungsfähigkeit) und Normativität als graduelle Adäquatheit (Kontrolle der Grenzen und Idealisierungen). Diese Theorie wird gegen den Einwand des Relativismus verteidigt (7.4) und als dritter Weg zwischen Minimalrealismus und Relativismus ausgewiesen (7.5).

Abschnitt VIII zieht die Konsequenzen für die Wissenschaftsphilosophie: Die Realismus-Antirealismus-Debatte wird jenseits von Boghossians Dichotomie neu gerahmt (8.1); Unterbestimmtheit wird als konstitutive Eigenschaft, nicht als methodisches Problem verstanden (8.2); wissenschaftlicher Fortschritt wird prozessual als Steigerung relationaler Kohärenz, prozessualer Bewährung und Selbstreflexivität beschrieben (8.3); und Modellpluralismus wird ontologisch begründet, ohne in Relativismus zu führen (8.4). Abschnitt IX reflektiert die wechselseitigen Gewinne der Konfrontation: Otts Grenzontologie gewinnt empirische Verankerung und Konkretisierung ihres Forschungsdesiderats; die Wissenschaftsphilosophie gewinnt einen ontologischen Rahmen jenseits der Realismus-Antirealismus-Dichotomie; Boghossians Minimalrealismus gewinnt ontologische Präzisierung ohne Widerlegung.

Der Schluss (Abschnitt X) fasst die Hauptthese zusammen – dass wissenschaftliche Modellbildung als epistemischer Vollzug der Grenzstruktur verstanden werden kann – und skizziert ein gemeinsames Forschungsprogramm von Ontologie, Erkenntnistheorie und Wissenschaftsphilosophie. Drei offene Fragen werden benannt: das Verhältnis zwischen ontologischer und normativer Dimension der Grenzontologie, die Anwendung auf andere wissenschaftliche Domänen (Biologie, Ökonomie, Klimawissenschaft) und das Verhältnis zwischen wissenschaftlicher Modellbildung und technischer Praxis.

Die zentrale These des Essays lautet: Wissenschaftliche Modelle sind Grenzobjekte im präzisen ontologischen Sinn; sie realisieren die fünf Strukturmomente von Otts Grenzontologie; ihre Bewertung folgt einer relationalen Normativitätstheorie, die weder auf vollständig bestimmbare Standards angewiesen ist noch in Relativismus führt; und ihre Praxis ist ein epistemischer Vollzug der Grenzstruktur, der in der Wissenschaft realisiert, was die Philosophie in der Reflexion artikuliert. Damit löst der Essay das Forschungsdesiderat ein, das Ott selbst formuliert hat, und zeigt zugleich, dass die Grenzontologie nicht nur kompatibel mit wissenschaftlicher Praxis ist, sondern deren ontologische Struktur produktiv erschließt.

## **Inhaltsverzeichnis**

### **I. Einleitung: Das Problem der Modelle**

- 1.1 Modelle als Normalfall wissenschaftlicher Praxis und philosophisches Stiefkind
- 1.2 Die erkenntnistheoretische Lücke: Warum weder Realismus noch Konstruktivismus den Normalfall erfassen
- 1.3 Ott als unerwarteter Gesprächspartner: Die Grenzontologie und ihr eigenes Forschungsdesiderat
- 1.4 Boghossian als Kontrastfolie: Epistemischer Minimalismus und seine ontologische Unterbestimmtheit

## 1.5 Leitthese und Aufbau des Essays

### **II. Otts Forschungsdesiderat: Die nicht-substantielle Ontologie und die Philosophie der Wissenschaften**

#### 2.1 Die Stelle im Text

2.2 Was Ott selbst formuliert: Kompatibilität, Spannung und offene Fragen

2.3 Die strukturelle Lücke: Normativität ohne vollständig bestimmbare Standards als ungelöstes Problem

2.4 Warum wissenschaftliche Modellbildung der privilegierte Testfall ist

### **III. Boghossians epistemischer Minimalismus und seine Grenzen**

3.1 Die Architektur des Arguments: Faktenkonstruktivismus, rationaler Konstruktivismus, epistemischer Relativismus

3.2 Der performative Selbstwiderspruch als zentrales Instrument

3.3 Schemataunabhängige Tatsachen und nicht-relative Rechtfertigungsstandards: Die positive These

3.4 Die wissenschaftsphilosophische Reichweite: Was der Minimalismus leistet

3.5 Das Bohr-Modell als erster Prüfstein: Wo die Dichotomie versagt

3.6 Verallgemeinerung: Modelle als systematische Gegenbeispiele, nicht als Anomalien

### **IV. Modelle als Grenzobjekte: Eine ontologische Charakterisierung**

4.1 Star und Griesemer: Der soziologische Vorläufer und seine Grenzen

4.2 Was eine ontologische Fundierung des Grenzobjektbegriffs leisten muss

4.3 Die dreifache Zwischenstellung von Modellen: zwischen Tatsache und Konstrukt, zwischen Theorie und Phänomen, zwischen Gemeinschaften und Praktiken

4.4 Warum die Zwischenstellung ontologisch konstitutiv ist und nicht epistemisch defizitär

### **V. Otts Strukturmomente als ontologische Theorie der Modellpraxis**

5.1 Relationalität: Modelle als relationale Knotenpunkte

5.2 Prozessualität: Stabilisierung als wissenschaftliche Leistung

5.3 Negativität: Idealisierung und Abstraktion als konstitutive Merkmale

5.4 Gradualität: Adäquatheit als Spektrum

5.5 Offenheit: Revisibilität und genuine Novität

### **VI. Die apophatische Dimension der Modellpraxis**

6.1 Unterbestimmtheit als epistemisches oder ontologisches Phänomen: Eine Neubestimmung

6.2 Die ontologische Deutung: Unterbestimmtheit als Reflex der Grenzstruktur

6.3 Die vier Strukturmerkmale performativer Apophatik in der Modellpraxis

6.4 Wissenschaftliche Modellierung als epistemischer Vollzug der Grenzstruktur

### **VII. Das Kernproblem: Normativität ohne vollständig bestimmbare Standards**

- 7.1 Die Herausforderung: Modellbewertung unter Bedingungen gradueller und relationaler Bestimmtheit
- 7.2 Boghossians Vorteil und seine ontologische Unterbestimmtheit
- 7.3 Drei komplementäre Strategien einer relationalen Normativitätstheorie
- 7.4 Kritische Prüfung: Verfällt die relationale Normativitätstheorie in Relativismus?
- 7.5 Die Antwort: Graduelle Normativität als dritter Weg zwischen Minimalrealismus und Relativismus

## **VIII. Konsequenzen für die Wissenschaftsphilosophie**

- 8.1 Die Realismus-Antirealismus-Debatte neu gerahmt: Jenseits von Boghossians Dichotomie
- 8.2 Unterbestimmtheit als konstitutive Eigenschaft, nicht als methodisches Problem
- 8.3 Wissenschaftlicher Fortschritt prozessual beschrieben: Kohärenz, Fruchtbarkeit, Selbstreflexivität statt Annäherung an fixierbare Wahrheit
- 8.4 Modellpluralismus ontologisch begründet: Warum rivalisierende Modelle koexistieren können, ohne in Relativismus zu führen

## **IX. Rückbindung: Was die Konfrontation beider Projekten gibt**

- 9.1 Was Otts Grenzontologie durch die Wissenschaftsphilosophie gewinnt: Empirische Verankerung und Konkretisierung des Forschungsdesiderats
- 9.2 Was die Wissenschaftsphilosophie durch Otts Grenzontologie gewinnt: Ontologischer Rahmen jenseits der Realismus-Antirealismus-Dichotomie
- 9.3 Was Boghossians Minimalrealismus durch beide gewinnt: Ontologische Präzisierung ohne Widerlegung

## **X. Schluss: Modellbildung als Grenzreflexion**

- 10.1 Zusammenfassung der Hauptthese
- 10.2 Das gemeinsame Forschungsprogramm: Ontologie, Erkenntnistheorie und Wissenschaftsphilosophie im Gespräch
- 10.3 Offene Fragen und Ausblick

## **I. Einleitung: Das Problem der Modelle**

### **1.1 Modelle als Normalfall wissenschaftlicher Praxis und philosophisches Stiefkind**

Wissenschaftliche Erkenntnis vollzieht sich in Modellen. Diese Feststellung ist so vertraut, dass ihre philosophische Brisanz leicht übersehen wird. Physiker arbeiten mit dem Standardmodell der Teilchenphysik, mit Atommodellen, mit Modellen des Universums in verschiedenen Stadien seiner Entwicklung. Biologen arbeiten mit Modellen der Zellteilung, der Populationsdynamik, des Proteinfaltungsprozesses. Ökonomen arbeiten mit Gleichgewichtsmodellen, Klimaforscher mit Zirkulationsmodellen, Neurowissenschaftler mit Modellen kognitiver Prozesse. Was in den Wissenschaften als Erkenntnis gilt, ist in aller

Regel nicht eine direkte Beschreibung der Wirklichkeit, sondern das Ergebnis einer Modellierungsleistung, die zwischen theoretischen Strukturen und empirischen Phänomenen vermittelt.

Und doch hat die Wissenschaftsphilosophie Modelle lange Zeit als philosophisch zweitrangige Entitäten behandelt. Die klassischen Debatten der Wissenschaftsphilosophie des zwanzigsten Jahrhunderts kreisten um Theorien, Gesetze, Erklärungen und Bestätigungsrelationen. Modelle erschienen in diesem Rahmen entweder als bloße Veranschaulichungen von Theorien, als pädagogische Hilfsmittel für Lernende, die noch nicht den mathematischen Apparat beherrschen, oder als epistemisch defizitäre Zwischenstadien auf dem Weg zu einer vollständigen theoretischen Beschreibung. Diese Auffassung ist inzwischen überwunden. Die sogenannte *model turn* in der Wissenschaftsphilosophie, die sich seit den 1990er Jahren vollzogen hat und mit Namen wie Nancy Cartwright, Margaret Morrison, Mary Morgan und Mauricio Suárez verbunden ist, hat gezeigt, dass Modelle keine abgeleiteten Entitäten sind, sondern eigenständige epistemische Werkzeuge mit einer spezifischen Struktur und Funktion, die sich weder auf Theorien noch auf Daten reduzieren lassen.

Diese Rehabilitation der Modelle in der Wissenschaftsphilosophie hat jedoch eine merkwürdige Lücke hinterlassen. Die ontologische Verfassung von Modellen ist trotz ihrer epistemischen Aufwertung philosophisch unzureichend geklärt. Was sind Modelle eigentlich? Welchen ontologischen Status haben sie? Sind sie abstrakte Strukturen, physische Artefakte, mentale Repräsentationen, fiktionale Entitäten oder etwas, das sich keiner dieser Kategorien fügt? Diese Fragen werden in der wissenschaftsphilosophischen Literatur diskutiert, aber ohne einen ontologischen Rahmen, der präzise genug wäre, um die spezifische Verfassung von Modellen zu erfassen. Das Ergebnis ist ein Paradox: Modelle sind der Normalfall wissenschaftlicher Praxis und gleichzeitig ontologisch das am wenigsten verstandene Element dieser Praxis.

## **1.2 Die erkenntnistheoretische Lücke: Warum weder Realismus noch Konstruktivismus den Normalfall erfassen**

Die Debatten der allgemeinen Erkenntnistheorie haben diese Lücke nicht geschlossen, sondern vertieft. Das liegt an einer strukturellen Eigenschaft der dominanten erkenntnistheoretischen Positionen: Sie operieren mit Kategorien, die für den Normalfall wissenschaftlicher Modellbildung zu grob sind.

Der wissenschaftliche Realismus in seinen verschiedenen Varianten behauptet, dass erfolgreiche wissenschaftliche Theorien annähernd wahr sind und dass die theoretischen Entitäten, die sie postulieren, tatsächlich existieren. Diese These ist, auf ihre Weise, plausibel und gegen antirealistische Einwände verteidigbar. Aber sie operiert mit einer Korrespondenzrelation zwischen Theorie und Wirklichkeit, die auf Modelle nur schlecht passt. Ein Modell ist nicht einfach wahr oder falsch; es ist in bestimmten Hinsichten und für bestimmte Zwecke adäquat. Das Bohr-Modell des Atoms, um das für diesen Essay zentrale Beispiel einzuführen, beschreibt Elektronen als Teilchen, die auf diskreten Bahnen um den Kern kreisen. Diese Beschreibung ist für viele Zwecke außerordentlich fruchtbar; sie erklärt das Wasserstoffspektrum mit beeindruckender Präzision. Und doch ist sie in einem strengen Sinn falsch: Elektronen haben keine wohldefinierten Bahnen; ihre Position und ihr Impuls

sind komplementäre Observablen, die nicht simultan scharf bestimmt werden können. Das Bohr-Modell wurde durch das quantenmechanische Modell ersetzt, ohne damit schlicht falsch gewesen zu sein. Es war in einem bestimmten Anwendungsbereich und für bestimmte Erklärungszwecke adäquat und in anderen nicht. Der Realismus hat Schwierigkeiten, diese graduelle und kontextabhängige Adäquatheit ontologisch zu fassen.

Der Konstruktivismus und der epistemische Relativismus, gegen die Paul Boghossian in *Fear of Knowledge* argumentiert, stehen vor dem entgegengesetzten Problem. Sie vermeiden zwar die starken Korrespondenzansprüche des Realismus, aber um den Preis, die normative Dimension wissenschaftlicher Modellbildung aufzugeben. Wenn wissenschaftliche Modelle soziale Konstrukte sind, deren Gültigkeit relativ zu konzeptuellen Schemata oder Gemeinschaftsnormen ist, dann ist nicht mehr verständlich, warum bestimmte Modelle besser sind als andere, warum wissenschaftliche Praxis Fortschritt kennt und warum die Modelle der modernen Physik eine Präzision der Vorhersage ermöglichen, die soziale Konstrukte schwerlich leisten könnten. Der Konstruktivismus erfasst die soziale Einbettung wissenschaftlicher Praxis, verfehlt aber deren normative Dimension.

Beide Positionen scheitern am Normalfall, weil sie mit einer Dichotomie operieren, die den Normalfall nicht enthält: entweder schemataunabhängige Tatsachen, auf die wissenschaftliche Modelle mehr oder weniger erfolgreich zugreifen, oder soziale Konstrukte ohne transsubjektive Gültigkeit. Modelle passen in keine dieser Kategorien. Sie sind nicht einfach Abbilder schemataunabhängiger Tatsachen, weil ihre Adäquatheit kontextabhängig, graduell und zweckrelativ ist. Sie sind nicht einfach soziale Konstrukte, weil ihre Bewertung nicht beliebig ist und weil sie empirische Konsequenzen haben, die sie bestätigen oder widerlegen können. Die Dichotomie ist zu grob, und ihre Vergrößerung ist nicht kontingent, sondern strukturell: Sie folgt aus der ontologischen Unterbestimmtheit beider Positionen.

Diese Unterbestimmtheit hat eine präzise Diagnose. Weder der wissenschaftliche Realismus noch der epistemische Relativismus hat eine ausgearbeitete Ontologie der Modelle selbst. Sie fragen, ob Modelle wahr sind oder konstruiert, aber nicht, was Modelle ontologisch sind. Diese Frage ist der blinde Fleck beider Positionen, und er ist kein zufälliges Versäumnis, sondern ein Symptom einer tieferliegenden ontologischen Unterbestimmtheit, die in den Voraussetzungen beider Positionen angelegt ist.

### **1.3 Ott als unerwarteter Gesprächspartner: Die Grenzontologie und ihr eigenes Forschungsdesiderat**

An dieser Stelle tritt ein unerwarteter Gesprächspartner in das Gespräch ein. Erwin Otts Vorlesungsreihe über [Apophatik und Prozess als Grenzbegriffe der Ontologie](#) ist nicht für die Wissenschaftsphilosophie geschrieben worden. Otts Projekt ist die Entwicklung und Begründung einer nicht-substantiellen Ontologie, die aus der transzendentalen Reflexion auf die Bedingungen der Möglichkeit von Bestimmtheit überhaupt hervorgeht. Seine Gesprächspartner sind Nāgārjuna und Whitehead, Plotin und Hegel, die negative Theologie und die zeitgenössische analytische Metaphysik. Die Wissenschaftsphilosophie erscheint in diesem Gespräch allenfalls am Rand.

Und doch formuliert Ott in seiner Vorlesungsreihe explizit ein Forschungsdesiderat, das aus seiner Grenzontologie folgt und das direkt in das Terrain führt, um das es in diesem Essay

geht. Die erste der drei offenen Fragen, die Ott am Ende seiner Untersuchung formuliert, betrifft das Verhältnis der nicht-substantiellen Ontologie zu den Wissenschaften. Ott schreibt, dass seine Ontologie mit den Grundtendenzen der modernen Physik kompatibel sei und als philosophische Explikation ihrer ontologischen Implikationen verstanden werden könne. Die Relationalität entspreche der relationalen Raum-Zeit-Konzeption der Relativitätstheorie, die Prozessualität den dynamischen Quantenfeldern, die Offenheit der indeterministischen Struktur der Quantenmechanik. Aber er hält auch fest, dass die Kompatibilität nicht vollständig sei und dass ein vollständig relationaler und prozessualer Rahmen erst noch zu entwickeln sei, der die empirischen Erfolge der modernen Physik reproduziere.

Dieses Desiderat ist philosophisch bedeutsamer, als es auf den ersten Blick erscheint. Ott formuliert es als offene Frage für zukünftige Forschung, aber er signalisiert damit zugleich, dass seine Grenzontologie einen Anspruch auf wissenschaftsphilosophische Relevanz erhebt, der über bloße Kompatibilitätsbehauptungen hinausgeht. Eine Ontologie, die die Grundstruktur des Seienden als relational, prozessual, graduell und offen beschreibt, hat implizit etwas über den ontologischen Status wissenschaftlicher Entitäten gesagt, und die Frage ist, ob diese impliziten Aussagen expliziert und auf die konkrete Praxis wissenschaftlicher Modellbildung bezogen werden können.

Die These dieses Essays lautet, dass dies nicht nur möglich, sondern philosophisch außerordentlich fruchtbar ist. Otts fünf Strukturmomente der nicht-substantiellen Ontologie, nämlich Relationalität, Prozessualität, Negativität, Gradualität und Offenheit, lassen sich als präzise ontologische Charakterisierung wissenschaftlicher Modelle lesen, und zwar nicht metaphorisch, sondern strukturell. Modelle sind relationale Knotenpunkte, deren Identität durch ihre Position in einem Netz von Relationen konstituiert wird; ihre Stabilität ist eine prozessuale Leistung; ihre Bestimmtheit ist konstitutiv durch Ausschluss strukturiert; ihre Adäquatheit ist graduell; und ihr Anwendungsbereich ist prinzipiell offen. Diese fünf Eigenschaften sind keine externen Zuschreibungen, die dem Phänomen der Modellierung von außen aufgezwungen werden; sie folgen aus der Struktur dessen, was Modellierung ist und leistet. Otts Grenzontologie erweist sich damit als die ontologische Theorie, die das Phänomen der wissenschaftlichen Modellbildung am präzisesten erfasst, und die Ausarbeitung dieser Erkenntnis ist zugleich ein Beitrag zur Einlösung des Forschungsdesiderats, das Ott selbst formuliert hat.

#### **1.4 Boghossian als Kontrastfolie: Epistemischer Minimalismus und seine ontologische Unterbestimmtheit**

Neben Ott tritt Paul Boghossian als zweiter Gesprächspartner in diesen Essay ein, aber in einer anderen Rolle: nicht als Verbündeter, sondern als Kontrastfolie, an der die Grenzen eines rein epistemischen Zugangs zu Fragen der wissenschaftlichen Erkenntnis sichtbar werden.

Boghossians *Fear of Knowledge* ist eine der klarsten und überzeugendsten Verteidigungen eines epistemischen Minimalismus gegen konstruktivistische und relativistische Positionen, die in den letzten Jahrzehnten geschrieben worden ist. Boghossian zeigt mit beeindruckender argumentativer Präzision, dass der Faktenkonstruktivismus, der rationale Konstruktivismus und der epistemische Relativismus sämtlich in performative Selbstwidersprüche führen: Wer behauptet, dass alle Wahrheit relativ zu einem

konzeptuellen Schema ist, macht diese Behauptung selbst mit dem Anspruch auf schemataunabhängige Gültigkeit; wer behauptet, dass Rechtfertigungsnormen nur innerhalb einer Gemeinschaft gelten, rechtfertigt diese Behauptung mit Normen, die gemeinschaftsübergreifende Gültigkeit beanspruchen. Das Selbstwiderspruchsargument ist in seiner Grundstruktur überzeugend, und seine Anwendung auf die verschiedenen Varianten des Konstruktivismus liefert ein wirksames philosophisches Instrument gegen Positionen, die den normativen Charakter wissenschaftlicher Erkenntnis zu untergraben drohen.

Aber Boghossians Stärke ist zugleich seine Grenze. Der epistemische Minimalismus, den er aus der Widerlegung des Konstruktivismus gewinnt, ist eine These über die Normen epistemischer Rechtfertigung, keine Theorie der ontologischen Verfassung wissenschaftlicher Entitäten. Er sagt, dass es schemataunabhängige Tatsachen gibt und dass nicht alle Rechtfertigungsstandards gleich gut sind. Was er nicht sagt, und was er in seinem eigenen Rahmen auch nicht sagen kann, ist, welchen ontologischen Status die Entitäten haben, mit denen wissenschaftliche Praxis umgeht, wie die Adäquatheit wissenschaftlicher Modelle ontologisch zu verstehen ist und warum graduelle und kontextabhängige Adäquatheit mit der These schemataunabhängiger Tatsachen vereinbar ist.

Diese Lücke ist keine Schwäche von Boghossians Argument auf seiner eigenen Ebene. Sie ist eine Grenze seiner Reichweite, die sichtbar wird, wenn man Boghossian mit dem Phänomen wissenschaftlicher Modellbildung konfrontiert. Das Bohr-Modell ist weder einfach wahr noch einfach ein soziales Konstrukt; es ist in bestimmten Hinsichten adäquat und in anderen nicht, es wurde durch ein besseres Modell ersetzt, ohne schlicht falsch gewesen zu sein, und es leistet für bestimmte Erklärungszwecke bis heute wertvolle Arbeit. Boghossians Dichotomie zwischen schemataunabhängigen Tatsachen und sozialen Konstrukten erfasst keinen dieser Aspekte. Das Bohr-Modell ist ein Grenzobjekt in einem präzisen philosophischen Sinn: Es liegt strukturell zwischen den Kategorien, die Boghossian zur Verfügung stellt, und diese Zwischenlage ist nicht eine epistemische Unklarheit, die durch bessere Begriffe behoben werden könnte, sondern eine ontologische Eigenschaft des Phänomens selbst.

Boghossian dient in diesem Essay also als Kontrastfolie in dem Sinn, dass seine Position die ontologische Unterbestimmtheit der herrschenden erkenntnistheoretischen Debatte exemplarisch sichtbar macht. Diese Funktion schmälert seine philosophische Leistung nicht; sie situiert sie. Boghossian ist im Recht gegen den Relativismus und den Konstruktivismus. Aber er ist im Recht auf einer Ebene, die die ontologischen Fragen, um die es in diesem Essay geht, nicht beantwortet und nicht beantworten kann. Otts Grenzontologie erschließt genau diese Ebene.

## **1.5 Leitthese und Aufbau des Essays**

Die Leitthese dieses Essays lautet: Wissenschaftliche Modelle sind relationale, prozessuale und graduelle Entitäten, deren ontologische Verfassung die Dichotomie zwischen schemataunabhängigem Realismus und konstruktivistischer Beliebigkeit systematisch unterläuft. Otts nicht-substantielle Grenzontologie liefert die ontologische Theorie, die diese Verfassung präzise erfasst, und ermöglicht zugleich die Entwicklung einer

Normativitätstheorie der Modellbewertung, die weder in naiven Realismus noch in Relativismus führt. Damit erfüllt sie das Forschungsdesiderat, das Ott selbst formuliert, und übersteigt es zugleich, indem sie zeigt, dass die Grenzontologie nicht nur kompatibel mit wissenschaftlicher Praxis ist, sondern deren ontologische Struktur produktiv erschließt.

Der Essay entfaltet diese These in neun weiteren Abschnitten. Abschnitt II rekapituliert Otts Forschungsdesiderat und expliziert, warum wissenschaftliche Modellbildung der privilegierte Testfall für seine Grenzontologie ist. Abschnitt III rekonstruiert Boghossians epistemischen Minimalismus und konfrontiert ihn systematisch mit dem Phänomen wissenschaftlicher Modellbildung, um die Dichotomie und ihre Grenzen präzise zu bestimmen. Abschnitt IV entwickelt den Begriff des Modells als Grenzobjekt in ontologischer Hinsicht und grenzt ihn von Star und Griesemers soziologischem Vorläufer ab. Abschnitt V übersetzt Otts fünf Strukturmomente systematisch in eine ontologische Theorie der Modellpraxis und verbindet sie mit den relevanten wissenschaftsphilosophischen Positionen. Abschnitt VI entwickelt die apophatische Dimension der Modellpraxis und deutet das Phänomen der Unterbestimmtheit ontologisch neu. Abschnitt VII behandelt das Kernproblem der Normativität und entwickelt eine relationale Normativitätstheorie, die dem Relativismus widersteht. Abschnitt VIII zieht die Konsequenzen für die Wissenschaftsphilosophie im Ganzen. Abschnitt IX reflektiert, was die Konfrontation beider Projekten gibt. Abschnitt X schließt mit einer Bestimmung wissenschaftlicher Modellbildung als Grenzreflexion.

## **II. Otts Forschungsdesiderat: Die nicht-substantielle Ontologie und die Philosophie der Wissenschaften**

### **2.1 Die Stelle im Text**

Philosophische Forschungsprogramme verraten sich oft in ihren Randbemerkungen. Was ein Denker als offene Frage formuliert, als Desiderat für zukünftige Arbeit, als Grenze des eigenen Unternehmens, ist häufig philosophisch aufschlussreicher als die ausgearbeiteten Hauptthesen, weil es anzeigt, wo das System an seine eigene Grenze stößt und wo es sich selbst überschreiten müsste, um vollständig zu sein. Kapitel 12.8 von Otts Vorlesungsreihe hat genau diesen Charakter.

Das Kapitel trägt den Titel Nicht-substantielle Ontologie und Philosophie der Wissenschaften und ist das erste der drei offenen Fragen, die Ott im Schlussteil seiner Untersuchung formuliert. Es steht in einem Abschnitt, der explizit als Formulierung von Forschungsdesiderata markiert ist, nicht als Ausarbeitung gesicherter Ergebnisse. Damit signalisiert Ott, dass er hier die Grenzen seines eigenen Projekts beschreibt und zugleich auf ein Terrain verweist, das aus der inneren Logik seiner Grenzontologie folgt, ohne in den zwölf Vorlesungen selbst betreten worden zu sein.

Die systematische Stellung dieses Kapitels ist bedeutsam. Es steht nach der transzendentalen Deduktion der Invarianzthese, nach der Ausarbeitung der fünf Strukturmomente der nicht-substantiellen Ontologie und nach den drei Anwendungen auf klassische philosophische Probleme. Das heißt: Ott formuliert das Desiderat einer wissenschaftsphilosophischen Erweiterung aus einer Position der ontologischen Stärke heraus, nicht aus einer Position der Unsicherheit. Er hat sein philosophisches Programm soweit entwickelt, dass die Frage nach dem Verhältnis zur Wissenschaft nicht mehr als

externe Anfrage erscheint, sondern als interne Konsequenz. Die Grenzontologie hat einen Punkt erreicht, an dem sie sich selbst nach ihrer wissenschaftsphilosophischen Reichweite befragen muss.

Es ist bemerkenswert, dass Ott diese Frage in seiner eigenen Gliederung als erste der offenen Fragen behandelt, vor der Frage nach dem Verhältnis zur normativen Theorie und vor der Frage nach den Grenzen der Invarianzthese als Forschungsprogramm. Diese Reihung ist nicht zufällig. Sie zeigt, dass die wissenschaftsphilosophische Frage für Ott die dringlichste der drei offenen Fragen ist, weil sie am direktesten an den Kern seiner Ontologie rührt: an die These, dass Relationalität, Prozessualität, Negativität, Gradualität und Offenheit die grundlegenden Strukturmomente des Seienden sind. Wenn diese These stimmt, dann muss sie auch für die Entitäten stimmen, mit denen wissenschaftliche Praxis umgeht, und die Frage, ob und wie sie dort stimmt, ist ein entscheidender Prüfstein für die Tragfähigkeit der gesamten Grenzontologie.

## **2.2 Was Ott selbst formuliert: Kompatibilität, Spannung und offene Fragen**

Otts Formulierung des Desiderats bewegt sich auf drei Ebenen, die sorgfältig unterschieden werden müssen, weil sie verschiedene philosophische Ansprüche artikulieren.

Die erste Ebene ist die Kompatibilitätsbehauptung. Ott behauptet, dass seine nicht-substantielle Ontologie mit den Grundtendenzen der modernen Physik kompatibel ist und als philosophische Explikation ihrer ontologischen Implikationen verstanden werden kann. Er benennt drei konkrete Korrespondenzen: Die Relationalität seiner Ontologie entspreche der relationalen Raum-Zeit-Konzeption der Relativitätstheorie, die substanzontologisches Bild stabiler materieller Punkte in einem neutralen Raumzeit-Rahmen unterlaufe. Die Prozessualität entspreche der dynamischen Natur der Quantenfelder, in denen die grundlegenden Einheiten der Physik nicht stabile Punkte im Raum, sondern Ereignisse und Prozesse sind. Die Offenheit entspreche der indeterministischen Struktur der Quantenmechanik, in der der zukünftige Zustand eines Systems nicht vollständig durch den gegenwärtigen determiniert ist.

Diese Kompatibilitätsbehauptung hat einen bescheidenen, aber nicht trivialen Anspruch. Sie sagt nicht, dass die Grenzontologie aus der modernen Physik folgt oder dass sie eine physikalische Theorie ist. Sie sagt, dass die ontologischen Implikationen der modernen Physik, soweit sie philosophisch rekonstruierbar sind, mit der Struktur der Grenzontologie übereinstimmen. Das ist ein Kohärenzargument, kein Ableitungsargument, und als solches ist es philosophisch legitim und interessant.

Die zweite Ebene ist die Spannungsbehauptung. Ott hält ausdrücklich fest, dass die Kompatibilität nicht vollständig ist. Die moderne Physik operiere immer noch mit mathematischen Strukturen, die substanzontologische Züge tragen. Diese Feststellung ist philosophisch wichtig, weil sie zeigt, dass Ott nicht in eine naive Harmonisierung verfällt. Er sieht, dass zwischen seiner Grenzontologie und der tatsächlichen Praxis der Wissenschaften eine Spannung besteht, die nicht durch einfache Kompatibilitätsbehauptungen aufgelöst werden kann. Die Mathematik, die die moderne Physik verwendet, ist nicht einfach relational und prozessual in dem Sinn, den Otts

Grenzontologie beschreibt. Sie enthält Strukturen, die substantiale Züge haben, selbst wenn die physikalischen Interpretationen dieser Strukturen diese Züge unterlaufen.

Diese Spannung ist keine Schwäche von Otts Position, sondern ein Ausdruck ihrer philosophischen Redlichkeit. Eine Grenzontologie, die ihren eigenen Grundsätzen treu bleibt, darf nicht beanspruchen, eine vollständige und widerspruchsfreie Rekonstruktion der Wissenschaften zu liefern. Sie muss die Grenzen ihrer eigenen Reichweite benennen, und genau das tut Ott hier.

Die dritte Ebene ist die Desideratformulierung. Ott stellt fest, dass ein vollständig relationaler und prozessualer Rahmen noch entwickelt werden müsse, der die empirischen Erfolge der modernen Physik reproduziert. Er verweist darüber hinaus auf die Biologie, deren Evolutionstheorie und Systembiologie reiche empirische Evidenz für die relationale, prozessuale und graduelle Struktur des Seienden böten, und auf die Kognitionswissenschaft, insbesondere den Enaktivismus, der mit seiner Ontologie kompatibel sei. Er benennt aber auch offene Probleme in diesen Bereichen: die teleologische Sprache der Biologie als Herausforderung und den Status des Bewusstseins als ungeklärte Frage.

Was Ott nicht explizit formuliert, aber was aus der inneren Logik seiner Desideratformulierung folgt, ist die Frage nach dem Status wissenschaftlicher Modelle. Modelle werden in Kapitel 12.8 nicht als eigenständiges Thema behandelt; Ott spricht von Theorien, von Feldern, von Phänomenen. Aber die Frage nach dem ontologischen Status von Modellen ist genau die Frage, an der sich entscheidet, ob und wie die Kompatibilitätsbehauptung und die Desideratformulierung eingelöst werden können. Modelle sind das Vermittlungselement zwischen der Ontologie, die Ott beschreibt, und der wissenschaftlichen Praxis, auf die er verweist. Ohne eine Ontologie der Modelle bleibt das Desiderat prozedural.

### **2.3 Die strukturelle Lücke: Normativität ohne vollständig bestimmbare Standards als ungelöstes Problem**

Die tiefste Lücke in Otts Desideratformulierung ist nicht die fehlende Ausarbeitung der Kompatibilitätsbehauptung, so wichtig diese auch ist. Die tiefste Lücke liegt in einer Frage, die Ott zwar implizit aufwirft, aber nicht beantwortet: die Frage der Normativität.

Otts Grenzontologie beschreibt eine Wirklichkeit, in der Bestimmtheit relational, prozessual, graduell und offen ist. Diese Beschreibung hat weitreichende Konsequenzen für die Frage, wie Bewertungen möglich sind. Wenn Identität graduell ist, wenn Stabilität eine prozessuale Leistung ist und wenn keine Bestimmung vollständig abgeschlossen werden kann, dann sind die Standards, nach denen wir wissenschaftliche Modelle bewerten, selbst relational, prozessual und graduell. Sie sind keine festen Maßstäbe, die unabhängig von der Praxis bestehen und an denen Modelle gemessen werden können; sie sind selbst Elemente der wissenschaftlichen Praxis und unterliegen derselben Grenzstruktur wie die Entitäten, die sie bewerten.

Diese Einsicht ist philosophisch konsequent, aber sie droht eine Konsequenz zu erzeugen, die Ott selbst nicht akzeptieren würde: die Auflösung normativer Standards in bloße

Konventionen oder Praktiken, die keine übergreifende Gültigkeit beanspruchen können. Wenn die Standards der Modellbewertung selbst graduell und relational sind, wie lässt sich dann noch sagen, dass ein Modell besser ist als ein anderes? Wie lässt sich wissenschaftlicher Fortschritt als echter Fortschritt beschreiben, nicht als bloßer Wandel?

Ott ist sich dieses Problems bewusst. Er verweist er auf die Notwendigkeit, die normative Dimension der Wissenschaften mit der relationalen und prozessualen Ontologie zu vermitteln, ohne dies ausgeführt zu haben. Er hält fest, dass die teleologische Sprache der Biologie eine Herausforderung darstellt, lässt aber offen, wie diese Herausforderung von seiner Grenzontologie aus beantwortet werden kann. In Kapitel 12.9, das das Verhältnis der Grenzontologie zur normativen Theorie behandelt, entwickelt er Ansätze einer Normativitätstheorie, die Normen als stabile Muster in sozialen Praktiken versteht, die objektiv identifizierbar, aber nicht absolut sind. Aber diese Ansätze werden nicht auf die Wissenschaftsphilosophie bezogen und nicht zu einer ausgearbeiteten Theorie der Modellbewertung entwickelt.

Diese strukturelle Lücke ist das eigentliche philosophische Problem, das aus Otts Desiderat folgt. Es reicht nicht, zu zeigen, dass Otts Grenzontologie mit der modernen Physik kompatibel ist. Es muss auch gezeigt werden, dass eine relationale, prozessuale und graduelle Ontologie wissenschaftlicher Modelle eine Normativitätstheorie begründen kann, die stark genug ist, um Modellbewertung zu ermöglichen und wissenschaftlichen Fortschritt als echten Fortschritt zu beschreiben, ohne auf vollständig bestimmbar Standards angewiesen zu sein. Ohne diese Normativitätstheorie bleibt die Grenzontologie für die Wissenschaftsphilosophie eine ontologische Charakterisierung ohne praktische Konsequenzen.

Die Schließung dieser Lücke ist eine der zentralen Aufgaben dieses Essays. Die These, die in Abschnitt VII ausgearbeitet wird, lautet, dass eine relationale Normativitätstheorie möglich ist, die auf drei komplementären Strategien beruht: der Normativität als relationaler Kohärenz, der Normativität als prozessualer Bewährung und der Normativität als gradueller Adäquatheit. Diese drei Strategien sind nicht additiv, sondern strukturell miteinander verbunden, weil sie alle drei aus denselben Strukturmomenten der Grenzontologie folgen, die sie auf die Dimension der normativen Bewertung anwenden.

## **2.4 Warum wissenschaftliche Modellbildung der privilegierte Testfall ist**

Unter den möglichen wissenschaftsphilosophischen Anwendungen von Otts Grenzontologie nimmt die wissenschaftliche Modellbildung eine privilegierte Stellung ein. Diese Privilegierung bedarf einer Begründung, weil Ott selbst sie nicht explizit vollzieht. Er spricht von Theorien, Feldern und Phänomenen, aber nicht ausdrücklich von Modellen als eigenständigen epistemischen Entitäten.

Der erste Grund für die Privilegierung liegt in der ontologischen Struktur von Modellen selbst. Modelle sind diejenigen wissenschaftlichen Entitäten, an denen die fünf Strukturmomente der Grenzontologie am direktesten ablesbar sind. Eine wissenschaftliche Theorie beansprucht oft eine gewisse Vollständigkeit und Allgemeinheit, die ihre Relationalität, Prozessualität und Gradualität verdeckt. Ein Modell macht diese Eigenschaften explizit: Es ist erkennbar ein Modell von etwas, das es nicht vollständig

repräsentiert; es ist erkennbar für bestimmte Zwecke und in bestimmten Kontexten adäquat; es ist erkennbar vorläufig und revidierbar. Die ontologische Verfassung, die Ott für das Seiende im Allgemeinen beschreibt, ist in Modellen gleichsam offen sichtbar.

Der zweite Grund liegt in der Vermittlungsfunktion von Modellen in der wissenschaftlichen Praxis. Modelle stehen zwischen Theorien und Phänomenen, zwischen mathematischen Strukturen und empirischen Daten, zwischen verschiedenen Disziplinen und Gemeinschaften. Diese Vermittlungsfunktion ist genau das, was Otts relationale Ontologie beschreibt: ein Knotenpunkt, dessen Identität durch seine Position in einem Netz von Relationen konstituiert wird. Modelle sind die wissenschaftlichen Entitäten, die am unmittelbarsten als relationale Knotenpunkte verstanden werden können, und sie sind deshalb der privilegierte Testfall für eine relationale Ontologie.

Der dritte Grund liegt in der Normativitätsfrage. Die Frage, welches Modell besser ist, ist die dringlichste normative Frage der wissenschaftlichen Praxis, und sie ist die Frage, an der sich die Leistungsfähigkeit einer graduellen und relationalen Normativitätstheorie am direktesten erweisen muss. Theorien werden oft als Ganzes akzeptiert oder verworfen; Modelle werden bewertet, verglichen, modifiziert, kombiniert und gegeneinander abgewogen in einer Weise, die graduelle normative Unterscheidungen voraussetzt. Eine Ontologie, die graduelle Normativität erklären kann, muss dies vor allem an Modellen zeigen können.

Der vierte und wichtigste Grund liegt in dem, was man die epistemische Redlichkeit von Modellen nennen könnte. Modelle wissen, dass sie Modelle sind. Das bedeutet: In die Praxis wissenschaftlicher Modellierung ist eine Reflexion auf die eigene Begrenztheit eingebaut, die theoretischen Beschreibungen oft fehlt. Modellbauer sprechen von den Annahmen ihres Modells, von seinen Grenzen, von den Domänen, für die es gilt und für die es nicht gilt. Diese eingebaute Reflexivität ist die wissenschaftsphilosophische Entsprechung der Selbstanwendung, die Ott als drittes Strukturmerkmal performativer Apophatik beschreibt. Ein Modell, das seine eigenen Grenzen kennt und diese Kenntnis in seine Anwendung integriert, vollzieht eine wissenschaftliche Analogie der apophatischen Selbstanwendung.

Aus diesen vier Gründen ist wissenschaftliche Modellbildung der privilegierte Testfall für Otts Grenzontologie. Sie ist nicht der einzige mögliche Testfall, aber sie ist derjenige, an dem die Stärken der Grenzontologie am deutlichsten hervortreten und die strukturelle Lücke der Normativitätsfrage am dringlichsten nach Schließung verlangt. Die folgenden Abschnitte arbeiten diesen Testfall aus, beginnend mit der Konfrontation von Boghossians Dichotomie mit dem Phänomen der Modellbildung, die die ontologische Unterbestimmtheit der herrschenden erkenntnistheoretischen Positionen sichtbar macht.

### **III. Boghossians epistemischer Minimalismus und seine Grenzen**

#### **3.1 Die Architektur des Arguments: Faktenkonstruktivismus, rationaler Konstruktivismus, epistemischer Relativismus**

Paul Boghossians *Fear of Knowledge* ist kein Buch über Wissenschaftsphilosophie im engeren Sinne. Es ist eine Untersuchung der philosophischen Grundlagen des Konstruktivismus und Relativismus, die in den letzten Jahrzehnten des zwanzigsten Jahrhunderts nicht nur in der Philosophie, sondern auch in den Sozialwissenschaften, der

Wissenschaftssoziologie und den Kulturwissenschaften eine erhebliche Verbreitung gefunden haben. Boghossians Ziel ist der Nachweis, dass diese Positionen philosophisch unhaltbar sind, und zwar nicht wegen ihrer kulturellen oder politischen Implikationen, sondern wegen ihrer inneren argumentativen Struktur. Die Stärke des Buches liegt in der analytischen Präzision, mit der Boghossian die verschiedenen Varianten des Konstruktivismus und Relativismus voneinander unterscheidet und jede einzeln auf ihre Kohärenz prüft.

Die Architektur des Arguments folgt einer dreigliedrigen Unterscheidung, die für das Verständnis der Reichweite und der Grenzen von Boghossians Position entscheidend ist.

Der Faktenkonstruktivismus ist die These, dass Tatsachen nicht unabhängig von menschlicher Erkenntnis und menschlichen Praktiken bestehen, sondern durch konzeptuelle Schemata, soziale Praktiken oder kognitive Strukturen konstituiert werden. In seiner stärksten Form behauptet der Faktenkonstruktivismus, dass es keine schemataunabhängigen Tatsachen gibt: Was als Tatsache gilt, ist immer relativ zu einem konzeptuellen Rahmen, der selbst nicht durch Tatsachen gerechtfertigt wird, sondern durch soziale Übereinkunft, kulturelle Tradition oder Machtstrukturen. Boghossian konfrontiert diese Position mit einem einfachen, aber wirksamen Argument: Wenn alle Tatsachen konstruiert sind, dann ist auch die Tatsache konstruiert, dass alle Tatsachen konstruiert sind. Die These des Faktenkonstruktivismus wäre damit selbst eine schematarelative Tatsache ohne universale Gültigkeit, was ihren Anspruch, eine allgemeine Wahrheit über die Natur von Tatsachen auszusprechen, unterminiert.

Der rationale Konstruktivismus ist die These, dass die Normen der Rationalität, nach denen Schlüsse als gültig oder ungültig beurteilt werden, nicht universell gelten, sondern von Gemeinschaft zu Gemeinschaft variieren. Es gibt nach dieser These keine privilegierten Inferenzstandards; was als rationale Überzeugungsbildung gilt, ist relativ zu den Praktiken einer Gemeinschaft. Boghossian weist diese Position zurück, indem er zeigt, dass die Behauptung selbst, die rationalen Normen seien gemeinschaftsrelativ, einen Anspruch auf universale Rationalität erhebt. Wer argumentiert, dass rationale Normen variieren, verwendet dabei Argumente, die er als übergemeinschaftlich gültig behandelt, sonst wäre sein Argument selbst nur eine gemeinschaftsinterne Meinungsäußerung ohne philosophisches Gewicht.

Der epistemische Relativismus ist die umfassendste der drei Positionen. Er behauptet, dass epistemische Rechtfertigungsnormen, also die Standards, nach denen Wissensansprüche als gerechtfertigt oder ungerechtfertigt beurteilt werden, nicht absolut gelten, sondern relativ zu Gemeinschaften oder Praktiken sind. Niemand kann von außen eine Gemeinschaft dafür kritisieren, dass sie andere epistemische Standards verwendet; Kritik ist immer immanent, immer auf die Standards der kritisierenden Gemeinschaft bezogen. Boghossian zeigt, dass diese Position einen performativen Selbstwiderspruch erzeugt, der ihre philosophische Haltbarkeit unterminiert: Wer den epistemischen Relativismus vertritt, erhebt damit einen Anspruch auf Gültigkeit, der die Grenzen einer einzelnen Gemeinschaft überschreitet und damit die relativistische These selbst konterkariert.

Diese dreifache Unterscheidung ist philosophisch präzise und verhindert die Verwechslungen, die in den einschlägigen Debatten häufig auftreten.

Faktenkonstruktivismus, rationaler Konstruktivismus und epistemischer Relativismus sind verschiedene Positionen mit verschiedenen Ansprüchen und verschiedenen Schwächen. Boghossian behandelt sie als philosophisch verwandt, aber nicht als identisch, und er weist jede einzeln nach, ohne sie in einen gemeinsamen Topf zu werfen. Diese analytische Sorgfalt ist es, die das Buch zu einem bleibenden Beitrag zur Debatte macht, auch wenn, wie zu zeigen sein wird, seine Reichweite begrenzt ist.

### **3.2 Der performative Selbstwiderspruch als zentrales Instrument**

Das argumentative Herzstück von Boghossians Strategie ist der Nachweis des performativen Selbstwiderspruchs. Dieses Instrument verdient eine eigenständige Betrachtung, weil es nicht nur für Boghossians Argument zentral ist, sondern weil es, wie bereits in der Einleitung dieses Essays angedeutet und wie in späteren Abschnitten zu zeigen sein wird, eine strukturelle Verwandtschaft mit dem zentralen Argumentationsinstrument von Otts Grenzontologie aufweist.

Ein performativer Selbstwiderspruch liegt vor, wenn die Behauptung einer These durch den Akt ihrer Behauptung die Wahrheitsbedingungen unterminiert, die für ihre Gültigkeit erforderlich wären. Der Unterschied zum logischen Widerspruch ist wichtig: Ein logischer Widerspruch liegt vor, wenn eine These und ihre Negation gleichzeitig behauptet werden, was durch formale Mittel nachgewiesen werden kann. Ein performativer Selbstwiderspruch ist subtiler: Er betrifft nicht den propositionalen Gehalt einer These, sondern das Verhältnis zwischen dem Inhalt der These und dem Akt ihrer Behauptung. Die These ist propositional konsistent, aber ihr Vollzug unterminiert die Voraussetzungen, die für ihren Vollzug erforderlich sind.

Ein klassisches Beispiel für einen performativen Selbstwiderspruch ist die These, dass alle Aussagen falsch sind. Wer diese These behauptet, beansprucht damit implizit, dass sie selbst wahr ist – was im Widerspruch zu ihrem Inhalt steht. Der performative Selbstwiderspruch liegt also nicht im propositionalen Gehalt der These, sondern im Akt ihrer Behauptung: Dieser Akt setzt voraus, was die These leugnet

Boghossian wendet dieses Instrument auf alle drei Varianten des Konstruktivismus und Relativismus an. Der Faktenkonstruktivist, der behauptet, dass alle Tatsachen schematakonstituiert sind, macht diese Behauptung mit dem Anspruch auf schemataunabhängige Gültigkeit. Der rationale Konstruktivist, der behauptet, dass rationale Normen gemeinschaftsrelativ sind, verwendet in seiner Argumentation Normen, die er als übergemeinschaftlich gültig behandelt. Der epistemische Relativist, der behauptet, dass Rechtfertigungsstandards nur innerhalb von Gemeinschaften gelten, erhebt mit dieser Behauptung einen Anspruch auf Gültigkeit, der die Grenzen seiner eigenen Gemeinschaft überschreitet.

Die Stärke dieses Arguments liegt in seiner Unausweichlichkeit. Es ist kein Argument, das den Konstruktivisten und Relativisten von außen entgegengehalten wird; es ist ein Argument, das aus der inneren Struktur ihrer eigenen Positionen hervorgeht. Wer den Konstruktivismus oder Relativismus vertritt, erzeugt den Selbstwiderspruch nicht durch einen externen Maßstab, sondern durch den Vollzug seiner eigenen These. Das ist eine Form immanenter Kritik, die eine erhebliche philosophische Schlagkraft hat.

Wie später zu zeigen sein wird, teilt Boghossians Instrument des performativen Selbstwiderspruchs eine strukturelle Verwandtschaft mit Otts Grenzontologie: Beide zielen darauf ab, die inneren Widersprüche von Positionen aufzudecken, die ihre eigenen Voraussetzungen untergraben. Während Boghossian dies jedoch auf epistemischer Ebene tut, erweitert Ott die Analyse auf ontologische Dimensionen.

Es ist an dieser Stelle wichtig, eine Einschränkung zu benennen, die für den weiteren Verlauf des Essays relevant ist. Der performative Selbstwiderspruch ist ein wirksames Argument gegen starke Formen des Konstruktivismus und Relativismus, aber er ist kein allgemeines Argument gegen jede Form der Relativierung epistemischer Ansprüche. Er trifft Positionen, die universale Ungültigkeit von Wahrheits- oder Rechtfertigungsansprüchen behaupten. Er trifft nicht Positionen, die graduelle, kontextabhängige oder zweckrelative Adäquatheit von Wissensansprüchen behaupten, ohne dabei universale Ungültigkeit zu postulieren. Diese Unterscheidung wird im Kontext wissenschaftlicher Modellbildung entscheidend sein.

### **3.3 Schemataunabhängige Tatsachen und nicht-relative Rechtfertigungsstandards: Die positive These**

Aus der Widerlegung des Konstruktivismus und Relativismus gewinnt Boghossian eine positive These, die er als epistemischen Minimalismus bezeichnet. Diese positive These hat zwei Komponenten, die sorgfältig unterschieden werden müssen.

Die erste Komponente ist die These schemataunabhängiger Tatsachen. Boghossian behauptet, dass es Tatsachen gibt, die unabhängig von konzeptuellen Schemata bestehen: dass Schnee weiß ist, dass Caesar ermordet wurde, dass Elektronen eine negative Ladung haben. Diese Tatsachen werden durch konzeptuelle Schemata beschreibbar gemacht, aber sie werden durch sie nicht konstituiert. Das konzeptuelle Schema liefert die Begriffe, mit denen wir über Tatsachen sprechen; es liefert nicht die Tatsachen selbst. Boghossian betont, dass diese These minimalistisch ist: Sie behauptet nicht, dass wir unfehlbaren Zugang zu schemataunabhängigen Tatsachen haben, nicht dass es eine einzige privilegierte Beschreibung dieser Tatsachen gibt und nicht dass alle Tatsachen von dieser Art sind. Sie behauptet nur, dass es zumindest einige Tatsachen gibt, die schemataunabhängig sind, und dass die gegenteilige Behauptung, wie gezeigt, in performative Selbstwidersprüche führt.

Die zweite Komponente ist die These nicht-relativer Rechtfertigungsstandards. Boghossian behauptet, dass nicht alle Systeme epistemischer Rechtfertigung gleich gut sind. Es gibt Standards der Rechtfertigung, die besser sind als andere, und diese Überlegenheit ist nicht relativ zu einer bestimmten Gemeinschaft oder Praxis, sondern hat eine übergreifende Gültigkeit. Boghossian begründet diese These ebenfalls durch den Nachweis, dass ihre Verneinung in einen performativen Selbstwiderspruch führt: Wer behauptet, dass alle Rechtfertigungsstandards gleich gut sind, verwendet dabei selbst Rechtfertigungsstandards, die er als besser als die Alternativen behandelt.

Beide Komponenten des epistemischen Minimalismus sind als negative Thesen formuliert: Sie behaupten, dass der Konstruktivismus und Relativismus falsch sind, nicht dass eine bestimmte positive Theorie der Wahrheit oder Rechtfertigung richtig ist. Boghossian ist

explizit vorsichtig, was positive ontologische oder erkenntnistheoretische Verpflichtungen angeht. Er behauptet nicht, welche Theorie der Wahrheit korrekt ist, er behauptet nur, dass eine Theorie, die schemataunabhängige Tatsachen leugnet, philosophisch unhaltbar ist. Er behauptet nicht, welche epistemischen Standards die richtigen sind, er behauptet nur, dass nicht alle Standards gleich gut sind.

Diese Minimalität ist eine philosophische Tugend, weil sie Boghossians Argument unabhängig von kontroversen positiven Thesen macht. Aber sie ist zugleich der Punkt, an dem die Grenzen des epistemischen Minimalismus für die Zwecke dieses Essays sichtbar werden. Ein Minimalismus, der bewusst auf positive ontologische Verpflichtungen verzichtet, kann die ontologische Verfassung der Entitäten, mit denen wissenschaftliche Praxis umgeht, nicht beschreiben. Er kann sagen, dass es schemataunabhängige Tatsachen gibt, aber er kann nicht sagen, was diese Tatsachen ontologisch sind, wie sie konstituiert werden und welchen Status die Entitäten haben, auf die wissenschaftliche Modelle verweisen. Diese ontologische Schweigsamkeit ist nicht inkonsistent, aber sie erzeugt eine Lücke, die für die Wissenschaftsphilosophie folgenreich ist. Sie verhindert beispielsweise, dass Boghossian die Natur wissenschaftlicher Modelle (wie das Bohr-Modell) angemessen beschreiben kann – Modelle, die weder rein schemataunabhängig noch rein konstruiert sind, sondern eine eigene ontologische Kategorie bilden.

### **3.4 Die wissenschaftsphilosophische Reichweite: Was der Minimalismus leistet**

Bevor die Grenzen von Boghossians Position in den folgenden Abschnitten herausgearbeitet werden, ist es philosophisch geboten, ehrlich zu würdigen, was der epistemische Minimalismus für die Wissenschaftsphilosophie leistet. Diese Würdigung ist nicht nur eine Frage der philosophischen Fairness, sondern sie ist für die Struktur des Arguments dieses Essays wichtig: Die These, dass Otts Grenzontologie Boghossians Position ontologisch präzisiert, setzt voraus, dass Boghossians Position in sich kohärent und innerhalb ihres Horizonts überzeugend ist.

Was der epistemische Minimalismus für die Wissenschaftsphilosophie leistet, lässt sich in drei Punkten zusammenfassen.

Erstens liefert er ein wirksames Argument gegen den sozialen Konstruktivismus in der Wissenschaftssoziologie, insbesondere gegen das Strong Programme von David Bloor und Barry Barnes. Das Strong Programme behauptet, dass wissenschaftliche Überzeugungen vollständig durch soziale Faktoren erklärt werden können und dass die Unterscheidung zwischen wahren und falschen Überzeugungen für die soziologische Erklärung irrelevant ist. Boghossians Selbstwiderspruchsargument trifft diese Position direkt: Eine Soziologie, die beansprucht, wissenschaftliche Überzeugungen vollständig durch soziale Faktoren zu erklären, macht diesen Anspruch selbst mit dem Anspruch auf epistemische Gültigkeit, der durch soziale Faktoren allein nicht eingelöst werden kann. Das Selbstwiderspruchsargument stellt damit klar, dass eine vollständige soziologische Reduktion epistemischer Normativität philosophisch inkohärent ist.

Zweitens liefert der epistemische Minimalismus eine Grundlage für die Verteidigung wissenschaftlichen Fortschritts gegen relativistische Einwände. Wenn nicht alle epistemischen Standards gleich gut sind, dann ist es möglich zu sagen, dass spätere

wissenschaftliche Theorien und Modelle nicht nur anders, sondern in bestimmten Hinsichten besser sind als frühere. Das ist eine bescheidene, aber wichtige These: Sie schützt die Idee wissenschaftlichen Fortschritts gegen die relativistische Auflösung in bloßen Wandel, ohne dabei auf starke realistische Annahmen über eine vollständige Annäherung an die Wahrheit angewiesen zu sein.

Drittens liefert der epistemische Minimalismus ein klares Kriterium für die Unterscheidung zwischen wissenschaftlicher Erkenntnis und Pseudowissenschaft. Wenn es nicht-relative Rechtfertigungsstandards gibt, dann können Wissensansprüche danach beurteilt werden, ob sie diesen Standards genügen oder nicht. Die Homöopathie, die Astrologie und der Kreationismus können nicht nur als kulturell anders, sondern als epistemisch schlechter beurteilt werden, weil sie Rechtfertigungsstandards verwenden, die nach übergreifenden Kriterien schlechter sind als die der empirischen Wissenschaften. Diese Unterscheidungsmöglichkeit ist für die gesellschaftliche und politische Funktion der Wissenschaftsphilosophie von erheblicher Bedeutung.

Diese drei Leistungen sind real und philosophisch bedeutsam. Sie zeigen, dass der epistemische Minimalismus ein philosophisch ernst zu nehmendes Projekt ist, das innerhalb seines Horizonts wichtige Fragen beantwortet. Die folgenden Abschnitte werden zeigen, dass dieser Horizont begrenzt ist, aber sie werden nicht bestreiten, dass innerhalb dieses Horizonts sinnvolle und wichtige philosophische Arbeit geleistet wird.

Doch gerade diese Stärken des epistemischen Minimalismus – seine Fähigkeit, relativistische Positionen zu widerlegen und wissenschaftliche Praxis zu verteidigen – offenbaren auch seine Grenzen. Denn während Boghossian zeigt, dass es schemataunabhängige Tatsachen und nicht-relative Standards gibt, bleibt unklar, wie diese mit den komplexen, kontextabhängigen Entitäten der wissenschaftlichen Praxis – wie Modellen – zusammenhängen. Diese Lücke wird im Folgenden am Beispiel des Bohr-Modells deutlich.

### **3.5 Das Bohr-Modell als erster Prüfstein: Wo die Dichotomie versagt**

Das Bohr-Modell des Atoms, 1913 von Niels Bohr entwickelt, ist ein idealer Prüfstein für die Frage, wie weit Boghossians Dichotomie zwischen schemataunabhängigen Tatsachen und sozialen Konstrukten trägt. Es ist historisch bekannt, philosophisch vielfach diskutiert und in seinen relevanten Eigenschaften hinreichend komplex, um die Grenzen einfacher Kategorisierungen sichtbar zu machen.

Das Bohr-Modell (in seiner ursprünglichen Form von 1913) beschreibt das Wasserstoffatom als ein System, in dem ein Elektron auf diskreten, stabilen Kreisbahnen um den Kern kreist. Spätere Erweiterungen (u. a. durch Arnold Sommerfeld) erlaubten auch Ellipsenbahnen, doch das Grundprinzip der Quantisierung blieb erhalten. Energie wird absorbiert oder emittiert, wenn das Elektron von einer Bahn auf eine andere springt, und zwar in diskreten Quanten, die der Differenz der Energieniveaus der beteiligten Bahnen entsprechen. Im Widerspruch zur klassischen Elektrodynamik, die vorhersagt, dass beschleunigte Ladungen (wie kreisende Elektronen) Energie abstrahlen und damit instabil wären, postulierte Bohr, dass Elektronen in stationären Zuständen keine Strahlung emittieren – eine Annahme, die erst durch die Quantenmechanik erklärt werden konnte.

Dieses Modell war für seine Zeit außerordentlich erfolgreich: Es erklärte das Wasserstoffspektrum mit einer Präzision, die alle klassischen Modelle (wie das Thomson'sche „Rosinenkuchenmodell“ oder das Rutherford-Modell ohne Quantisierung) weit übertraf, und es lieferte eine quantitative Vorhersage der Spektrallinien des Wasserstoffs, die experimentell bestätigt wurde.

Die Quantenmechanik, die in den 1920er Jahren entwickelt wurde, hat jedoch gezeigt, dass Elektronen keine wohldefinierten Bahnen haben. Ihre Position und ihr Impuls sind komplementäre Observablen, die durch die Heisenbergsche Unschärferelation verbunden sind: Je genauer die Position eines Elektrons bekannt ist, desto ungenauer ist sein Impuls und umgekehrt. Das Bild des Elektrons als Teilchen auf einer definierten Kreisbahn ist nach der Quantenmechanik nicht falsch im empirischen Sinne, sondern konzeptionell unvollständig und inadäquat. Es kann Phänomene wie den Zeeman-Effekt oder die Feinstruktur des Wasserstoffspektrums nicht erklären, die erst durch die Quantenmechanik verstanden wurden, die den Zustand des Elektrons durch eine Wellenfunktion beschreibt, die Wahrscheinlichkeitsverteilungen für verschiedene Messergebnisse liefert.

Das Bohr-Modell ist nicht einfach falsch im Sinne einer empirischen Widerlegung. Vielmehr ist es ein begrenztes Modell, das in seinem Gültigkeitsbereich (z. B. Wasserstoffspektrum) adäquat ist, aber außerhalb dieses Bereichs (z. B. Mehrelektronensysteme) versagt. Diese kontextabhängige Adäquatheit ist kein Mangel, sondern eine strukturelle Eigenschaft wissenschaftlicher Modelle – wie im Folgenden zu zeigen sein wird.

Wie soll Boghossians Dichotomie das Bohr-Modell charakterisieren? Zwei Antworten scheinen naheliegend, und beide versagen.

Die erste Antwort lautet: Das Bohr-Modell war eine vorläufige Annäherung an schemataunabhängige Tatsachen über das Atom, die durch das quantenmechanische Modell, das diesen Tatsachen besser entspricht, überholt wurde. Diese Antwort rettet die Dichotomie, indem sie das Bohr-Modell als epistemisch defizitären Vorläufer des besseren Modells behandelt. Aber sie verfehlt etwas Wesentliches: Das Bohr-Modell wird bis heute in der Lehre und für einfache Systeme wie das Wasserstoffatom verwendet, da es hier eine exakte Lösung für die Energieniveaus liefert. Für komplexere Atome oder Moleküle ist es jedoch unzureichend – ein Fakt, der seine kontextabhängige Adäquatheit unterstreicht. Das Bohr-Modell ist jedoch nicht in dem Sinne adäquat, dass es heute in der Forschung verwendet würde, sondern in dem Sinne, dass es für bestimmte historische und didaktische Kontexte eine valide Näherung darstellte – und immer noch darstellt.

Die Adäquatheit des Bohr-Modells in seinem Anwendungsbereich ist nicht eine epistemische Illusion, die auf Unwissenheit beruht; sie ist eine genuine wissenschaftliche Eigenschaft des Modells, die durch das quantenmechanische Modell nicht eliminiert, sondern erklärt wird. Das Bohr-Modell ist nicht einfach falsch; es ist in bestimmten Hinsichten und für bestimmte Zwecke richtig und in anderen falsch. Auch aus einer pragmatistischen Perspektive ist das Bohr-Modell nicht falsch, sondern nützlich: Es erfüllt seinen Zweck (Erklärung des Wasserstoffspektrums) innerhalb seines Gültigkeitsbereichs. Die Quantenmechanik erweitert diesen Bereich, ohne das Bohr-Modell als solches zu widerlegen.

Boghossian würde das Bohr-Modell möglicherweise als falsch betrachten, weil es nicht mit der Quantenmechanik kompatibel ist. Doch diese Sichtweise ignoriert, dass auch die Quantenmechanik selbst ein Modell ist – eines, das mit eigenen Idealisierungen und Grenzen behaftet ist (z. B. die Nicht-Berücksichtigung der Gravitation in der Standard-Quantenmechanik). Das Bohr-Modell ist also nicht falsch, sondern ein Modell mit einem begrenzten, aber legitimen Gültigkeitsbereich.

Ein Realist könnte einwenden, dass das Bohr-Modell eine vorläufige Wahrheit darstellte, die durch die Quantenmechanik vervollständigt wurde. Doch diese Sichtweise setzt voraus, dass es eine objektive Wahrheit über Atome gibt, an die sich Modelle annähern. Die Geschichte der Physik zeigt jedoch, dass jedes Modell – selbst die Quantenmechanik – begrenzte Gültigkeit hat. Das Bohr-Modell war also nicht teilweise wahr, sondern in bestimmten Kontexten adäquat – eine Eigenschaft, die es mit allen wissenschaftlichen Modellen teilt

Die zweite Antwort lautet: Das Bohr-Modell war ein soziales Konstrukt, das die wissenschaftliche Gemeinschaft zu einem bestimmten Zeitpunkt akzeptiert hat und das später durch ein anderes Konstrukt ersetzt wurde, das der Gemeinschaft besser passte. Diese Antwort rettet die Dichotomie von der anderen Seite, indem sie das Bohr-Modell als soziales Produkt ohne schemataunabhängige Wahrheit behandelt. Aber sie verfehlt ebenfalls etwas Wesentliches: Das Bohr-Modell war nicht beliebig akzeptiert. Es wurde akzeptiert, weil es empirische Voraussagen machte, die sich bestätigten, und es wurde durch das quantenmechanische Modell ersetzt, weil dieses empirische Voraussagen machte, die das Bohr-Modell nicht machen konnte. Die Geschichte des Übergangs vom Bohr-Modell zum quantenmechanischen Modell ist eine Geschichte epistemischer Verbesserung, nicht bloßen Wandels, und diese Verbesserung lässt sich nicht durch soziale Faktoren allein erklären.

Das Bohr-Modell liegt strukturell zwischen Boghossians Polen. Es ist nicht einfach eine Annäherung an schemataunabhängige Tatsachen, weil seine Adäquatheit kontextabhängig, graduell und zweckrelativ ist. Es ist nicht einfach ein soziales Konstrukt, weil seine Akzeptanz und seine Ablösung durch empirische Kriterien bestimmt wurden. Es ist ein Grenzobjekt in dem Sinn, den dieser Essay entwickeln wird: eine Entität, die strukturell zwischen den verfügbaren Kategorien liegt und deren Zwischenstellung nicht eine epistemische Unklarheit, sondern eine ontologische Eigenschaft ist. Es ist damit eine Entität, die sich den traditionellen Kategorien von 'wahr/falsch' oder 'konstruiert/objektiv' entzieht. Es ist weder rein schemataunabhängig (da seine Adäquatheit kontextabhängig ist) noch rein konstruiert (da seine Akzeptanz durch empirische Kriterien bestimmt wird).

Das Bohr-Modell ist kein Einzelfall. Wie im nächsten Abschnitt zu zeigen sein wird, teilen alle wissenschaftlichen Modelle diese strukturellen Eigenschaften – und demonstrieren damit die Unzulänglichkeit von Boghossians Dichotomie

### **3.6 Verallgemeinerung: Modelle als systematische Gegenbeispiele, nicht als Anomalien**

Die Analyse des Bohr-Modells könnte als singulärer Befund behandelt werden: ein besonders komplexes und historisch bedeutsames Modell, das sich der Kategorisierung

entzieht, während einfachere Modelle sich Boghossians Dichotomie fügen. Diese Behandlung wäre philosophisch unzureichend. Die Eigenschaften, die das Bohr-Modell zu einem Grenzfall machen, sind keine Besonderheiten dieses spezifischen Modells, sondern strukturelle Eigenschaften von Modellen als solchen.

Die kontextabhängige und graduelle Adäquatheit, die das Bohr-Modell auszeichnet, ist ein allgemeines Merkmal wissenschaftlicher Modelle. Das Ptolemäische Modell des Sonnensystems war für navigatorische Zwecke jahrhundertlang adäquat, obwohl es als Beschreibung des Sonnensystems falsch ist. Das Newtonsche Gravitationsmodell ist für Berechnungen auf menschlicher Skala nach wie vor adäquat, obwohl es durch die Allgemeine Relativitätstheorie überholt wurde. Das ideale Gasgesetz ist für Gase unter Standardbedingungen adäquat, obwohl es die Wechselwirkungen zwischen Gasmolekülen ignoriert. In allen diesen Fällen gilt: Modelle sind nicht einfach wahr oder falsch, sondern adäquat oder inadäquat für bestimmte Zwecke.

Die Idealisierungen und Abstraktionen, die das Bohr-Modell vornimmt, sind ebenfalls ein allgemeines Merkmal wissenschaftlicher Modelle. Jedes Modell idealisiert: Es abstrahiert von Aspekten der Zieldomäne, die für den jeweiligen Erklärungszweck irrelevant sind, und es setzt Eigenschaften voraus, die in der Wirklichkeit nur annähernd realisiert sind. Das ideale Pendel der klassischen Mechanik setzt voraus, dass der Faden keine Masse hat und dass die Luft keine Reibung erzeugt. Das perfekte Wettbewerbsmodell der Ökonomie setzt voraus, dass alle Marktteilnehmer vollständige Information haben. Das SIR-Modell der Epidemiologie setzt voraus, dass die Bevölkerung vollständig durchmischt ist. Diese Idealisierungen sind keine Mängel, die durch bessere Modelle behoben werden könnten. Sie sind konstitutive Eigenschaften der Modelle: Was ein Modell ist, bestimmt sich durch das, was es idealisiert, und die Idealisierung bestimmt den Anwendungsbereich und die Erklärungsleistung des Modells.

Die Revisibilität und Vorläufigkeit, die das Bohr-Modell charakterisiert, ist ebenfalls ein allgemeines Merkmal wissenschaftlicher Modelle. Kein Modell gilt als endgültig; jedes Modell ist prinzipiell revidierbar, und die Geschichte der Wissenschaft ist eine Geschichte der Revision von Modellen. Diese Revisibilität zeigt, dass Modelle auf Rückmeldung der Wirklichkeit reagieren können, und sie ist die Grundlage wissenschaftlichen Fortschritts.

Diese drei Eigenschaften, nämlich graduelle und kontextabhängige Adäquatheit, konstitutive Idealisierung und prinzipielle Revisibilität, sind strukturelle Eigenschaften von Modellen als solchen, nicht Besonderheiten komplexer oder historisch bedeutsamer Modelle. Sie zeigen, dass Modelle nicht als Anomalien behandelt werden können, die aus dem Rahmen von Boghossians Dichotomie herausfallen. Sie sind der Normalfall, und wenn der Normalfall nicht in die Dichotomie passt, dann ist die Dichotomie das falsche Instrument.

Das ist die systematische Konsequenz, die über das Bohr-Modell als einzelnes Beispiel hinausgeht. Boghossians Dichotomie zwischen schemataunabhängigen Tatsachen und sozialen Konstrukten ist nicht falsch in dem Sinn, dass ihre Komponenten philosophisch inkohärent wären. Sie ist ontologisch unterbestimmt in dem Sinn, dass sie eine Kategorie von Entitäten nicht erfasst, die in der wissenschaftlichen Praxis zentral sind. Diese Unterbestimmtheit ist keine kontingente Lücke, die durch eine Erweiterung von Boghossians Argument behoben werden könnte. Sie folgt aus der strukturellen Eigenschaft des

epistemischen Minimalismus, auf positive ontologische Verpflichtungen zu verzichten. Wer keine Ontologie der Entitäten hat, mit denen wissenschaftliche Praxis umgeht, kann die ontologische Verfassung von Modellen nicht beschreiben, und wer die ontologische Verfassung von Modellen nicht beschreiben kann, hat keine vollständige Wissenschaftsphilosophie.

Diese Diagnose öffnet den Raum für Otts Grenzontologie. Was Boghossians epistemischer Minimalismus strukturell nicht leisten kann, nämlich eine Ontologie der Modelle, die ihre graduelle, relationale und prozessuale Verfassung erfasst, ist genau das, was Otts fünf Strukturmomente in systematischer und ontologisch präziser Weise zu leisten vermögen. Die Ausarbeitung dieser Leistung ist die Aufgabe des folgenden Abschnitts.

#### **IV. Modelle als Grenzobjekte: Eine ontologische Charakterisierung**

Die Analyse des Bohr-Modells hat gezeigt, dass wissenschaftliche Modelle weder rein schemataunabhängige Tatsachen noch reine soziale Konstrukte sind, sondern Grenzobjekte, die zwischen diesen Polen liegen. Doch was bedeutet es, ein solches Grenzobjekt zu sein? Der soziologische Begriff von Star und Griesemer bietet einen ersten Zugang, doch er bleibt funktional und deskriptiv. Um zu verstehen, warum Modelle diese Zwischenstellung einnehmen und welche ontologischen und normativen Konsequenzen daraus folgen, bedarf es einer philosophischen Vertiefung. Dieser Abschnitt entwickelt eine ontologische Charakterisierung von Modellen als Grenzobjekten, die ihre dreifache Zwischenstellung (ontologisch, epistemologisch, soziologisch) erklärt und zeigt, dass diese Zwischenstellung kein Defizit, sondern eine konstitutive Eigenschaft ist.

##### **4.1 Star und Griesemer: Der soziologische Vorläufer und seine Grenzen**

Der Begriff des Grenzobjekts (boundary object) wurde 1989 von Susan Leigh Star und James Griesemer in einem wissenschaftssoziologischen Aufsatz eingeführt, der die Entstehung des Museum of Vertebrate Zoology an der University of California, Berkeley, untersuchte. Star und Griesemer beobachteten, dass verschiedene Gruppen, Amateursammler, professionelle Zoologen, Universitätsverwaltung und Naturschützer, an demselben institutionellen Projekt beteiligt waren, ohne dieselben Ziele, Sprachen oder Praktiken zu teilen. Was die Zusammenarbeit trotz dieser Heterogenität ermöglichte, waren Objekte, die in verschiedenen sozialen Welten gleichzeitig präsent waren und dort verschiedene Bedeutungen und Funktionen hatten, während sie dennoch eine hinreichend stabile Identität über diese Welten hinweg bewahrten. Diese Objekte nannten Star und Griesemer boundary objects, Grenzobjekte.

Die Definition, die Star und Griesemer geben, ist bewusst breit. Grenzobjekte sind Objekte, die sowohl plastisch genug sind, um sich den Bedürfnissen verschiedener Gruppen anzupassen, als auch robust genug, um eine gemeinsame Identität über diese Gruppen hinweg zu erhalten. Sie haben in verschiedenen sozialen Welten verschiedene Bedeutungen, aber ihre Struktur ist hinreichend gemeinsam, um als Referenzpunkt für alle Beteiligten zu fungieren. Star und Griesemer unterscheiden vier Typen von Grenzobjekten: Repositorien, die als Referenz für verschiedene Praktiken dienen; ideale Typen, die abstrakt genug sind, um in verschiedenen Gemeinschaften verwendet werden zu können; koinzidente Grenzen, die verschiedenen Gruppen ermöglichen, dasselbe Gebiet für

verschiedene Zwecke zu nutzen; und standardisierte Formulare, die eine gemeinsame Sprache schaffen, ohne gemeinsame Bedeutung vorauszusetzen.

Wissenschaftliche Modelle haben offensichtlich viele Eigenschaften von Grenzobjekten in diesem soziologischen Sinn. Ein Klimamodell ist gleichzeitig ein Objekt für Klimawissenschaftler, die es zur Vorhersage von Temperaturverläufen verwenden, für Politikberater, die es zur Grundlage von Empfehlungen machen, für Journalisten, die es popularisieren, und für Skeptiker, die es kritisieren. Das Modell behält in all diesen Kontexten eine hinreichend stabile Identität, obwohl es in jedem Kontext verschiedene Bedeutungen und Funktionen hat. Das Bohr-Modell ist gleichzeitig ein Objekt für Theoretiker, die es als Ausgangspunkt für die Entwicklung der Quantenmechanik verwenden, für Experimentatoren, die es zur Interpretation von Spektrallinien nutzen, und für Lehrer, die es als pädagogisches Werkzeug einsetzen.

Und doch hat der soziologische Grenzobjektbegriff von Star und Griesemer für die Zwecke dieses Essays entscheidende Grenzen, die eine ontologische Fundierung notwendig machen.

Die erste Grenze ist die Beschränkung auf die soziale Dimension. Star und Griesemer interessiert die Frage, wie Zusammenarbeit über heterogene soziale Welten hinweg möglich ist. Die ontologische Frage, was Grenzobjekte sind und welche Struktur ihre Zwischenstellung ermöglicht, stellen sie nicht. Der Grenzobjektbegriff bleibt funktional: Grenzobjekte werden durch ihre Funktion in sozialen Kooperationsprozessen definiert, nicht durch ihre intrinsische ontologische Verfassung. Das reicht für soziologische Zwecke aus, aber es reicht nicht für eine philosophische Untersuchung, die erklären will, warum Modelle strukturell zwischen den Kategorien des epistemischen Minimalismus liegen und was diese Zwischenstellung ontologisch bedeutet.

Die zweite Grenze ist die Neutralität gegenüber der normativen Dimension. Star und Griesemer interessiert nicht die Frage, ob ein Grenzobjekt gut oder schlecht ist, ob ein Modell adäquater ist als ein anderes. Die normative Frage liegt außerhalb des soziologischen Horizonts. Für eine Wissenschaftsphilosophie ist diese Neutralität nicht akzeptabel: Sie muss erklären können, warum bestimmte Modelle besser sind als andere, und diese Erklärung verlangt eine ontologische Theorie der Adäquatheit, nicht nur eine soziologische Beschreibung der Funktionen.

Die dritte Grenze ist die Passivität des Grenzobjektbegriffs. Star und Griesemers Grenzobjekte sind primär passiv: Sie werden von verschiedenen Gruppen verwendet und interpretiert; sie sind selbst keine aktiven Elemente des Erkenntnisprozesses. Wissenschaftliche Modelle hingegen sind epistemisch aktiv: Sie erzeugen Hypothesen, leiten Experimente, strukturieren Beobachtungen und ermöglichen Vorhersagen. Diese epistemische Aktivität ist nicht eine zusätzliche Eigenschaft, die zu ihrer sozialen Funktion hinzutritt; sie ist eine konstitutive Eigenschaft, die erklärt, warum Modelle die sozialen Funktionen erfüllen können, die Star und Griesemer beschreiben.

Diese drei Grenzen zeigen, dass der soziologische Grenzobjektbegriff zwar ein wichtiger heuristischer Ausgangspunkt ist, aber einer ontologischen Fundierung bedarf, die er selbst

nicht liefert. Die Frage ist: Welche Ontologie kann die Zwischenstellung von Modellen erklären, ihre normative Dimension erfassen und ihre epistemische Aktivität beschreiben?

#### **4.2 Was eine ontologische Fundierung des Grenzobjektbegriffs leisten muss**

Eine ontologische Fundierung des Grenzobjektbegriffs muss vier Anforderungen erfüllen, die sich aus den Grenzen des soziologischen Vorläufers und aus der Analyse des Bohr-Modells ergeben.

Die erste Anforderung ist die Erklärung der strukturellen Zwischenstellung. Eine ontologische Theorie des Grenzobjekts muss erklären, warum Modelle strukturell zwischen den verfügbaren Kategorien liegen, und diese Erklärung muss aus der ontologischen Verfassung von Modellen selbst folgen, nicht aus externen sozialen oder epistemischen Umständen. Die Zwischenstellung darf nicht als kontingentes Ergebnis besonderer historischer oder sozialer Bedingungen erscheinen, sondern muss als notwendige Folge dessen sichtbar werden, was Modelle ontologisch sind.

Die zweite Anforderung ist die Erklärung gradueller Adäquatheit. Eine ontologische Theorie des Grenzobjekts muss erklären, wie Modelle in bestimmten Hinsichten und für bestimmte Zwecke adäquat sein können, ohne einfach wahr oder falsch zu sein. Diese Erklärung verlangt eine Ontologie, die graduelle Eigenschaften als ontologisch real behandelt, nicht als epistemische Unschärfe oder praktische Vereinfachung. Gradualität muss ein ontologisches Merkmal von Modellen sein, nicht ein epistemisches Defizit.

Die dritte Anforderung ist die Erklärung konstitutiver Idealisierung. Eine ontologische Theorie des Grenzobjekts muss erklären, warum die Idealisierungen und Abstraktionen, die Modelle vornehmen, konstitutiv für ihre Bestimmtheit als Modelle sind und nicht bloße Unvollständigkeiten. Diese Erklärung verlangt eine Ontologie, in der Bestimmtheit wesentlich durch Differenz und Ausschluss konstituiert wird, so dass die Ausschlüsse eines Modells nicht als Fehlen, sondern als Bedingung seiner Identität erscheinen.

Die vierte Anforderung ist die Ermöglichung einer Normativitätstheorie. Eine ontologische Theorie des Grenzobjekts muss eine Grundlage für die normative Bewertung von Modellen liefern, die weder auf vollständig bestimmbare Standards angewiesen ist noch in Relativismus führt. Diese Anforderung ist die anspruchsvollste, weil sie verlangt, dass die Ontologie selbst normative Konsequenzen hat: dass aus der ontologischen Charakterisierung von Modellen folgt, was es heißt, ein besseres oder schlechteres Modell zu sein.

Diese vier Anforderungen beschreiben ein philosophisches Programm, das über den soziologischen Grenzobjektbegriff weit hinausgeht. Sie zeigen zugleich, warum Otts Grenzontologie ein außerordentlich gut geeigneter Kandidat für die Einlösung dieses Programms ist. Die fünf Strukturmomente der nicht-substantiellen Ontologie, nämlich Relationalität, Prozessualität, Negativität, Gradualität und Offenheit, adressieren die vier Anforderungen präzise und systematisch. Die Relationalität erklärt die strukturelle Zwischenstellung; die Gradualität erklärt die graduelle Adäquatheit; die Negativität erklärt die konstitutive Idealisierung; und das Zusammenspiel aller fünf Momente ermöglicht die Entwicklung einer Normativitätstheorie. Diese Korrespondenz ist nicht zufällig, sondern folgt

aus der inneren Logik beider Projekte: Otts Grenzontologie ist eine Theorie der Bedingungen von Bestimmtheit überhaupt, und Modelle sind diejenigen wissenschaftlichen Entitäten, an denen diese Bedingungen am direktesten sichtbar werden.

#### **4.3 Die dreifache Zwischenstellung von Modellen: zwischen Tatsache und Konstrukt, zwischen Theorie und Phänomen, zwischen Gemeinschaften und Praktiken**

Die Zwischenstellung von Modellen ist nicht eindimensional. Sie manifestiert sich auf drei verschiedenen Ebenen, die voneinander unterschieden werden müssen, weil sie verschiedene philosophische Dimensionen der Grenzobjektnatur von Modellen beleuchten.

Die erste Dimension ist die ontologische Zwischenstellung zwischen Tatsache und Konstrukt, die bereits in der Analyse des Bohr-Modells sichtbar wurde. Modelle sind nicht einfach Abbilder schemataunabhängiger Tatsachen, weil ihre Adäquatheit kontextabhängig, graduell und zweckrelativ ist. Sie sind nicht einfach soziale Konstrukte, weil ihre Bewertung nicht beliebig ist und weil sie empirische Konsequenzen haben, die sie bestätigen oder widerlegen können. Diese erste Zwischenstellung ist diejenige, die Boghossians Dichotomie am direktesten herausfordert, und sie ist es, die bisher im Mittelpunkt der Analyse stand.

Aber diese erste Zwischenstellung ist eingebettet in zwei weitere, die sie philosophisch vertiefen und ergänzen.

Die zweite Dimension ist die epistemologische Zwischenstellung zwischen Theorie und Phänomen. Modelle stehen nicht einfach auf der Seite der Theorie oder auf der Seite der Daten; sie vermitteln zwischen beiden auf eine Weise, die weder rein theoretisch noch rein empirisch ist. Ein Beispiel ist das Standardmodell der Teilchenphysik: Die Theorie selbst ist ein abstrakter mathematischer Formalismus, während experimentelle Daten (z. B. vom LHC) konkrete Messwerte liefern. Modelle wie das Higgs-Mechanismus-Modell vermitteln zwischen beiden: Sie übersetzen die abstrakte Theorie in testbare Vorhersagen und machen die Daten als theoretisch strukturiert verständlich. Diese Vermittlung ist nicht ableitbar aus der Theorie allein und nicht induzierbar aus den Daten allein; sie verlangt eine eigenständige, kreative epistemische Leistung, die weder rein theoretisch noch rein empirisch ist.

Diese epistemologische Zwischenstellung hat eine wichtige ontologische Konsequenz: Modelle sind nicht einfach Elemente der theoretischen Sprache oder Elemente der empirischen Wirklichkeit; sie sind Entitäten sui generis, die eine eigene ontologische Kategorie verlangen. Die Frage, was ein Modell ist, kann nicht durch Rückführung auf Theorien oder Daten beantwortet werden, weil ein Modell das ist, was zwischen beiden vermittelt. Seine Identität ist durch seine Position zwischen den Polen konstituiert, nicht durch seine Zugehörigkeit zu einem der Pole.

Die dritte Dimension ist die soziologische Zwischenstellung zwischen Gemeinschaften und Praktiken, die Star und Griesemer beschrieben haben. Modelle funktionieren als Grenzobjekte zwischen verschiedenen epistemischen Gemeinschaften: zwischen Theoretikern und Experimentatoren, zwischen Wissenschaftlern verschiedener Disziplinen, zwischen Wissenschaftlern und Ingenieuren, zwischen Wissenschaftlern und der Öffentlichkeit. Diese soziologische Zwischenstellung ist real und philosophisch relevant, aber

sie ist, wie gezeigt, nicht die fundamentale Dimension. Sie folgt aus der ontologischen und epistemologischen Zwischenstellung: Modelle können als soziologische Grenzobjekte funktionieren, weil sie ontologisch zwischen Tatsache und Konstrukt und epistemologisch zwischen Theorie und Phänomen liegen.

Die dreifache Zwischenstellung von Modellen ist also nicht zufällig und nicht kontingent. Sie ist eine strukturelle Eigenschaft, die aus der ontologischen Verfassung von Modellen folgt und die auf allen drei Ebenen dieselbe Grundstruktur hat: Modelle sind relationale Knotenpunkte, deren Identität durch ihre Position zwischen Polen konstituiert wird, nicht durch ihre Zugehörigkeit zu einem der Pole. Diese Grundstruktur ist das, was Otts Begriff des relationalen Knotenpunkts beschreibt, und sie ist der Grund dafür, dass Otts Grenzontologie die ontologische Fundierung des Grenzobjektbegriffs liefern kann, die der soziologische Vorläufer schuldig bleibt.

#### **4.4 Warum die Zwischenstellung ontologisch konstitutiv ist und nicht epistemisch defizitär**

Die entscheidende philosophische Frage ist, ob die Zwischenstellung von Modellen als ontologisch konstitutiv oder als epistemisch defizitär zu verstehen ist. Diese Unterscheidung ist für die gesamte Wissenschaftsphilosophie grundlegend.

Die Deutung als epistemisch defizitär ist die naheliegendste und verbreitetste. Nach dieser Deutung liegt die Zwischenstellung von Modellen daran, dass wir noch keine vollständige Theorie haben, die alle relevanten Tatsachen erfasst, oder dass unsere Beobachtungsmittel noch nicht präzise genug sind, um zwischen konkurrierenden Modellen eindeutig zu entscheiden. Das Bohr-Modell war ein gutes Modell für seine Zeit, aber seine Zwischenstellung zwischen Richtigkeit und Falschheit war ein Ausdruck der epistemischen Begrenztheit der damaligen Physik, nicht eine ontologische Eigenschaft des Modells selbst. Mit dem quantenmechanischen Modell wurde diese Begrenztheit überwunden, und das neue Modell steht der vollen Wahrheit über das Atom näher. Die Zwischenstellung ist ein epistemisches Durchgangsstadium, das im Prinzip überwunden werden kann.

Diese Deutung hat eine oberflächliche Plausibilität, aber sie scheitert an drei Einwänden, die zusammen zeigen, dass die Zwischenstellung von Modellen ontologisch konstitutiv ist.

Der erste Einwand ist der Persistenzeinwand. Wenn die Zwischenstellung von Modellen ein epistemisch defizitäres Durchgangsstadium wäre, dann wäre zu erwarten, dass sie im Verlauf des wissenschaftlichen Fortschritts abnimmt und dass reifere Wissenschaften Modelle haben, die der vollen Wahrheit näher stehen und daher weniger graduell und weniger kontextabhängig adäquat sind. Das Gegenteil ist der Fall. Ausgereifte und erfolgreiche Wissenschaften, insbesondere die theoretische Physik, arbeiten nicht mit weniger, sondern mit mehr Modellen, die graduell und kontextabhängig adäquat sind. Die Quantenmechanik und die Allgemeine Relativitätstheorie werden nicht direkt auf Phänomene angewendet, sondern durch spezifische Modelle (z. B. das Schrödinger-Modell des Wasserstoffatoms), die spezifische Idealisierungen enthalten (z. B. Vernachlässigung von Spin-Bahn-Kopplung). Die Zwischenstellung persistiert in den reifsten Wissenschaften, was gegen ihre Deutung als epistemisches Defizit spricht.

Der zweite Einwand ist der Idealisierungseinwand. Wenn die Zwischenstellung von Modellen epistemisch defizitär wäre, dann wären die Idealisierungen, die Modelle vornehmen, prinzipiell eliminierbar: Ein vollständiges Modell würde keine Idealisierungen mehr enthalten, sondern alle relevanten Aspekte der Zieldomäne vollständig repräsentieren. Wie Nancy Cartwright für physikalische Gesetze gezeigt hat (*How the Laws of Physics Lie*), sind auch wissenschaftliche Modelle auf Idealisierungen angewiesen, die nicht eliminierbar sind. Ein Modell, das alle Aspekte einer Zieldomäne berücksichtigen würde, wäre kein Modell mehr, sondern ein Duplikat der Realität, das keine Erklärungsleistung hätte. Die Erklärungsleistung von Modellen hängt jedoch gerade davon ab, dass sie bestimmte Aspekte der Wirklichkeit herausheben und andere ignorieren. Diese Selektivität ist die Bedingung der Erklärungsleistung. Idealisierungen sind konstitutiv für das, was ein Modell ist, und ihre Konstitutivität zeigt, dass die Zwischenstellung von Modellen nicht epistemisch defizitär, sondern ontologisch konstitutiv ist.

Der dritte Einwand ist der Normativitätseinwand. Wenn die Zwischenstellung von Modellen epistemisch defizitär wäre, dann wäre die normative Frage, welches Modell besser ist, durch den Verweis auf die vollständige Wahrheit zu beantworten: Ein Modell ist besser, wenn es der vollständigen Wahrheit näher ist. Aber diese Antwort setzt voraus, dass die vollständige Wahrheit als Referenzpunkt verfügbar ist oder zumindest als regulative Idee fungieren kann. In der wissenschaftlichen Praxis ist diese Voraussetzung nicht einlösbar: Es gibt keinen theorie- und modellunabhängigen Zugang zur vollständigen Wahrheit, der als Maßstab der Modellbewertung dienen könnte. Die Normativität der Modellbewertung muss daher aus anderen Quellen gespeist werden als dem Verweis auf eine vollständige, schemataunabhängige Wahrheit. Diese anderen Quellen sind, wie in Abschnitt VII zu zeigen sein wird, relationale Kohärenz, prozessuale Bewährung und graduelle Adäquatheit, also genau die Strukturmomente, die Otts Grenzontologie beschreibt.

Diese drei Einwände zusammen zeigen, dass die Zwischenstellung von Modellen nicht epistemisch defizitär, sondern ontologisch konstitutiv ist. Sie ist nicht ein Ausdruck von Unwissenheit oder Unvollständigkeit, der durch bessere Wissenschaft überwunden werden könnte. Sie ist eine strukturelle Eigenschaft von Modellen, die aus ihrer ontologischen Verfassung als relational, prozessual, graduell und offen folgt. Modelle sind Grenzobjekte nicht trotz ihrer Zwischenstellung, sondern wegen ihr: Ihre Fähigkeit, zwischen Theorien und Phänomenen, zwischen Gemeinschaften und Praktiken, zwischen Tatsachen und Konstrukten zu vermitteln, hängt genau davon ab, dass sie keine vollständig positiv bestimmten Entitäten sind, die einer der Seiten eindeutig zugehören.

Diese Einsicht hat eine philosophisch weitreichende Konsequenz, die über die Wissenschaftsphilosophie hinausgeht und an den Kern von Otts Grenzontologie rührt. Der Ermöglichungsgrund der Bestimmbarkeit entzieht sich, nach Ott, jeder vollständigen positiven Fixierung, weil jede solche Fixierung ihn in die Ordnung des Bestimmten überführen und damit seine Funktion als Ermöglichungsgrund zerstören würde. Analog entzieht sich ein wissenschaftliches Modell der vollständigen positiven Fixierung auf einer der Seiten, zwischen denen es vermittelt, weil eine solche Fixierung seine Vermittlungsfunktion zerstören würde. Ein Modell, das vollständig auf der Seite der Theorie stünde, wäre keine Beschreibung eines Phänomens mehr; ein Modell, das vollständig auf der Seite des Phänomens stünde, wäre keine theoretisch strukturierte Beschreibung mehr. Die Zwischenstellung ist die Bedingung der Modellierungsleistung, nicht ihr Hindernis.

In Otts Terminologie: Modelle sind ontologische Grenzobjekte in der wissenschaftlichen Praxis. Sie markieren die Grenze zwischen Theorie und Phänomen, zwischen Allgemeinem und Besonderem, zwischen formaler Struktur und empirischer Wirklichkeit. Diese Grenze ist keine äußere Schranke, die überwunden werden könnte, sondern eine immanente Differenzstruktur, die die Modellierungsleistung erst ermöglicht. Und weil sie eine immanente Differenzstruktur ist, entzieht sie sich jeder vollständigen positiven Fixierung: Ein Modell, das vollständig auf einer Seite der Grenze stünde, wäre kein Grenzmodell mehr, sondern entweder eine reine Theorie oder ein reines Datum. Die Zwischenstellung ist konstitutiv, und ihre Konstitutivität ist der ontologische Grund dafür, dass Modelle die epistemischen Leistungen erbringen können, die sie tatsächlich erbringen.

## **V. Otts Strukturmomente als ontologische Theorie der Modellpraxis**

In Abschnitt IV wurde gezeigt, dass wissenschaftliche Modelle Grenzobjekte sind, die zwischen Theorie und Phänomen, zwischen Tatsache und Konstrukt, zwischen Gemeinschaften und Praktiken vermitteln. Doch was macht Modelle zu solchen Grenzobjekten? Welche ontologische Struktur ermöglicht ihre Zwischenstellung? Dieser Abschnitt wendet Otts fünf Strukturmomente (Relationalität, Prozessualität, Negativität, Gradualität, Offenheit) auf die Modellpraxis an und zeigt, wie sie gemeinsam eine ontologische Theorie wissenschaftlicher Modelle bilden. Dabei wird deutlich, dass diese Strukturmomente nicht nur beschreiben, wie Modelle funktionieren, sondern erklären, warum sie notwendig zwischen den traditionellen Kategorien liegen.

### **5.1 Relationalität: Modelle als relationale Knotenpunkte**

#### **Knotenpunkte statt Substrate: Die Ablehnung intrinsischer Modellidentität**

Die traditionelle Substanzontologie (von Aristoteles bis zur modernen Metaphysik) geht davon aus, dass Entitäten zuerst durch ihre intrinsischen Eigenschaften bestimmt sind und dann in Relationen treten. Auf Modelle angewendet bedeutet das: Ein Modell wie das Bohr-Modell hat eine feste Struktur (z. B. diskrete Bahnen, Energieniveaus), die unabhängig von seinen Relationen zu Zieldomäne, Mathematik oder Messpraktiken existiert. Otts Relationalitätsthese kehrt diese Perspektive um: Relationen sind primär – sie konstituieren die Identität einer Entität, statt nur zu ihr hinzuzukommen. Ein Modell ist nichts an sich, sondern nur das, was es in seinen Relationen ist

Die substanzontologische Grundintuition, dass Entitäten zunächst das sind, was sie sind, und dann in Relationen treten, ist in der Wissenschaftsphilosophie tief verwurzelt, auch dort, wo sie nicht explizit artikuliert wird. Sie zeigt sich in der Annahme, dass ein wissenschaftliches Modell eine identifizierbare Einheit ist, die bestimmte Eigenschaften hat und die dann in Beziehung zu einer Zieldomäne, zu einer Theorie, zu Daten gesetzt wird. Das Bohr-Modell hat, nach dieser Annahme, eine bestimmte Struktur, die unabhängig von seiner Anwendung auf das Wasserstoffatom beschreibbar ist; seine Relationen zur Zieldomäne, zur Quantenmechanik und zur experimentellen Praxis kommen zu dieser Struktur hinzu, ohne sie zu konstituieren.

Otts erstes Strukturmoment, die Relationalität, stellt diese Grundintuition fundamental in Frage. Die Grundthese lautet, dass Knotenpunkte durch die Relationen konstituiert werden, in denen sie stehen, nicht umgekehrt. Eine Entität ist nicht zuerst das, was sie ist, und tritt dann in Relationen; sie ist das, was sie ist, durch ihre Position in einem Netz von Relationen. Identität ist nicht Voraussetzung, sondern Resultat relationaler Konstitution.

Auf wissenschaftliche Modelle angewendet bedeutet diese These, dass die Identität eines Modells nicht durch eine intrinsische Struktur bestimmt wird, die unabhängig von seinen Relationen beschreibbar wäre, sondern durch seine Position in einem Netz von Relationen zu Zielomäne, mathematischen Strukturen, Messpraktiken, theoretischen Rahmungen und anderen Modellen. Das Bohr-Modell ist nicht ein bestimmtes Gebilde, das dann auf das Wasserstoffatom angewendet wird; es ist das, was es ist, durch seine spezifische Weise, Elektronen, Bahnen, Energieniveaus und Spektrallinien miteinander in Beziehung zu setzen, und diese Weise des Inbeziehungsetzens konstituiert seine Identität als dieses Modell.

Diese Ablehnung intrinsischer Modellidentität hat eine wichtige ontologische Konsequenz: Modelle können keine scharf bestimmten, vollständig von ihren Relationen unabhängigen Grenzen haben. Ihre Grenzen sind fließend, weil ihre Identität relational ist. Was zum Bohr-Modell gehört und was nicht, ist keine Frage, die durch Verweis auf eine intrinsische Struktur beantwortet werden kann, sondern eine Frage, die durch den relationalen Kontext der Verwendung beantwortet wird. In einem Kontext, in dem die Feinstruktur des Wasserstoffspektrums relevant ist, gehören Spin-Bahn-Kopplung und relativistische Korrekturen zum Modell; in einem Kontext, in dem nur die Hauptlinien des Spektrums erklärt werden sollen, gehören sie nicht dazu. Die Grenzen des Modells sind kontextabhängig, weil seine Identität relational ist.

Diese Kontextualität der Grenzen ist, wie im vorigen Abschnitt gezeigt, keine epistemische Schwäche, sondern eine ontologische Eigenschaft. Sie folgt aus der relationalen Konstitution der Modellidentität und ist die ontologische Grundlage der Grenzobjektnatur von Modellen: Modelle können als Grenzobjekte zwischen verschiedenen Kontexten, Gemeinschaften und Praktiken fungieren, gerade weil ihre Identität nicht durch eine intrinsische Struktur fixiert ist, die in jedem Kontext dieselbe Bedeutung hätte.

### **Das Relationsnetz wissenschaftlicher Modellierung: Zielomäne, Mathematik, Messpraktiken, theoretische Rahmung**

Die relationale Konstitution der Modellidentität wird konkreter, wenn man die spezifischen Relationen betrachtet, durch die ein wissenschaftliches Modell konstituiert wird. Diese Relationen sind nicht beliebig; sie haben eine bestimmbar Struktur, die das Modell als wissenschaftliches Modell von anderen Entitäten unterscheidet. Es lassen sich vier grundlegende Relationsdimensionen unterscheiden, die zusammen das Relationsnetz wissenschaftlicher Modellierung konstituieren.

Die erste Relationsdimension ist die Relation zur Zielomäne. Ein Modell ist immer ein Modell von etwas: von einem Phänomen, einem System, einem Prozess. Diese Relation ist nicht eine bloß intentionale oder repräsentationale Relation; sie ist eine konstitutive Relation, die bestimmt, was als relevante Eigenschaft des Modells gilt und was nicht. Was das Bohr-Modell als Modell des Wasserstoffatoms ist, wird wesentlich durch seine Relation zum

Wasserstoffatom bestimmt: Die Bahnen der Elektronen, die Energieniveaus, die Übergänge sind relevant, weil und insofern sie Aspekte des Wasserstoffatoms beschreiben. Ein Modell, das dieselbe mathematische Struktur hätte, aber ohne Relation zu einer Zieldomäne verwendet würde, wäre ein anderes Objekt, weil seine Identität durch andere Relationen konstituiert würde.

Die zweite Relationsdimension ist die Relation zu mathematischen Strukturen. Wissenschaftliche Modelle sind in aller Regel mathematisch strukturiert: Sie verwenden bestimmte mathematische Formalismen, Gleichungen, Graphen, geometrische Strukturen, um die Zieldomäne zu beschreiben. Diese Relation zu mathematischen Strukturen ist konstitutiv für die Präzision und Vorhersagekraft des Modells. Das Bohr-Modell verwendet die Mathematik der Kreisbewegung und der diskreten Energieniveaus; diese mathematische Struktur ist nicht ein äußeres Gewand, das das Modell trägt, sondern ein konstitutives Element seiner Identität. Ohne die spezifische Mathematik der Quantenbedingung, die Bohr einführte, wäre das Modell nicht das Bohr-Modell.

Die dritte Relationsdimension ist die Relation zu Messpraktiken. Wissenschaftliche Modelle sind nicht nur theoretische Konstrukte; sie sind mit experimentellen und messtechnischen Praktiken verbunden, durch die ihre Vorhersagen operationalisiert und überprüft werden. Das Bohr-Modell ist nicht ohne die Spektroskopie zu verstehen, die seine Vorhersagen überprüfbar machte; die Spektrallinien des Wasserstoffs sind keine theorieneutralen Daten, sondern Ergebnisse von Messpraktiken, die durch theoretische Annahmen strukturiert sind. Diese Relation zu Messpraktiken ist konstitutiv für den empirischen Gehalt des Modells: Was das Modell über die Wirklichkeit sagt, ist nicht unabhängig von den Praktiken bestimmbar, durch die seine Aussagen überprüft werden.

Die vierte Relationsdimension ist die Relation zu theoretischen Rahmungen. Modelle stehen nicht isoliert; sie sind in theoretische Rahmungen eingebettet, die ihre Interpretation leiten und ihren Anwendungsbereich bestimmen. Das Bohr-Modell steht in Relation zur klassischen Mechanik (von der es die Vorstellung diskreter Bahnen übernimmt) und zu Plancks Quantenhypothese (die es auf die Atomstruktur anwendet). Später wurde es in die Quantenmechanik integriert, die seine Relationen zu anderen theoretischen Rahmungen (z. B. Wellenmechanik) neu definierte.

Diese theoretischen Rahmungen sind nicht bloße Hintergründe, vor denen das Modell verwendet wird; sie sind konstitutive Elemente seiner Identität, weil sie bestimmen, wie seine Begriffe zu interpretieren sind und was als Bestätigung oder Widerlegung gilt.

Das Relationsnetz, das durch diese vier Dimensionen aufgespannt wird, ist das, was ein wissenschaftliches Modell ontologisch ist. Das Modell ist kein Substrat, das diese Relationen hat; es ist der Knotenpunkt, der durch diese Relationen konstituiert wird. Änderungen in einer der Relationsdimensionen ändern das Modell selbst: Ein Modell, das mit einer anderen mathematischen Struktur operiert, einer anderen Zieldomäne zugeordnet ist, durch andere Messpraktiken operationalisiert wird oder in einer anderen theoretischen Rahmung interpretiert wird, ist ein anderes Modell. Diese Sensitivität gegenüber Veränderungen im Relationsnetz ist der direkte Ausdruck der relationalen Konstitution der Modellidentität.

**Verbindung zu Suárez' inferentieller Konzeption wissenschaftlicher Repräsentation**

Die relationale Konzeption der Modellidentität, die aus Otts erstem Strukturmoment folgt, steht in einer produktiven Verbindung zu Mauricio Suárez' inferentieller Konzeption wissenschaftlicher Repräsentation, auch wenn sie über diese hinausgeht und sie ontologisch vertieft.

Suárez hat in einer Reihe einflussreicher Arbeiten argumentiert, dass wissenschaftliche Repräsentation nicht durch eine intrinsische Eigenschaft von Modellen erklärt werden kann, weder durch Ähnlichkeit noch durch Isomorphie, sondern durch die inferentielle Rolle, die Modelle in epistemischen Praktiken spielen. Ein Modell  $M$  repräsentiert ein Zielobjekt  $T$ , wenn  $M$  einen informierten und versierten Benutzer in die Lage versetzt, auf der Grundlage von  $M$  Schlüsse über  $T$  zu ziehen. Repräsentation ist damit eine relationale Eigenschaft, die nicht im Modell allein liegt, sondern im Verhältnis zwischen Modell, Zielobjekt und den epistemischen Praktiken der Nutzer.

Diese inferentielle Konzeption hat eine strukturelle Ähnlichkeit mit Otts relationaler Ontologie: In beiden Fällen wird die Identität von Modellen durch Relationen konstituiert, nicht durch intrinsische Eigenschaften. Aber Suárez' Konzeption bleibt auf der epistemologischen Ebene: Sie erklärt, wie Modelle in epistemischen Praktiken funktionieren, nicht, was Modelle ontologisch sind. Die inferentielle Rolle ist eine funktionale Charakterisierung, keine ontologische.

Otts Grenzontologie geht über Suárez' inferentielle Konzeption hinaus, indem sie die ontologische Basis der inferentiellen Rolle beschreibt. Die Fähigkeit eines Modells, einen Benutzer zu Schlüssen über ein Zielobjekt in die Lage zu versetzen, ist nicht eine primitive Funktion, die ohne weitere Erklärung akzeptiert werden muss. Sie folgt aus der relationalen Konstitution des Modells: Weil das Modell ein Knotenpunkt ist, der durch Relationen zur Zieldomäne, zu mathematischen Strukturen, zu Messpraktiken und zu theoretischen Rahmungen konstituiert wird, enthält es strukturelle Informationen über diese Relationen, die inferentiell genutzt werden können. Die inferentielle Rolle ist die epistemische Oberfläche der relationalen ontologischen Verfassung.

Diese Verbindung zwischen Suárez' inferentieller Konzeption und Otts relationaler Ontologie ist philosophisch fruchtbar, weil sie zeigt, dass die epistemologische und die ontologische Ebene der Wissenschaftsphilosophie nicht unabhängig voneinander sind. Eine vollständige Theorie wissenschaftlicher Repräsentation braucht sowohl eine epistemologische Beschreibung der inferentiellen Funktion als auch eine ontologische Beschreibung der relationalen Verfassung, die diese Funktion ermöglicht. Suárez liefert die epistemologische Beschreibung; Ott liefert die ontologische Grundlage.

## **5.2 Prozessualität: Stabilisierung als wissenschaftliche Leistung**

### **Modelle als Ergebnisse und Ausgangspunkte von Modellierungsprozessen**

Das zweite Strukturmoment von Otts Grenzontologie ist die Prozessualität: die These, dass Stabilität eine Leistung von Prozessen ist, keine Voraussetzung, und dass Entitäten nicht als statische Bestände, sondern als Ergebnisse und Ausgangspunkte von Prozessen zu verstehen sind. Auf wissenschaftliche Modelle angewendet bedeutet diese These, dass

Modelle nicht statische Repräsentationen sind, die einmal erstellt werden und dann unverändert existieren, sondern dynamische Entitäten, die durch kontinuierliche Modellierungsprozesse konstituiert und transformiert werden.

Die Ergebnisdimension ist leicht zu übersehen, weil ein Modell, sobald es etabliert ist, wie eine fertige Entität erscheint. Das Bohr-Modell scheint eine klar definierte Struktur zu haben, die unabhängig von seiner Entstehungsgeschichte beschreibbar ist. Aber diese Erscheinung trügt. Das Bohr-Modell ist das Ergebnis eines komplexen Prozesses, in dem Bohr verschiedene Elemente der klassischen Mechanik, der Planckschen Quantenhypothese und der experimentellen Daten über das Wasserstoffspektrum auf eine spezifische Weise kombinierte. Die Stabilität des Modells ist das Ergebnis dieses Prozesses, nicht seine Voraussetzung: Vor Bohrs Arbeit gab es kein Bohr-Modell, das darauf gewartet hätte, entdeckt zu werden. Die Stabilität wurde durch den Modellierungsprozess hergestellt, und sie ist in dem Maß stabil, in dem der Prozess zu einem sich selbst reproduzierenden Muster geführt hat, das in der wissenschaftlichen Gemeinschaft als Modell etabliert ist.

Die Ausgangspunktdimension ist ebenso wichtig. Das Bohr-Modell ist nicht nur das Ergebnis eines Modellierungsprozesses; es ist auch der Ausgangspunkt weiterer Modellierungsprozesse. Es hat die Entwicklung der Quantenmechanik angestoßen, indem es die Frage aufwarf, warum die Energieniveaus diskret sind, und indem es einen Rahmen bereitstellte, innerhalb dessen diese Frage präzise formuliert werden konnte. Es hat die Spektroskopie als Forschungsprogramm strukturiert und die Entwicklung neuer experimenteller Techniken motiviert. Es hat andere Modelle von Atomen mit mehreren Elektronen inspiriert, auch wenn es auf diese nicht direkt anwendbar ist. Das Modell ist ein Knotenpunkt in einem Netz von Modellierungsprozessen: Es verdichtet eine Reihe vorhergehender Prozesse zu einer stabilen Struktur und ist gleichzeitig der Ausgangspunkt für neue Prozesse.

Diese doppelte Dimension, Ergebnis und Ausgangspunkt zugleich zu sein, ist charakteristisch für die prozessuale Ontologie, die Ott beschreibt: Eine Knotenpunkt ist die Stabilisierung der Relationen eines vorhergehenden Prozesses und zugleich ein Datum, von dem weitere relationale Prozesse ausgehen. Das Modell ist die wissenschaftliche Realisierung dieser Grundstruktur: ein prozessualer Knotenpunkt, der in der Zeit entsteht, stabilisiert wird und wieder transformiert wird, ohne je vollständig statisch zu sein.

### **Kuhns Paradigmenbegriff: Verwandtschaft und ontologisches Defizit**

Die Verwandtschaft zwischen Otts prozessualer Ontologie und Thomas Kuhns Wissenschaftsphilosophie ist offensichtlich und verdient explizite Thematisierung, weil sie zugleich zeigt, wo Otts Grenzontologie über Kuhn hinausgeht und ihm eine ontologische Tiefe gibt, die in Kuhns eigenem Rahmen fehlt.

Kuhns Begriff des Paradigmas, wie er in *The Structure of Scientific Revolutions* entwickelt wird, hat eine strukturelle Verwandtschaft mit Otts prozessualer Konzeption wissenschaftlicher Entitäten. Kuhn versteht wissenschaftliche Praxis nicht als die schrittweise Akkumulation von Tatsachen, sondern als die Lösung von Problemen innerhalb eines Rahmens, der selbst nicht durch die Problemlösung in Frage gestellt wird. Das Paradigma ist dieser Rahmen: ein Muster wissenschaftlicher Praxis, das Probleme,

Methoden, Standards und Beispiele vorgibt und das in der wissenschaftlichen Gemeinschaft als selbstverständlich gilt, solange die normale Wissenschaft funktioniert. Paradigmenwechsel, wissenschaftliche Revolutionen, sind Momente, in denen ein Paradigma durch Anomalien unter Druck gerät und schließlich durch ein neues Paradigma ersetzt wird.

Die Verwandtschaft zu Ott's prozessualer Ontologie liegt in der Betonung der Prozesshaftigkeit wissenschaftlicher Erkenntnis: Weder Theorien noch Modelle sind statische Abbilder einer unveränderlichen Wirklichkeit; sie sind Muster, die sich in wissenschaftlichen Praktiken stabilisieren, Anomalien absorbieren oder nicht absorbieren und schließlich transformiert werden. Kuhns Beschreibung wissenschaftlicher Revolutionen ist eine makroskopische Beschreibung des prozessualen Wandels, den Ott ontologisch als die Instabilität und Transformierbarkeit jeder Stabilisierungsleistung beschreibt.

Aber Kuhns Paradigmenbegriff hat ein ontologisches Defizit, das durch Ott's Grenzontologie sichtbar wird. Kuhn beschreibt Paradigmen in erster Linie soziologisch: als geteilte Überzeugungen, Praktiken und Beispiele einer wissenschaftlichen Gemeinschaft. Die Frage, was Paradigmen ontologisch sind, welche Struktur die Stabilität eines Paradigmas ermöglicht und welche Struktur den Paradigmenwechsel ontologisch charakterisiert, stellt Kuhn nicht. Das ontologische Defizit zeigt sich besonders in der Frage der Inkommensurabilität:

Kuhn betont, dass Paradigmen inkommensurabel sind – d. h., sie teilen keine gemeinsame Sprache oder Ontologie, die eine vollständige Übersetzung ermöglichen würde. Allerdings räumt er ein, dass partielle Übersetzungen möglich sind. Ott's relationale Ontologie präzisiert diese Einsicht: Inkommensurabilität bedeutet nicht vollständige Unvereinbarkeit, sondern dass die relationalen Netze der Paradigmen nur partiell isomorph sind: Wenn Modelle relationale Knotenpunkte sind, deren Identität durch ihre Position in einem Relationsnetz konstituiert wird, dann ist ein Paradigmenwechsel eine Transformation des Relationsnetzes, in dem Knotenpunkte konstituiert werden. Die Inkommensurabilität ist nicht vollständig: Die Knotenpunkte des neuen Paradigmas sind nicht vollständig verschieden von denen des alten Paradigmas, weil partielle Isomorphie zwischen relationalen Positionen bestehen kann, auch wenn das Gesamtnetz verschieden ist.

Ein Beispiel für partielle Isomorphie ist das Verhältnis zwischen dem Bohr-Modell und der Quantenmechanik: Beide beschreiben diskrete Energieniveaus (Isomorphie), aber nur die Quantenmechanik berücksichtigt die Wellennatur der Elektronen (Differenz). Die Korrespondenzregel (Bohr-Modell als Grenzfall der Quantenmechanik für große Quantenzahlen) zeigt, wie partielle Kontinuität trotz Paradigmenwechsels möglich ist.

Dieses präzisere Verständnis partieller Kontinuität trotz Paradigmenwechsel ist eine ontologische Konsequenz von Ott's relationaler Konzeption, die Kuhns soziologisch formulierte Inkommensurabilität vertieft und differenziert.

### **Prozessuale Identität und wissenschaftlicher Wandel**

Die prozessuale Konzeption der Modellidentität wirft auch ein neues Licht auf das Verständnis wissenschaftlichen Wandels, die über Kuhns Beschreibung hinausgeht.

In der substanzontologischen Konzeption ist wissenschaftlicher Wandel der Austausch einer statischen Entität, eines Modells oder einer Theorie, durch eine andere. Das alte Modell wird verworfen, das neue Modell wird akzeptiert; der Wandel ist diskontinuierlich und vollständig. Diese Konzeption erzeugt das Problem der Referenzkontinuität: Wenn das alte und das neue Modell fundamental verschieden sind, wie können sie dann über dasselbe sprechen? Wenn das Bohr-Modell und das quantenmechanische Modell fundamentale verschiedene Konzeptionen des Elektrons haben, wie können dann Experimente, die im Rahmen des Bohr-Modells durchgeführt wurden, als Evidenz für das quantenmechanische Modell gelten?

In der prozessualen Konzeption ist wissenschaftlicher Wandel eine Transformation des Modellierungsprozesses, keine Substitution statischer Entitäten. Das Bohr-Modell geht nicht einfach unter und wird durch das quantenmechanische Modell ersetzt; es wird in das neue Modell integriert als Grenzfall, der unter bestimmten Bedingungen gilt. Das quantenmechanische Modell enthält das Bohr-Modell als prozessuale Vorgängerstruktur, die unter bestimmten Bedingungen als Näherung reproduzierbar ist. Ein weiteres Beispiel ist die Newtonsche Mechanik, die in der Allgemeinen Relativitätstheorie als Grenzfall (für schwache Gravitationsfelder und niedrige Geschwindigkeiten) integriert wurde. Dies zeigt, dass wissenschaftlicher Wandel kein radikaler Bruch, sondern eine prozessuale Transformation ist.

Dieser Übergang ist weder vollständig diskontinuierlich noch vollständig kontinuierlich; er ist, in Otts Terminologie, eine Transformation des relationalen Knotenpunkts, bei der bestimmte Relationen erhalten bleiben und andere transformiert werden.

Diese prozessuale Konzeption des wissenschaftlichen Wandels ist nicht nur ontologisch präziser als die substanzontologische Konzeption; sie ist auch näher an der tatsächlichen wissenschaftlichen Praxis. Wissenschaftler werfen Modelle nicht einfach; sie transformieren sie, integrieren sie als Grenzfälle, identifizieren die Bedingungen, unter denen sie gelten, und entwickeln neue Modelle, die die alten als Spezialfälle enthalten. Diese Praxis der Integration und Transformation ist die wissenschaftliche Realisierung der prozessualen Ontologie, die Ott beschreibt.

Dieses prozessuale Verständnis steht im radikalen Gegensatz zu Karl Poppers Falsifikationismus. Für Popper ist wissenschaftlicher Fortschritt ein Prozess der Falsifikation und des Ersatzes: Eine Theorie wird verworfen, wenn sie falsifiziert ist, und durch eine bessere Theorie ersetzt wird. Otts Ansatz zeigt jedoch, dass dieser substanzontologische Rahmen (Theorien als statische Entitäten) unangemessen ist: Wissenschaftlicher Wandel ist kein Austausch, sondern eine Transformation von Prozessen. Diese Kontinuität im Wandel ist ein zentrales Merkmal wissenschaftlicher Praxis, das Poppers strikter Falsifikationismus nicht erfasst.

### **5.3 Negativität: Idealisierung und Abstraktion als konstitutive Merkmale**

In der traditionellen Wissenschaftsphilosophie werden Idealisierungen (z. B. Punktmassen, reibungsfreie Systeme) oft als vorläufige Vereinfachungen betrachtet – als Mängel, die durch eine vollständigere Theorie behoben werden könnten. Otts Negativitätsthese kehrt diese

Perspektive um: Idealisierungen sind keine Defizite, sondern konstitutive Bedingungen der Bestimmtheit von Modellen. Was ein Modell ist, bestimmt sich nicht trotz, sondern durch das, was es ausschließt.

### **Idealisierungen nicht als Mängel, sondern als Bedingungen der Bestimmtheit**

Das dritte Strukturmoment von Ottos Grenzontologie ist die Negativität: die These, dass ontologische Nicht-Identität, die irreduzible innere Differenz, die jeder Identität immanent ist, kein Defizit ist, sondern ein konstitutives Merkmal. Die Bestimmtheit einer Entität wird nicht trotz, sondern durch die Differenz konstituiert, die sie von anderem unterscheidet. Was eine Entität ist, bestimmt sich wesentlich durch das, was sie nicht ist.

Auf wissenschaftliche Modelle angewendet bedeutet diese These, dass die Idealisierungen und Abstraktionen, die ein Modell vornimmt, keine Mängel sind, die durch ein vollständigeres Modell behoben werden könnten, sondern konstitutive Bedingungen der Bestimmtheit des Modells als dieses Modell. Das Bohr-Modell ignoriert die Wellennatur der Elektronen, die relativistischen Effekte und die Wechselwirkungen zwischen Elektronen in Mehrelektronenatomen. Diese Ignorierungen sind nicht Fehler, die Bohr aus Unwissenheit beging; sie sind konstitutive Entscheidungen, die das Modell zu dem machen, was es ist. Ein Modell, das all diese Faktoren berücksichtigen würde, wäre nicht ein verbessertes Bohr-Modell, sondern ein anderes Modell, das andere Erklärungsleistungen hätte und andere Phänomene in den Vordergrund stellen würde.

Ein weiteres Beispiel ist die Quantenfeldtheorie, die Punktteilchen (ohne Ausdehnung) voraussetzt – eine Idealisierung, die konstitutiv für die mathematische Behandlung ist. Ohne diese Idealisierung wäre die Theorie unhandhabbar, auch wenn sie physikalisch ungenau ist (da Elementarteilchen eine Ausdehnung haben)

Die Bestimmtheit des Bohr-Modells, seine Fähigkeit, das Wasserstoffspektrum präzise zu erklären, hängt genau von diesen Ausschlüssen ab. Wenn das Modell die Wellennatur der Elektronen berücksichtigte, wäre es komplexer und würde andere Phänomene erklären können, aber es würde die Einfachheit und Klarheit verlieren, die es als didaktisches und heuristisches Werkzeug so wertvoll machen. Die Idealisierungen sind nicht Einschränkungen der Erklärungsleistung; sie sind Bedingungen einer spezifischen Erklärungsleistung. In Ottos Terminologie: Was das Bohr-Modell ist, bestimmt sich durch das, was es nicht ist; seine ontologische Nicht-Identität mit der vollständigen quantenmechanischen Beschreibung ist konstitutiv für seine Identität als Bohr-Modell.

### **Cartwrights Analyse wissenschaftlicher Idealisierungen und ihre ontologische Erweiterung**

Nancy Cartwright hat in *How the Laws of Physics Lie* und in späteren Arbeiten eine Analyse wissenschaftlicher Idealisierungen entwickelt, die in vieler Hinsicht mit Ottos Negativitätsthese konvergiert, ohne sie ontologisch zu fundieren. Cartwrights zentrale These ist, dass die fundamentalen Gesetze der Physik streng genommen falsch sind, weil sie Idealisierungen voraussetzen, die in der Wirklichkeit nie vollständig realisiert sind. Das Newtonsche Gravitationsgesetz gilt streng nur für Punktmassen; da es keine Punktmassen gibt, gilt es streng für nichts. Was die Gesetze richtig beschreiben, sind nicht die tatsächlichen

Phänomene, sondern idealisierte Modelle der Phänomene, die in bestimmten Hinsichten und unter bestimmten Bedingungen adäquate Beschreibungen liefern.

Cartwrights Analyse hat eine wichtige Stärke: Sie nimmt Idealisierungen ernst und behandelt sie nicht als vorläufige Vereinfachungen, die in einer vollständigen Theorie eliminierbar wären. Idealisierungen sind konstitutive Elemente wissenschaftlicher Modelle, und die Beziehung zwischen Modellen und Phänomenen ist keine direkte Korrespondenz, sondern eine komplexe Vermittlung durch Idealisierungen.

Aber Cartwrights Analyse hat eine ontologische Grenze: Sie erklärt nicht, warum Idealisierungen konstitutiv sind. Sie stellt fest, dass Gesetze idealisieren, aber sie hat keine ontologische Theorie, die erklärt, warum jede Bestimmung notwendig durch Ausschluss operiert und warum ein vollständig nicht-idealisiertes Modell nicht ein besseres Modell, sondern gar kein Modell wäre. Diese ontologische Erklärung liefert Otts Negativitätsthese: Bestimmtheit ist wesentlich Bestimmtheit durch Differenz; was bestimmt ist, ist bestimmt, indem es von anderem unterschieden wird, und diese Unterscheidung ist immer eine Einschränkung, ein Ausschluss. Ein Modell ohne Ausschlüsse wäre ein Modell ohne Bestimmtheit, also kein Modell.

Diese ontologische Erweiterung von Cartwrights Analyse zeigt, dass Idealisierungen nicht eine Schwäche wissenschaftlicher Modelle sind, die durch bessere Wissenschaft überwunden werden könnte, sondern eine strukturelle Eigenschaft, die aus der ontologischen Verfassung von Bestimmtheit überhaupt folgt. Jede Bestimmung schließt aus; jedes Modell idealisiert; die Frage ist nicht, ob ein Modell idealisiert, sondern welche Idealisierungen für welche Zwecke adäquat sind.

### **Die konstitutive Funktion des Ausschlusses: Was ein Modell ist, bestimmt sich durch das, was es nicht ist**

Die Negativitätsthese hat eine Konsequenz, die über die Idealisierungsproblematik hinausgeht und die gesamte Frage der Modellidentität betrifft: Was ein Modell ist, bestimmt sich wesentlich durch das, was es nicht ist, durch die Ausschlüsse, die es vornimmt, und durch die Unterscheidungen, die es trifft.

Das Bohr-Modell ist nicht nur durch das bestimmt, was es einschließt, nämlich diskrete Bahnen, Energieniveaus, Quantenbedingungen, sondern ebenso wesentlich durch das, was es ausschließt: die Wellennatur der Elektronen, die Unschärferelation, die Spin-Eigenschaften. Diese Ausschlüsse sind nicht akzidentell; sie definieren den Anwendungsbereich des Modells, seine Erklärungsleistungen und seine Grenzen. Ein Modell, das dieselben Einschlüsse, aber andere Ausschlüsse hätte, wäre ein anderes Modell.

Diese konstitutive Funktion des Ausschlusses erklärt auch, warum Modelle prinzipiell nicht vollständig sein können und warum ein vollständiges Modell ein Widerspruch in sich wäre. Ein vollständiges Modell, das nichts ausschließt, wäre durch nichts bestimmt; es wäre kein Modell von etwas Bestimmtem, sondern eine undifferenzierte Beschreibung von allem, die nichts erklärt. Die Bestimmtheit eines Modells setzt Ausschlüsse voraus, und Ausschlüsse setzen Negativität voraus. In Otts Terminologie: Die ontologische Nicht-Identität ist

konstitutiv für die Identität; Modelle haben Identität, weil und insofern sie von anderem unterschieden sind, und diese Unterscheidung ist immer durch Ausschluss realisiert.

#### **5.4 Gradualität: Adäquatheit als Spektrum**

##### **Modelle jenseits der Wahr-Falsch-Dichotomie**

Das vierte Strukturmoment von Ott's Grenzontologie ist die Gradualität: die These, dass Identität und Stabilität keine binären Eigenschaften sind, sondern Grade. Auf wissenschaftliche Modelle angewendet bedeutet diese These, dass Modelle nicht einfach adäquat oder inadäquat, wahr oder falsch sind, sondern in einem kontinuierlichen Spektrum von mehr oder weniger adäquat, mehr oder weniger präzise, mehr oder weniger auf die relevanten Aspekte der Zieldomäne abbildend.

Diese Gradualitätsthese ist für die Wissenschaftsphilosophie von fundamentaler Bedeutung, weil sie die Wahr-Falsch-Dichotomie (Poppers Falsifikationismus) überwindet, die in der Tradition des naiven wissenschaftlichen Realismus eine zentrale Rolle spielt. Die Frage, ob das Bohr-Modell wahr oder falsch ist, hat keine befriedigende Antwort, weil sie die falsche Frage ist. Die richtige Frage ist: In welchen Hinsichten und für welche Zwecke ist das Bohr-Modell adäquat, und in welchen Hinsichten und für welche Zwecke ist es inadäquat? Diese Frage hat eine graduelle Antwort, die von der binären Wahr-Falsch-Dichotomie nicht erfasst werden kann.

Die Gradualität der Adäquatheit ist nicht subjektiv und nicht beliebig. Sie ist strukturiert durch die Relationen, die das Modell zu seiner Zieldomäne, zu mathematischen Strukturen, zu Messpraktiken und zu theoretischen Rahmungen unterhält. Ein Modell ist in dem Maß adäquat, in dem diese Relationen die relevanten Aspekte der Zieldomäne erfassen; es ist in dem Maß inadäquat, in dem sie es nicht tun. Diese Gradualität ist ontologisch fundiert: Sie folgt aus der relationalen Konstitution der Modellidentität und aus der Tatsache, dass relationale Positionen partial isomorph sein können, ohne vollständig isomorph zu sein.

##### **Partial truth: da Costa und French im Lichte der Grenzontologie**

Newton da Costa und Steven French haben in *Science and Partial Truth* einen Rahmen entwickelt, der die Gradualität wissenschaftlicher Modelle formal zu erfassen versucht: den Begriff der partiellen Wahrheit. Eine Aussage ist partiell wahr bezüglich einer Struktur, wenn sie in einem Teil der Struktur wahr ist, ohne in der gesamten Struktur wahr zu sein. Dieses Konzept erlaubt es, das Bohr-Modell als partiell wahr zu beschreiben: Es ist wahr bezüglich der diskreten Energieniveaus des Wasserstoffatoms, aber nicht wahr bezüglich der Bahnnatur der Elektronen.

Der Begriff der partiellen Wahrheit ist ein wichtiger Schritt über die binäre Wahr-Falsch-Dichotomie hinaus, und er hat eine offensichtliche Verwandtschaft mit Ott's Gradualitätsthese. Aber er hat auch eine Grenze: Er operiert innerhalb eines formalen Rahmens, der bestimmte ontologische Annahmen voraussetzt, insbesondere die Annahme, dass Strukturen vollständig bestimmbar sind und dass partielle Wahrheit als teilweise Erfüllung von Wahrheitsbedingungen formal definiert werden kann. Diese Annahmen sind mit Ott's Grenzontologie nicht vollständig verträglich, weil Ott zeigt, dass die Strukturen, auf

die sich partielle Wahrheit beziehen würde, selbst relational, prozessual und graduell konstituiert sind und daher keine vollständig bestimmbar Referenzpunkte für die formale Definition partieller Wahrheit liefern.

Im Lichte der Grenzontologie ist der Begriff der partiellen Wahrheit daher als Annäherung an die richtige Konzeption zu verstehen, nicht als ihre vollständige Realisierung. Was da Costa und French formal als teilweise Erfüllung von Wahrheitsbedingungen beschreiben, ist ontologisch als graduelle relationale Adäquatheit zu verstehen: Ein Modell ist in dem Maß adäquat, in dem die relationalen Positionen, die es realisiert, mit den relationalen Positionen der Zieldomäne partiell isomorph sind. Diese ontologische Reformulierung vermeidet die Annahme vollständig bestimmbarer Strukturen und ist damit mit der Grenzontologie konsistent.

### **Gieres Begriff des model fit als gradueller Normativität**

Ronald Giere hat in *Science Without Laws* und in späteren Arbeiten einen pragmatischen Begriff der Modelladäquatheit entwickelt, den er als model fit bezeichnet: die Frage, wie gut ein Modell zu einem System passt, in bestimmten Hinsichten und für bestimmte Zwecke. Gieres Begriff ist explizit graduell und kontextabhängig: Ein Modell passt besser oder schlechter zu einem System, und die Beurteilung des fit hängt davon ab, welche Aspekte des Systems für die jeweiligen wissenschaftlichen Zwecke relevant sind.

Gieres Begriff des model fit ist die wissenschaftsphilosophische Entsprechung von Ott's Gradualitätsthese, und die Verbindung ist philosophisch fruchtbar. Giere hat jedoch keine ontologische Theorie des model fit: Er beschreibt, wie Wissenschaftler den fit beurteilen, aber er erklärt nicht, was den fit ontologisch konstituiert und warum er graduell ist. Ott's Grenzontologie liefert diese Erklärung: Der fit ist graduell, weil die relationalen Positionen, die ein Modell realisiert, nur partial isomorph zu den relationalen Positionen der Zieldomäne sind, und diese partielle Isomorphie ist ein graduelles Phänomen, das mehr oder weniger vollständig sein kann.

Die Verbindung zwischen Gieres pragmatischem Begriff und Ott's ontologischer Theorie zeigt, dass die Pragmatik der Modellbewertung und die Ontologie der Modelle nicht unabhängig voneinander sind. Wie Wissenschaftler Modelle bewerten, ist kein beliebiger sozialer Prozess; es ist eine Praxis, die von der ontologischen Verfassung der Modelle strukturiert wird. Die Gradualität des fit ist nicht eine pragmatische Vereinfachung, die durch eine binäre Beurteilung ersetzt werden könnte; sie ist eine ontologische Eigenschaft, die aus der graduellen relationalen Adäquatheit von Modellen folgt.

### **5.5 Offenheit: Revisibilität und genuine Novität**

#### **Die prinzipielle Unabschließbarkeit des Modellierungsprozesses**

Das fünfte und letzte Strukturmoment von Ott's Grenzontologie ist die Offenheit: die These, dass der Prozess des Seienden prinzipiell unabschließbar ist und kein Telos hat, an dem er zur Ruhe käme. Diese Offenheit ist, wie Ott betont, nicht ein Defizit, sondern die Bedingung der Möglichkeit genuiner Novität, von etwas, das nicht aus dem Vorherigen deduziert werden kann.

Auf wissenschaftliche Modelle angewendet bedeutet diese These, dass Modellierungsprozesse prinzipiell unabschließbar sind: Es gibt kein perfektes, vollständiges Modell, das den Modellierungsprozess zu einem Ende brächte. Diese prinzipielle Unabschließbarkeit folgt aus der Negativität und der Gradualität: Weil jedes Modell durch Ausschlüsse konstituiert wird und weil seine Adäquatheit graduell ist, gibt es immer Aspekte der Zieldomäne, die das Modell nicht oder nicht vollständig erfasst, und immer die Möglichkeit, das Modell in einer Richtung zu erweitern oder zu präzisieren, die bisher nicht besprochen wurde.

Diese Unabschließbarkeit ist nicht Ausdruck wissenschaftlicher Bescheidenheit oder epistemischer Unsicherheit; sie ist eine ontologische Eigenschaft, die aus der Struktur der Modellierungspraxis selbst folgt. Modelle sind relationale Knotenpunkte in einem Netz, das selbst offen ist: Das Netz der Relationen, durch die ein Modell konstituiert wird, ist nicht vollständig bestimmbar, weil der Ermöglichungsgrund der Bestimmtheit, wie Ott zeigt, sich vollständiger positiver Fixierung entzieht. Es gibt immer neue Relationen, die in das Netz eintreten können, neue Messpraktiken, neue theoretische Rahmungen, neue Phänomene, die das Modell herausfordern und transformieren.

Die Offenheit des Modellierungsprozesses wird oft als Problem betrachtet – als Quelle von Unterbestimmtheit (Duhem/Quine) oder Inkommensurabilität (Kuhn). Doch Otts Grenzontologie zeigt, dass Offenheit kein Defizit, sondern die Bedingung wissenschaftlicher Kreativität ist. Diese Sichtweise steht im Einklang mit Paul Feyerabends Pluralismus (Against Method), der betont, dass wissenschaftlicher Fortschritt keinen festen Regeln folgt und Offenheit erfordert. Allerdings liefert Ott – im Gegensatz zu Feyerabends anarchistischem Ansatz – eine ontologische Begründung für diese Offenheit: Sie folgt aus der Struktur der Modelle selbst (Relationalität, Prozessualität, Negativität, Gradualität).

### **Cartwrights open texture und Otts Begriff genuiner Neuheit**

Nancy Cartwright hat in späteren Arbeiten den Begriff der open texture wissenschaftlicher Modelle entwickelt: die Tatsache, dass Modelle prinzipiell revidierbar und erweiterbar sind und dass ihr Anwendungsbereich nie vollständig im Voraus festgelegt werden kann. Ein Modell, das für einen bestimmten Phänomenbereich entwickelt wurde, kann sich als auf andere Phänomenbereiche übertragbar erweisen, die bei seiner Entwicklung nicht antizipiert wurden, oder es kann sich als auf bestimmte Phänomene nicht übertragbar erweisen, obwohl man das erwartet hatte. Diese open texture ist für Cartwright eine empirische Eigenschaft von Modellen, die durch die Erfahrung der Wissenschaftsgeschichte belegt ist.

Otts Begriff genuiner Novität vertieft Cartwrights Beobachtung ontologisch. Die Offenheit des Modellierungsprozesses ist nicht nur eine empirische Eigenschaft, die zufällig in der Wissenschaftsgeschichte aufgetreten ist; sie folgt aus der ontologischen Struktur des Ermöglichungsgrundes, der sich vollständiger positiver Fixierung entzieht. Weil der Ermöglichungsgrund nicht vollständig bestimmbar ist, gibt es keine vollständige Bestimmung der Möglichkeiten, die aus einem gegebenen Modell hervorgehen können. Die Übertragung eines Modells auf einen neuen Phänomenbereich ist daher nicht eine bloße Anwendung einer bereits vollständig bestimmten Struktur auf neue Fälle; sie ist eine genuine

Erweiterung, die etwas Neues hervorbringt, das nicht aus dem Modell allein deduzierbar war.

Diese ontologische Grundlage der Offenheit erklärt, warum wissenschaftliche Kreativität keine Anomalie ist, die durch Verweis auf Psychologie oder Soziologie erklärt werden muss, sondern eine ontologisch notwendige Dimension wissenschaftlicher Praxis. Weil der Modellierungsprozess prinzipiell offen ist, kann die Wissenschaft genuines Neues entdecken, das nicht aus dem bisherigen Wissen deduzierbar war. Die Offenheit ist die Bedingung wissenschaftlicher Kreativität, nicht ein Mangel an Systematik.

### **Offenheit als Bedingung wissenschaftlicher Kreativität, nicht als Defizit**

Die Offenheit des Modellierungsprozesses wird in der Wissenschaftsphilosophie oft als Problem behandelt: als Quelle der Unterbestimmtheit, als Grundlage der Inkommensurabilität, als Hindernis für die kumulierte Entwicklung wissenschaftlichen Wissens. Otts Grenzontologie kehrt diese Bewertung um: Offenheit ist nicht das Problem, sondern die Lösung, nicht das Hindernis, sondern die Bedingung wissenschaftlicher Kreativität und wissenschaftlichen Fortschritts.

Der Grund für diese Umkehrung liegt in der Verbindung zwischen Offenheit und Ermöglichung, die Ott in seiner Komplementaritätsthese beschreibt: Apophatik und Prozess sind komplementäre Grenzbegriffe, bei denen die apophatische Dimension die Entzugsseite und die prozessuale Dimension die Ermöglichungsseite der Grenzstruktur beschreibt. Auf wissenschaftliche Modelle übertragen bedeutet dies: Die Unabschließbarkeit des Modellierungsprozesses ist die Entzugsseite, die verhindert, dass ein Modell als vollständige und endgültige Beschreibung der Wirklichkeit fixiert wird; die genuine Novität ist die Ermöglichungsseite, die es erlaubt, dass aus dem Modellierungsprozess wirklich Neues hervorgeht, das nicht im Voraus bestimmt war.

Diese Komplementarität hat eine wichtige normative Konsequenz: Ein gutes wissenschaftliches Modell ist nicht eines, das möglichst vollständig und abgeschlossen ist, sondern eines, das fruchtbar ist, das neue Fragen aufwirft, neue Verbindungen herstellt, neue Phänomene erschließt. Die Offenheit ist ein Qualitätsmerkmal, keine Schwäche. Ein Modell, das keine weiteren Fragen aufwirft und keine Erweiterungen zulässt, ist wissenschaftlich tot; ein Modell, das ein lebendiges Forschungsprogramm strukturiert und kontinuierlich transformiert wird, ist wissenschaftlich lebendig. In Otts Terminologie: Die Offenheit ist die positive Kehrseite der apophatischen Einsicht; sie ist die Bedingung der Möglichkeit von wissenschaftlicher Kreativität und wissenschaftlichem Fortschritt, und diese Bedingung ist ontologisch in der Struktur des Ermöglichungsgrundes verankert, der sich jeder vollständigen positiven Fixierung entzieht.

## **VI. Die apophatische Dimension der Modellpraxis**

### **6.1 Unterbestimmtheit als epistemisches oder ontologisches Phänomen: Eine Neubestimmung**

Das Phänomen der Unterbestimmtheit gehört zu den meistdiskutierten und zugleich am häufigsten missverstandenen Problemen der Wissenschaftsphilosophie. In seiner

klassischen Formulierung, die auf Duhem und Quine zurückgeht, besagt die Unterbestimmungsthese, dass keine endliche Menge von Beobachtungsdaten eine wissenschaftliche Theorie eindeutig determiniert: Zu jeder Theorie gibt es empirisch äquivalente Alternativtheorien, die mit denselben Daten vereinbar sind, aber abweichende Aussagen über die unbeobachtbare Struktur der Wirklichkeit machen. Die Unterbestimmtheit erscheint in dieser Formulierung als epistemisches Problem: ein Problem unseres Wissens, nicht der Wirklichkeit selbst. Sie zeigt, dass wir nicht wissen können, welche von mehreren empirisch äquivalenten Theorien die richtige ist, nicht dass es keine richtige gibt.

Diese epistemische Deutung ist in der wissenschaftsphilosophischen Literatur dominant, und sie hat eine gewisse Plausibilität. Wenn Unterbestimmtheit ein epistemisches Phänomen ist, dann ist sie eine Einschränkung unserer Erkenntnisfähigkeit, die durch bessere Beobachtungsmethoden, präzisere Messungen oder ausgefeiltere Theorien möglicherweise überwunden werden kann. Sie ist ein Problem, das im Prinzip lösbar ist, auch wenn es in der Praxis oft ungelöst bleibt.

Aber die epistemische Deutung hat eine Schwäche, die bisher in der wissenschaftsphilosophischen Literatur zu wenig beachtet worden ist: Sie setzt eine ontologische Annahme voraus, die sie nicht thematisiert. Die Annahme lautet, dass es eine vollständig bestimmte Wirklichkeit gibt, die durch wissenschaftliche Theorien und Modelle mehr oder weniger vollständig erfasst werden kann, und dass die Unterbestimmtheit darin besteht, dass unsere Erkenntnismittel nicht ausreichen, um diese vollständig bestimmte Wirklichkeit eindeutig zu identifizieren. Diese Annahme ist genau das, was Otts Grenzontologie bestreitet. Wenn der Ermöglichungsgrund der Bestimmbarkeit sich vollständiger positiver Fixierung entzieht, dann gibt es keine vollständig positiv bestimmte Wirklichkeit, der gegenüber wissenschaftliche Modelle mehr oder weniger adäquat sein könnten. Die Unterbestimmtheit ist dann nicht ein epistemisches Defizit gegenüber einer vollständig bestimmbarer Wirklichkeit, sondern ein Reflex der ontologischen Struktur der Wirklichkeit selbst.

Diese Neubestimmung der Unterbestimmtheit von einer epistemischen zu einer ontologischen Kategorie ist der entscheidende Schritt, den Otts Grenzontologie für die Wissenschaftsphilosophie ermöglicht. Sie verändert nicht nur die Diagnose des Problems, sondern auch seine Bewertung: Was aus epistemischer Perspektive als Mangel erscheint, erscheint aus ontologischer Perspektive als strukturelle Eigenschaft, die nicht behoben werden kann und die auch nicht behoben werden muss, weil sie keine Schwäche ist, sondern eine Konsequenz der ontologischen Verfassung der Wirklichkeit. Wissenschaftliche Modelle sind nicht deshalb unterbestimmt, weil wir noch nicht genug wissen; sie sind unterbestimmt, weil die Wirklichkeit, die sie beschreiben, eine Grenzstruktur hat, die sich vollständiger positiver Fixierung entzieht.

## **6.2 Die ontologische Deutung: Unterbestimmtheit als Reflex der Grenzstruktur**

Die ontologische Deutung der Unterbestimmtheit bedarf einer präzisen Ausarbeitung, die zeigt, wie die Grenzstruktur, die Ott beschreibt, sich in der Praxis wissenschaftlicher Modellbildung manifestiert. Diese Ausarbeitung muss drei Aspekte berücksichtigen: die Genese der Unterbestimmtheit aus der Grenzstruktur, die Manifestationsformen der

Unterbestimmtheit in der Modellpraxis und die normativen Konsequenzen der ontologischen Deutung.

Der erste Aspekt, die Genese der Unterbestimmtheit aus der Grenzstruktur, folgt aus Otts transzendentaler Deduktion. Der Ermöglichungsgrund der Bestimmbarkeit entzieht sich vollständiger positiver Fixierung, weil jede solche Fixierung ihn in die Ordnung des Bestimmten überführen und damit seine Funktion als Ermöglichungsgrund zerstören würde. Diese Struktur gilt nicht nur für den Ermöglichungsgrund im Allgemeinen, sondern für jede Bestimmung: Jede Bestimmung ist durch Differenz konstituiert, und die Differenzstruktur, die sie ermöglicht, entzieht sich selbst vollständiger positiver Fixierung. Auf wissenschaftliche Modelle bezogen bedeutet dies: Das Netz von Relationen, durch das ein Modell seinen Gegenstandsbereich erschließt, hat selbst keine vollständig bestimmbare Struktur. Es gibt immer Aspekte des Relationsnetzes, die durch das Modell nicht vollständig erfasst sind, und diese Unvollständigkeit ist nicht kontingent, sondern folgt aus der ontologischen Verfassung des Relationsnetzes selbst.

Der zweite Aspekt, die Manifestationsformen der Unterbestimmtheit in der Modellpraxis, ist vielfältig. Die klassische Duhem-Quine-Unterbestimmtheit, bei der empirisch äquivalente Theorien mit denselben Daten vereinbar sind, ist eine Manifestationsform. Aber es gibt weitere Formen, die in der wissenschaftsphilosophischen Literatur oft unabhängig voneinander diskutiert werden und die aus der Perspektive der Grenzontologie als verschiedene Manifestationen derselben ontologischen Grundstruktur erscheinen. Die Idealisierungsunterbestimmtheit, bei der verschiedene Idealisierungen eines Phänomens verschiedene, partiell unvereinbare Modelle liefern, ist eine weitere Form. Die Skalenunterbestimmtheit, bei der Phänomene auf verschiedenen Skalenniveaus durch verschiedene, nicht aufeinander reduzierbare Modelle beschrieben werden müssen, ist eine dritte. Die Repräsentationsunterbestimmtheit, bei der verschiedene mathematische Strukturen dieselben empirischen Phänomene repräsentieren können ohne inhaltlich äquivalent zu sein, ist eine vierte. All diese Formen der Unterbestimmtheit sind aus der Perspektive der Grenzontologie Manifestationen derselben Grundstruktur: der Tatsache, dass der Ermöglichungsgrund der Bestimmbarkeit sich vollständiger positiver Fixierung entzieht und dass wissenschaftliche Modelle daher immer in einer Situation operieren, in der mehrere, nicht vollständig äquivalente Beschreibungen möglich sind.

Der dritte Aspekt sind die normativen Konsequenzen der ontologischen Deutung. Wenn Unterbestimmtheit ein epistemisches Phänomen ist, dann ist die normative Konsequenz, weiter zu forschen, bis die Unterbestimmtheit aufgelöst ist oder zumindest reduziert ist. Wenn Unterbestimmtheit ein ontologisches Phänomen ist, dann ändert sich die normative Konsequenz: Es geht nicht darum, die Unterbestimmtheit aufzulösen, was prinzipiell unmöglich ist, sondern darum, produktiv mit ihr umzugehen. Das bedeutet, die Unterbestimmtheit zu kennen, ihre Grenzen und Formen zu verstehen, verschiedene Modelle in ihrer komplementären Adäquatheit zu würdigen und zu wissen, welche Aspekte der Zieldomäne durch welches Modell erfasst werden. Diese Kompetenz im Umgang mit irreduzibler Unterbestimmtheit ist eine spezifische wissenschaftliche Tugend, die aus der ontologischen Deutung folgt und die aus der epistemischen Deutung nicht abgeleitet werden kann.

### **6.3 Die vier Strukturmerkmale performativer Apophatik in der Modellpraxis**

Ott's Analyse der performativen Apophatik identifiziert vier Strukturmerkmale, die zusammen den Typ der performativen apophatischen Operation konstituieren: immanente Kritik, Asymmetrie von Destruktion und Konstruktion, Selbstanwendung und Verweisung auf das Nicht-Assertorische durch Vollzug. Diese vier Merkmale, die Ott an philosophischen Traditionen von Nāgārjuna bis Whitehead nachweist, finden eine überraschend präzise Entsprechung in der wissenschaftlichen Modellpraxis. Wissenschaftliche Modellierung ist in diesem Sinn ein epistemischer Vollzug der apophatischen Grundoperation: Sie vollzieht die Grenzstruktur, ohne sie explizit zu beschreiben, und realisiert damit in der Praxis, was die Philosophie in der Theorie artikuliert.

### **Immanente Kritik: Interne Konsistenzprüfung und Modellkritik**

Das erste Strukturmerkmal performativer Apophatik ist die immanente Kritik: die Zurückweisung einer Position nicht durch externe Maßstäbe, sondern durch den Nachweis, dass sie an ihren eigenen Voraussetzungen scheitert. Nāgārjunas prasaṅga-Argumentation ist das paradigmatische Beispiel: Sie zeigt, dass die svabhāva-Annahme zu Konsequenzen führt, die der Gegner selbst nicht akzeptieren kann, ohne dabei einen externen Maßstab einzusetzen.

In der wissenschaftlichen Modellpraxis hat die immanente Kritik eine genaue Entsprechung in der internen Konsistenzprüfung und in der Form der Modellkritik, die aus den eigenen Voraussetzungen eines Modells Konsequenzen zieht, die das Modell selbst nicht akzeptieren kann. Wenn ein Modell zu inkonsistenten Vorhersagen führt, wenn es Phänomene postuliert, die es gleichzeitig ausschließen sollte, wenn seine Grundannahmen Konsequenzen haben, die es selbst nicht beschreiben kann, dann ist das eine immanente Kritik: Das Modell scheitert an seinen eigenen Maßstäben.

Das Bohr-Modell ist hierfür ein instruktives Beispiel. Bohr hybridisierte das System, indem er die klassische Mechanik (die Coulomb-Kraft als Zentripetalkraft des kreisenden Elektrons) beibehielt, die klassische Elektrodynamik (nach der jede beschleunigte Ladung kontinuierlich Energie abstrahlen und instantan in den Kern stürzen müsste) jedoch via Ad-hoc-Postulat für bestimmte stationäre Bahnen suspendierte. Das Modell operiert somit in einer permanenten, immanenten Spannung zu seinen eigenen physikalischen Fundamenten. Es nimmt klassische Konzepte in Anspruch, während es deren logische Konsequenzen rigoros ausschließen muss. Diese interne Zerreißprobe ist keine von außen herangetragene Kritik, sondern eine dem Modell inwohnende Instabilität, die seine eigene Historizität und die Notwendigkeit seiner quantenmechanischen Transformation von innen heraus erzwingt.

Die Pointe dieser immanenten Kritik für die Wissenschaftsphilosophie ist: Sie setzt keinen externen Maßstab voraus, der außerhalb des Modells liegt und an dem das Modell gemessen wird. Sie zeigt, dass das Modell an seinen eigenen Voraussetzungen scheitert. Das ist die wissenschaftliche Entsprechung der apophatischen Operation: Die positive Bestimmung, die das Modell vornimmt, führt zu Konsequenzen, die die Funktion unterminieren, die die Bestimmung erfüllen soll. Und genau wie die apophatische Operation in der Philosophie nicht zu einer neuen positiven These führt, sondern zu einer Einsicht in die Grenzstruktur, führt die immanente Kritik eines Modells nicht direkt zu einem neuen Modell, sondern zu einer Einsicht in die Grenzen des alten.

## **Asymmetrie von Destruktion und Konstruktion: Widerlegung ohne Ersatz**

Das zweite Strukturmerkmal performativer Apophatik ist die Asymmetrie von Destruktion und Konstruktion: Die apophatische Operation destruiert positive Fixierungen, ohne an ihrer Stelle neue zu konstruieren. Nāgārjunas prasaṅga-Argument destruiert die svabhāva-Annahme, ohne eine eigene positive These über die Natur der Phänomene aufzustellen. Diese Asymmetrie unterscheidet die performative Apophatik von der hegelschen Dialektik, bei der die Destruktion einer Bestimmung der Aufhebung in eine reichere Bestimmung dient.

In der realen Wissenschaftsgeschichte manifestiert sich diese Asymmetrie in der oft unterschätzten Phase der Widerlegung ohne Ersatz. Entgegen einer naiven Lesart des Falsifikationismus Karl Poppers (der den sofortigen logischen Ausschluss fordert) oder der Struktur wissenschaftlicher Revolutionen nach Thomas Kuhn (der behauptet, Wissenschaftler gäben ein Paradigma erst auf, wenn ein neues bereits greifbar ist), existieren historische Phasen des theoretischen Interregnums. Es sind jene Epochen, in denen der wissenschaftlichen Gemeinschaft die fundamentale Falschheit oder Unzulänglichkeit eines Modells empirisch und logisch transparent ist, ohne dass bereits ein adäquates Nachfolgemodell zur Verfügung stünde

Ein paradigmatisches Beispiel ist die Situation der Physik zwischen der Widerlegung des klassischen Äthers durch das Michelson-Morley-Experiment 1887 und der Formulierung der speziellen Relativitätstheorie durch Einstein 1905. In diesem Zeitraum wusste die Physik, dass das Äther-Modell falsch war, hatte aber kein adäquates Alternativmodell. Die Asymmetrie von Destruktion und Konstruktion war keine vorübergehende Situation, die durch schnellere wissenschaftliche Arbeit hätte vermieden werden können; sie war die strukturelle Konsequenz der Tatsache, dass die Widerlegung eines Modells dessen Ersatz nicht logisch impliziert. Ein Modell zu widerlegen heißt nicht, ein besseres zu haben.

Diese Asymmetrie hat eine wichtige epistemologische Konsequenz, die aus der Perspektive der Grenzontologie verständlich wird: Die Widerlegung eines Modells produziert ein Moment der Offenheit, in dem die Grenzstruktur sichtbar wird, an die das widerlegte Modell gestoßen ist, ohne dass diese Grenzstruktur selbst positiv bestimmt wäre. Das ist genau die Situation, die Ott als die produktive Form des Scheiterns positiver Selbstfundierung beschreibt: Der Überschuss, der sich zeigt, wenn eine Bestimmung an ihre Grenzen stößt, ist nicht selbst eine neue positive Bestimmung, aber er ist auch nicht nichts; er ist die Einsicht in die Grenzstruktur, die jede Bestimmung trägt und über sie hinausweist.

In wissenschaftlicher Hinsicht ist das Moment der Widerlegung ohne Ersatz daher kein Moment des Versagens, sondern ein Moment der Einsicht: Die Wissenschaft erkennt die Grenzen einer Bestimmung, ohne sofort eine neue Bestimmung zur Hand zu haben. Dieses Erkenntnis ist produktiv, weil sie den Raum öffnet, innerhalb dessen das neue Modell entwickelt werden kann. Sie ist die wissenschaftliche Realisierung der apophatischen Asymmetrie: Destruktion ohne Konstruktion als Bedingung der Möglichkeit genuiner wissenschaftlicher Kreativität.

## **Selbstanwendung: Reflexion auf die eigenen Grenzen als Qualitätsmerkmal**

Das dritte Strukturmerkmal performativer Apophatik ist die Selbstanwendung: Die apophatische Operation wendet auf sich selbst an, was sie über die Grenzstruktur zeigt. Śūnyatā ist selbst leer; das prasaṅga-Argument hat keinen svabhāva; die apophatische Rede muss sich selbst apophatisch werden. Diese Selbstanwendung verhindert, dass die apophatische Operation in eine neue Form positiver Metaphysik umschlägt.

In der wissenschaftlichen Modellpraxis hat die Selbstanwendung eine präzise Entsprechung in der Reflexion auf die eigenen Grenzen, die ein charakteristisches Merkmal guter wissenschaftlicher Praxis ist. Ein gutes wissenschaftliches Modell ist nicht nur eines, das seine Zieldomäne adäquat beschreibt; es ist auch eines, das seine eigenen Grenzen kennt und explizit macht. Die Angabe der Anwendungsbedingungen, der Gültigkeitsbereiche, der Idealisierungsannahmen und der Anomalien, die das Modell nicht erklären kann, ist ein Qualitätsmerkmal, keine Schwäche.

Das Bohr-Modell ist in dieser Hinsicht ein instruktives Beispiel, weil es ein Modell ist, bei dem die Selbstanwendung teilweise fehlte und bei dem ihr Fehlen zur historischen Entwicklung beigetragen hat. Bohr selbst wusste, dass sein Modell die Energieabstrahlung beschleunigter Elektronen nicht erklären konnte und auf Mehrelektronenatome nicht übertragbar war. Diese Anomalien waren bekannt, aber sie wurden nicht als Einwände gegen die Grundstruktur des Modells, sondern als zu lösende Probleme behandelt. Erst die Quantenmechanik hat gezeigt, dass die Anomalien nicht gelöst, sondern durch eine fundamentale Transformation des Modells überwunden werden mussten.

Moderne wissenschaftliche Praxis hat aus dieser Geschichte Konsequenzen gezogen. In der zeitgenössischen Wissenschaft ist die explizite Angabe der Modellgrenzen ein institutionalisiertes Qualitätsmerkmal: Klimamodelle werden mit expliziten Unsicherheitsangaben publiziert; pharmakologische Studien geben die Bedingungen an, unter denen ihre Modelle gelten; physikalische Modelle spezifizieren den Energiebereich, innerhalb dessen sie gültig sind. Diese institutionalisierte Selbstanwendung ist die wissenschaftliche Realisierung des apophatischen Strukturmerkmals: Das Modell wendet auf sich selbst an, was es über die Begrenztheit positiver Bestimmungen zeigt. Es sagt nicht nur, was es beschreibt; es sagt auch, was es nicht beschreibt und unter welchen Bedingungen seine Beschreibungen gültig sind.

Die philosophische Signifikanz dieser Selbstanwendung liegt darin, dass sie das Modell vor dem Fehler der Selbstvergegenständlichung schützt: Sie verhindert, dass das Modell als vollständige und endgültige Beschreibung der Wirklichkeit behandelt wird, und hält damit den Raum offen, der für weitere wissenschaftliche Entwicklung notwendig ist. Ein Modell, das seine eigenen Grenzen nicht kennt oder nicht expliziert, riskiert, als Substrat behandelt zu werden, das intrinsische Eigenschaften hat und das unabhängig von seinen Anwendungsbedingungen gilt. Die Selbstanwendung korrigiert diese Tendenz und erinnert daran, dass das Modell ein relationaler Knotenpunkt ist, dessen Identität durch seine Position im Relationsnetz konstituiert wird, nicht durch eine intrinsische Struktur.

**Verweisung auf das Nicht-Assertorische durch Vollzug: Was Modelle zeigen, ohne es zu sagen**

Das vierte und wichtigste Strukturmerkmal performativer Apophatik ist die Verweisung auf das Nicht-Assertorische durch Vollzug: Die apophatische Operation sagt nicht, was der Ermöglichungsgrund ist; sie vollzieht einen Bewegungsgang, durch den das Denken an die Grenze geführt wird, an der die Grenzstruktur sichtbar wird, ohne positiv bestimmt zu werden. Nāgārjunas prasaṅga-Argumente sind keine assertorischen Aussagen über śūnyatā; sie sind Vollzüge, die den Zusammenbruch der svabhāva-Annahme herbeiführen, in dem śūnyatā sichtbar wird. Eckharts Predigten sind keine Lehren über die Gottheit; sie sind Vollzüge der Entblößung.

In der wissenschaftlichen Modellpraxis hat dieses Merkmal eine Entsprechung, die philosophisch wenig beachtet wird, aber für das Verständnis der epistemischen Funktion von Modellen fundamental ist: Modelle zeigen Aspekte der Wirklichkeit, die sie nicht assertorisch aussagen können. Sie verweisen auf eine Dimension der Wirklichkeit, die durch ihre positive Beschreibung nicht vollständig erfasst wird, die aber im Vollzug der Modellierung sichtbar wird.

Das paradigmatische Beispiel für diese Verweisung durch Vollzug ist die Funktion von Modellen als Heuristiken: Modelle generieren Hypothesen, die nicht aus den expliziten Annahmen des Modells deduzierbar sind, sondern aus dem Vollzug der Modellierung selbst hervorgehen. Wenn Wissenschaftler mit einem Modell arbeiten, es auf neue Situationen anwenden, seine Konsequenzen verfolgen, seine Anomalien untersuchen, dann zeigt sich in diesem Vollzug oft mehr, als das Modell assertorisch aussagt. Das Bohr-Modell hat durch seinen Vollzug auf die Quantisierung der Energie verwiesen, auf die Diskretheit physikalischer Prozesse, auf die Grenzen der klassischen Mechanik, ohne diese Verweisungen selbst assertorisch zu machen. Diese Verweisungen wurden erst durch den Vollzug der Modellierung sichtbar, nicht durch die explizite Formulierung des Modells.

Eine zweite Form der Verweisung durch Vollzug findet sich in der Praxis des Modellvergleichs. Wenn Wissenschaftler verschiedene Modelle desselben Phänomens miteinander vergleichen, werden Aspekte der Zieldomäne sichtbar, die kein einzelnes Modell assertorisch erfasst, die aber im Vergleich der Modelle hervortreten. Der Vergleich zwischen dem Bohr-Modell und dem quantenmechanischen Modell macht die Grenze zwischen klassischer und quantenmechanischer Beschreibung sichtbar, eine Grenze, die weder im Bohr-Modell noch im quantenmechanischen Modell assertorisch formuliert ist, die aber im Vollzug des Vergleichs erscheint. Diese Grenze ist ein Reflex der Grenzstruktur, die Ott beschreibt: Sie ist die Stelle, an der die Bestimmungen an ihre eigene Bedingung stoßen, ohne diese Bedingung positiv zu erfassen.

Eine dritte Form der Verweisung durch Vollzug ist die Emergenz unerwarteter Verbindungen in der wissenschaftlichen Modellpraxis. Wenn ein Modell, das für einen Phänomenbereich entwickelt wurde, auf einen anderen Phänomenbereich übertragen wird und dabei überraschende Verbindungen sichtbar macht, die vorher nicht erkannt worden waren, dann vollzieht das Modell eine Verweisung auf eine Strukturgemeinsamkeit der beiden Phänomenbereiche, die es nicht assertorisch formuliert, die aber im Vollzug der Übertragung erscheint. Die Übertragung mathematischer Strukturen aus der klassischen Mechanik auf die Quantenmechanik hat strukturelle Gemeinsamkeiten zwischen beiden sichtbar gemacht, etwa die Hamiltonsche Struktur, die weder in der klassischen noch in der Quantenmechanik als solche formuliert sind, die aber im Vollzug der Übertragung hervortreten.

Diese drei Formen der Verweisung durch Vollzug, die heuristische Funktion, der Modellvergleich und die emergente Verbindung, zeigen, dass wissenschaftliche Modellierung in einem präzisen Sinn performativ apophatisch ist: Sie verweist auf eine Dimension der Wirklichkeit, die durch assertorische Aussagen nicht vollständig erfasst werden kann, und diese Verweisung geschieht nicht durch explizite Formulierung, sondern durch den Vollzug der Modellierungspraxis selbst. Sie ist ein Zeichensystem, das durch sein produktives Scheitern und seinen pragmatischen Vollzug unaufhörlich auf jene Dimensionen der Wirklichkeit verweist, die sich einer endgültigen, assertorischen Fixierung verweigern.

#### **6.4 Wissenschaftliche Modellierung als epistemischer Vollzug der Grenzstruktur**

Die Analyse der vier Strukturmerkmale performativer Apophatik in der Modellpraxis erlaubt nun eine zusammenfassende These, die über die Einzelanalysen hinausgeht und die Verbindung zwischen Otts Grenzontologie und der wissenschaftlichen Modellpraxis artikuliert.

Wissenschaftliche Modellierung ist kein bloßes Instrument der Erkenntnisgewinnung, das von der ontologischen Struktur der Wirklichkeit unabhängig ist. Sie ist ein epistemischer Vollzug der Grenzstruktur, die Ott beschreibt: Sie vollzieht in der Praxis, was die Philosophie in der Theorie artikuliert, nämlich den produktiven Umgang mit einer Wirklichkeit, deren Ermöglichungsstruktur sich vollständiger positiver Fixierung entzieht.

Dieser Vollzug hat eine präzise Struktur, die durch die vier Merkmale performativer Apophatik beschrieben wird. Die immanente Kritik, durch die Modelle an ihren eigenen Voraussetzungen gemessen werden, entspricht der apophatischen Operation, die positive Bestimmungen aus ihren eigenen Prämissen heraus zum Kollaps bringt. Die Asymmetrie von Destruktion und Konstruktion, durch die die Widerlegung eines Modells nicht dessen Ersatz impliziert, entspricht der apophatischen Asymmetrie, die Fixierungen destruiert, ohne neue zu konstruieren. Die Selbstanwendung, durch die gute Modelle ihre eigenen Grenzen explizieren, entspricht der apophatischen Selbstanwendung, die verhindert, dass die apophatische Operation selbst zu einer neuen positiven Fixierung wird. Und die Verweisung auf das Nicht-Assertorische durch Vollzug, durch die Modelle im Vollzug der Modellierung auf Aspekte der Wirklichkeit verweisen, die sie nicht assertorisch erfassen können, entspricht der performativen Apophatik, die die Grenzstruktur durch ihren Vollzug zeigt, ohne sie positiv zu bestimmen.

Diese strukturelle Parallele ist nicht zufällig. Sie folgt aus der ontologischen Situation, in der wissenschaftliche Modellierung stattfindet: einer Situation, in der der Ermöglichungsgrund der Bestimmbarkeit sich vollständiger positiver Fixierung entzieht und in der die epistemische Praxis daher notwendig die apophatische Grundoperation vollzieht, auch wenn sie dies nicht explizit thematisiert. Wissenschaftler vollziehen die Grenzstruktur, ohne sie zu kennen; die Philosophie beschreibt, was Wissenschaftler vollziehen. In diesem Sinn ist Otts Grenzontologie nicht eine externe Theorie, die der wissenschaftlichen Praxis aufgezwungen wird; sie ist die explizite Artikulation einer Struktur, die der wissenschaftlichen Praxis selbst immanent ist und die sie in ihrem Vollzug realisiert.

Diese Einsicht hat eine Konsequenz für das Verhältnis zwischen Philosophie und Wissenschaft, die über die Wissenschaftsphilosophie im engeren Sinn hinausgeht. Wenn wissenschaftliche Modellierung ein epistemischer Vollzug der Grenzstruktur ist, dann ist die Philosophie nicht eine externe Beobachterin der Wissenschaft, die ihr von außen Kategorien auferlegt; sie ist die Reflexion einer Praxis auf ihre eigene Struktur. Ott's Grenzontologie ist in diesem Sinn keine metaphysische Theorie, die der Wissenschaft gegenübersteht; sie ist die philosophische Artikulation dessen, was die Wissenschaft in ihrer Modellierungspraxis vollzieht, ohne es explizit zu wissen. Und die Einlösung von Ott's Forschungsdesiderat, dem diese Untersuchung gilt, ist damit nicht nur ein wissenschaftsphilosophisches Projekt, sondern ein Projekt der Selbstreflexion der wissenschaftlichen Vernunft auf ihre eigene Grenzstruktur.

## **VII. Das Kernproblem: Normativität ohne vollständig bestimmbare Standards**

### **7.1 Die Herausforderung: Modellbewertung unter Bedingungen gradueller und relationaler Bestimmtheit**

Die bisherige Analyse hat gezeigt, dass wissenschaftliche Modelle relationale Knotenpunkte sind, deren Identität durch ihre Position in einem Netz von Relationen konstituiert wird, deren Stabilität eine prozessuale Leistung ist, deren Bestimmtheit durch konstitutive Ausschlüsse strukturiert wird, deren Adäquatheit graduell ist und deren Anwendungsbereich prinzipiell offen ist. Diese ontologische Charakterisierung ist philosophisch präzise und trifft die Verfassung von Modellen in einer Weise, die weder der naive wissenschaftliche Realismus noch der epistemische Konstruktivismus leisten kann. Aber sie erzeugt eine Herausforderung, mit der sich dieser Essay auseinandersetzen muss: die Frage der Normativität.

Wenn Modelle relationale Knotenpunkte ohne intrinsische Bestimmtheit sind, wenn ihre Adäquatheit graduell und kontextabhängig ist, wenn keine Bestimmung vollständig abgeschlossen werden kann, dann scheint die Frage, welches Modell besser ist, keine Antwort mehr zu haben, die über den je gegebenen Kontext hinausgeht. Der Relativismus, den Boghossian mit guten Gründen zurückweist, scheint durch die Hintertür der Grenzontologie wieder einzutreten: Wenn Standards selbst relational, prozessual und graduell sind, dann sind sie nicht mehr die festen Maßstäbe, die normative Bewertungen ermöglichen, sondern selbst Teil des zu bewertenden Prozesses, und die normative Unterscheidung zwischen besser und schlechter droht zu kollabieren.

Diese Herausforderung muss ernst genommen werden, weil sie aus der inneren Logik der Grenzontologie selbst hervorgeht. Es ist philosophisch nicht akzeptabel, einerseits eine relationale, graduelle und prozessuale Ontologie wissenschaftlicher Modelle zu entwickeln und andererseits für die Normativität stillschweigend auf vollständig bestimmbare Standards zurückzugreifen, die mit dieser Ontologie unverträglich sind. Die Normativitätstheorie muss dieselben Strukturmomente realisieren wie die Ontologie, die sie begründet; sie muss relational, prozessual und graduell sein, ohne damit die Unterscheidung zwischen besser und schlechter aufzugeben.

Das ist eine genuine philosophische Schwierigkeit, die nicht durch begrifflich aufgelöst werden kann. Sie verlangt eine positive Ausarbeitung, die zeigt, dass graduelle, relationale

und prozessuale Normativität möglich ist und dass sie stark genug ist, um Modellbewertung zu erlauben und wissenschaftlichen Fortschritt als echten Fortschritt zu beschreiben. Diese Ausarbeitung ist die Aufgabe dieses Abschnitts.

## **7.2 Boghossians Vorteil und seine ontologische Unterbestimmtheit**

Bevor die relationale Normativitätstheorie entwickelt wird, ist es philosophisch geboten, den Vorteil von Boghossians Position fair zu benennen und zu verstehen, worin er genau besteht. Dieser Vorteil ist real, und seine Anerkennung ist die Bedingung dafür, dass die relationale Normativitätstheorie als echte Alternative und nicht als bloße Abschwächung erscheint.

Boghossians Vorteil liegt in der Klarheit und Einfachheit seiner normativen Struktur. Wenn es schemataunabhängige Tatsachen gibt und wenn es nicht-relative Rechtfertigungsstandards gibt, dann ist die normative Frage, welches Modell besser ist, im Prinzip einfach zu beantworten: Ein Modell ist besser, wenn es schemataunabhängige Tatsachen besser erfasst, und diese Bewertung erfolgt nach Standards, die nicht relativ zu einer Gemeinschaft oder einem Kontext sind. Die Normativität ist absolut in dem Sinn, dass sie nicht von dem abhängt, was eine bestimmte wissenschaftliche Gemeinschaft für gut hält; sie hängt davon ab, wie die Wirklichkeit tatsächlich ist.

Diese Klarheit ist philosophisch attraktiv, und sie erklärt, warum der epistemische Minimalismus in der Wissenschaftsphilosophie viele Anhänger hat. Sie ermöglicht eine direkte Antwort auf die Frage, warum wissenschaftlicher Fortschritt möglich ist und warum die Physik des zwanzigsten Jahrhunderts besser ist als die Physik des neunzehnten: weil sie schemataunabhängige Tatsachen besser erfasst. Sie ermöglicht eine direkte Antwort auf die Frage, warum Pseudowissenschaften schlechter sind als empirische Wissenschaften: weil sie schemataunabhängige Tatsachen schlechter erfassen oder sich durch epistemisch schlechtere Standards von ihrer Erfassung abhalten lassen.

Aber dieser Vorteil hat einen ontologischen Preis, der in den vorangegangenen Abschnitten systematisch herausgearbeitet wurde. Boghossians normative Struktur setzt eine ontologische Annahme voraus, die sie nicht thematisiert: dass die Wirklichkeit, auf die wissenschaftliche Modelle zugreifen, eine vollständig bestimmbare Struktur hat, die als invarianter Maßstab der Modellbewertung fungieren kann. Diese Annahme ist mit Otts Grenzontologie unverträglich: Wenn der Ermöglichungsgrund der Bestimmbarkeit sich vollständiger positiver Fixierung entzieht, dann gibt es keine vollständig bestimmbare Wirklichkeit, die als invarianter Maßstab der Modellbewertung fungieren könnte.

Die ontologische Unterbestimmtheit von Boghossians normativer Struktur zeigt sich konkret in der Frage, was es heißt, schemataunabhängige Tatsachen zu erfassen. Diese Frage setzt voraus, dass man angeben kann, was schemataunabhängige Tatsachen sind, wie sie von schematabhängigen Tatsachen unterschieden werden und wie der Zugang zu ihnen konzeptuell zu verstehen ist. Boghossian gibt auf diese Fragen keine vollständige Antwort, weil er bewusst minimalistisch ist und auf starke positive Verpflichtungen verzichtet. Aber genau diese Minimalität macht seine normative Struktur ontologisch schwebend: Sie verweist auf schemataunabhängige Tatsachen, ohne zu erklären, was diese sind, und sie

verweist auf nicht-relative Rechtfertigungsstandards, ohne zu erklären, wie diese ontologisch fundiert sind.

Die relationale Normativitätstheorie, die in den folgenden Unterabschnitten entwickelt wird, hat gegenüber Boghossians Position einen ontologischen Vorteil: Sie ist mit der Grenzontologie konsistent und erklärt daher, wie Normativität in einer Wirklichkeit möglich ist, deren Ermöglichungsstruktur sich vollständiger positiver Fixierung entzieht. Sie hat gegenüber Boghossians Position einen epistemischen Nachteil: Sie liefert keine absolute normative Struktur, sondern eine graduelle, relationale und prozessuale. Die Frage, ob dieser Nachteil den ontologischen Vorteil aufwiegt, ist die Frage, die dieser Abschnitt zu beantworten versucht.

### **7.3 Drei komplementäre Strategien einer relationalen Normativitätstheorie**

Die relationale Normativitätstheorie, die hier entwickelt wird, beruht auf drei komplementären Strategien, die zusammen eine normative Grundlage für die Modellbewertung liefern, ohne auf vollständig bestimmbare Standards angewiesen zu sein. Diese drei Strategien sind nicht additiv, sondern strukturell miteinander verbunden: Sie realisieren jeweils ein Strukturmoment der Grenzontologie auf der normativen Ebene und ergänzen sich gegenseitig auf eine Weise, die aus der Komplementarität der Strukturmomente folgt.

#### **Normativität als relationale Kohärenz: Integration in das wissenschaftliche Relationsnetz**

Die erste Strategie der relationalen Normativitätstheorie beruht auf dem ersten Strukturmoment der Grenzontologie: der Relationalität. Sie lautet: Ein Modell ist besser, wenn es kohärenter in das Netz der relevanten Relationen integriert ist, durch die seine Identität konstituiert wird.

Diese Strategie bedarf einer präzisen Ausarbeitung, weil sie missverständlich erscheinen könnte. Kohärenz ist kein neues Konzept in der Wissenschaftsphilosophie, und die Frage liegt nahe, ob Normativität als relationale Kohärenz nicht einfach eine Spielart des Kohärentismus ist, der in der Erkenntnistheorie wohldiskutiert und wohldiskutiert problematisch ist. Der Kohärentismus in seiner klassischen Form behauptet, dass epistemische Rechtfertigung durch interne Kohärenz eines Überzeugungssystems erzeugt wird, ohne Bezug auf externe Tatsachen. Das führt zum bekannten Problem, dass kohärente, aber vollständig von der Wirklichkeit abgekoppelte Überzeugungssysteme als gerechtfertigt erscheinen könnten.

Relationale Kohärenz im Sinne der Grenzontologie ist etwas anderes. Sie ist nicht die interne Kohärenz eines geschlossenen Überzeugungssystems, sondern die Integration eines Modells in ein Netz von Relationen, das wesentlich externe Relationen einschließt: Relationen zur Zieldomäne, zu Messpraktiken, zu anderen Modellen, zu mathematischen Strukturen und zu theoretischen Rahmungen. Ein Modell ist kohärenter integriert, wenn es mehr dieser Relationen konsistent realisiert, wenn es mit mehr empirischen Phänomenen vereinbar ist, wenn es mit mehr anderen Modellen kompatibel ist, wenn es in seine mathematische Struktur integriert werden kann, ohne diese zu deformieren, und wenn es in

die theoretischen Rahmungen eingebettet werden kann, die den relevanten Wissenschaftsbereich strukturieren.

Diese relationale Kohärenz ist normativ, weil das Relationsnetz, in das ein Modell integriert wird, nicht beliebig ist. Es ist durch die Zieldomäne, durch die empirischen Daten, durch die mathematischen Strukturen und durch die theoretischen Rahmungen strukturiert, und diese Strukturierung ist nicht schematafrei im Sinne Boghossians, aber auch nicht beliebig im Sinne des Konstruktivismus. Sie ist die Strukturierung eines Relationsnetzes, das eine historisch entwickelte, empirisch bewährte und intern konsistente wissenschaftliche Praxis konstituiert.

Ein konkretes Beispiel illustriert diese normative Kraft. Das Bohr-Modell ist relational weniger kohärent als das quantenmechanische Modell, weil es mit weniger Phänomenen vereinbar ist, weniger Modellen aus anderen Bereichen kompatibel ist und in die theoretische Rahmung der Quantenmechanik nicht vollständig integriert werden kann, ohne transformiert zu werden. Das quantenmechanische Modell ist relational kohärenter, weil es das Bohr-Modell als Grenzfall enthält, mit mehr Phänomenen vereinbar ist und in die theoretische Rahmung der Quantenmechanik vollständig integriert werden kann. Diese Differenz in der relationalen Kohärenz ist die ontologische Grundlage des normativen Urteils, dass das quantenmechanische Modell besser ist.

Die relationale Kohärenz ist kein absoluter Maßstab: Sie ist relativ zu dem Relationsnetz, in das ein Modell integriert wird, und dieses Netz ist selbst historisch entwickelt und prinzipiell offen. Aber sie ist auch nicht beliebig: Die Relationen, die das Netz konstituieren, haben eine Struktur, die nicht durch bloße Übereinkunft verändert werden kann, weil sie durch die Zieldomäne, durch empirische Befunde und durch mathematische Notwendigkeiten strukturiert ist. Die normative Kraft der relationalen Kohärenz liegt genau in dieser Spannung zwischen historischer Offenheit und struktureller Nicht-Beliebigkeit.

### **Normativität als prozessuale Bewährung: Fruchtbarkeit, Übertragbarkeit, Präzisierungsfähigkeit**

Die zweite Strategie der relationalen Normativitätstheorie beruht auf dem zweiten Strukturmoment der Grenzontologie: der Prozessualität. Sie lautet: Ein Modell ist besser, wenn es sich in Modellierungsprozessen über die Zeit hinweg als fruchtbarer erwiesen hat, wenn es erfolgreicher auf neue Domänen übertragbar ist und wenn es präzisierungsfähiger ist, ohne zu kollabieren.

Diese prozessuale Normativität ist keine Vergangenheitsorientierung, die nur rückblickend beurteilen kann, was gut war. Sie ist eine zukunftsorientierte Normativität, die Modelle danach bewertet, was sie zu weiterer wissenschaftlicher Entwicklung beitragen können. Fruchtbarkeit, Übertragbarkeit und Präzisierungsfähigkeit sind nicht Eigenschaften, die ein Modell statisch hat oder nicht hat; sie sind prozessuale Eigenschaften, die sich in der Entfaltung von Modellierungsprozessen zeigen und die daher inhärent temporal und offen sind.

Die Fruchtbarkeit eines Modells misst sich daran, ob es neue Fragen aufwirft, die ohne das Modell nicht hätten gestellt werden können, und ob es Werkzeuge bereitstellt, die zur

Beantwortung dieser Fragen genutzt werden können. Das Bohr-Modell war außerordentlich fruchtbar: Es hat die Frage nach der Erklärung der diskreten Energieniveaus aufgeworfen und damit einen Forschungsimpuls gegeben, der zur Entwicklung der Quantenmechanik führte. Diese Fruchtbarkeit ist eine normative Eigenschaft, die das Bohr-Modell trotz seiner späteren Ablösung auszeichnet und die erklärt, warum es in der Wissenschaftsgeschichte als wichtiger Schritt gilt, nicht als bloßer Irrtum.

Die Übertragbarkeit eines Modells misst sich daran, ob es auf Phänomenbereiche angewendet werden kann, die bei seiner Entwicklung nicht im Blick waren, und ob diese Übertragung neue Einsichten produziert. Modelle, die sich als übertragbar erweisen, zeigen dadurch, dass sie strukturelle Eigenschaften der Wirklichkeit erfassen, die über den ursprünglichen Anwendungsbereich hinausgehen. Das Modell des harmonischen Oszillators aus der klassischen Mechanik hat sich als auf eine außerordentliche Bandbreite von Phänomenen übertragbar erwiesen, von der Quantenmechanik über die Feldtheorie bis zur Theorie neuronaler Netze, und diese Übertragbarkeit ist ein starkes normatives Argument für seine Adäquatheit.

Die Präzisierungsfähigkeit eines Modells misst sich daran, ob es präziser gemacht werden kann, wenn die Anforderungen steigen, ohne dabei seine grundlegenden Strukturen aufgeben zu müssen. Ein Modell, das unter Präzisierung kollabiert, hat eine Grundstruktur, die nur unter vereinfachenden Bedingungen gilt; ein Modell, das unter Präzisierung robuster wird, hat eine Grundstruktur, die tatsächlich etwas über die Zieldomäne erfasst. Das quantenmechanische Modell des Atoms ist unter Präzisierung robuster geworden: Mit der Einbeziehung relativistischer Effekte, der Quantenfeldtheorie und der Berücksichtigung von Wechselwirkungen zwischen Elektronen wird es nicht inkonsistent, sondern präziser.

Diese drei prozessualen Normativitätskriterien sind miteinander verbunden: Ein fruchtbares Modell ist in der Regel auch übertragbar und präzisierungsfähig, weil Fruchtbarkeit, Übertragbarkeit und Präzisierungsfähigkeit alle drei Ausdruck derselben ontologischen Eigenschaft sind, nämlich dass das Modell strukturelle Eigenschaften der Wirklichkeit erfasst, die über den unmittelbaren Anwendungskontext hinausgehen. Diese ontologische Eigenschaft ist der Grund dafür, dass prozessuale Bewährung ein echtes normatives Kriterium ist und nicht bloß eine historische Beschreibung: Sie verweist auf die ontologische Verfassung der Wirklichkeit, auf die das Modell zugreift, ohne diese Verfassung vollständig positiv zu bestimmen.

Während der strukturelle Realismus (insbesondere in der Tradition Worralls und Ladymans) primär rückblickend und statisch argumentiert – nämlich dass diejenigen mathematischen Strukturen real sind, die sich über wissenschaftliche Revolutionen hinweg als stabil und kontinuierlich erweisen –, versteht die relationale Normativitätstheorie ihre Kriterien (Fruchtbarkeit, Übertragbarkeit, Präzisierungsfähigkeit) bewusst prozessual und zukunfts offen. Sie bewertet Modelle nicht vorrangig danach, welche Strukturen sie bereits korrekt abbilden und über Theoriwechsel retten, sondern danach, inwieweit sie sich in der zeitlichen Entfaltung von Modellierungsprozessen als Motor weiterer Erkenntnisentwicklung erweisen. Die hier formulierte prozessuale Normativität verweist zwar ebenfalls auf strukturelle Eigenschaften der Wirklichkeit, tut dies jedoch nicht durch eine positive ontologische Festlegung auf erhaltene mathematische Strukturen, sondern durch die relationale Grenzontologie: Modelle werden danach beurteilt, wie gut sie an den Grenzen

ihres Geltungsbereichs produktiv scheitern, neue Fragen generieren und sich präzisieren lassen, ohne zu kollabieren. Damit verschiebt sich der Fokus von einer epistemischen Kontinuitätsthese („was bleibt erhalten?“) hin zu einer dynamischen Bewährung im offenen Prozess („was ermöglicht weitere produktive Grenzüberschreitung?“).

### **Normativität als graduelle Adäquatheit: Kontrolle der Grenzen und Idealisierungen**

Die dritte Strategie der relationalen Normativitätstheorie beruht auf dem vierten Strukturmoment der Grenzontologie: der Gradualität. Sie lautet: Ein Modell ist besser, wenn es graduell adäquater ist, das heißt wenn seine Idealisierungen geringer oder für den Zweck weniger folgenreich sind, wenn seine Grenzen bekannter und kontrollierbarer sind und wenn es in einem weiteren Bereich und in mehr Hinsichten adäquat ist.

Diese dritte Strategie ist die direkteste Reaktion auf Boghossians Dichotomie zwischen wahren und falschen Aussagen: Sie ersetzt die binäre Dichotomie durch ein Spektrum, ohne damit die normative Dimension aufzugeben. Graduelle Adäquatheit ist keine Beliebigkeit: Es ist nicht so, dass jeder Grad von Adäquatheit gleich gut wäre; es ist so, dass höhere Grade von Adäquatheit bessere Modelle konstituieren, ohne dass der höchste Grad, vollständige Adäquatheit, erreichbar wäre.

Die Kontrolle der Grenzen ist ein besonders wichtiger Aspekt dieser dritten Strategie, weil sie zeigt, dass die Kenntnis der eigenen Grenzen selbst ein normatives Kriterium ist. Ein Modell, das seine Grenzen nicht kennt, ist in einem wichtigen Sinn schlechter als ein Modell, das dieselbe Adäquatheit hat, aber seine Grenzen explizit und präzise kennt, weil das erste Modell das Risiko trägt, außerhalb seines Gültigkeitsbereichs angewendet zu werden und dabei falsche Vorhersagen zu machen. Die Kenntnis der eigenen Grenzen ist die normative Konsequenz der Selbstanwendung, die als drittes Strukturmerkmal performativer Apophatik identifiziert wurde: Ein Modell, das seine Grenzen kennt, hat die apophatische Selbstanwendung vollzogen und ist dadurch normativ überlegen.

Die Kontrolle der Idealisierungen ist ein weiterer wichtiger Aspekt. Ein Modell ist graduell adäquater, wenn seine Idealisierungen bekannt, explizit gemacht und für den jeweiligen Zweck kontrollierbar sind. Kontrolle bedeutet hier, dass die Bedingungen, unter denen die Idealisierung signifikant versagt, identifiziert und quantifiziert werden können und dass gezielte Übergänge zu verfeinerten Modellen möglich sind. Das Ideal-Gas-Modell idealisiert, indem es inter-molekulare Wechselwirkungen ignoriert. Diese Idealisierung ist bekannt, explizit und gut kontrollierbar: Man kennt die Regime, in denen sie zu systematischen Abweichungen führt, und kann sie bei Bedarf durch das Van-der-Waals-Modell oder höhere Näherungen ersetzen. Ein Modell, das dieselben Vereinfachungen unreflektiert vornimmt, ist normativ unterlegen, weil es die Grenzen seiner Geltung nicht transparent macht und damit weniger zuverlässig in der weiteren wissenschaftlichen Praxis einsetzbar ist.

Die drei Aspekte dieser dritten Strategie, geringere oder kontrolliertere Idealisierungen, bekanntere Grenzen und weitere Adäquatheit, sind miteinander verbunden und realisieren zusammen die normative Dimension der Gradualität. Ein Modell, das in allen drei Aspekten besser abschneidet als ein anderes, ist graduell adäquater, und diese graduelle Adäquatheit ist ein reales normatives Kriterium, das nicht auf vollständig bestimmbare Standards angewiesen ist.

#### **7.4 Kritische Prüfung: Verfällt die relationale Normativitätstheorie in Relativismus?**

Die relationale Normativitätstheorie steht vor einem Einwand, der ihrer gesamten Grundstruktur gilt und der daher nicht durch Korrekturen in Einzelfragen beantwortet werden kann, sondern eine Antwort auf der Ebene der Grundprinzipien verlangt. Der Einwand lautet: Wenn Normativität relational, prozessual und graduell ist, dann sind die normativen Standards selbst Teil des zu bewertenden Systems. Sie werden durch dasselbe Relationsnetz konstituiert, das die Modelle konstituiert, die sie bewerten sollen; sie sind Ergebnisse derselben Prozesse, die die Modelle erzeugen, die sie beurteilen sollen; und sie sind selbst graduell, so dass die Frage, welche normativen Standards besser sind, dieselbe Struktur hat wie die Frage, welche Modelle besser sind. Damit droht ein infinites Regress, der die normative Unterscheidung zwischen besser und schlechter auflöst: Jede normative Bewertung setzt Standards voraus, die ihrerseits der Bewertung bedürfen, und so fort.

Dieser Einwand ist präzise und muss ernst genommen werden. Er trifft jede Normativitätstheorie, die Standards nicht als absolut und schemataunabhängig behandelt, und er erklärt, warum Boghossians epistemischer Minimalismus, trotz seiner ontologischen Unterbestimmtheit, den Vorteil der normativen Klarheit hat: Indem er absolute Standards postuliert, schneidet er den drohenden Regress ab.

Die Antwort der relationalen Normativitätstheorie auf diesen Einwand ist nicht die Leugnung des Regressproblems, sondern seine Reinterpretation. Der Einwand geht davon aus, dass ein infinites Regress eine normative Theorie disqualifiziert. Diese Annahme ist aber selbst prüfungsbedürftig. In Otts Grenzontologie ist der infinite Regress nicht eine Figur des Scheiterns, die überwunden werden muss, sondern eine Figur des Scheiterns positiver Selbstfundierung, die auf die Grenzstruktur verweist, durch die sie erzeugt wird. Das Scheitern des infiniten Regresses zeigt, dass kein endliches Bestimmtes die Funktion des Ermöglichungsgrundes übernehmen kann, ohne dieselbe Frage auf höherer Ebene zu erzeugen. Analog zeigt das Scheitern des normativen Regresses, dass kein endliches normatives System die Funktion absoluter Standards übernehmen kann, ohne dieselbe Frage auf höherer Ebene zu erzeugen.

Die relationale Normativitätstheorie akzeptiert diese Einsicht und zieht daraus nicht die Konsequenz des Relativismus, sondern die Konsequenz der epistemischen Bescheidenheit. Sie behauptet nicht, dass normative Standards absolut und schemataunabhängig sind; sie behauptet, dass normative Standards in einem relationalen Netz verankert sind, das selbst nicht beliebig ist, auch wenn es nicht absolut ist. Das Relationsnetz ist durch die Zieldomäne, durch empirische Befunde, durch mathematische Notwendigkeiten und durch die Geschichte erfolgreicher wissenschaftlicher Praxis strukturiert, und diese Strukturierung ist stark genug, um normative Unterscheidungen zwischen besser und schlechter zu ermöglichen, auch wenn sie nicht stark genug ist, um absolute normative Standards zu liefern.

Der Relativismus behauptet, dass alle normativen Standards gleich gut sind. Die relationale Normativitätstheorie behauptet das Gegenteil: Standards sind nicht gleich gut, und die Gründe dafür, dass bestimmte Standards besser sind als andere, liegen in der Struktur des Relationsnetzes, in der prozessualen Bewährung und in der graduellen Adäquatheit. Diese

Gründe sind nicht absolut, aber sie sind auch nicht arbiträr. Sie haben eine Struktur, die aus der ontologischen Verfassung der Wirklichkeit und der wissenschaftlichen Praxis folgt, und diese Struktur ist das, was die normative Unterscheidung zwischen besser und schlechter ermöglicht.

Ein weiterer Einwand, der gegen die relationale Normativitätstheorie erhoben werden könnte, ist der Zirkel einwand: Die normativen Kriterien der relationalen Kohärenz, der prozessualen Bewährung und der graduellen Adäquatheit werden durch dieselbe wissenschaftliche Praxis konstituiert, deren Bewertung sie ermöglichen sollen. Das ist ein Zirkel, und Zirkel sind in der Erkenntnistheorie verdächtig.

Auch dieser Einwand hat eine Antwort aus der Grenzontologie. Ott beschreibt den Zirkel als eine der drei Figuren des Scheiterns positiver Selbstfundierung und zeigt, dass der Versuch, den Zirkel zu vermeiden, indem man einen schemataunabhängigen Ausgangspunkt postuliert, in der Figur des Überschusses endet: Man postuliert einen Grund, der außerhalb der Ordnung steht, die er begründen soll, und reproduziert damit die Frage auf höherer Ebene. Der Zirkel ist daher nicht eine Figur, die durch bessere Theorie überwunden werden kann; er ist ein Strukturmerkmal jeder Selbstreflexion. Die relationale Normativitätstheorie nimmt diesen Zirkel nicht als Einwand gegen sich, sondern als Bestätigung der Grenzstruktur: Normative Standards werden durch die Praxis konstituiert, die sie bewerten, und diese Zirkularität ist kein Defizit, sondern die ontologische Signatur einer Praxis, die ihre eigene Grenzstruktur reflektiert.

### **7.5 Die Antwort: Graduelle Normativität als dritter Weg zwischen Minimalrealismus und Relativismus**

Die relationale Normativitätstheorie, die in den vorangegangenen Abschnitten entwickelt wurde, ist jetzt in ihrer vollen Konsequenz zu formulieren. Sie ist ein dritter Weg zwischen Boghossians epistemischem Minimalismus und dem epistemischen Relativismus, den er bekämpft, und dieser dritte Weg ist nicht ein Kompromiss zwischen beiden, sondern eine philosophisch eigenständige Position, die auf einer ontologischen Grundlage beruht, die Boghossians Position nicht hat.

Der epistemische Minimalismus postuliert absolute, schemataunabhängige Standards, die normative Bewertungen ermöglichen. Der epistemische Relativismus leugnet solche Standards und behauptet, dass alle Standards gleich gut sind. Die relationale Normativitätstheorie bestreitet beide Positionen: Sie leugnet absolute Standards, aber sie bestreitet, dass das Fehlen absoluter Standards den Relativismus impliziert.

Die entscheidende Einsicht, die den dritten Weg konstituiert, ist die Unterscheidung zwischen absoluter und strukturierter Normativität. Absolute Normativität setzt voraus, dass es schemataunabhängige Standards gibt, die unabhängig von jedem Kontext und jeder Praxis gelten. Strukturierte Normativität setzt voraus, dass normative Standards in einem Relationsnetz verankert sind, das selbst eine nicht-arbiträre Struktur hat. Diese Struktur ist nicht absolut, aber sie ist auch nicht beliebig: Sie wird durch die Zieldomäne, durch empirische Befunde, durch mathematische Notwendigkeiten, durch die Geschichte erfolgreicher Praxis und durch die Selbstanwendung der Modelle auf ihre eigenen Grenzen konstituiert.

Strukturierte Normativität ist stark genug, um die normativen Unterscheidungen zu treffen, die die Wissenschaftsphilosophie braucht. Sie kann sagen, dass das quantenmechanische Modell besser ist als das Bohr-Modell, weil es relational kohärenter ist, prozessual bewährter und graduell adäquater. Sie kann sagen, dass die Evolutionstheorie besser ist als der Kreationismus, weil sie in einem umfassenderen Relationsnetz verankert ist, eine längere Geschichte prozessualer Bewährung hat und graduell adäquater ist in Bezug auf eine größere Zahl empirischer Phänomene. Sie kann sagen, dass wissenschaftliche Methoden besser sind als pseudowissenschaftliche, weil sie konsistentere relationale Kohärenz, größere prozessuale Fruchtbarkeit und kontrolliertere Idealisierungen aufweisen.

Diese normativen Urteile sind nicht absolut in Boghossians Sinn: Sie sind nicht unabhängig von jedem Kontext gültig, sie sind nicht schemataunabhängig und sie sind nicht auf vollständig bestimmbare Standards gegründet. Aber sie sind auch nicht relativistisch: Sie sind in einem strukturierten Relationsnetz verankert, das nicht beliebig ist, und sie können intersubjektiv kommuniziert, diskutiert und revidiert werden.

Die Revidierbarkeit ist dabei kein Schwäche, sondern ein Stärke der relationalen Normativitätstheorie. Normative Urteile, die revidierbar sind, sind lernfähig: Sie können durch neue empirische Befunde, durch neue mathematische Strukturen, durch die Entdeckung bisher unbekannter Phänomene verändert werden. Normative Urteile, die absolut sind, sind dagegen starr: Sie können durch neue Befunde nicht verändert werden, weil sie unabhängig von jeder empirischen Evidenz gelten. Die Lernfähigkeit der relationalen Normativitätstheorie ist damit selbst ein normatives Argument für sie: Sie ist eine Normativitätstheorie, die der Offenheit der wissenschaftlichen Praxis entspricht, die sie bewerten soll.

Boghossians Selbstwiderspruchsargument, das stärkste Instrument seines epistemischen Minimalismus, trifft die relationale Normativitätstheorie nicht. Der Selbstwiderspruchseinwand gilt gegen Positionen, die universale Ungültigkeit von Wahrheits- oder Rechtfertigungsansprüchen behaupten: Wer sagt, dass alle Aussagen relativ sind, macht diese Aussage selbst mit dem Anspruch auf universale Gültigkeit. Die relationale Normativitätstheorie behauptet keine universale Ungültigkeit; sie behauptet graduelle, relationale und kontextuell strukturierte Gültigkeit. Diese Behauptung erzeugt keinen Selbstwiderspruch, weil sie sich selbst als graduell, relational und kontextuell strukturiert versteht: Die These der relationalen Normativitätstheorie gilt selbst unter den Bedingungen, die sie beschreibt. Sie ist eine graduelle, relational verankerte und prozessual bewährte These, und sie beansprucht genau diese Art von Gültigkeit, keine absolute.

Die relationale Normativitätstheorie ist damit die ontologisch adäquate Normativitätstheorie für eine Wissenschaftsphilosophie, die Otts Grenzontologie ernst nimmt. Sie schließt die strukturelle Lücke, die Ott in seinem Forschungsdesiderat identifiziert, und sie tut dies auf eine Weise, die mit der Grenzontologie konsistent ist: relational, prozessual, graduell und offen, ohne damit die normative Dimension aufzugeben, die die Unterscheidung zwischen besserer und schlechterer Wissenschaft ermöglicht. Sie ist kein Kompromiss zwischen Absolutismus und Relativismus, sondern eine eigenständige Position, die beiden gegenüber philosophisch überlegen ist, weil sie die ontologische Grundlage hat, die beiden fehlt.

## **VIII. Konsequenzen für die Wissenschaftsphilosophie**

## **8.1 Die Realismus-Antirealismus-Debatte neu gerahmt: Jenseits von Boghossians Dichotomie**

Die Debatte zwischen wissenschaftlichem Realismus und Antirealismus ist eine der dauerhaftesten und fruchtlosesten Debatten der Wissenschaftsphilosophie. Sie dauert, weil sie grundlegende philosophische Fragen berührt, die keine einfache Antwort haben. Sie fruchtlos, weil sie seit Jahrzehnten in denselben Mustern verläuft, ohne dass eine der Seiten die andere überzeugt hätte oder ein philosophischer Fortschritt sichtbar geworden wäre. Die Realisten behaupten, dass erfolgreiche wissenschaftliche Theorien annähernd wahr sind und dass theoretische Entitäten tatsächlich existieren. Die Antirealisten antworten mit der pessimistischen Metainduktion: Die Wissenschaftsgeschichte ist voll von Theorien, die erfolgreich waren und deren theoretische Entitäten sich als nicht-existent erwiesen haben, also gibt es keinen Grund anzunehmen, dass die heutigen erfolgreichen Theorien anders sind. Die Realisten antworten mit dem no-miracles-Argument: Wenn wissenschaftliche Theorien nicht annähernd wahr wären, wäre ihr empirischer Erfolg ein Wunder. Die Antirealisten antworten mit dem Unterbestimmungsargument. Und so weiter, ohne Ende. In den letzten Jahren hat sich die Debatte noch durch Verfeinerungen wie den selektiven Realismus (der nur bestimmte Teile erfolgreicher Theorien für wahr hält), verschiedene Varianten des strukturellen Realismus und epistemische Voluntarismus-Positionen weiterentwickelt, die den Konflikt eher als rational unterbestimmt denn als endgültig entscheidbar betrachten – was die gefühlte Stagnation teilweise bestätigt, wenngleich nuanciertere Mittelwege als möglich erscheinen.

Die Analyse, die in diesem Essay entwickelt wurde, legt jedoch nahe, dass diese Debatte in einer falschen Rahmung gefangen ist, die aus der ontologischen Unterbestimmtheit beider Seiten folgt. Realismus und Antirealismus teilen eine Grundannahme, die sie nicht thematisieren: dass die normative Frage, wie gut wissenschaftliche Modelle die Wirklichkeit erfassen, durch den Verweis auf eine vollständig bestimmbare Wirklichkeit beantwortet werden muss, gegenüber der Modelle entweder wahr oder falsch, adäquat oder inadäquat sind. Der Realismus bejaht, dass wissenschaftliche Theorien dieser vollständig bestimmbaren Wirklichkeit annähernd entsprechen; der Antirealismus bezweifelt, dass wir das wissen können. Aber beide operieren mit der Annahme einer vollständig bestimmbaren Wirklichkeit als Bezugspunkt.

Ott's Grenzontologie verneint diese gemeinsame Annahme. Wenn der Ermöglichungsgrund der Bestimmbarkeit sich vollständiger positiver Fixierung entzieht, dann gibt es keine vollständig bestimmbare Wirklichkeit, gegenüber der wissenschaftliche Modelle wahr oder falsch sein könnten. Das bedeutet nicht, dass wissenschaftliche Modelle beliebig wären oder dass die Wirklichkeit für die Modellbewertung irrelevant wäre. Es bedeutet, dass die Relation zwischen Modell und Wirklichkeit nicht die binäre Korrespondenz- oder Nicht-Korrespondenzrelation ist, die die Realismus-Antirealismus-Debatte voraussetzt, sondern eine graduelle, relationale und prozessuale Adäquatheit, die durch die drei Strategien der relationalen Normativitätstheorie beschrieben wird.

Die neue Rahmung, die aus Ott's Grenzontologie folgt, könnte als relationaler Realismus bezeichnet werden, obwohl dieser Begriff mit Vorsicht zu verwenden ist. Ein relationaler Realismus behauptet, dass wissenschaftliche Modelle auf eine Wirklichkeit zugreifen, die

nicht durch die Modelle selbst konstituiert wird und die daher eine nicht-beliebige Struktur hat, die normative Unterscheidungen zwischen besser und schlechter ermöglicht. Aber er behauptet nicht, dass diese Wirklichkeit vollständig positiv bestimmbar ist oder dass Modelle ihr mehr oder weniger vollständig entsprechen. Die Wirklichkeit, auf die Modelle zugreifen, hat eine Grenzstruktur: Sie ist relational konstituiert, prozessual verfasst, graduell und offen, und die Modelle sind adäquat in dem Maß, in dem sie diese Struktur realisieren, ohne sie zu fixieren.

Diese neue Rahmung verändert die normativen Fragen der Realismus/Antirealismus Debatte. Die Frage ist nicht mehr: Sind wissenschaftliche Theorien wahr? Die Frage ist: Sind wissenschaftliche Modelle relational kohärent, prozessual bewährt und graduell adäquat? Und diese Frage hat graduelle Antworten, die für verschiedene Modelle verschieden ausfallen und die durch die Geschichte wissenschaftlicher Praxis informiert werden, ohne durch sie vollständig bestimmt zu sein.

Die pessimistische Metainduktion, das stärkste antirealistische Argument, verliert in dieser neuen Rahmung seinen Biss. Sie argumentiert: Frühere Theorien waren erfolgreich, aber falsch; also sind heutige Theorien wahrscheinlich auch falsch. In der neuen Rahmung lautet die Antwort: Frühere Theorien waren graduell adäquat, prozessual fruchtbar und relational kohärent in dem Maß, in dem sie waren. Sie wurden nicht durch ihre Falschheit, sondern durch eine höhere graduelle Adäquatheit ersetzt. Die Ablösung des Bohr-Modells durch das quantenmechanische Modell ist nicht ein Beleg dafür, dass wissenschaftliche Modelle falsch sind; es ist ein Beleg dafür, dass wissenschaftlicher Fortschritt aus gradueller Verbesserung relationaler Adäquatheit besteht, was mit der relationalen Normativitätstheorie vollständig verträglich ist.

Das no-miracles-Argument des Realismus gewinnt in der neuen Rahmung eine präzisere Formulierung. Es argumentiert nicht mehr: Der Erfolg der Wissenschaft wäre ein Wunder, wenn Theorien nicht wahr wären. Es argumentiert: Der Erfolg der Wissenschaft wäre unerklärlich, wenn Modelle nicht strukturelle Eigenschaften der Wirklichkeit erfassen würden. Diese strukturellen Eigenschaften sind nicht vollständig positiv bestimmbar, aber sie sind real: Sie konstituieren das Relationsnetz, durch das Modelle ihre Identität und ihre Adäquatheit gewinnen, und sie sind der Grund dafür, dass prozessual bewährte Modelle fruchtbar, übertragbar und präzisierungsfähig sind. Das no-miracles-Argument ist in der neuen Rahmung ein Argument für relationalen Realismus, nicht für vollständigen Korrespondenzrealismus.

## **8.2 Unterbestimmtheit als konstitutive Eigenschaft, nicht als methodisches Problem**

Die Umdeutung der Unterbestimmtheit von einem epistemischen Defizit zu einem ontologischen Reflex der Grenzstruktur, die in Abschnitt VI entwickelt wurde, hat weitreichende Konsequenzen für die Wissenschaftsphilosophie, die über die Einzelfrage der Unterbestimmtheit hinausgehen und die Gesamtarchitektur wissenschaftsphilosophischer Theoriebildung betreffen.

In der herrschenden Sicht ist Unterbestimmtheit ein methodisches Problem, das wissenschaftliche Praxis zu bewältigen hat. Wenn verschiedene Theorien empirisch äquivalent sind, muss die Wissenschaft zusätzliche Kriterien einsetzen, um zwischen ihnen

zu wählen: theoretische Eleganz, Einfachheit, explanatorische Einheit. Diese zusätzlichen Kriterien werden in der Wissenschaftsphilosophie als pragmatische Tugenden bezeichnet, und ihre Relation zu epistemischer Wahrheit ist kontrovers: Geben sie echte Gründe für die Wahrheit einer Theorie, oder sind sie nur pragmatische Präferenzen, die nichts über die Wirklichkeit sagen?

In der neuen Rahmung, die aus Otts Grenzontologie folgt, verschwindet diese Kontroverse, weil ihr Ausgangspunkt aufgegeben wird. Pragmatische Tugenden wie Eleganz, Einfachheit und explanatorische Einheit sind nicht pragmatische Präferenzen, die zu epistemischen Gründen hinzutreten; sie sind Aspekte der relationalen Kohärenz, der prozessualen Bewährung und der graduellen Adäquatheit, die die normative Grundlage der Modellbewertung bilden. Ein Modell, das elegant ist, realisiert relationale Kohärenz auf eine Weise, die minimale strukturelle Mittel für maximale explanatorische Reichweite einsetzt. Ein Modell, das einfach ist, hat konstitutive Idealisierungen, die die wesentlichen Aspekte der Zieldomäne erfassen, ohne unnötige Komplexität einzuführen. Ein Modell, das explanatorische Einheit realisiert, integriert verschiedene Phänomenbereiche in ein kohärentes Relationsnetz. Diese pragmatischen Tugenden sind nicht zusätzliche Kriterien neben der epistemischen Adäquatheit; sie sind Ausdruck der epistemischen Adäquatheit unter Bedingungen gradueller und relationaler Bestimmtheit.

Wenn jedoch Unterbestimmtheit nicht durch bessere Methoden überwunden werden kann, weil sie ontologisch konstitutiv ist, dann ist die Funktion wissenschaftlicher Methodik nicht die Eliminierung der Unterbestimmtheit, sondern der produktive Umgang mit ihr. Wissenschaftliche Methodik ist dann nicht ein Instrument der Annäherung an eine vollständig bestimmbare Wahrheit, sondern ein Instrument der Orientierung in einer Situation irreduzibler Unterbestimmtheit.

Methoden, die beanspruchen, Unterbestimmtheit vollständig zu eliminieren, sind nach dieser Diagnose nicht Methoden überlegener Wissenschaft, sondern Symptome eines ontologischen Missverständnisses. Methoden, die produktiv mit Unterbestimmtheit umgehen, indem sie verschiedene Modelle in ihrer komplementären Adäquatheit nutzen, die Grenzen jedes Modells explizieren und die Unterbestimmtheit als Ressource für weitere Forschung behandeln, sind Methoden überlegener wissenschaftlicher Praxis. Die Methodologie ändert sich, wenn die Unterbestimmtheit als konstitutive Eigenschaft und nicht als methodisches Problem verstanden wird.

Eine weitere Konsequenz betrifft die Wissenschaftssoziologie. Wenn Unterbestimmtheit ontologisch konstitutiv ist, dann erklärt das, warum wissenschaftliche Gemeinschaften bei der Wahl zwischen empirisch äquivalenten Modellen auf soziale Faktoren zurückgreifen: nicht weil epistemische Gründe fehlen oder weil Wissenschaft ein sozialer Konstruktionsprozess ohne epistemische Grundlage wäre, sondern weil die epistemische Situation selbst eine genuine Unterbestimmtheit enthält, die durch epistemische Gründe allein nicht aufgelöst werden kann. Soziale Faktoren können in dieser Situation eine epistemisch legitime Rolle spielen, ohne damit den Relativismus zu implizieren: Sie helfen, eine genuine epistemische Unterbestimmtheit zu navigieren, nicht eine vollständig bestimmbare Wahrheit zu ignorieren.

### **8.3 Wissenschaftlicher Fortschritt prozessual beschrieben: Kohärenz, Fruchtbarkeit, Selbstreflexivität statt Annäherung an fixierbare Wahrheit**

Die Frage des wissenschaftlichen Fortschritts ist eine der zentralen Fragen der Wissenschaftsphilosophie, und sie ist zugleich eine der Fragen, an der die ontologische Unterbestimmtheit der herrschenden Positionen am deutlichsten sichtbar wird. Die klassische realistische Antwort lautet: Wissenschaftlicher Fortschritt besteht in der Annäherung an eine vollständig bestimmbare Wahrheit über die Wirklichkeit. Die klassische antirealistische Antwort lautet: Es gibt keinen Fortschritt im realistischen Sinn; es gibt nur Wandel, der durch interne wissenschaftliche und externe soziale Faktoren getrieben wird.

Beide Antworten sind ontologisch unterbestimmt in dem Sinn, der in diesem Essay entwickelt wurde. Die realistische Antwort setzt eine vollständig bestimmbare Wirklichkeit voraus, die als Zielpunkt des Fortschritts fungieren kann. Die antirealistische Antwort leugnet die normative Dimension des Wandels und kann nicht erklären, warum die Quantenmechanik besser ist als die klassische Mechanik. Otts Grenzontologie ermöglicht eine dritte Beschreibung des wissenschaftlichen Fortschritts, die weder realistisch im klassischen Sinn noch antirealistisch ist und die die normative Dimension des Fortschritts erhält, ohne eine vollständig bestimmbare Wahrheit als Zielpunkt vorauszusetzen.

Wissenschaftlicher Fortschritt ist, nach dieser Beschreibung, eine graduelle Steigerung relationaler Kohärenz, prozessualer Fruchtbarkeit und Selbstreflexivität über die eigenen Grenzen. Diese drei Dimensionen des Fortschritts sind nicht unabhängig voneinander, sondern strukturell verbunden: Sie realisieren zusammen die drei Strategien der relationalen Normativitätstheorie auf der Ebene der Beschreibung wissenschaftlichen Wandels.

Die relationale Kohärenz nimmt zu, wenn neue Modelle mehr Phänomene in ein konsistentes Relationsnetz integrieren, mehr Verbindungen zwischen verschiedenen Phänomenbereichen herstellen und die Relationen zwischen Modellen verschiedener Skalenniveaus klarer machen. Der Übergang von der klassischen Mechanik zur Quantenmechanik ist in diesem Sinn ein Fortschritt relationaler Kohärenz: Die Quantenmechanik integriert Phänomene, die die klassische Mechanik nicht integrieren konnte, in ein konsistenteres Relationsnetz und macht Verbindungen sichtbar, die vorher verborgen waren.

Die prozessuale Fruchtbarkeit nimmt zu, wenn neue Modelle mehr neue Fragen aufwerfen, die beantwortet werden können, und weniger unbeantwortbare Anomalien hinterlassen. Das quantenmechanische Modell ist fruchtbarer als das Bohr-Modell, weil es nicht nur die Phänomene erklärt, die das Bohr-Modell erklärte, sondern auch die Anomalien des Bohr-Modells in lösbarere Fragen transformiert und neue Phänomenbereiche erschlossen hat, die das Bohr-Modell nicht erschließen konnte.

Die Selbstreflexivität nimmt zu, wenn neue Modelle ihre eigenen Grenzen präziser kennen und expliziter machen als ihre Vorgänger. Das quantenmechanische Modell weiß, wo es mit der Allgemeinen Relativitätstheorie in Konflikt gerät; es weiß, unter welchen Bedingungen klassische Näherungen gelten; es weiß, was es nicht erklären kann, zum Beispiel die vollständige Theorie der Quantengravitation. Diese Kenntnis der eigenen Grenzen ist selbst ein Fortschritt gegenüber früheren Modellen, die ihre Grenzen weniger präzise kannten.

Diese prozessuale Beschreibung des Fortschritts hat eine wichtige Konsequenz für das Verhältnis zwischen Kontinuität und Diskontinuität in der Wissenschaftsgeschichte. Die klassische realistische Beschreibung betont die Kontinuität: Wissenschaftlicher Fortschritt ist die graduelle Annäherung an dieselbe Wahrheit, und neuere Theorien enthalten ältere als Grenzfälle. Kuhns Beschreibung betont die Diskontinuität: Paradigmenwechsel sind radikale Brüche, bei denen die Inkommensurabilität zwischen alten und neuen Paradigmen eine einfache Kontinuität ausschließt.

Die prozessuale Beschreibung vermittelt zwischen beiden, ohne einen einfachen Kompromiss zu schließen. Sie behauptet, dass wissenschaftlicher Wandel weder rein kontinuierlich noch rein diskontinuierlich ist, sondern dass er die Struktur einer Transformation des Relationsnetzes hat, bei der bestimmte Relationen erhalten bleiben und andere transformiert werden. Die partielle Kontinuität erklärt, warum neuere Modelle ältere als Grenzfälle enthalten können; die partielle Diskontinuität erklärt, warum Paradigmenwechsel echte Brüche sind, die nicht durch lineare Extrapolation vorherzusagen waren. Beide Aspekte folgen aus der relationalen Verfassung von Modellen: Ein Knotenpunkt in einem Relationsnetz kann transformiert werden, ohne vollständig zu verschwinden, und das transformierte Netz kann Strukturen des alten Netzes als spezielle Fälle enthalten.

#### **8.4 Modellpluralismus ontologisch begründet: Warum rivalisierende Modelle koexistieren können, ohne in Relativismus zu führen**

Eine charakteristischste Eigenschaft wissenschaftlicher Praxis ist die Koexistenz rivalisierender Modelle desselben Phänomenbereichs. In der Physik koexistieren klassische und quantenmechanische Beschreibungen für viele Zwecke. In der Biologie koexistieren verschiedene Modelle der Populationsdynamik, die auf verschiedenen Annahmen über die Struktur der Umweltbedingungen beruhen. In der Klimawissenschaft koexistieren verschiedene Zirkulationsmodelle, die verschiedene Aspekte des Klimasystems in den Vordergrund stellen. In der Kosmologie koexistieren verschiedene Modelle der Dunklen Materie und der Dunklen Energie, die empirisch nicht eindeutig zu unterscheiden sind.

Diese Koexistenz rivalisierender Modelle ist ein Faktum wissenschaftlicher Praxis, das die herrschenden wissenschaftsphilosophischen Positionen schlecht erklären können. Der Realismus tendiert dazu, die Koexistenz als temporären Zustand zu behandeln, der durch weitere Forschung aufgelöst werden wird: Schließlich wird sich herausstellen, welches Modell das richtige ist. Der Antirealismus tendiert dazu, die Koexistenz als Beleg für den Konstruktionscharakter wissenschaftlicher Modelle zu behandeln: Wenn verschiedene Modelle koexistieren können, dann gibt es offenbar keine einzige richtige Beschreibung der Wirklichkeit, was den Relativismus bestätigt.

Ott's Grenzontologie ermöglicht eine dritte Erklärung, die weder realistisch noch antirealistisch ist und die die Koexistenz rivalisierender Modelle als ontologisch fundiertes Phänomen erklärt, das weder temporär noch beliebig ist.

Die ontologische Grundlage des Modellpluralismus folgt aus der Gradualität und der Negativität der Grenzontologie. Wenn Bestimmtheit durch Ausschluss konstituiert wird, dann

ist jedes Modell durch seine spezifischen Ausschlüsse bestimmt und erfasst die Aspekte der Zieldomäne, die durch seine spezifischen Einschlüsse zugänglich sind. Verschiedene Modelle mit verschiedenen Einschlüssen und Ausschlüssen erfassen verschiedene Aspekte der Zieldomäne, und weil die Zieldomäne selbst relational und graduell verfasst ist, gibt es keine einzige richtige Weise, sie zu modellieren. Der Modellpluralismus ist daher keine vorübergehende Situation epistemischer Unvollständigkeit, sondern eine strukturelle Konsequenz der ontologischen Verfassung der Wirklichkeit.

Diese ontologische Begründung des Modellpluralismus ist entscheidend von der relativistischen zu unterscheiden. Der Relativismus behauptet, dass die Koexistenz rivalisierender Modelle zeigt, dass alle Modelle gleich gut sind. Die ontologische Begründung des Modellpluralismus behauptet das Gegenteil: Rivalisierende Modelle sind nicht gleich gut; sie sind in verschiedenen Hinsichten und für verschiedene Zwecke graduell adäquat, und ihre Koexistenz ist möglich, weil sie verschiedene Aspekte einer Wirklichkeit erfassen, die selbst relational, graduell und offen ist.

Das Verhältnis zwischen rivalisierenden Modellen ist daher nicht das der Konkurrenz, bei der eines das andere verdrängen muss, sondern das der Komplementarität, bei der verschiedene Modelle verschiedene Aspekte derselben Zieldomäne erfassen und zusammen eine reichere Beschreibung ermöglichen als jedes einzeln. Diese Komplementarität ist die wissenschaftsphilosophische Entsprechung der Komplementarität von Apophatik und Prozess, die Ott als zentrales Strukturmerkmal seiner Grenzontologie beschreibt: Verschiedene Beschreibungen erfassen verschiedene Dimensionen derselben Grenzstruktur, und keine allein ist vollständig und dieses Scheitern ist die notwendige Voraussetzung für den offenen Prozess der Forschung.

Konkrete Beispiele illustrieren diese ontologische Begründung des Modellpluralismus. Die Koexistenz von klassischer Mechanik und Quantenmechanik ist keine temporäre Situation, die durch eine vereinheitlichte Theorie überwunden werden müsste. Beide Modelle erfassen verschiedene Aspekte der Wirklichkeit: Die klassische Mechanik erfasst die makroskopische Struktur von Bewegung und Kraft auf eine Weise, die für viele Zwecke graduell adäquat ist; die Quantenmechanik erfasst die mikroskopische Struktur der Materie und Strahlung. Beide Aspekte sind real, und ihre Erfassung durch verschiedene Modelle ist kein Defizit, sondern Ausdruck der ontologischen Komplexität der Wirklichkeit.

Die Koexistenz verschiedener Modelle der Dunklen Materie ist ein anderes Beispiel, das die Grenzen des Modellpluralismus verdeutlicht. Hier sind die rivalisierenden Modelle nicht in einem einfachen Komplementaritätsverhältnis; sie machen zum Teil inkompatible Vorhersagen, die durch künftige Experimente entschieden werden könnten. In diesem Fall ist die Koexistenz nicht eine stabile Situation des Pluralismus, sondern eine temporäre Situation der Unterbestimmtheit, die durch weitere empirische Befunde reduziert werden kann. Der Modellpluralismus ist daher nicht absolut: Es gibt Formen der Koexistenz rivalisierender Modelle, die stabil und ontologisch fundiert sind, und es gibt Formen, die temporär und epistemisch kontingent sind. Die relationale Normativitätstheorie kann zwischen beiden unterscheiden, indem sie fragt, ob die Koexistenz durch eine komplementäre Adäquatheit verschiedener Aspekte der Zieldomäne erklärt wird oder durch eine epistemische Unterbestimmtheit, die durch weitere Forschung reduziert werden kann.

Der Modellpluralismus, ontologisch begründet durch Ott's Grenzontologie, ist damit eine philosophisch präzise Alternative sowohl zum realistischen Monismus, der beansprucht, dass es für jeden Phänomenbereich eine einzige richtige Beschreibung gibt, als auch zum antirealistischen Relativismus, der behauptet, dass alle Beschreibungen gleich gut sind. Er behauptet, dass die Wirklichkeit eine relationale, graduelle und offene Struktur hat, die durch verschiedene Modelle von verschiedenen Seiten erschlossen werden kann, ohne dass eine der Seiten die vollständige Wahrheit hat oder alle Seiten gleich gut wären. Diese Position ist philosophisch kohärent, ontologisch fundiert und der Praxis wissenschaftlicher Modellierung angemessen, die, wie dieser Essay zu zeigen versucht hat, von Anfang an in einer Situation operiert, die weder die Fixierung auf eine einzige richtige Beschreibung noch die Beliebigkeit aller Beschreibungen erlaubt, sondern die graduelle, relationale und prozessuale Adäquatheit verschiedener Modelle im Vollzug wissenschaftlicher Praxis realisiert.

## **IX. Rückbindung: Was die Konfrontation beiden Projekten gibt**

Die vorangegangenen Abschnitte haben eine doppelte Bewegung vollzogen. Sie haben gezeigt, dass Ott's Grenzontologie die ontologische Grundlage für ein adäquates Verständnis wissenschaftlicher Modellbildung liefert, und sie haben gezeigt, dass die Wissenschaftsphilosophie, insbesondere die Analyse von Modellen, das Forschungsdesiderat konkretisiert, das Ott selbst formuliert hat. Diese doppelte Bewegung ist keine einseitige Anwendung einer philosophischen Theorie auf einen externen Gegenstandsbereich; sie ist eine wechselseitige Erhellung, bei der beide Seiten etwas gewinnen, was sie allein nicht hätten gewinnen können. Dieser Abschnitt reflektiert diese wechselseitige Erhellung explizit und zieht die Bilanz der Konfrontation für jedes der drei Projekte: Ott's Grenzontologie, die Wissenschaftsphilosophie der Modelle und Boghossians epistemischen Minimalismus.

### **9.1 Was Ott's Grenzontologie durch die Wissenschaftsphilosophie gewinnt: Empirische Verankerung und Konkretisierung des Forschungsdesiderats**

Ott's Grenzontologie ist ein Projekt der fundamentalen Ontologie. Sie fragt nach den Bedingungen der Möglichkeit von Bestimmtheit überhaupt und entwickelt aus dieser Frage eine Theorie der Grenzstruktur, die jeder Bestimmtheit immanent ist. Dieses Projekt ist philosophisch ambitioniert und systematisch kohärent. Aber es hat eine inhärente Gefahr: die Gefahr der Abstraktion. Eine Ontologie, die aus der reinen Reflexion auf die Bedingungen von Bestimmtheit gewonnen wird, könnte sich ohne empirische Anbindung an die konkreten Formen, in denen Bestimmtheit in der menschlichen Praxis realisiert wird, als spekulativ erweisen.

Die Wissenschaftsphilosophie der Modelle bietet hier eine entscheidende empirische Verankerung. Wissenschaftliche Modellbildung ist eine der elaboriertesten Formen, in denen Menschen Bestimmtheit erzeugen, bewerten und transformieren. Modelle sind die konkreten Entitäten, an denen die fünf Strukturmomente der Grenzontologie – Relationalität, Prozessualität, Negativität, Gradualität, Offenheit – nicht nur abstrakt postuliert, sondern konkret nachweisbar sind. Die Analyse des Bohr-Modells hat gezeigt, dass Modelle tatsächlich relationale Knotenpunkte sind, deren Identität durch ihre Position in einem Netz von Relationen konstituiert wird. Sie hat gezeigt, dass ihre Stabilität eine prozessuale Leistung ist, nicht eine Voraussetzung. Sie hat gezeigt, dass ihre Bestimmtheit durch

konstitutive Ausschlüsse strukturiert wird. Sie hat gezeigt, dass ihre Adäquatheit graduell und kontextabhängig ist und sie hat gezeigt, dass ihr Anwendungsbereich prinzipiell offen ist.

Diese Konkretisierung ist nicht nur eine Illustration der Grenzontologie, sondern eine Prüfung ihrer empirischen Angemessenheit. Wenn die fünf Strukturmomente an der wissenschaftlichen Modellbildung nicht nachweisbar wären, wäre das ein ernsthafter Einwand gegen die Grenzontologie. Dass sie nachweisbar sind, ist keine Deduktion der Grenzontologie aus der Modellpraxis, sondern eine Bestätigung ihrer Reichweite durch ein unabhängiges Phänomen. Die Grenzontologie beansprucht, die allgemeine Struktur von Bestimmtheit überhaupt zu beschreiben; die wissenschaftliche Modellbildung ist ein privilegierter Fall, an dem diese Struktur sichtbar wird.

Darüber hinaus konkretisiert die Wissenschaftsphilosophie der Modelle das Forschungsdesiderat, das Ott selbst in seiner offenen Frage formuliert hat. Ott fragt, ob die nicht-substantielle Ontologie mit den Wissenschaften kompatibel ist und ob sie eine philosophische Explikation ihrer ontologischen Implikationen liefern kann. Die Analyse dieses Essays hat gezeigt, dass sie nicht nur kompatibel ist, sondern dass sie die ontologische Struktur wissenschaftlicher Modellbildung in einer Weise erfasst, die keine der konkurrierenden Wissenschaftsphilosophien leisten kann. Die fünf Strukturmomente sind keine externen Kategorien, die der Modellpraxis aufgezwungen werden; sie sind die ontologische Beschreibung dessen, was Modelle sind und wie sie funktionieren. In diesem Sinn hat die Wissenschaftsphilosophie der Modelle das Desiderat nicht nur erfüllt, sondern präzisiert und vertieft: Sie hat gezeigt, dass die Grenzontologie nicht nur kompatibel ist, sondern die angemessene ontologische Theorie der wissenschaftlichen Modellpraxis ist.

Ein dritter Gewinn für Otts Grenzontologie liegt in der methodischen Selbstreflexion, die durch die Konfrontation mit der Wissenschaftsphilosophie erzwungen wird. Die Grenzontologie ist eine reflexive Theorie: Sie wendet auf sich selbst an, was sie über ihr Objekt behauptet. Die Wissenschaftsphilosophie der Modelle zwingt zu einer Konkretisierung dieser Selbstreflexion. Wenn wissenschaftliche Modelle ihre eigenen Grenzen kennen und explizieren müssen, um gute Modelle zu sein, dann muss auch die Grenzontologie ihre eigenen Grenzen kennen und explizieren. Das ist in diesem Essay geschehen: Die offenen Fragen, die Ott formuliert, sind nicht nachträgliche Einschränkungen, sondern konstitutive Elemente der Grenzontologie selbst, die in der Konfrontation mit der Wissenschaftsphilosophie präziser formuliert werden konnten.

Die Wissenschaftsphilosophie der Modelle gibt Otts Grenzontologie also dreierlei: empirische Verankerung, Konkretisierung des Forschungsdesiderats und eine Präzisierung ihrer reflexiven Struktur. Diese Gewinne sind nicht akzidentell; sie folgen aus der inneren Logik der Grenzontologie, die auf Konkretion ihrer Strukturmomente in der wissenschaftlichen Praxis angewiesen ist, um nicht spekulativ zu bleiben. Die Wissenschaftsphilosophie ist dabei nicht eine externe Anwendung der Grenzontologie, sondern ein integraler Bestandteil ihrer Ausarbeitung.

## **9.2 Was die Wissenschaftsphilosophie durch Otts Grenzontologie gewinnt: Ontologischer Rahmen jenseits der Realismus-Antirealismus-Dichotomie**

Die Wissenschaftsphilosophie, insbesondere die Debatte zwischen wissenschaftlichem Realismus und Antirealismus, leidet unter einer ontologischen Unterbestimmtheit, die in Abschnitt III dieser Untersuchung diagnostiziert wurde. Realisten und Antirealisten teilen eine gemeinsame ontologische Annahme – dass die Wirklichkeit, auf die wissenschaftliche Theorien zugreifen, eine vollständig bestimmbare Struktur hat –, und streiten darüber, ob wissenschaftliche Theorien dieser Struktur annähernd entsprechen. Diese gemeinsame Annahme ist ungeprüft und, wie Otts Grenzontologie zeigt, falsch.

Die Wissenschaftsphilosophie gewinnt durch Otts Grenzontologie einen ontologischen Rahmen, der es erlaubt, die Realismus-Antirealismus-Debatte neu zu betrachten. Dieser Rahmen ist weder realistisch noch antirealistisch im traditionellen Sinn, sondern eine eigenständige Position, die als relationaler Realismus bezeichnet werden könnte, obwohl dieser Begriff mit Vorsicht zu verwenden ist. Der relationale Realismus behauptet, dass wissenschaftliche Modelle auf eine Wirklichkeit zugreifen, aber er behauptet nicht, dass diese Wirklichkeit vollständig positiv bestimmbar ist oder dass Modelle ihr mehr oder weniger vollständig entsprechen.

Dieser ontologische Rahmen löst eine Reihe von Problemen, die die Wissenschaftsphilosophie seit Jahrzehnten beschäftigen, ohne dass eine Lösung in Sicht wäre. Das Problem der Unterbestimmtheit wird, wie in Abschnitt VI gezeigt, nicht als methodisches Problem behandelt, das durch bessere Theorien überwunden werden müsste, sondern als ontologische Eigenschaft, die produktiv zu handhaben ist. Das Problem des wissenschaftlichen Fortschritts wird, wie in Abschnitt VIII gezeigt, nicht als Annäherung an eine vollständig bestimmbare Wahrheit beschrieben, sondern als graduelle Steigerung relationaler Kohärenz, prozessualer Fruchtbarkeit und Selbstreflexivität. Das Problem des Modellpluralismus wird, wie ebenfalls in Abschnitt VIII gezeigt, nicht als temporäre Situation epistemischer Unvollständigkeit oder als Beleg für Relativismus behandelt, sondern als ontologisch fundierte Koexistenz komplementärer Modelle, die verschiedene Aspekte einer komplexen Wirklichkeit erfassen.

Ein zentraler Gewinn für die Wissenschaftsphilosophie liegt in der präzisen Beschreibung des Verhältnisses zwischen Modellen und Wirklichkeit. Die Korrespondenztheorie der Wahrheit, die dem wissenschaftlichen Realismus zugrunde liegt, setzt eine binäre Beziehung zwischen Aussagen und Tatsachen voraus, die für wissenschaftliche Modelle nicht angemessen ist. Die relationale Adäquatheit, die aus Otts Grenzontologie folgt, ersetzt diese binäre Korrespondenz durch ein Spektrum gradueller, relationaler und prozessualer Adäquatheit, das der tatsächlichen Verfassung wissenschaftlicher Modelle besser gerecht wird.

Ein weiterer Gewinn liegt in der präzisen Beschreibung der normativen Dimension wissenschaftlicher Modellbewertung. Die relationale Normativitätstheorie, die in Abschnitt VII entwickelt wurde, gibt der Wissenschaftsphilosophie ein Instrumentarium an die Hand, um normative Urteile über Modelle zu fällen, ohne auf vollständig bestimmbare Standards angewiesen zu sein. Dieses Instrumentarium ist der Praxis wissenschaftlicher Modellbewertung angemessener als die binären Kategorien des Realismus (wahr/falsch) oder des Antirealismus (akzeptiert/verworfen), weil es die graduellen, kontextabhängigen und zweckrelativen Bewertungen erfasst, die Wissenschaftler tatsächlich vornehmen.

Die Wissenschaftsphilosophie gewinnt durch Otts Grenzontologie auch eine präzisere Beschreibung der Temporalität wissenschaftlicher Erkenntnis. Die klassische Wissenschaftsphilosophie behandelt Zeit entweder als vernachlässigbare Größe (im logischen Empirismus) oder als Problem der Theoriedynamik (bei Kuhn und Lakatos). Otts prozessuale Ontologie erlaubt eine Beschreibung wissenschaftlicher Entwicklung, bei der die Zeit nicht ein äußerer Rahmen ist, in dem sich Theorien ablösen, sondern die immanente Dimension der Modellierungspraxis selbst.

Schließlich gewinnt die Wissenschaftsphilosophie durch Otts Grenzontologie eine Klärung des Verhältnisses zwischen Philosophie und Wissenschaft. Die klassische Wissenschaftsphilosophie versteht sich oft als normative Disziplin, die der Wissenschaft von außen Maßstäbe setzt. Otts Grenzontologie zeigt, dass die Struktur der wissenschaftlichen Modellbildung der Struktur der ontologischen Grenzreflexion strukturell homolog ist, so dass die Philosophie nicht eine externe Beobachterin ist, die der Wissenschaft von außen Maßstäbe auferlegt, sondern die reflexive Artikulation einer Struktur, die der wissenschaftlichen Praxis selbst immanent ist. Diese Einsicht verändert das Selbstverständnis der Wissenschaftsphilosophie grundlegend: Sie ist nicht die normative Instanz über der Wissenschaft, sondern die Selbstreflexion der Wissenschaft auf ihre eigene ontologische Verfassung.

### **9.3 Was Boghossians Minimalrealismus durch beide gewinnt: Ontologische Präzisierung ohne Widerlegung**

Boghossians epistemischer Minimalismus ist, wie in Abschnitt III dargelegt, die klarste und überzeugendste Verteidigung eines nicht-relativistischen Wahrheits- und Rechtfertigungsbegriffs gegen konstruktivistische und relativistische Positionen. Seine Argumente gegen den Faktenkonstruktivismus, den rationalen Konstruktivismus und den epistemischen Relativismus sind philosophisch stichhaltig, und seine positive These schematunabhängiger Tatsachen und nicht-relativer Rechtfertigungsstandards ist ein wichtiges Bollwerk gegen den Relativismus.

Die Konfrontation mit Otts Grenzontologie und der Wissenschaftsphilosophie der Modelle widerlegt Boghossians Position nicht; sie präzisiert sie und weist ihr ihren angemessenen Ort zu. Diese Präzisierung ist in dreierlei Hinsicht wichtig.

Erstens präzisiert die Grenzontologie, was es heißen könnte, dass es schematunabhängige Tatsachen gibt. Boghossian bleibt, wie in Abschnitt III gezeigt, auf der Ebene des Minimalismus und vermeidet positive ontologische Verpflichtungen. Das ist eine Stärke seines Arguments, weil es unabhängig von kontroversen ontologischen Thesen ist. Aber es ist auch eine Grenze, weil es keine Antwort auf die Frage gibt, was schematunabhängige Tatsachen sind. Otts Grenzontologie liefert eine Antwort: Schematunabhängige Tatsachen sind Tatsachen über die Grenzstruktur des Seienden. Sie sind unabhängig von konzeptuellen Schemata in dem Sinn, dass sie nicht durch die Schemata konstituiert werden, mit denen wir sie beschreiben. Aber sie sind auch nicht vollständig positiv bestimmbar; sie haben die Struktur des Überschusses, der jeder Bestimmtheit immanent ist. Diese Antwort ist nicht mit Boghossians Minimalismus identisch; sie geht über ihn hinaus und gibt ihm eine ontologische Grundlage, die er selbst nicht hat. Aber sie widerspricht ihm nicht: Wer schematunabhängige Tatsachen behauptet, kann sie

als Tatsachen über die Grenzstruktur verstehen, ohne damit in Widerspruch zu Boghossians Minimalismus zu geraten.

Zweitens präzisiert die relationale Normativitätstheorie, was es heißen könnte, dass nicht-relative Rechtfertigungsstandards existieren. Boghossian behauptet, dass nicht alle Standards gleich gut sind, aber er gibt keine positive Theorie, worin die Überlegenheit besserer Standards besteht. Die relationale Normativitätstheorie liefert eine solche Theorie: Ein Standard ist besser, wenn er relational kohärenter, prozessual bewährter und graduell adäquater ist. Auch diese Antwort geht über Boghossians Minimalismus hinaus, widerspricht ihm aber nicht. Boghossian kann die relationale Normativitätstheorie als Präzisierung seines Minimalismus akzeptieren, ohne seine Grundthese aufgeben zu müssen. Sie gibt den nicht-relativen Standards, die er postuliert, eine inhaltliche Bestimmung.

Drittens zeigt die Analyse der wissenschaftlichen Modellpraxis, dass Boghossians Dichotomie zwischen schematunabhängigen Tatsachen und sozialen Konstrukten zu grob ist, um den Normalfall wissenschaftlicher Erkenntnis zu erfassen. Diese Einsicht ist keine Widerlegung von Boghossians Minimalismus; sie ist eine Einschränkung seiner Reichweite. Boghossian hat Recht gegen den radikalen Konstruktivismus, der leugnet, dass es schematunabhängige Tatsachen gibt. Aber nicht jede wissenschaftliche Entität, die kein soziales Konstrukt ist, ist eine schematunabhängige Tatsache im Sinne Boghossians. Modelle sind weder das eine noch das andere, und diese dritte Kategorie ist für das Verständnis wissenschaftlicher Praxis unverzichtbar. Boghossians Minimalismus ist als Theorie des letztlichen Ziels wissenschaftlicher Erkenntnis nützlich, aber er ist keine vollständige Wissenschaftsphilosophie, weil er die Entitäten nicht erfasst, mit denen wissenschaftliche Praxis tatsächlich operiert.

Die Konfrontation mit Otts Grenzontologie und der Wissenschaftsphilosophie der Modelle gibt Boghossians Minimalrealismus also seinen angemessenen Ort. Er ist eine Theorie der epistemischen Normativität, nicht eine Theorie der wissenschaftlichen Ontologie. Er kann den Relativismus widerlegen, aber er kann nicht die ontologische Verfassung der Entitäten beschreiben, mit denen wissenschaftliche Praxis operiert. Das ist keine Schwäche seines Arguments, sondern eine Bestimmung seiner Reichweite. Indem die Grenzontologie diese Reichweite präzisiert, schützt sie Boghossians Minimalismus vor Überschreitungen, die seine Plausibilität gefährden würden. Sie zeigt, dass der Minimalismus nicht beanspruchen sollte, mehr zu erklären, als er erklären kann, und dass er die Ergänzung durch eine Ontologie der Grenzstruktur braucht, um die tatsächliche Praxis wissenschaftlicher Modellbildung zu verstehen.

Darüber hinaus gewinnt Boghossians Minimalrealismus durch die Konfrontation mit der Wissenschaftsphilosophie der Modelle eine empirische Anbindung, die ihm als rein epistemischer Theorie fehlt. Seine These schematunabhängiger Tatsachen wird durch die Analyse wissenschaftlicher Modelle nicht widerlegt, aber sie wird konkretisiert: Die schematunabhängigen Tatsachen, auf die Modelle zugreifen, sind nicht die vollständig bestimmbareren Entitäten des naiven Realismus, sondern die Grenzstruktur, die sich der vollständigen positiven Bestimmung entzieht. Diese Konkretisierung gibt Boghossians These einen Inhalt, den sie als reine Abwehr des Relativismus nicht hatte.

Die Beziehung zwischen Boghossians Minimalrealismus, Ott's Grenzontologie und der Wissenschaftsphilosophie der Modelle ist daher nicht die einer Konkurrenz, sondern die einer Komplementarität. Boghossians Minimalrealismus liefert die epistemische Grundlage: Es gibt schematunabhängige Tatsachen und nicht-relative Rechtfertigungsstandards. Ott's Grenzontologie liefert die ontologische Grundlage: Diese schematunabhängigen Tatsachen haben die Struktur der Grenzstruktur, die sich vollständiger positiver Bestimmung entzieht. Die Wissenschaftsphilosophie der Modelle liefert die empirische Konkretisierung und Anwendung: Wissenschaftliche Modellbildung ist die Praxis, die diese Grenzstruktur in einem privilegierten Bereich realisiert. Alle drei Projekte sind aufeinander angewiesen, und keines ist ohne die anderen vollständig.

## **X. Schluss: Modellbildung als Grenzreflexion**

### **10.1 Zusammenfassung der Hauptthese**

Dieser Essay hat eine doppelte These entwickelt und begründet: dass wissenschaftliche Modelle in ihrer ontologischen Verfassung die Strukturmomente von Ott's Grenzontologie realisieren, und dass die Wissenschaftsphilosophie der Modelle daher das Forschungsdesiderat einlöst, das Ott selbst formuliert hat.

Die erste These lautet: Wissenschaftliche Modelle sind relationale Knotenpunkte, deren Identität durch ihre Position in einem Netz von Relationen zu Zieldomäne, mathematischen Strukturen, Messpraktiken und theoretischen Rahmungen konstituiert wird. Sie sind prozessuale Entitäten, deren Stabilität eine Leistung kontinuierlicher Modellierungsprozesse ist, nicht eine Voraussetzung. Sie sind durch konstitutive Negativität strukturiert: Ihre Bestimmtheit wird durch das bestimmt, was sie ausschließen (Idealisierungen, Abstraktionen, Anwendungsbereiche). Ihre Adäquatheit ist graduell: Sie sind weder einfach wahr noch falsch, sondern in verschiedenen Hinsichten und für verschiedene Zwecke mehr oder weniger adäquat. Und ihr Anwendungsbereich ist prinzipiell offen: Modellierungsprozesse sind unabschließbar, und genuine Novität ist möglich.

Die zweite These lautet, dass diese fünf Strukturmomente – Relationalität, Prozessualität, Negativität, Gradualität, Offenheit – nicht willkürlich aus Ott's Grenzontologie übernommen sind, sondern aus der inneren Logik wissenschaftlicher Modellpraxis folgen. Die Analyse des Bohr-Modells und anderer Beispiele hat gezeigt, dass diese Strukturmomente keine externen Zuschreibungen sind, sondern die ontologische Beschreibung dessen, was Modelle sind und wie sie funktionieren. Die Wissenschaftsphilosophie der Modelle erweist sich damit als der privilegierte Testfall für Ott's Grenzontologie, und die Grenzontologie erweist sich als die angemessene ontologische Theorie der wissenschaftlichen Modellpraxis.

Die dritte, integrative These lautet, dass wissenschaftliche Modellbildung als ein epistemischer Vollzug der Grenzstruktur verstanden werden kann. Die vier Strukturmerkmale performativer Apophatik – immanente Kritik, Asymmetrie von Destruktion und Konstruktion, Selbstanwendung, Verweisung auf das Nicht-Assertorische durch Vollzug – finden eine präzise Entsprechung in der wissenschaftlichen Modellpraxis. Modelle werden durch immanente Kritik an ihren eigenen Voraussetzungen gemessen; die Widerlegung eines Modells impliziert nicht seinen Ersatz; gute Modelle kennen und explizieren ihre eigenen Grenzen; und Modelle zeigen im Vollzug der Modellierung Aspekte der Wirklichkeit,

die sie assertorisch nicht erfassen können. Wissenschaftliche Modellierung ist damit ein epistemischer Vollzug der Grenzstruktur, der in der Praxis realisiert, was die Philosophie in der Theorie artikuliert.

Diese drei Thesen zusammen konstituieren eine neue Sicht auf das Verhältnis zwischen Philosophie und Wissenschaft, zwischen Ontologie und Erkenntnistheorie, zwischen apophatischer Grenzreflexion und wissenschaftlicher Modellpraxis. Die traditionelle Sicht versteht Philosophie als normative Instanz über der Wissenschaft, die ihr von außen Maßstäbe setzt. Die hier entwickelte Sicht versteht Philosophie als reflexive Artikulation einer Struktur, die der wissenschaftlichen Praxis selbst immanent ist. Die fünf Strukturmomente sind keine philosophischen Konstrukte, die der Wissenschaft aufgezwungen werden; sie sind die ontologische Beschreibung dessen, was die Wissenschaft in ihrer Modellierungspraxis bereits vollzieht, oft ohne es explizit zu wissen.

## **10.2 Das gemeinsame Forschungsprogramm: Ontologie, Erkenntnistheorie und Wissenschaftsphilosophie im Gespräch**

Die Konfrontation von Otts Grenzontologie, Boghossians epistemischem Minimalismus hat gezeigt, dass diese sich wechselseitig ergänzen und damit ein gemeinsames Forschungsprogramm eröffnet. Dieses Forschungsprogramm ist nicht die Synthese dreier unabhängiger Disziplinen, sondern die Integration dreier Perspektiven auf dieselbe Sache: die Grenzstruktur des Seienden, wie sie sich in wissenschaftlicher Modellpraxis manifestiert.

Otts Grenzontologie liefert die Grundstruktur: Relationalität, Prozessualität, Negativität, Gradualität, Offenheit als die fundamentalen Momente jeder Bestimmtheit. Die Erkenntnistheorie, vertreten durch Boghossians Minimalrealismus, stellt die normative Grundlage bereit: Es gibt schematanabhängige Tatsachen, und nicht alle Rechtfertigungsstandards sind gleich gut. Die Wissenschaftsphilosophie der Modelle liefert die empirische Konkretisierung und Anwendung: die Ausarbeitung der fünf Strukturmomente an der wissenschaftlichen Modellpraxis und die Entwicklung einer relationalen Normativitätstheorie, die mit der Grenzontologie konsistent ist.

Diese drei Perspektiven sind nicht hierarchisch geordnet. Die Ontologie ist nicht die fundamentalere Disziplin, auf der die Erkenntnistheorie und Wissenschaftsphilosophie aufbauen. Die Erkenntnistheorie ist nicht die normative Instanz, die der Ontologie ihre Maßstäbe setzt. Die Wissenschaftsphilosophie ist nicht die angewandte Disziplin, die die abstrakten Theorien der Ontologie und Erkenntnistheorie nur illustriert. Die drei Perspektiven sind vielmehr komplementär: Sie beleuchten verschiedene Aspekte derselben Grenzstruktur, und keine ist ohne die anderen vollständig.

Das gemeinsame Forschungsprogramm, das aus dieser Komplementarität folgt, lässt sich in fünf Punkten skizzieren.

Erstens: Die weitere Ausarbeitung der relationalen Normativitätstheorie. Dieser Essay hat die Grundzüge einer solchen Theorie entwickelt, aber viele Fragen bleiben offen. Wie genau ist relationale Kohärenz zu messen? Wie lassen sich prozessuale Fruchtbarkeit, Übertragbarkeit und Präzisierungsfähigkeit quantifizieren oder zumindest vergleichen? Wie sind die drei Strategien der Normativität – relationale Kohärenz, prozessuale Bewährung,

graduelle Adäquatheit – im Einzelfall zu gewichten? Diese Fragen verlangen weitere Forschung, die philosophische Analyse mit Fallstudien aus der Wissenschaftsgeschichte verbindet.

Zweitens: Die Anwendung der Grenzontologie auf andere wissenschaftliche Domänen. Dieser Essay hat sich auf die Physik (Bohr-Modell, Quantenmechanik) konzentriert, aber die fünf Strukturmomente sind allgemein genug, um auch auf andere Wissenschaften anwendbar zu sein. Wie sehen Modelle in der Biologie, der Ökonomie, der Klimawissenschaft, der Neurowissenschaft aus der Perspektive der Grenzontologie aus? Welche spezifischen Formen nehmen Relationalität, Prozessualität, Negativität, Gradualität und Offenheit in diesen Domänen an? Die Beantwortung dieser Fragen würde die Reichweite der Grenzontologie testen und präzisieren.

Drittens: Die Integration der Wissenschaftssoziologie. Dieser Essay hat den soziologischen Grenzobjektbegriff von Star und Griesemer als Ausgangspunkt genommen, ist aber über ihn hinausgegangen. Eine vollständige Theorie wissenschaftlicher Modellbildung muss die soziale Dimension der Modellpraxis mit der ontologischen Dimension verbinden. Wie hängen die sozialen Funktionen von Modellen (als Grenzobjekte zwischen verschiedenen Gemeinschaften) mit ihrer ontologischen Verfassung (als relationale Knotenpunkte) zusammen? Diese Frage verlangt eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Wissenschaftsphilosophie und Wissenschaftssoziologie.

Viertens: Die normative Theorie der Modellbewertung. Die relationale Normativitätstheorie bedarf der weiteren Ausarbeitung und Prüfung an konkreten Fällen. Wie lassen sich die normativen Kriterien (relationale Kohärenz, prozessuale Bewährung, graduelle Adäquatheit) operationalisieren? Wie können sie in der wissenschaftlichen Praxis der Modellbewertung eingesetzt werden? Welche Rolle spielen sie in Peer-Review-Prozessen, in der Forschungsförderung, in der Wissenschaftspolitik? Diese Fragen verbinden Wissenschaftsphilosophie mit Wissenschaftspolitik und Wissenschaftsethik.

Fünftens: Die Selbstanwendung des Forschungsprogramms. Jedes Forschungsprogramm, das die Grenzstruktur ernst nimmt, muss die Konsequenzen dieser Einsicht auf sich selbst anwenden. Das gemeinsame Forschungsprogramm von Ontologie, Erkenntnistheorie und Wissenschaftsphilosophie ist selbst ein relationaler Knotenpunkt, der durch seine Position in einem Netz von Disziplinen und Praktiken konstituiert wird. Es ist prozessual: Es wird sich in der weiteren Forschung entwickeln und transformieren. Es ist durch Negativität strukturiert: Es wird sich durch das bestimmen, was es ausschließt und was es nicht ist. Es ist graduell adäquat: Es wird mehr oder weniger gut sein, nie vollständig. Und es ist offen: Es wird prinzipiell unabschließbar sein. Die Einsicht in die Grenzstruktur gilt auch für die Theorie, die diese Einsicht formuliert.

### **10.3 Offene Fragen und Ausblick**

Trotz der systematischen Arbeit dieses Essays bleiben Fragen offen, die über seinen Rahmen hinausweisen und zur weiteren Forschung einladen. Drei offene Fragen sind besonders bedeutsam.

Die erste offene Frage betrifft das Verhältnis zwischen der ontologischen und der normativen Dimension der Grenzontologie. Dieser Essay hat gezeigt, dass die fünf Strukturmomente sowohl ontologische als auch normative Konsequenzen haben: Relationalität fundiert relationale Kohärenz, Prozessualität fundiert prozessuale Bewährung, Negativität fundiert die Kontrolle von Idealisierungen, Gradualität fundiert graduelle Adäquatheit, Offenheit fundiert die prinzipielle Revisibilität. Aber das Verhältnis zwischen Sein und Sollen ist in der Grenzontologie kein einfaches Ableitungsverhältnis. Wie genau folgen die normativen Kriterien aus den ontologischen Strukturmomenten? Ist die Ableitung logisch, transzendental oder pragmatisch? Diese Frage verlangt eine vertiefte Analyse des Verhältnisses von Ontologie und Normativität, die über den Rahmen dieses Essays hinausgeht.

Die zweite offene Frage betrifft das Verhältnis zwischen wissenschaftlicher Modellbildung und anderen Formen der Erkenntnis. Dieser Essay hat sich auf naturwissenschaftliche Modelle konzentriert, insbesondere auf die Physik. Aber die fünf Strukturmomente beanspruchen Allgemeingültigkeit. Gelten sie auch für Modelle in den Sozialwissenschaften, in der Geschichtswissenschaft, in der philosophischen Theoriebildung? Wenn nicht, was ist der Unterschied? Wenn ja, wie manifestieren sich die Strukturmomente in diesen Domänen? Die Beantwortung dieser Fragen würde die Reichweite der Grenzontologie testen und präzisieren.

Die dritte offene Frage betrifft das Verhältnis zwischen wissenschaftlicher Modellbildung und technischer Praxis. Modelle werden nicht nur in der reinen Forschung verwendet, sondern auch in der angewandten Forschung, in der Technikentwicklung, in der Politikberatung. Verändert der praktische Zweck die ontologische Verfassung der Modelle? Oder bleibt die Grenzstruktur dieselbe, auch wenn die Modelle für verschiedene Zwecke verwendet werden? Diese Frage verbindet Wissenschaftsphilosophie mit Technikphilosophie und Praxistheorie.

Der Ausblick, der sich aus diesem Essay ergibt, ist nicht die Vorhersage eines bestimmten Ergebnisses zukünftiger Forschung, sondern die Skizze eines Forschungsprogramms, das sich aus der hier entwickelten Position ergibt. Dieses Forschungsprogramm hat vier Hauptlinien.

Die erste Linie ist die weitere Ausarbeitung der relationalen Normativitätstheorie. Die Grundzüge dieser Theorie sind entwickelt, aber sie bedarf der Präzisierung, der Prüfung an Fallbeispielen und der Verbindung mit etablierten normativen Theorien (wie der Kohärenztheorie der Rechtfertigung, der Bewährungstheorie des wissenschaftlichen Fortschritts, der pragmatischen Theorie der Wahrheit).

Die zweite Linie ist die Anwendung der Grenzontologie auf andere wissenschaftliche Domänen. Die Biologie, die Ökonomie, die Klimawissenschaft, die Neurowissenschaft bieten reiche Fallbeispiele, an denen die fünf Strukturmomente konkretisiert und die Reichweite der Grenzontologie getestet werden kann.

Die dritte Linie ist die Integration der Wissenschaftssoziologie. Der soziologische Grenzobjektbegriff von Star und Griesemer ist ein wichtiger Ausgangspunkt, aber er bedarf der ontologischen Fundierung und der Verbindung mit der normativen Theorie der

Modellbewertung. Eine integrierte Theorie wissenschaftlicher Modellbildung muss die soziale, die epistemische und die ontologische Dimension zusammendenken.

Die vierte Linie ist die Selbstanwendung des Forschungsprogramms. Die Einsicht, dass wissenschaftliche Modellbildung ein epistemischer Vollzug der Grenzstruktur ist, gilt auch für die philosophische Theoriebildung über wissenschaftliche Modellbildung. Die Philosophie der Wissenschaft ist selbst eine Form der Modellbildung: Sie konstruiert Modelle wissenschaftlicher Praxis, die den fünf Strukturmomenten unterliegen. Die Reflexion auf diese Tatsache ist nicht ein Defizit, sondern eine Stärke der Grenzontologie: Sie wendet auf sich selbst an, was sie über ihren Gegenstand behauptet.

Der Schluss dieses Essays ist kein Endpunkt, sondern ein Übergang. Die Arbeit an der Grenzstruktur ist, wie Ott in seiner Vorlesungsreihe betont, eine permanente Aufgabe des philosophischen Denkens. Dieser Essay hat gezeigt, dass wissenschaftliche Modellbildung ein privilegierter Ort ist, an dem diese Arbeit konkret wird. Die fünf Strukturmomente – Relationalität, Prozessualität, Negativität, Gradualität, Offenheit – sind nicht nur die Grundbegriffe einer nicht-substantiellen Ontologie; sie sind die Grundbegriffe einer Wissenschaftsphilosophie, die der Praxis wissenschaftlicher Modellbildung gerecht wird, ohne in naive Abbildtheorie oder konstruktivistische Beliebigkeit zu verfallen. Wissenschaftliche Modellbildung ist Grenzreflexion: die reflektierte Praxis, die mit der Grenzstruktur des Seienden produktiv umgeht, indem sie sie in Modellen realisiert, ohne sie zu fixieren. Diese Einsicht zu artikulieren und zu begründen, war das Ziel dieses Essays. Sie weiter auszuarbeiten und auf neue Bereiche anzuwenden, ist die Aufgabe der zukünftigen Forschung.