

# Otts Grenzontologie und die Wissenschaftsphilosophie

## Prolegomena zu einer nicht-substantiellen Epistemologie der Naturerkenntnis

von Miguel deCursora

### Abstract

Der vorliegende Essay entwickelt eine systematische Verbindung zwischen Erwin Otts Grenzontologie – wie sie in [Apophatik und Prozess als Grenzbegriffe der Ontologie](#) ausgearbeitet ist – und zentralen Problemfeldern der zeitgenössischen Wissenschaftsphilosophie. Diese Verbindung ist in Otts Monographie als Leerstelle markiert: Die Frage nach den Implikationen der Grenzontologie für die Philosophie wissenschaftlicher Erkenntnis wird in den abschließenden Überlegungen des Werkes als Forschungsdesiderat notiert, ohne systematisch eingeholt zu werden. Der Essay versucht, diese Schuld einzulösen.

Das Argument verläuft in zwei Richtungen. In der ersten Richtung wird gezeigt, dass die Grenzstruktur – die Doppelheit von Ermöglichungsdimension und Entzugsdimension, die Ott als transzendente Bedingung aller Bestimmtheit entwickelt – in den Aporien der Wissenschaftsphilosophie strukturell wiederkehrt. Die Realismusdebatte, die Reduktions- und Emergenzfrage sowie die Theorie der Idealisierung und Modellbildung werden als wissenschaftsphilosophische Erscheinungsformen derselben Grenzstruktur rekonstruiert, die Ott auf fundamentalontologischer Ebene analysiert. Naiver Realismus und Antirealismus erweisen sich dabei als symmetrische Fehldeutungen, die entweder die Entzugsdimension oder die Ermöglichungsdimension der Grenzstruktur leugnen; der strukturelle Realismus wird als derjenige Ansatz identifiziert, der der Grenzstruktur am nächsten kommt, ohne sie vollständig einzuholen. In der zweiten Richtung wird gezeigt, dass die Wissenschaftsphilosophie ihrerseits Anfragen an die Grenzontologie richtet, die deren Weiterentwicklung provozieren: die Forderung nach domänenspezifischer Differenzierung der Ermöglichungsstruktur, nach einer Theorie der Historizität wissenschaftlicher Erkenntnis und nach methodologischen Konsequenzen aus der Grenzstruktur.

Im Durchgang durch die Problemfelder werden folgende Thesen entwickelt. Die Aporien des wissenschaftlichen Realismus entstehen nicht aus mangelnder Präzision der Argumente, sondern aus dem strukturellen Scheitern des Versuchs, die Wirklichkeit vollständig positiv zu fixieren; die Grenzstruktur ist die ontologische Grundlage dessen, was die Wissenschaftsphilosophie als Unterbestimmung durch Evidenz und als pessimistische Metainduktion beschreibt. Die Reduktions- und Emergenzproblematik ist in dem Begriff der ontologischen Nicht-Identität auflösbar, der es erlaubt, höherstufige Eigenschaften als durch relationale Ermöglichungsstrukturen konstituiert zu verstehen, ohne in eliminativen Reduktionismus oder in eine kausale Ausschlussaporie zu verfallen. Idealisierung in der wissenschaftlichen Modellbildung ist keine epistemische Schwäche, sondern strukturelle Notwendigkeit: Modelle sind Grenzobjekte, die auf Ermöglichungsstrukturen verweisen, ohne sie vollständig positiv zu fixieren, und wissenschaftlicher Fortschritt ist als offene Vertiefung dieser Verweisung, nicht als Approximation an eine abschließende Beschreibung zu verstehen. Die relationale und prozessuale Verfassung wissenschaftlicher Praxis, wie sie

die Science and Technology Studies beschreiben, erhält durch die Grenzontologie eine ontologische Fundierung, die den Beliebigkeitsverdacht gegen konstruktivistische Wissenschaftsbeschreibungen entkräftet, ohne in einen naiven Realismus zurückzufallen.

Der Essay versteht sich als Prolegomenon zu einer grenzontologisch fundierten Wissenschaftsphilosophie. Er beansprucht nicht, eine vollständige Theorie vorzulegen, sondern die strukturelle Verbindung beider Bereiche systematisch zu entwickeln und die Forschungsperspektiven zu benennen, die aus ihr folgen. Die Unabgeschlossenheit ist dabei keine pragmatische Einschränkung, sondern eine Konsequenz aus dem Gegenstand: Wer die Grenzstruktur als Bedingung aller Bestimmtheit ernst nimmt, muss sein eigenes Projekt als Grenzbegriff verstehen – als einen Verweis auf eine Ermöglichungsstruktur, die über seine bisherigen Formulierungen hinausweist.

## **Inhaltsverzeichnis**

### **I. Einleitung: Eine strukturell übersehene Verbindung**

- 1.1 Die Leerstelle in Otts Vorlesungsreihe: Vorlesung 12.8 als Ausgangspunkt und Grenze
- 1.2 Fragestellung und Argumentationsgang des Aufsatzes
- 1.3 Abgrenzungen: Was dieser Aufsatz nicht leistet
- 1.4 Methodische Vorbemerkung: Philosophische Analyse versus Wissenschaftssoziologie

### **II. Die Grenzstruktur als Bedingung von Bestimmtheit: Rekonstruktion des systematischen Kerns**

- 2.1 Die reflexive Wendung der Ontologie und ihre transzendente Reichweite
- 2.2 Die drei Figuren des Scheiterns positiver Selbstfundierung und der produktive Überschuss
- 2.3 Ontologische Nicht-Identität als dritter Negativitätstyp: Abgrenzungen gegenüber Hegel, Derrida, Heidegger
- 2.4 Die Doppelfunktion des Grenzbegriffs: Ermöglichung und Entzug
- 2.5 Apophatische und prozessuale Reaktionsform als komplementäre Beschreibungen derselben Grenzstruktur
- 2.6 Die transzendente Notwendigkeit der Invarianzthese und ihr Geltungsbereich

### **III. Wissenschaft als elaborierte Bestimmungsleistung: Zur Übertragbarkeit der Grenzstruktur**

- 3.1 Das Einwandpotential: Betrifft die Grenzstruktur nur die Fundamentalontologie?
- 3.2 Die reflexive Wendung gegenüber der Wissenschaft: Wissenschaftsphilosophie als Grenzreflexion zweiter Stufe
- 3.3 Implizites Wissen, theoretischer Rahmen und der Überschuss wissenschaftlicher Praxis: Kuhn, Polanyi, Fleck
- 3.4 Gödels Unvollständigkeitssätze als Grenzfigur formaler Bestimmungssysteme: Reichweite und Grenzen der Analogie
- 3.5 Die Quantenmechanik als wissenschaftsinternes Grenzproblem: Relationalität, Kontextualität und das Ende des wissenschaftlichen svabhāva
- 3.6 Modellbildung, Idealisierung und die strukturelle Vorläufigkeit aller Bestimmungen

#### **IV. Wissenschaftlicher Realismus im Licht der Grenzontologie**

- 4.1 Die Realismusdebatte und ihre Aporie: Pessimistische Metainduktion, No-Miracles-Argument, struktureller Realismus
- 4.2 Naiver Realismus als naive positive Ontologie: Eine grenzontologische Diagnose
- 4.3 Antirealismus und die Kapitulation vor der Entzugsdimension
- 4.4 Struktureller Realismus (Worrall, Ladyman) und seine ontologische Unterbestimmtheit
- 4.5 Die grenzontologische Alternative: Strukturen als Ermöglichungsgebilde mit immanenter Entzugsdimension
- 4.6 Das Problem der Referenz zwischen Theorien: Continuity, Discontinuity und der Überschuss der Phänomene
- 4.7 Wissenschaftlicher Fortschritt unter Bedingungen der Grenzstruktur: Approximation ohne teleologische Schließung

#### **V. Theorienreduktion, Emergenz und die Stratifikation von Ermöglichungsebenen**

- 5.1 Die Reduktionsdebatte: Von Nagel zu Kim, von der Brückengesetz-Reduktion zur multiplen Realisierbarkeit
- 5.2 Ontologische Nicht-Identität und die Konstitution höherstufiger Eigenschaften
- 5.3 Emergenz als grenzontologisches Phänomen: Was die Grenzontologie gegenüber dem eliminativen und dem mysteriösen Emergentismus leistet
- 5.4 Die Stratifikation von Ermöglichungsebenen: Jede Beschreibungsebene als eigenständige Grenzstruktur
- 5.5 Mechanismen-Erklärungen (Machamer, Darden, Craver) und ihre ontologische Grundlage
- 5.6 Das Problem der mentalen Kausalität: Supervenienz, Determination und der Überschuss des Mentalen
- 5.7 Biologische Funktion, Zweckmäßigkeit und die prozessuale Dimension der Lebensformen

#### **VI. Idealisierung, Modellbildung und der Überschuss der Wirklichkeit**

- 6.1 Das Problem der Idealisierung in der aktuellen Wissenschaftsphilosophie: Cartwright, Giere, Frigg, Weisberg
- 6.2 Idealisierung als strukturelle Notwendigkeit, nicht als epistemisches Defizit
- 6.3 Ceteris-paribus-Gesetze und die Ermöglichungsdimension der Kapazitäten (Cartwright)
- 6.4 Modelle als Grenzobjekte: Repräsentation ohne vollständige Positivierung
- 6.5 Das Verhältnis zwischen Modell und Phänomen: Ähnlichkeit, Abbildung, Verweisung
- 6.6 Mathematische Strukturen in der Physik und das Problem ihrer unangemessenen Wirksamkeit: Wigner neu gelesen
- 6.7 Die prozessuale Dimension der Modellentwicklung: Wie Modelle sich transformieren, ohne durch Falsifikation ersetzt zu werden

#### **VII. Wissenschaftliche Praxis als relationale Prozessstruktur: Institutionelle und soziale Dimension**

- 7.1 Science and Technology Studies als implizite Prozessontologie: Latour, Pickering, Daston
- 7.2 Kuhns Paradigmenbegriff und die Grenzstruktur wissenschaftlicher Gemeinschaften
- 7.3 Epistemische Arbeitsteilung (Kitcher) und wechselseitige Konstitution von Erkenntnisansprüchen
- 7.4 Die *shishi wuai* der Wissenschaft: Instrumente, Theorien, Praktiken und ihre Totalinterpenetration
- 7.5 Grenzen der soziologischen Beschreibung: Warum relationale Wissenschaftsbeschreibung ontologische Fundierung benötigt

## **VIII. Was die Wissenschaftsphilosophie der Grenzontologie schuldet: Anfragen und Modifikationen**

- 8.1 Die Differenzierung der Ermöglichungsstruktur nach wissenschaftlichen Domänen: Ein Desiderat
- 8.2 Die normative Dimension: Methodologische Konsequenzen aus der Grenzstruktur
- 8.3 Das Spannungsverhältnis von apriorischer Grenzstruktur und empirischer Entdeckung
- 8.4 Zeitlichkeit und Historizität wissenschaftlicher Erkenntnis: Ergänzungsbedarf gegenüber der statischen Begrifflichkeit der Grenzontologie
- 8.5 Die Frage nach domänenspezifischen apophatischen Operationen: Können Wissenschaften ihre eigene Grenzstruktur thematisieren?

## **IX. Abschluss: Offenheit als epistemologisches Strukturmoment**

- 9.1 Zusammenfassung der Hauptargumente
- 9.2 Die produktive Inkommensurabilität von Grenzontologie und Wissenschaftsphilosophie
- 9.3 Offene Fragen und Forschungsperspektiven
- 9.4 Der Aufsatz im Kontext von Otts Programm: Beitrag zu einem nicht abgeschlossenen Projekt

## **I. Einleitung: Eine strukturell übersehene Verbindung**

### **1.1 Die Leerstelle in Otts Vorlesungsreihe: Vorlesung 12.8 als Ausgangspunkt und Grenze**

Die zwölfte und abschließende Vorlesung von Erwin Otts [Apophatik und Prozess als Grenzbegriffe der Ontologie](#) versammelt unter dem Titel Strenge globale Philosophie – Programm und offene Fragen diejenigen Problemhorizonte, die das systematische Argument der Reihe eröffnet, ohne sie einzuholen. Drei solcher Horizonte werden dort explizit benannt: das Verhältnis von nicht-substantieller Ontologie und Philosophie der Wissenschaften (12.8), das Verhältnis von Grenzontologie und normativer Theorie (12.9), und die Frage nach den Grenzen der Invarianzthese selbst als Forschungsprogramm (12.10). Diese drei offenen Fragen sind nicht als Schwächen des Projekts markiert, sondern als produktive Unabgeschlossenheiten: als die Punkte, an denen das Prolegomenon, das

die Reihe nach eigenem Selbstverständnis darstellt, an seine systematischen Grenzen stößt und damit den Raum für künftige Arbeit bezeichnet.

Von diesen drei offenen Fragen ist die erste – das Verhältnis zur Philosophie der Wissenschaften – diejenige, die am stärksten im Schatten der Reihe steht. Die dritte Frage, nach den Grenzen der Invarianzthese, ist über den gesamten argumentativen Bogen der Reihe hinweg mitgeführt worden; jede Fallstudie hat die Falsifizierbarkeit der These an ihr erprobt und die negativen Fälle – insbesondere die Nyāya-Vaiśeṣika-Schule als potentiellen Widerstand – zumindest als methodische Herausforderung im Blick behalten. Die zweite Frage, nach der normativen Theorie, hat in der Reihe zumindest eine implizite Vorbereitung erfahren: Die Frage, wie aus der formalen Bedingung von Normativität experiential gesättigter normativer Gehalt entsteht, ist in der systematischen Architektur der Vorlesungen 7 bis 11 präsent, auch wenn sie nicht als eigenständige Linie ausgearbeitet wird. Die erste Frage hingegen, die nach dem Verhältnis zur Wissenschaftsphilosophie, taucht in der Reihe nahezu ohne Vorbereitung auf. Sie wird in 12.8 in drei Sätzen formuliert und bleibt dann stehen.

Das ist bemerkenswert. Denn der systematische Gehalt der Grenzontologie – die Asymmetrie zwischen Bestimmung und Bedingung, die Doppelfunktion des Grenzbegriffs als Ermöglichung und Entzug, die prozessuale Grundstruktur von Identität als Resultante relationaler Konstitution – berührt Grundfragen der Wissenschaftsphilosophie auf eine Weise, die nicht peripher, sondern strukturell ist. Wissenschaft ist, in ihrer epistemischen Grundverfassung, ein Bestimmungsunternehmen: Sie bestimmt die Wirklichkeit durch theoretische Begriffe, Gesetze, Modelle, experimentelle Verfahren und die institutionalisierten Prüfprozesse, durch die Bestimmungsansprüche ausgehandelt und stabilisiert werden. Wenn die Grenzontologie zeigt, dass jede Bestimmungsleistung von einer Ermöglichungsstruktur abhängt, die sich vollständiger positiver Fixierung entzieht, dann betrifft dies nicht nur die philosophische Ontologie in abstracto, sondern die Bestimmungsleistungen der Wissenschaften im Konkreten. Die Leerstelle in Otts Reihe ist daher nicht zufällig; sie ist Ausdruck einer systematischen Prioritätsentscheidung, die sich dem Prolegomenon-Charakter des Unternehmens verdankt. Aber eben diese Entscheidung macht die Leerstelle philosophisch produktiv.

Der vorliegende Aufsatz nimmt diese Leerstelle als seinen Ausgangspunkt. Er versteht sich nicht als Kritik an Otts Projekt, sondern als dessen Verlängerung in einen Problemhorizont, den das Projekt selbst bezeichnet, ohne ihn zu betreten.

## **1.2 Fragestellung und Argumentationsgang des Aufsatzes**

Die leitende Frage dieses Aufsatzes lautet: Welche Implikationen hat Otts Grenzontologie für die Wissenschaftsphilosophie, und was schuldet umgekehrt eine vollständig ausgearbeitete Grenzontologie der Auseinandersetzung mit wissenschaftlicher Erkenntnisleistung?

Diese Frage hat zwei Richtungen, die sich gegenseitig bedingen. In der ersten Richtung – von der Grenzontologie zur Wissenschaftsphilosophie – geht es darum zu zeigen, dass die strukturellen Einsichten der Grenzontologie auf die Kerndebatten der Wissenschaftsphilosophie ein spezifisches, nicht triviales Licht werfen: auf die

Realismusdebatte, auf das Problem der Theorienreduktion und Emergenz, auf die Frage nach dem epistemischen Status idealisierender Modellbildung. In der zweiten Richtung – von der Wissenschaftsphilosophie zur Grenzontologie – geht es darum zu zeigen, dass die Spezifität wissenschaftlicher Praxis Ergänzungsanforderungen an die Grenzontologie formuliert, die ihre eigene Begrifflichkeit betreffen: die Differenzierung der Ermöglichungsstruktur nach wissenschaftlichen Domänen, die normative Dimension methodologischer Standards unter Grenzstruktur-Bedingungen, und die Frage nach der Historizität wissenschaftlicher Erkenntnis in einer ontologischen Architektur, die tendenziell transhistorisch argumentiert.

Der Argumentationsgang gliedert sich entsprechend in acht Abschnitte. Nach der vorliegenden Einleitung (I) rekonstruiert Abschnitt II den für die Wissenschaftsphilosophie relevanten systematischen Kern der Grenzontologie: die Asymmetrie zwischen Bestimmung und Bedingung, den produktiven Überschuss als dritte Figur des Scheiterns positiver Selbstfundierung, die ontologische Nicht-Identität als dritten Negativitätstyp, die Doppelfunktion des Grenzbegriffs und die Komplementarität von apophatischer und prozessualer Reaktionsform. Diese Rekonstruktion ist selektiv: Sie hebt diejenigen Elemente der Grenzontologie hervor, die für die wissenschaftsphilosophische Übertragung konstitutiv sind, und lässt andere – insbesondere die genealogischen Fallstudien des zweiten Blocks – im Hintergrund.

Abschnitt III leistet die entscheidende Übertragungsbegründung: Er zeigt, dass die Grenzstruktur nicht nur auf die Fundamentalontologie, sondern spezifisch auf wissenschaftliche Bestimmungsleistung zutrifft, und dass dies keine externe Anwendung einer fremden Begrifflichkeit ist, sondern die Rekonstruktion einer Struktur, die der Wissenschaft und ihrer philosophischen Reflexion immanent ist. Abschnitt IV entwickelt die Implikationen für die Realismusdebatte; Abschnitt V für die Theorienreduktion und Emergenz; Abschnitt VI für Idealisierung und Modellbildung. Abschnitt VII wendet sich der wissenschaftlichen Praxis als relationaler Prozessstruktur zu und fragt nach der ontologischen Fundierung derjenigen Wissenschaftsbeschreibungen, die in den Science and Technology Studies und in Kuhns Wissenschaftstheorie erarbeitet wurden. Abschnitt VIII formuliert die Anfragen der Wissenschaftsphilosophie an die Grenzontologie. Abschnitt IX zieht die Bilanz.

### **1.3 Abgrenzungen: Was dieser Aufsatz nicht leistet**

Philosophische Redlichkeit verlangt, vor dem Beginn der Argumentation zu benennen, was dieser Aufsatz nicht unternimmt und nicht unternehmen kann.

Der Aufsatz ist keine Wissenschaftsphilosophie in dem Sinn, dass er die technischen Debatten innerhalb der Philosophie der Physik, der Biologie, der Chemie oder der kognitiven Wissenschaften mit der Genauigkeit eines Spezialisten nachvollzöge. Er greift auf diese Debatten zu, um strukturelle Verbindungen sichtbar zu machen; er nimmt dabei notwendigerweise Vereinfachungen in Kauf, die ein Spezialist der jeweiligen Debatte korrigieren würde. Die Diskussion des wissenschaftlichen Realismus etwa kann die Binnendifferenzierungen zwischen entity realism (Hacking), structural realism (Worrall), ontic structural realism (Ladyman, French) und deren jeweiligen Kritikern nur in dem Maß nachvollziehen, das für den grenzontologischen Argumentationsgang erforderlich ist.

Dasselbe gilt für die Reduktionsdebatte und für die Debatte um Idealisierung. Der Aufsatz versteht sich als philosophische Brückenkonstruktion, nicht als detaillierte Karte beider Ufer.

Der Aufsatz ist ferner keine Wissenschaftssoziologie und keine Wissenschaftsgeschichte. Er greift auf Beschreibungen wissenschaftlicher Praxis zurück, wie sie in der soziologischen Wissenschaftsforschung und in der historischen Epistemologie erarbeitet wurden, aber er verfolgt damit einen philosophisch-systematischen Zweck: Er will zeigen, dass diese Beschreibungen einer ontologischen Fundierung bedürfen, die sie selbst nicht liefern. Die Befunde von Latour, Pickering oder Daston werden daher nicht soziologisch diskutiert, sondern philosophisch ausgewertet.

Schließlich ist der Aufsatz keine vollständige Ausarbeitung der Beziehung zwischen Grenzontologie und Wissenschaftsphilosophie. Er versteht sich, in Entsprechung zum Prolegomenon-Charakter von Otts Projekt, selbst als Prolegomenon: als der Versuch, den philosophischen Raum zu skizzieren, in dem eine solche Ausarbeitung möglich wäre, und die strukturellen Verbindungen sichtbar zu machen, von denen eine weitergehende Untersuchung ausgehen müsste.

#### **1.4 Methodische Vorbemerkung: Philosophische Analyse versus Wissenschaftssoziologie**

Die Unterscheidung zwischen philosophischer Analyse und Wissenschaftssoziologie verdient eine eigene, wenn auch knappe Erörterung, weil sie für den Argumentationsgang des Aufsatzes methodisch konstitutiv ist.

Die Wissenschaftssoziologie – in ihren verschiedenen Spielarten von der Edinburgh School über die Laboratoriumsstudien bis zur Akteur-Netzwerk-Theorie – hat in den letzten Jahrzehnten eindrucksvolle Beschreibungen wissenschaftlicher Praxis erarbeitet. Sie hat gezeigt, wie wissenschaftliches Wissen durch soziale Prozesse, institutionelle Strukturen, materielle Infrastrukturen und rhetorische Verfahren konstituiert wird; wie Tatsachen nicht entdeckt, sondern in einem Netz von Verhandlungen konstruiert werden; wie die Grenze zwischen wissenschaftlichen und nicht-wissenschaftlichen Wissensansprüchen selbst Gegenstand sozialer Aushandlung ist. Diese Beschreibungen haben bleibenden Wert, auch wenn die stärksten Versionen des sozialen Konstruktivismus philosophisch unhaltbar sind: Die Tatsache, dass Wissen sozial konstituiert ist, impliziert nicht, dass es beliebig oder nicht-wahrheitsfähig ist.

Philosophische Analyse, wie sie dieser Aufsatz betreibt, fragt nach einer anderen Ebene. Sie fragt nicht, wie wissenschaftliche Erkenntnisprozesse soziologisch beschrieben werden können, sondern welche ontologischen und epistemologischen Strukturen diese Prozesse ermöglichen und begrenzen. Diese Frage ist nicht der Wissenschaftssoziologie übergeordnet; sie ist orthogonal zu ihr. Eine vollständige soziologische Beschreibung der Entstehung eines Wissensstücks lässt die Frage nach den Bedingungen seiner Wahrheitsfähigkeit und nach der ontologischen Verfassung des Gegenstands, auf den es sich bezieht, prinzipiell offen. Umgekehrt lässt eine vollständige ontologische Analyse der Grenzstruktur wissenschaftlicher Bestimmungsleistung die Frage offen, wie diese Bestimmungsleistung in der konkreten wissenschaftlichen Praxis sozial organisiert wird.

Ott's Grenzontologie operiert auf der ontologischen und epistemologischen Ebene. Dass sie dabei auf Beschreibungen wissenschaftlicher Praxis stößt, die soziologisch unterfüttert werden könnten, ist ein Ertrag der Verbindung, nicht eine Verwischung der Differenz. Wo dieser Aufsatz auf soziologische Beschreibungen zurückgreift, tut er dies, um die ontologische Struktur in ihrer konkreten Manifestation sichtbar zu machen, nicht um die philosophische Analyse durch soziologische zu ersetzen. Die Differenz zwischen beiden Unternehmungen bleibt konstitutiv für das, was der Aufsatz zu leisten beansprucht.

## **II. Die Grenzstruktur als Bedingung von Bestimmtheit: Rekonstruktion des systematischen Kerns**

### **2.1 Die reflexive Wendung der Ontologie und ihre transzendente Reichweite**

Der Ausgangspunkt von Ott's systematischer Architektur ist die Frage: Was ermöglicht Bestimmtheit? Ontologie versteht sich seit ihrer aristotelischen Grundlegung als das Unternehmen, das Seiende in seinen allgemeinsten Bestimmungen zu erfassen. Sie operiert im Medium der Bestimmtheit: Sie setzt voraus, dass Seiendes bestimmbar ist, dass es sich unter Begriffe bringen, in Kategorien einordnen, durch Differenzierungen von anderem abgrenzen lässt. Diese Voraussetzung gilt als selbstverständlich, solange Ontologie nicht auf sich selbst zurückwendet. In dem Moment, in dem sie es tut – in dem Moment, den Ott als die reflexive Wendung bezeichnet –, zeigt sich, dass die Voraussetzung nicht selbstverständlich ist, sondern ihrerseits erklärt werden muss.

Bestimmung ist wesentlich Differenz: Etwas ist bestimmt, insofern es von anderem unterschieden wird, insofern es dieses und nicht jenes ist. Diese Differenzstruktur ist nicht eine nachträgliche Relation zwischen bereits konstituierten Identitäten; sie ist konstitutiv für die Identitäten selbst. Etwas ist nur dieses bestimmte Etwas, weil und insofern es nicht anderes ist. Die Frage nach den Bedingungen der Möglichkeit von Bestimmtheit ist daher die Frage nach den Bedingungen der Möglichkeit dieser konstitutiven Differenzstruktur. Und hier zeigt sich die Asymmetrie, die den Kern der Grenzontologie ausmacht: Die Bedingung der Bestimmtheit kann nicht selbst vollständig als bestimmtes Seiendes auftreten, ohne ihre Funktion als Bedingung zu verlieren. Würde sie vollständig in die Ordnung des Bestimmten eintreten, wäre sie selbst ein Bestimmtes unter anderen – ein weiteres Element der Ordnung, die sie ermöglichen soll, statt deren Ermöglichungsgrund.

Ott charakterisiert diese Asymmetrie als transzendente, aber in einem Sinn, der über Kants eigene Verwendung des Begriffs hinausgeht. Kant hatte die transzendente Fragestellung auf die Bedingungen der Möglichkeit von Erfahrung für ein erkennendes Subjekt bezogen; die Transzendentalphilosophie blieb in diesem Rahmen subjektzentriert, auch wenn sie die naive empiristische Ableitung der Erkenntnisstrukturen aus der Erfahrung überwand. Ott löst die transzendente Fragestellung von dieser Subjektbindung: Er fragt nicht nach den Bedingungen der Möglichkeit von Erfahrung für ein Subjekt, sondern nach den Bedingungen der Möglichkeit von Bestimmtheit überhaupt – einer Bedingung, die nicht an die Konstitution eines erkennenden Subjekts gebunden ist, sondern die Struktur von Bestimmung als solcher betrifft, unabhängig davon, ob diese Bestimmung durch ein Subjekt vollzogen wird oder nicht. Die transzendente Reichweite der Grenzontologie ist damit eine ontologische, nicht eine erkenntnistheoretische: Sie betrifft nicht nur die Weise, in der wir das Seiende erkennen, sondern die Weise, in der das Seiende selbst strukturiert ist.

Dies ist der erste und fundamentale Punkt für die wissenschaftsphilosophische Relevanz. Die Grenzstruktur ist keine Projektion subjektiver Erkenntnisbedingungen auf eine an sich indifferente Wirklichkeit; sie ist eine Eigenschaft der Wirklichkeit selbst, die sich in der Erkenntnistätigkeit – und also auch in der wissenschaftlichen Erkenntnistätigkeit – manifestiert, ohne durch diese erzeugt zu werden.

## **2.2 Die drei Figuren des Scheiterns positiver Selbstfundierung und der produktive Überschuss**

Die reflexive Wendung führt unmittelbar in eine Problemsituation, die Ott durch die Analyse von drei strukturellen Figuren des Scheiterns erschließt. Alle drei entstehen aus demselben Versuch: dem Versuch, die Bedingung der Bestimmtheit vollständig im Modus positiver ontologischer Bestimmung zu erfassen, also als ein weiteres bestimmtes Seiendes zu behandeln, das als letzter Grund fungiert.

Der infinite Regress entsteht, wenn dieser Versuch konsequent durchgeführt wird. Jede Bestimmung setzt eine Bedingung voraus; diese Bedingung ist ihrerseits bestimmt und setzt eine weitere Bedingung voraus; die Kette der Bedingungen findet kein Ende. Der Regress ist nicht ein epistemisches Versagen – nicht das Ergebnis mangelnder Gründlichkeit –, sondern eine strukturelle Konsequenz der Annahme, dass die Bedingung der Bestimmtheit vollständig im Modus des Bestimmten gedacht werden kann. Wer diese Annahme macht, kommt aus dem Regress nicht heraus.

Der Zirkel entsteht, wenn versucht wird, dem Regress durch Postulierung eines selbstfundierenden letzten Grundes zu entgehen. Ein solcher Grund – die *causa sui* der rationalistischen Metaphysik, das Absolute der Identitätsphilosophie – behauptet, seine Bestimmtheit aus sich selbst zu beziehen, ohne eines externen Grundes zu bedürfen. Aber diese Behauptung ist entweder eine Leerformel – sie sagt nichts über die Struktur dieser Selbstbestimmung – oder sie setzt voraus, was sie erklären soll: nämlich dass Bestimmtheit ohne externen Grund möglich ist. Der Zirkel ist philosophisch subtiler als der Regress, weil er die Form einer Antwort annimmt, ohne tatsächlich eine zu sein.

Der Überschuss ist die dritte und philosophisch entscheidende Figur. Sie entsteht nicht als weiterer Versuch, dasselbe Problem zu lösen, sondern als die Einsicht, dass das Problem selbst anders gestellt werden muss. Der Überschuss ist die strukturierte, nicht-leere Dimension, die jeder Bestimmung konstitutiv vorausliegt und die sich vollständiger positiver Fixierung nicht als epistemisches Defizit, sondern als strukturelles Merkmal ihrer Funktion als Bedingung entzieht. Er ist nicht das Unbekannte, das prinzipiell bestimmt werden könnte, wenn die Mittel besser wären; er ist das, was die Bestimmungen trägt, ohne selbst vollständig eines von ihnen zu sein.

Der Überschuss ist die produktive Figur des Scheiterns: nicht weil er das Problem löst, sondern weil er es in eine Form bringt, in der es philosophisch bearbeitet werden kann. Er zeigt, dass die Bedingung der Bestimmtheit eine Dimension hat, die sich dem Zugriff positiver Bestimmungsrede entzieht, ohne deshalb jenseits des Denkens zu liegen. Und er eröffnet damit den Raum für die beiden Reaktionsformen, die Otts systematische These

anführt: die apophatische, die den Entzug markiert, und die prozessuale, die die Ermöglichungsdimension beschreibt.

### **2.3 Ontologische Nicht-Identität als dritter Negativitätstyp: Abgrenzungen gegenüber Hegel, Derrida, Heidegger**

Die systematische Ausarbeitung des Überschusses führt Ott zur Entwicklung einer Taxonomie von Negativitätstypen, von denen der dritte – die ontologische Nicht-Identität – den begrifflichen Kern der Grenzontologie trägt. Die Abgrenzungen gegenüber den drei wichtigsten philosophischen Gesprächspartnern sind für die wissenschaftsphilosophische Weiterführung unverzichtbar, weil sie präzisieren, welcher Begriff von Negativität hier tatsächlich in Anspruch genommen wird.

Die logische Negation – der erste Typ – operiert innerhalb einer gegebenen Differenzordnung, ohne diese Ordnung selbst in Frage zu stellen. Sie ist immanent: Sie vollzieht sich im Inneren eines bereits konstituierten Bestimmungsraums. Wenn gesagt wird, dass etwas nicht rot ist, wird eine Eigenschaft innerhalb des Raums möglicher Farbzuschreibungen ausgeschlossen. Der Rahmen selbst – der Raum möglicher Farbzuschreibungen – ist durch diese Negation nicht betroffen. Die logische Negation kann daher die Grenzstruktur nicht thematisieren: Sie setzt die Ordnung voraus, innerhalb derer sie operiert, und kann nicht die Bedingungen dieser Ordnung selbst negieren.

Die bestimmende Negation – der zweite Typ, paradigmatisch bei Hegel entwickelt – ist produktiv: Sie erzeugt durch die Negation einen neuen Inhalt und führt nicht zurück zum Ausgangspunkt, sondern über ihn hinaus. Hegels Aufhebungslogik erfasst damit etwas Wesentliches: die konstitutive Funktion der Negativität, die Tatsache, dass Identität Resultat von Differenzierungsprozessen ist, nicht deren Voraussetzung. Aber die bestimmende Negation ist in eine Totalisierungslogik eingebettet, die für Ott ein entscheidendes Problem ist. Die dialektische Bewegung zielt auf Vollständigkeit; der Überschuss, der sich positiver Bestimmung entzieht, wird im Hegelschen System durch die vollendete Aufhebungsbewegung eingeholt. Er ist kein irreduzibler Überschuss, sondern ein noch-nicht-aufgehobenes Moment. Ott formuliert die immanente Kritik dieser Position mit Präzision: Die Aufhebungslogik setzt die ontologische Nicht-Identität voraus, die sie einzuholen versucht; sie ermöglicht sich durch das, was sie aufhebt, und hebt auf, was sie ermöglicht.

Die ontologische Nicht-Identität – der dritte Typ – ist die irreduzible innere Differenz, die jeder Identität immanent bleibt, ohne von ihr eingeholt zu werden. Sie ist weder Voraussetzung noch Produkt der Identität, sondern ihre innere Struktur: eine Differenz, die jede Identität von innen her durchzieht und die nicht durch Aufhebung oder Vollendung neutralisiert werden kann. Gegenüber Derridas *différance* teilt die ontologische Nicht-Identität die Ablehnung der Totalisierung und die Einsicht in die irreduzible Produktivität der Differenz; sie unterscheidet sich jedoch in der Frage der Stabilisierung. Derridas *différance* erklärt, wie Stabilität immer schon dekonstruierbar ist, aber nicht, wie sie dennoch faktisch entsteht. Ott beharrt auf der Notwendigkeit, beide Dimensionen zu erfassen: nicht nur den Entzug, sondern auch die Ermöglichung, nicht nur die Dekonstruierbarkeit, sondern auch die Konstitution stabiler Strukturen. Gegenüber Heideggers ontologischer Differenz teilt Ott die Radikalität der Fragestellung und die Figur

des Entzugs als ontologisch konstitutiv; er löst jedoch die Fragestellung von der Bindung an das Dasein und die Geschichte des Seins. Die Grenzstruktur ist für Ott nicht epochal, sondern transzendental im beschriebenen Sinn: überall dort aufweisbar, wo Bestimmungsleistung vollständig vollzogen wird.

#### **2.4 Die Doppelfunktion des Grenzbegriffs: Ermöglichung und Entzug**

Aus der ontologischen Nicht-Identität entwickelt Ott den positiven Begriff der Grenze, der das systematische Herzstück der Grenzontologie bildet. Die Grenze ist weder äußerer Abbruch noch mystischer Rest: nicht die Linie, an der das Bestimmbare endet und das Unbestimmbare beginnt, und nicht eine positive Entität jenseits der Bestimmungen, die durch besondere Erkenntnis zugänglich wäre. Sie ist eine immanente Differenzstruktur – die operative Struktur, durch die Bestimmungen konstituiert werden und durch die sie zugleich über sich hinausgewiesen werden.

Diese Struktur hat eine doppelte Funktion, die Ott als Ermöglichung und Entzug charakterisiert. Beide Funktionen sind untrennbar: Sie sind nicht zwei verschiedene Eigenschaften, die der Grenze zufällig beide zukommen, sondern zwei Aspekte derselben ontologischen Verfassung.

Die Ermöglichungsfunktion besagt: Die Grenze konstituiert das, was sie begrenzt. Sie macht eine Bestimmung zu dieser bestimmten Bestimmung, indem sie sie von anderem abgrenzt. Ohne die immanente Differenzstruktur gäbe es keine Bestimmtheit; die Grenze ist nicht das Ende von Bestimmtheit, sondern ihre Bedingung. Diese Einsicht nimmt von Hegel die Grundformel auf: Etwas ist nur durch seine Grenze; die Grenze ist nicht das Ende des Etwas, sondern seine Bestimmtheit selbst. Aber sie befreit diese Formel von der teleologischen Einbettung in die Aufhebungslogik.

Die Entzugsfunktion besagt: Die Grenze kann nicht selbst vollständig als bestimmtes Seiendes auftreten, ohne ihre Funktion als Bedingung zu verlieren. Jeder Versuch, die Grenze zu positivieren – sie als ein Seiendes unter anderen zu behandeln –, scheitert, weil die Grenze im Moment ihrer Positivierung zu einer Bestimmung unter anderen wird und damit die Funktion verliert, die sie von anderen Bestimmungen unterscheidet. Der Entzug ist nicht akzidentell; er gehört zur Weise-zu-sein der Grenze als Bedingung.

Die Untrennbarkeit beider Funktionen ist für die Grenzontologie konstitutiv. Die Grenze ermöglicht Bestimmtheit, indem sie sich ihr entzieht: Nur weil die Grenze nicht vollständig als Bestimmtes auftreten kann, kann sie die Bedingung von Bestimmtheit sein. Wäre sie vollständig bestimmt, wäre sie eine Bestimmung unter anderen und könnte nicht als Bedingung aller Bestimmungen fungieren. Dies ist keine Paradoxie, sondern die präzise Beschreibung der ontologischen Funktion der Grenze.

#### **2.5 Apophatische und prozessuale Reaktionsform als komplementäre Beschreibungen derselben Grenzstruktur**

Die Doppelfunktion des Grenzbegriffs ist die ontologische Grundlage der Komplementaritätsthese, die Otts Invarianzargument trägt. Apophatische und prozessuale Reaktionsform sind nicht zwei alternative Reaktionen auf dieselbe Problemlage, zwischen

denen eine Wahl bestünde; sie sind zwei Beschreibungen derselben Grenzstruktur von verschiedenen Seiten her.

Die apophatische Reaktionsform beschreibt die Grenze von der Seite des Entzugs. Sie registriert, dass der Ermöglichungsgrund nicht vollständig positiv bestimmt werden kann, und reagiert durch Markierung: durch die Zurückweisung positiver Bestimmungen, die den Ermöglichungsgrund in eine Bestimmung unter anderen verwandeln würden. Die apophatische Negation ist damit keine willkürliche Abstinenz von Aussagen, keine agnostische Enthaltung; sie ist die philosophisch präzise Reaktion auf die Entzugsfunktion der Grenze. Sie beschreibt nicht, was der Ermöglichungsgrund ist, weil eine vollständige positive Beschreibung ihn verfehlen würde; sie zeigt, dass und warum er sich der vollständigen positiven Beschreibung entzieht.

Die prozessuale Reaktionsform beschreibt die Grenze von der Seite der Ermöglichung. Sie registriert, dass die Grenze als operative Differenzstruktur nicht statisch ist, sondern dynamisch: Sie ermöglicht immer neue Bestimmungen, erzeugt immer neue Differenzierungen, hält den Bestimmungsraum permanent offen. Identitäten entstehen innerhalb von Prozessen, die nie vollständig abgeschlossen werden, weil die Nicht-Identität, die sie konstituiert, immer neue Differenzierungen ermöglicht. Die prozessuale Reaktionsform ist keine beliebige Bevorzugung der Dynamik gegenüber der Stabilität; Stabilität ist für sie ein reales Phänomen, aber ein sekundäres: das Resultat von Stabilisierungsprozessen, nicht deren Voraussetzung.

Beide Reaktionsformen sind notwendig, weil die Grenzstruktur beide Dimensionen hat. Eine rein apophatische Beschreibung ohne prozessuale Ergänzung würde den Überschuss als bloßes Negativ erscheinen lassen – als das, was fehlt, wenn positive Bestimmung scheitert. Sie würde seine positive strukturelle Funktion nicht erfassen. Eine rein prozessuale Beschreibung ohne apophatische Ergänzung würde den Ermöglichungsgrund als eine weitere, wenn auch besondere Bestimmung erscheinen lassen – als die Bestimmung der Dynamik oder der Offenheit. Sie würde seine Widerständigkeit gegenüber jeder vollständigen positiven Fixierung nicht erfassen.

## **2.6 Die transzendente Notwendigkeit der Invarianzthese und ihr Geltungsbereich**

Die Invarianzthese, die Ott in den genealogischen Fallstudien des zweiten Blocks erprobt und in Vorlesung 10 transzendental zu begründen versucht, besagt, dass apophatische und prozessuale Reaktionsform überall dort strukturell notwendig auftreten, wo ontologisches Denken seine eigenen Voraussetzungen vollständig reflektiert. Die Notwendigkeit, die hier beansprucht wird, ist transzendente Notwendigkeit im von Kant erweiterten Sinn: nicht die logische Notwendigkeit, deren Verneinung einen Widerspruch erzeugt, sondern die konstitutive Notwendigkeit, die sich aus den Bedingungen der Möglichkeit eines bestimmten Unternehmens ergibt. Wer das ontologische Unternehmen vollständig betreibt – wer die reflexive Wendung vollzieht und die Bedingungen der eigenen Bestimmungsleistung mitthematisiert –, stößt notwendig auf die Grenzstruktur, weil diese Grenzstruktur aus der inneren Logik des Unternehmens selbst hervorgeht, nicht aus externen kulturellen oder historischen Bedingungen.

Der Geltungsbereich dieser These ist genau zu bestimmen, und diese Präzisierung hat direkte Konsequenzen für die wissenschaftsphilosophische Übertragung. Die These behauptet nicht, dass alle Philosophien oder alle Wissenschaften notwendig auf apophatische und prozessuale Figuren stoßen. Sie behauptet, dass alle Unternehmungen, die den ontologischen Fragetyp vollständig verfolgen, auf diese Figuren stoßen. Was den ontologischen Fragetyp konstituiert, ist die reflexive Wendung: die Frage nicht nur nach dem Seienden in seinen Bestimmungen, sondern nach den Bedingungen dieser Bestimmungen selbst. Unternehmungen, die diese Wendung nicht vollziehen – die bei der Beschreibung bestimmter Seiender stehen bleiben, ohne die Bedingungen ihrer eigenen Bestimmungsleistung mitzuthematisieren – sind nicht falsch, aber unvollständig.

Die Wissenschaftsphilosophie ist, in ihrer Reflexion auf die Bedingungen wissenschaftlicher Erkenntnis, ein Unternehmen, das diese reflexive Wendung vollzieht oder vollziehen muss, wenn es seinen eigenen Anspruch ernst nimmt. Sie fragt nicht nur, was die Wissenschaften über die Wirklichkeit herausgefunden haben, sondern welchen epistemischen Status diese Befunde haben, welche Bedingungen ihre Möglichkeit konstituieren, und wie das Verhältnis zwischen theoretischen Beschreibungen und der Wirklichkeit, auf die sie sich beziehen, ontologisch zu verstehen ist. In diesem Sinn ist die Wissenschaftsphilosophie ein philosophisches Unternehmen, auf das die Invarianzthese anwendbar ist – mit allen Konsequenzen, die diese Anwendung für die zentralen Debatten des Feldes hat.

### **III. Wissenschaft als elaborierte Bestimmungsleistung: Zur Übertragbarkeit der Grenzstruktur**

#### **3.1 Das Einwandspotential: Betrifft die Grenzstruktur nur die Fundamentalontologie?**

Der naheliegendste Einwand gegen das Vorhaben dieses Aufsatzes lautet, dass Otts Grenzontologie eine fundamentalontologische Theorie ist, deren Geltungsanspruch sich auf die allgemeinsten Strukturen des Seienden als solchen bezieht, nicht auf die bereichsspezifischen Bestimmungsleistungen der Einzelwissenschaften. Wissenschaft, so die Einwandsstruktur, fragt nicht nach dem Seienden überhaupt, sondern nach bestimmten Phänomenbereichen unter bestimmten Beschreibungen und mit bestimmten methodischen Mitteln. Die Physik fragt nach den fundamentalen Kräften und Strukturen der materiellen Welt; die Biologie nach den Organisationsprinzipien lebendiger Systeme; die Neurowissenschaft nach den neuronalen Korrelaten kognitiver Prozesse. Diese Fragen sind regional begrenzt; sie setzen die allgemeineren Bedingungen der Bestimmbarkeit stillschweigend voraus, ohne sie zu thematisieren, und eben diese Nicht-Thematisierung ist keine Schwäche, sondern die Bedingung ihrer disziplinären Produktivität. Eine Physikerin, die bei jeder Messung die ontologische Nicht-Identität des Messprozesses bedenkt, käme zu keiner Physik.

Dieser Einwand ist in seiner pragmatischen Dimension berechtigt und soll nicht entkräftet werden. Die wissenschaftliche Praxis setzt die Grenzstruktur stillschweigend voraus; sie thematisiert sie nicht, und das ist richtig so. Aber der Einwand verwechselt zwei verschiedene Fragen. Die erste ist die Frage, ob die Grenzstruktur die wissenschaftliche Praxis reguliert – ob sie als stille Bedingung in den Bestimmungsleistungen der Wissenschaften wirksam ist. Die zweite ist die Frage, ob die Wissenschaftsphilosophie die

Grenzstruktur thematisieren muss, wenn sie ihr eigenes Unternehmen vollständig verfolgt. Beide Fragen sind zu unterscheiden, aber beide sind für die hier entwickelte These relevant.

Zur ersten Frage: Die Grenzstruktur reguliert die wissenschaftliche Praxis in dem präzisen Sinn, dass die Bestimmungen, die die Wissenschaften produzieren, immer von einem Überschuss getragen werden, der nicht in denselben Bestimmungen vollständig expliziert werden kann. Dies ist keine mysteriöse These über das Jenseits des Empirischen; es ist die strukturelle Konsequenz der ontologischen Nicht-Identität, die jeder Identität immanent ist. Die theoretischen Begriffe der Wissenschaften – das Elektron, das Gen, die Fitness, das BIP – sind Bestimmungen, die in einem Netz von Relationen, Vorannahmen, experimentellen Verfahren und disziplinären Konventionen konstituiert werden. Dieses Netz ist die Differenzstruktur, aus der die Bestimmungen hervorgehen; und dieses Netz ist niemals vollständig innerhalb derselben Theorie explizierbar, ohne neue Vorannahmen einzuführen, die ihrerseits unexpliziert bleiben.

Zur zweiten Frage: Die Wissenschaftsphilosophie ist dasjenige Unternehmen, das die Bedingungen wissenschaftlicher Erkenntnis selbst thematisiert. In dem Maß, in dem sie dies tut, vollzieht sie die reflexive Wendung, die Ott als konstitutiv für die Entstehung der Grenzstruktur beschreibt. Wenn die Wissenschaftsphilosophie fragt, was den epistemischen Status wissenschaftlicher Theorien konstituiert, was Referenz auf theoretische Entitäten bedeutet, wie das Verhältnis zwischen Modell und Wirklichkeit zu verstehen ist – dann bewegt sie sich auf einer Ebene, auf der die Grenzstruktur nicht mehr stillschweigende Bedingung, sondern explizites Problem ist. Die Aporie des wissenschaftlichen Realismus, die Hartnäckigkeit der Reduktionsdebatte, die normative Ambivalenz der Idealisierungspraxis – all das sind Manifestationen der Grenzstruktur auf der Ebene der Wissenschaftsphilosophie. Der Einwand, die Grenzstruktur betreffe nur die Fundamentalontologie, unterschätzt die reflexive Tiefe, auf der diese Debatten operieren.

### **3.2 Die reflexive Wendung gegenüber der Wissenschaft: Wissenschaftsphilosophie als Grenzreflexion zweiter Stufe**

Wissenschaftsphilosophie ist Philosophie der Wissenschaft, nicht Wissenschaft. Dieser banale Satz enthält eine nicht-banale philosophische Pointe: Die Wissenschaftsphilosophie steht in einem reflexiven Verhältnis zu ihrem Gegenstand, das nicht dasselbe ist wie das Verhältnis der Wissenschaft zu ihrem Gegenstand. Die Physik beschreibt die physikalische Wirklichkeit; die Wissenschaftsphilosophie beschreibt die Bedingungen, unter denen diese Beschreibung möglich ist, welchen Wahrheitsanspruch sie erheben kann, und wie ihre Begriffe und Methoden auf die Wirklichkeit bezogen sind, die sie beschreiben soll.

Diese reflexive Struktur macht die Wissenschaftsphilosophie zu dem, was hier als Grenzreflexion zweiter Stufe bezeichnet werden soll. Die erste Stufe der Grenzreflexion ist diejenige, die Ott für die Ontologie beschreibt: die Reflexion auf die Bedingungen der Möglichkeit von Bestimmtheit als solcher. Die zweite Stufe ist die Reflexion auf die Bedingungen der Möglichkeit einer spezifischen Form von Bestimmungsleistung, nämlich der wissenschaftlichen. Beide Stufen sind strukturell analog: In beiden Fällen stoßen die reflexiv gewendeten Fragen auf eine Grenzstruktur, die sich vollständiger positiver Fixierung entzieht.

Auf der zweiten Stufe zeigt sich diese Grenzstruktur in den zentralen Aporien der Wissenschaftsphilosophie. Die Realismusdebatte ist eine Aporie genau in dem Sinn, in dem Ott die drei Figuren des Scheiterns positiver Selbstfundierung als Aporien charakterisiert: Die Positionen, die den epistemischen Status wissenschaftlicher Theorien vollständig positiv fixieren wollen – entweder als vollständig wahre Beschreibungen der Wirklichkeit oder als bloß empirisch adäquate Instrumente ohne ontologischen Anspruch –, erzeugen Schwierigkeiten, die nicht durch weitere Bestimmungen innerhalb derselben Rahmung aufgelöst werden können. Die pessimistische Metainduktion und das No-Miracles-Argument sind die Hegelsche Dialektik der Realismusdebatte: Beide zeigen, dass die jeweils andere Position in Schwierigkeiten führt, ohne selbst eine stabile positive Antwort zu liefern. Die Aporie ist nicht Ausdruck philosophischer Inkompetenz, sondern Symptom der Grenzstruktur, auf die die reflexive Wendung führt.

Dasselbe gilt für die Reduktionsdebatte. Die Frage, ob höherstufige Eigenschaften vollständig auf niedrigerstufige reduzierbar sind, ist keine bloß technische Frage der Wissenschaftslogik; sie ist die Frage nach den Ermöglichungsebenen, aus denen Bestimmungen auf verschiedenen Beschreibungsniveaus hervorgehen. Und diese Frage führt auf eine Struktur, die sich weder durch strikte Reduktion noch durch mysteriöse Emergenz vollständig erfassen lässt. Beide Antworten – vollständige Reduzierbarkeit und prinzipielle Irreduzibilität – sind Versuche einer positiven Fixierung, die an der Grenzstruktur der Ermöglichungsebenen scheitert.

Die Wissenschaftsphilosophie vollzieht damit, wenn sie ihre eigenen Aporien ernst nimmt, dieselbe reflexive Bewegung, die Ott als konstitutiv für die Entstehung der Grenzstruktur beschreibt. Sie ist Grenzreflexion zweiter Stufe nicht zufällig, sondern weil das Unternehmen, die Bedingungen wissenschaftlicher Erkenntnis zu thematisieren, strukturell dieselbe Asymmetrie produziert wie das Unternehmen, die Bedingungen von Bestimmtheit überhaupt zu thematisieren. In beiden Fällen entzieht sich die Bedingung der vollständigen positiven Fixierung durch die Instanz, deren Bedingung sie ist.

### **3.3 Implizites Wissen, theoretischer Rahmen und der Überschuss wissenschaftlicher Praxis: Kuhn, Polanyi, Fleck**

Bevor die Grenzstruktur an den systematischen Debatten der Wissenschaftsphilosophie entwickelt wird, ist es erhellend, sie in konkreten Beschreibungen wissenschaftlicher Praxis zu verankern, die unabhängig von der Grenzontologie erarbeitet wurden. Drei Figuren sind hier besonders aufschlussreich: Thomas Kuhns Begriff des Paradigmas, Michael Polanyis Begriff des tacit knowledge und Ludwik Flecks Begriff des Denkkollektivs und Denkstils. Alle drei beschreiben, auf verschiedenen Analyseebenen, denselben Grundbefund: dass wissenschaftliche Erkenntnisleistungen von einem Wissenshintergrund getragen werden, der nicht vollständig in explizite propositionale Form gebracht werden kann, ohne den Charakter des Hintergrunds zu zerstören.

Kuhns Paradigmenbegriff – in der präzisen Fassung, die er in der Postskript-Ergänzung zu *The Structure of Scientific Revolutions* von 1969 entwickelt, nachdem die Unklarheiten der Erstausgabe kritisiert worden waren – bezeichnet primär ein Muster exemplarischer Problemlösungen, das die Praxis einer wissenschaftlichen Gemeinschaft leitet, ohne als explizite Regel formuliert sein zu müssen. Das Paradigma ist nicht eine Theorie; es ist die

Praxis des Umgangs mit Problemen, die eine Theorie prägt, bevor die Theorie selbst explizit formuliert ist. Wissenschaftler lernen ein Paradigma nicht durch die Lektüre von Regelkatalogen, sondern durch die Arbeit an Problembeispielen; sie internalisieren eine Weise des Sehens und Handelns, die bestimmt, was als Problem gilt, was als akzeptable Lösung, und was als irrelevant oder absurd. Dieser Prozess ist nicht vollständig propositional: Das Wissen, das in einem Paradigma steckt, ist zum Teil *tacit* in Polanyis Sinn – es kann gezeigt, aber nicht vollständig gesagt werden.

Polanyis Begriff des *tacit knowledge* – entwickelt in *Personal Knowledge* (1958) und konzentriert in dem späteren *The Tacit Dimension* (1966) – beschreibt eine Wissensstruktur, die für alle Erkenntnisleistungen konstitutiv ist, nicht nur für die wissenschaftliche. Wir wissen immer mehr, als wir sagen können; das explizit Gewusste ist immer von einem Hintergrund impliziten Wissens getragen, der seine Funktion als Hintergrund verliert, wenn er in explizite Propositionsform gebracht wird. Der Radfahrer weiß, wie er das Gleichgewicht hält, ohne die Physik der Kreisbahn im Kopf zu haben; der Wissenschaftler weiß, wie gute Experimente aussehen, ohne alle Kriterien explizit formulieren zu können. Diese Struktur ist, in der Terminologie der Grenzontologie, eine Form des Überschusses: das Wissen, das die expliziten Bestimmungen trägt, ohne vollständig in ihnen aufzugehen.

Flecks Begriffe des Denkkollektivs und des Denkstils, entwickelt in der *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache* (1935), beschreiben die soziale und kulturelle Dimension dieses Überschusses. Ein Denkstil ist das Ensemble von Vorannahmen, Wahrnehmungsbereitschaften und Bewertungsmaßstäben, das die Mitglieder eines Denkkollektivs teilen und das bestimmt, was sie als Tatsache wahrnehmen können und was als Artefakt oder Fehler. Der Denkstil ist nicht explizit formuliert; er ist die konditionierte Bereitschaft, auf bestimmte Weise zu sehen und zu denken, die wissenschaftliche Erfahrung erst möglich macht. Er ist die kollektive Form des Überschusses, der die expliziten Bestimmungen trägt.

Was alle drei Figuren – Paradigma, *tacit knowledge*, Denkstil – gemeinsam haben, ist die Beschreibung eines Hintergrunds, der für die wissenschaftliche Erkenntnisleistung konstitutiv ist, ohne selbst vollständig expliziert werden zu können. Dieser Hintergrund ist nicht leer; er ist strukturiert und formativ. Aber er hat den Charakter dessen, was Ott als Überschuss beschreibt: Er ist die Bedingung der Möglichkeit der expliziten Bestimmungen, ohne selbst vollständig in diesen Bestimmungen aufzugehen. Kuhn, Polanyi und Fleck beschreiben damit, ohne es so zu nennen, die Ermöglichungsdimension der Grenzstruktur auf der Ebene wissenschaftlicher Praxis. Die Grenzontologie gibt ihren Beschreibungen die ontologische Tiefe, die sie selbst nicht entwickeln: Sie zeigt, warum der Überschuss nicht ein kontingentes Phänomen unvollständiger Explizitmachung ist, sondern eine strukturelle Notwendigkeit, die aus der inneren Logik von Bestimmungsleistungen hervorgeht.

### **3.4 Gödels Unvollständigkeitssätze als Grenzfigur formaler Bestimmungssysteme: Reichweite und Grenzen der Analogie**

Unter den wissenschaftlichen Ergebnissen des zwanzigsten Jahrhunderts haben Gödels Unvollständigkeitssätze von 1931 eine philosophische Resonanz erzeugt, die weit über ihre technische Reichweite hinausgeht. Dies ist zum Teil eine Geschichte philosophischer Überinterpretation: Die Unvollständigkeitssätze gelten für formale Systeme hinreichender

Mächtigkeit, nicht für empirische Wissenschaften, nicht für natürliche Sprache, nicht für menschliches Denken überhaupt. Dennoch verdient die Analogie, die zwischen Gödels Ergebnis und der Grenzstruktur besteht, philosophische Aufmerksamkeit – sofern ihre Grenzen mitbedacht werden.

Gödels erster Unvollständigkeitssatz besagt, dass jedes konsistente formale System, das die elementare Arithmetik enthält, Aussagen formulieren kann, die in diesem System weder beweisbar noch widerlegbar sind, die aber – von einer Metaebene aus betrachtet – im Standardmodell der Arithmetik wahr sind. Gödels zweiter Unvollständigkeitssatz besagt, dass ein solches System seine eigene Konsistenz nicht innerhalb seiner selbst beweisen kann. Beide Sätze zeigen eine strukturelle Asymmetrie, die der Grenzstruktur formal ähnlich ist: Die Bedingungen der Möglichkeit des Systems – seine Konsistenz, die Wahrheit der unentscheidbaren Sätze – liegen jenseits der Ausdrucksmittel des Systems selbst. Was das System ermöglicht, kann das System nicht vollständig in seinen eigenen Bestimmungen erfassen.

Die Analogie zur Grenzstruktur ist real, aber sie hat präzise Grenzen. Gödels Ergebnis gilt für formale, axiomatische Systeme mit spezifischen mathematischen Eigenschaften; es ist nicht direkt auf empirische Wissenschaften übertragbar, die nicht formal im Sinne der mathematischen Logik sind. Die Physik ist kein axiomatisches System im Gödelschen Sinn; die Biologie erst recht nicht. Die Übertragung wäre daher philosophisch unredlich, wenn sie behauptete, Gödels Sätze bewiesen die Grenzstruktur wissenschaftlicher Erkenntnis.

Was die Analogie leistet, ist struktureller Art: Sie zeigt, dass die Asymmetrie zwischen einem Bestimmungssystem und den Bedingungen seiner eigenen Möglichkeit kein bloß spekulatives philosophisches Konstrukt ist, sondern auch als bewiesenes mathematisches Theorem auftritt. Die formale Mathematik – das Unternehmen, das am weitesten von spekulativer Ontologie entfernt scheint – stößt in seinen eigenen Grundlagen auf eine Struktur, die der Grenzstruktur formal isomorph ist. Die Bedingung der Möglichkeit des Systems entzieht sich der vollständigen Fixierung innerhalb des Systems; sie ist denkbar und mathematisch beweisbar von einer Metaebene aus, aber nicht innerhalb des Systems selbst auflösbar.

In diesem begrenzten, aber realen Sinn ist Gödels Ergebnis eine Grenzfigur, die illustriert, was Ott als strukturelle Notwendigkeit beschreibt: Das Bestimmungsunternehmen, wenn es konsequent vollzogen wird, stößt auf eine Dimension, die seine eigenen Mittel übersteigt. Die philosophische Bedeutung liegt nicht in einer direkten Übertragung, sondern in der Strukturanalogie: Auch in der formalen Sphäre erscheint die Asymmetrie zwischen Bedingung und Bedingtem als unüberwindliches Merkmal des Bestimmungsunternehmens selbst.

### **3.5 Die Quantenmechanik als wissenschaftsinternes Grenzproblem: Relationalität, Kontextualität und das Ende des wissenschaftlichen svabhāva**

Während Gödels Ergebnis eine Analogie zur Grenzstruktur bietet, ist die Quantenmechanik etwas anderes: Sie ist ein Fall, in dem die Grenzstruktur nicht durch philosophische Reflexion von außen eingebracht wird, sondern als empirisches Problem aus der wissenschaftlichen Praxis selbst hervorgeht. Die Interpretationsdebatten der

Quantenmechanik sind in einem präzisen Sinn wissenschaftsinterne Grenzprobleme: Sie entstehen, weil die theoretischen Bestimmungen der Quantenmechanik auf eine Verfassung ihrer Gegenstände verweisen, die sich mit den Kategorien klassischer Substanzontologie nicht kohärent beschreiben lässt.

Die Heisenbergsche Unschärferelation ist das bekannteste dieser Probleme, aber es ist philosophisch nicht das interessanteste. Tiefer greift das Messproblem: die Frage, wie der Übergang von der quantenmechanischen Superposition zu einem bestimmten klassischen Messergebnis theoretisch zu verstehen ist. Die verschiedenen Interpretationen der Quantenmechanik – Kopenhagener Deutung, Viele-Welten-Interpretation, Bohmsche Mechanik, relationale Quantenmechanik, QBism – sind im wesentlichen verschiedene Antworten auf die Frage, wie die Determiniertheit des Messergebnisses mit der Indeterminiertheit der Wellenfunktion vor der Messung vereinbar ist. Keine dieser Interpretationen hat sich als philosophisch vollständig überzeugend erwiesen, und der Grund dafür ist instruktiv.

Carlo Rovellis relationale Quantenmechanik ist für die Verbindung zur Grenzontologie besonders aufschlussreich. Rovelli schlägt vor, die Quantenzustände nicht als absolute Eigenschaften von Systemen zu interpretieren, sondern als relational: Ein Quantensystem hat einen bestimmten Zustand nur in Relation zu einem anderen System, das mit ihm wechselwirkt. Es gibt keinen absoluten Zustand, der unabhängig von allen Relationen bestünde. Der quantenmechanische Zustand ist immer der Zustand des Systems relativ zu einem anderen System, nicht der Zustand an sich. Dies ist eine ontologische These, keine bloß epistemische: Rovelli bestreitet nicht nur, dass wir den absoluten Zustand nicht kennen können; er bestreitet, dass es einen solchen gibt.

Diese relationale Ontologie der Quantenmechanik ist in der Terminologie von Ott's Grenzontologie präzise beschreibbar. Rovellis Ablehnung absoluter Quantenzustände ist die physikalische Form der Ablehnung des *svabhāva* – der eigenständigen, relationsunabhängigen Natur –, die Nāgārjuna für alle Phänomene entwickelte und die Ott in der Analyse von 5.2 als strukturell homolog zur westlichen Substanzkritik beschreibt. Quantenmechanische Systeme haben keinen *svabhāva*: Ihre Bestimmungen sind immer kontextuell, immer relational, immer abhängig von der Wechselwirkung mit anderen Systemen. Die Determiniertheit, die das klassische Bild substanzieller Objekte voraussetzt, ist aus der Perspektive der Quantenmechanik eine Approximation, die unter bestimmten Bedingungen gültig ist, aber nicht die fundamentale ontologische Verfassung der Wirklichkeit beschreibt.

Jeffrey Bub und Itamar Pitowskys kontextualistische Interpretation, die sich auf das Gleason-Theorem und das Kochen-Specker-Theorem stützt, verstärkt diese Diagnose: Es lässt sich beweisen, dass quantenmechanische Eigenschaften nicht als vorhandene, kontextunabhängige Werte interpretiert werden können, die durch Messungen bloß aufgedeckt werden. Die Messung ist nicht Aufdeckung eines vorhandenen Zustands, sondern Konstitution eines Zustands in der Wechselwirkung. Diese Kontextualität ist nicht eine epistemische Einschränkung, sondern eine ontologische Aussage: Quantenmechanische Objekte haben keine vollständig intrinsische Natur, die vor und unabhängig von Wechselwirkungen bestünde.

Dies ist die Grenzstruktur auf der Ebene der Grundlagenphysik: Die Bestimmungen quantenmechanischer Systeme sind immer relational konstituiert; der Ermöglichungsgrund dieser Relationalität – das, was die kontextuelle Konstitution von Bestimmungen ermöglicht – lässt sich nicht als ein weiteres, vollständig bestimmtes Seiendes fassen. Die Quantenmechanik hat, ohne es so zu nennen, dasjenige als wissenschaftsinterne Erkenntnis gewonnen, was Ott als ontologische Nicht-Identität beschreibt: die irreduzible Differenz, die jeder Identität immanent ist und die sich keiner vollständigen positiven Fixierung fügt.

### **3.6 Modellbildung, Idealisierung und die strukturelle Vorläufigkeit aller Bestimmungen**

Ein letzter Aspekt der Übertragbarkeit der Grenzstruktur auf die Wissenschaft verdient in diesem einleitenden Abschnitt Aufmerksamkeit, bevor er in Abschnitt VI ausführlich entwickelt wird: die Struktur wissenschaftlicher Modellbildung und Idealisierung.

Wissenschaftliche Modelle beschreiben die Wirklichkeit nicht direkt. Sie idealisieren: Sie vernachlässigen Faktoren, abstrahieren von Komplizierungen, setzen Bedingungen voraus, die in der realen Situation nie vollständig erfüllt sind. Das ideale Gas, die reibungslose Ebene, der vollkommene Wettbewerb, die sphärische Kuh – diese Modelle beschreiben Systeme, die so nicht existieren, und sind dennoch wissenschaftlich produktiv. Die Wissenschaftsphilosophie hat erhebliche Mühe aufgewendet, diesen Sachverhalt zu verstehen: Wie kann eine falsche Beschreibung zu wahren Wissen führen?

Aus der Perspektive der Grenzontologie erscheint dieses Problem in einem neuen Licht. Idealisierung ist nicht ein epistemisches Defizit, das aus pragmatischen Gründen in Kauf genommen wird, sondern eine strukturelle Notwendigkeit, die aus der Grenzstruktur selbst folgt. Wenn die Wirklichkeit einen Überschuss über jede ihrer positiven Beschreibungen enthält – wenn die Ermöglichungsstruktur jeder Bestimmung sich vollständiger positiver Fixierung entzieht –, dann ist jede wissenschaftliche Beschreibung notwendig approximativ: nicht weil unsere Begriffe mangelhaft wären, sondern weil die vollständige positive Fixierung der Wirklichkeit durch theoretische Bestimmungen strukturell unmöglich ist. Idealisierung ist die wissenschaftliche Praxis, die diese strukturelle Unmöglichkeit produktiv macht: Sie wählt bewusst einen Aspekt der Wirklichkeit aus, abstrahiert von anderen, und gewinnt dadurch Beschreibungen, die partiell präzise sind, ohne den Anspruch zu erheben, die Wirklichkeit vollständig zu erfassen.

Die strukturelle Vorläufigkeit aller wissenschaftlichen Bestimmungen – die Tatsache, dass keine Theorie, kein Modell, kein Begriff als definitiver Abschluss der wissenschaftlichen Arbeit gilt, sondern stets der Revision offensteht – ist in diesem Sinn nicht bloß eine soziale oder institutionelle Norm der Wissenschaft, sondern hat eine ontologische Grundlage in der Grenzstruktur selbst. Die Wirklichkeit, indem sie die Bestimmungen ermöglicht, übersteigt sie zugleich; der Ermöglichungsgrund jeder Bestimmung enthält immer mehr, als die Bestimmung expliziert. Dieser Überschuss ist die ontologische Quelle der wissenschaftlichen Revisibilität: Nicht weil Wissenschaft institutionell bescheiden ist, sondern weil die Wirklichkeit strukturell unerschöpflich ist im Blick auf die Bestimmungen, die sie ermöglicht.

Diese Überlegung schließt die Übertragungsbegründung, die dieser Abschnitt zu leisten hatte. Die Grenzstruktur ist keine externe philosophische Kategorie, die von außen an die Wissenschaft herangetragen wird. Sie ist eine Struktur, die der wissenschaftlichen Praxis selbst immanent ist – als impliziter Überschuss des Paradigmas, als Unentscheidbarkeit formaler Systeme, als Relationalität quantenmechanischer Bestimmungen, als strukturelle Approximativität der Modellbildung. Otts Grenzontologie gibt dieser immanenten Struktur einen ontologischen Begriff und eine philosophische Architektur, die die Wissenschaftsphilosophie für ihre eigenen Debatten produktiv machen kann.

#### **IV. Wissenschaftlicher Realismus im Licht der Grenzontologie**

##### **4.1 Die Realismusdebatte und ihre Aporie: Pessimistische Metainduktion, No-Miracles-Argument, struktureller Realismus**

Die Debatte um den wissenschaftlichen Realismus gehört zu den produktivsten und hartnäckigsten Dauerkontroversen der Wissenschaftsphilosophie des zwanzigsten Jahrhunderts. Ihre Hartnäckigkeit ist kein Zeichen philosophischer Inkompetenz der Beteiligten; sie ist, wie dieser Abschnitt zu zeigen versucht, Symptom einer strukturellen Aporie, die sich aus der Grenzstruktur wissenschaftlicher Bestimmungsleistung ergibt und die durch keine der bisherigen Positionen vollständig aufgelöst werden kann. Die Grenzontologie erlaubt hier keine Auflösung der Aporie, aber sie erlaubt eine philosophische Diagnose, die über die Ebene der Debatte selbst hinausführt.

Die kanonische Formulierung des wissenschaftlichen Realismus lautet, dass gut bestätigte wissenschaftliche Theorien annähernd wahr sind und dass die theoretischen Entitäten, auf die sie referieren – Elektronen, Gene, Quarks, natürliche Selektion –, real existieren, unabhängig von unseren theoretischen Beschreibungen. Diese Position wird durch das No-Miracles-Argument gestützt, das Hilary Putnam in seiner prägnantesten Form formuliert hat: Der empirische Erfolg reifer wissenschaftlicher Theorien wäre ein Wunder, wenn diese Theorien nicht zumindest annähernd wahr wären und ihre theoretischen Terme nicht zumindest annähernd auf reale Entitäten referierten. Die prädiktive Kraft der Quantenelektrodynamik, die technologischen Anwendungen der Molekularbiologie, die Genauigkeit der allgemeinen Relativitätstheorie bei der Vorhersage von Gravitationswellen – all das lässt sich kohärent nur erklären, wenn die Theorien, die diese Vorhersagen ermöglichen, etwas Richtiges über die Wirklichkeit sagen.

Das Gegenargument, die pessimistische Metainduktion, stammt in seiner ausgearbeiteten Form von Larry Laudan. Die Geschichte der Wissenschaft enthält eine Fülle von Theorien, die empirisch hochgradig erfolgreich waren und dennoch in dem Sinn falsch sind, dass die theoretischen Entitäten, auf die sie referierten, nach späterem Kenntnisstand nicht existieren: das Phlogiston der Verbrennungstheorie, der Äther der klassischen Wellenoptik, die Lebenskraft der vitalistischen Biologie, die kalorizistische Wärmetheorie. Wenn so viele erfolgreiche Theorien sich als grundlegend falsch erwiesen haben, gibt es keinen guten Grund, anzunehmen, dass unsere gegenwärtig erfolgreichen Theorien hiervon ausgenommen sind. Die Induktion über die Geschichte der Wissenschaft spricht gegen den Realismus.

Der strukturelle Realismus, der vor allem mit John Worralls Aufsatz *Structural Realism: The Best of Both Worlds?* von 1989 verbunden ist, versucht, beide Seiten zu vermitteln. Worrall beobachtet, dass bei wissenschaftlichen Theoriewechseln die mathematische Struktur der Vorgängertheorie in der Nachfolgetheorie erhalten bleibt, auch wenn sich die ontologischen Interpretationen dramatisch ändern. Fresnels Wellenoptik und Maxwells elektromagnetische Theorie beschreiben die Ausbreitung von Licht durch unterschiedliche Entitäten – mechanische Ätherwellen versus elektromagnetische Felder –, aber die mathematische Struktur der Fresnelschen Gleichungen wird in Maxwells Theorie strukturell bewahrt. Der Äther existiert nicht, aber die Struktur, die seine Theorie beschrieb, ist real und wird durch die Nachfolgetheorie präzisiert. Worralls Schlussfolgerung: Was in wissenschaftlichen Theorien akkumuliert, ist nicht das Wissen über die Art der Entitäten, sondern das Wissen über ihre strukturellen Relationen.

Diese Debatte bewegt sich in einer Topologie, die der Grenzontologie vertraut ist: Die Positionen versuchen, die Bedingungen des epistemischen Status wissenschaftlicher Theorien positiv zu fixieren – als vollständige Wahrheit, als bloße empirische Adäquatheit, als strukturelle Wahrheit –, und stoßen dabei auf Schwierigkeiten, die sich innerhalb derselben Rahmung nicht vollständig auflösen lassen. Die pessimistische Metainduktion zeigt, dass vollständige Wahrheitsansprüche historisch nicht haltbar sind; das No-Miracles-Argument zeigt, dass vollständiger Verzicht auf Wahrheitsansprüche den wissenschaftlichen Erfolg unverstänlich macht; und der strukturelle Realismus zeigt, dass die Erhaltung mathematischer Struktur keine vollständig befriedigende Antwort gibt, weil die Frage nach dem ontologischen Status der Strukturen selbst offen bleibt. Diese Aporie ist kein Zufallsprodukt; sie ist das Symptom einer Grenzstruktur, die sich in der Reflexion auf wissenschaftliche Erkenntnis manifestiert.

#### **4.2 Naiver Realismus als naive positive Ontologie: Eine grenzontologische Diagnose**

Der naive wissenschaftliche Realismus – die Position, dass gut bestätigte Theorien direkt und vollständig die Wirklichkeit beschreiben und dass ihre theoretischen Entitäten als vollständig bestimmte, relationsunabhängige Gegenstände existieren – ist aus der Perspektive der Grenzontologie eine Spielart der naiven positiven Ontologie, gegen die Ott in 1.6 eine explizite Abgrenzung entwickelt. Die strukturelle Diagnose ist präzise und erlaubt eine schärfere Formulierung des Einwands, als die übliche wissenschaftsphilosophische Kritik es tut.

Naive positive Ontologie, wie Ott sie charakterisiert, ist die Haltung, die die reflexive Wendung nicht vollzieht: Sie beschreibt das Seiende in seinen Bestimmungen, ohne die Bedingungen dieser Bestimmungen selbst zu thematisieren. Sie operiert im Medium der Bestimmtheit, ohne die Voraussetzungen dieses Mediums zu hinterfragen. Die Konsequenz ist, dass sie die Bedingung der Bestimmbarkeit als ein weiteres bestimmtes Seiendes behandelt oder stillschweigend voraussetzt: Sie setzt voraus, dass das Seiende vollständig bestimmbar ist, dass die Kategorien, durch die sie es beschreibt, die Wirklichkeit vollständig erfassen, und dass kein irreduzibles Mehr an Wirklichkeit verbleibt, das sich diesen Kategorien entzieht.

Der naive wissenschaftliche Realismus tut genau dies, wenn er behauptet, dass gut bestätigte Theorien direkt und vollständig die Wirklichkeit beschreiben. Er setzt voraus, dass

theoretische Entitäten – Elektronen, Gene, Quarks – intrinsische, vollständig bestimmte Eigenschaften haben, die durch wissenschaftliche Theorien aufgedeckt werden: dass das Elektron eine Masse von  $9,109 \times 10^{-31}$  kg ist, unabhängig von den Messsituationen, den theoretischen Rahmen und den experimentellen Kontexten, innerhalb derer diese Eigenschaft bestimmt wird. Diese Annahme ist die wissenschaftliche Form des svabhāva, der eigenständigen intrinsischen Natur, gegen die Nāgārjuna argumentiert und die die Quantenmechanik, wie im vorigen Abschnitt gezeigt, als ontologisch unhaltbar erweist.

Die grenzontologische Diagnose des naiven Realismus ist daher nicht die übliche: dass er durch die pessimistische Metainduktion widerlegt wird, dass er das Theoriewechselproblem nicht lösen kann, dass er mit der Unterbestimmtheit von Theorien durch Daten nicht umzugehen weiß. All das sind korrekte Einwände, aber sie operieren auf derselben Ebene wie die Position, die sie kritisieren. Die grenzontologische Diagnose operiert tiefer: Der naive Realismus scheitert, weil er die reflexive Wendung nicht vollzieht. Er beschreibt, was die Theorien bestimmen, ohne zu fragen, was die Bestimmungen der Theorien ihrerseits ermöglicht und übersteigt. Er nimmt die Bestimmungen für das Seiende und vergisst den Überschuss, der die Bestimmungen trägt, ohne in ihnen aufzugehen. Dieser Überschuss ist nicht ein Defizit der Theorien, das durch bessere Theorien behoben werden könnte; er ist die strukturelle Eigenschaft der Wirklichkeit als Ermöglichungsgrund aller Bestimmungen.

Eine Konsequenz dieser Diagnose ist, dass der naive Realismus nicht nur empirisch scheitert – durch die pessimistische Metainduktion –, sondern strukturell: Er ist unvollständig als philosophische Position, weil er die Bedingungen seiner eigenen Möglichkeit nicht eingeholt hat. Eine vollständige wissenschaftsphilosophische Position muss die reflexive Wendung vollziehen und fragen, was die Bestimmbarkeit der Wirklichkeit durch wissenschaftliche Theorien ihrerseits ermöglicht. Wenn sie das tut, stößt sie auf die Grenzstruktur.

#### **4.3 Antirealismus und die Kapitulation vor der Entzugsdimension**

Wenn der naive Realismus an der Ermöglichungsdimension der Grenzstruktur scheitert – indem er den Überschuss ignoriert, der die Bestimmungen trägt –, dann scheitert der Antirealismus an der Entzugsdimension: Er erkennt den Entzug an, ohne die Ermöglichung zu erfassen, und zieht daraus die falsche Konsequenz.

Der konstruktive Empirismus, den Bas van Fraassen in *The Scientific Image* (1980) als einflussreichste Form des wissenschaftsphilosophischen Antirealismus entwickelt hat, bestreitet nicht, dass wissenschaftliche Theorien empirisch adäquat sein können – dass sie das Beobachtbare korrekt beschreiben. Er bestreitet, dass wir einen guten Grund haben, an die Existenz unbeobachtbarer theoretischer Entitäten zu glauben. Das Ziel der Wissenschaft ist, nach van Fraassen, empirische Adäquatheit, nicht Wahrheit im vollständigen Sinn; Akzeptanz einer Theorie bedeutet Glauben an ihre empirische Adäquatheit, nicht Glauben an die Existenz ihrer theoretischen Entitäten.

Der Antirealismus in dieser Form erkennt zu Recht, dass der Zugang zur Wirklichkeit nicht direkt und vollständig ist: dass die Theorien über das Unbeobachtbare immer unterbestimmt durch die Daten sind, dass der Entzug der Wirklichkeit gegenüber vollständiger theoretischer Bestimmung real ist. Aber er zieht aus dieser richtigen Erkenntnis eine philosophisch

unhaltbare Konsequenz: Er kapituliert vor der Entzugsdimension, anstatt sie produktiv zu machen. Er sagt: Weil die Wirklichkeit sich der vollständigen positiven Fixierung entzieht, können wir über die unbeobachtbaren Teile der Wirklichkeit gar keine Wahrheitsansprüche erheben. Dies ist die Reaktion auf den Überschuss durch eine funktionale Reduktion des epistemischen Anspruchs – die epistemologische Variante des mystischen Schweigens, gegen das Ott in 1.6 eine explizite Abgrenzung entwickelt.

Die Entzugsdimension des Grenzbegriffs impliziert nicht, dass das Entzogene epistemisch unzugänglich ist. Sie impliziert, dass der Ermöglichungsgrund der Bestimmungen nicht vollständig in den Bestimmungen aufgeht, ohne deshalb vollständig außerhalb des Denkbaren zu liegen. Der Antirealismus verwechselt die Nicht-Vollständigkeit des epistemischen Zugangs mit seiner Abwesenheit. Er schließt von der Tatsache, dass Theorien über das Unbeobachtbare immer unterbestimmt sind – dass es prinzipiell empirisch äquivalente Alternativen geben kann –, auf die Konsequenz, dass keinerlei epistemische Einstellungen gegenüber dem Unbeobachtbaren gerechtfertigt sind. Dieser Schluss ist nicht zwingend; er wäre nur dann zwingend, wenn die einzige gerechtfertigte epistemische Einstellung die vollständige positive Fixierung wäre. Aber genau das bestreitet die Grenzontologie: Es gibt eine andere Form des Umgangs mit dem, was sich vollständiger positiver Fixierung entzieht – die apophatische Reaktionsform, die den Entzug markiert und damit produktiv macht, anstatt ihn als Grenze des Sagbaren zu behandeln.

Eine grenzontologisch informierte Kritik am Antirealismus lautet daher: Er nimmt die Entzugsdimension ernst, aber er versteht sie falsch. Der Entzug bedeutet nicht, dass die Wirklichkeit epistemisch unzugänglich ist; er bedeutet, dass die epistemischen Zugänge zu ihr immer approximativ, immer vorläufig, immer von einem Überschuss getragen sind, der nicht vollständig expliziert wird. Dies ist kein Grund zur Resignation; es ist die Bedingung der Möglichkeit wissenschaftlichen Fortschritts. Wissenschaft macht Fortschritte nicht trotz des Überschusses, sondern durch ihn: Die Tatsache, dass die Wirklichkeit immer mehr enthält als die aktuellen Theorien, ist der Motor der wissenschaftlichen Entwicklung.

#### **4.4 Struktureller Realismus (Worrall, Ladyman) und seine ontologische Unterbestimmtheit**

Der strukturelle Realismus, der sowohl Worralls epistemische als auch Ladymans und Frenchs ontische Variante umfasst, ist von den bisherigen Positionen in der Realismusdebatte diejenige, die der Grenzontologie am nächsten steht. Er verdient daher eine sorgfältigere Diskussion, die sowohl seine Stärken als auch seine Grenzen benennt.

Worralls epistemischer struktureller Realismus behauptet, dass was in wissenschaftlichen Theoriewechseln erhalten bleibt, nicht das Wissen über die Art der Entitäten ist, sondern das Wissen über ihre strukturellen Relationen. Die Erhaltung mathematischer Struktur zwischen sukzessiven Theorien – von Fresnels Wellenoptik zu Maxwells Elektrodynamik, von der klassischen Mechanik zur Quantenmechanik in geeigneten Grenzfällen – ist das empirische Fundament dieses Anspruchs. Was die Wissenschaften akkumulieren, sind strukturelle Beschreibungen, nicht Beschreibungen der intrinsischen Natur von Entitäten; letztere wechseln mit dem Theoriewechsel, erstere bleiben in modifizierter Form erhalten.

Ladyman und French radikalisieren diesen Ansatz zu einem ontischen strukturellen Realismus: Nicht nur unser Wissen über die Struktur ist gesichert; die Struktur selbst ist alles, was es gibt. Es gibt keine Entitäten, die der Struktur zugrunde liegen; die Struktur ist die Wirklichkeit. Individuelle Objekte mit intrinsischen Eigenschaften sind Abstraktionen aus der fundamentalen Strukturwirklichkeit, nicht ihre Bausteine. Diese Position begründen Ladyman und French insbesondere durch die Quantenmechanik: Quantenobjekte derselben Art sind nicht durch intrinsische Eigenschaften unterscheidbar, sondern nur durch ihre strukturellen Relationen; die Annahme, dass hinter der Struktur noch individuelle Objekte mit eigenständiger Identität stehen, ist ontologisch überschüssig und empirisch unmotiviert.

Beide Varianten des strukturellen Realismus – die epistemische und die ontische – treffen sich in einem zentralen Punkt, der grenzontologisch aufschlussreich ist: Sie erkennen, dass die Annahme vollständig bestimmter, intrinsischer Entitäten hinter der strukturellen Beschreibung philosophisch nicht haltbar ist. In der Terminologie der Grenzontologie gesagt: Sie erkennen, dass die Bestimmungen wissenschaftlicher Theorien relational konstituiert sind und dass die Annahme eines svabhāva der theoretischen Entitäten – einer vollständig intrinsischen, relationsunabhängigen Natur – wissenschaftsphilosophisch nicht gerechtfertigt ist. Damit teilen sie die Ablehnung naiver positiver Ontologie, die der Grenzontologie eigentümlich ist.

Aber der strukturelle Realismus, in beiden Varianten, bleibt vor einer fundamentalen Frage stehen, die er nicht vollständig beantwortet: Was sind Strukturen ontologisch? Worrall beantwortet diese Frage epistemisch: Strukturen sind das, worüber wir epistemischen Zugang haben; über das, was hinter der Struktur steht, wissen wir nichts. Ladyman und French beantworten sie ontisch, aber auf eine Weise, die neue Schwierigkeiten erzeugt: Wenn Strukturen alles sind, was es gibt, was sind dann Strukturen? Sind sie Mengen von Relationen? Und Relationen zwischen was, wenn es keine Relata gibt, die der Struktur zugrunde liegen? Diese Frage – bekannt als das no-relata problem des ontischen strukturellen Realismus – verweist auf eine ontologische Unterbestimmtheit, die der strukturelle Realismus nicht auflöst.

Die grenzontologische Diagnose dieser Unterbestimmtheit ist präzise: Der strukturelle Realismus beschreibt die Ermöglichungsseite der Grenzstruktur – die Tatsache, dass Bestimmungen relational konstituiert sind und dass strukturelle Relationen invarianter sind als ontologische Interpretationen –, ohne die Entzugsseite vollständig in seine Konzeption zu integrieren. Er fragt: Was bleibt zwischen Theoriewechseln erhalten? Aber er fragt nicht hinreichend: Was ermöglicht die Strukturen, und was übersteigt jede strukturelle Beschreibung? Worralls epistemischer Pessimismus in Bezug auf intrinsische Naturen und Ladymans ontische Eliminierung individueller Objekte sind beides Versuche, mit dem Entzug umzugehen, aber beide positivieren die Struktur als das, was nach Abzug des Entzogenen übrig bleibt. In der Terminologie der Grenzontologie: Sie machen die Struktur zum Positiven, das den Entzug übersteht, ohne zu fragen, ob die Struktur selbst wiederum von einem Überschuss getragen wird, der sich ihr entzieht.

#### **4.5 Die grenzontologische Alternative: Strukturen als Ermöglichungsgebilde mit immanenter Entzugsdimension**

Die grenzontologische Alternative zum strukturellen Realismus besteht nicht darin, ihn zu verwerfen, sondern darin, ihm eine ontologische Tiefenschicht hinzuzufügen, die er selbst nicht entwickelt. Diese Tiefenschicht ist die Erkenntnis, dass Strukturen selbst Ermöglichungsgebilde sind: Gebilde, die Bestimmungen ermöglichen und die daher ihrerseits von einem Überschuss getragen werden, der sich vollständiger struktureller Beschreibung entzieht.

Was ist mit Ermöglichungsgebilde gemeint? Die Strukturen, die zwischen Theoriewechseln erhalten bleiben – die mathematischen Relationen der Fresnelschen Optik, die Symmetriegruppen der Teilchenphysik, die topologischen Invarianten der Quantenfeldtheorie –, sind nicht bloße formale Schemata, die der Wirklichkeit von außen aufgeprägt werden. Sie sind reale Eigenschaften der Wirklichkeit, die Bestimmungen ermöglichen: die Bestimmung von Messergebnissen, die Vorhersage von Phänomenen, die Erklärung von Regularitäten. In diesem Sinn erfüllen sie die Ermöglichungsfunktion des Grenzbegriffs: Sie sind dasjenige, von dem die Bestimmungen ausgehen und auf das sie zurückverweisen.

Aber diese Strukturen sind ihrerseits nicht die letzte ontologische Ebene. Sie sind selbst relational konstituiert: durch die experimentellen Verfahren, in denen sie sich manifestieren, durch die mathematischen Formalismen, in denen sie beschrieben werden, durch die theoretischen Rahmen, in denen sie interpretiert werden. Die Symmetriegruppen der Teilchenphysik sind real, aber ihre Realität ist nicht die einer vollständig intrinsischen, relationsunabhängigen Eigenschaft der Wirklichkeit; sie ist die Realität einer Ermöglichungsstruktur, die durch die Wechselwirkung von theoretischer Beschreibung, experimenteller Praxis und physikalischer Wirklichkeit konstituiert wird. Diese Ermöglichungsstruktur entzieht sich vollständiger positiver Fixierung: Es gibt immer mehr Phänomene, die durch eine gegebene strukturelle Beschreibung nicht vollständig erfasst werden, immer neue Strukturen, die aus der Entwicklung der Theorie hervorgehen und die bisherigen Beschreibungen als Näherungen erweisen.

Die grenzontologische Alternative besteht damit in einem strukturellen Realismus mit Überschuss: Strukturen sind real und werden zwischen Theoriewechseln in modifizierter Form erhalten; aber sie sind keine letzten positiven Entitäten, sondern Ermöglichungsgebilde mit immanenter Entzugsdimension. Was die Wissenschaften akkumulieren, ist nicht Wissen über fertige Strukturen, sondern die schrittweise Erschließung von Ermöglichungsstrukturen, die ihrerseits auf tiefere oder reichere Ermöglichungsstrukturen verweisen. Wissenschaftlicher Fortschritt ist in diesem Sinn ein asymptotischer Prozess: nicht die Annäherung an eine vollständige Beschreibung der Wirklichkeit, sondern die fortschreitende Erschließung von Ermöglichungsstrukturen, ohne dass ein Punkt erreicht würde, an dem die Wirklichkeit vollständig positiv fixiert wäre.

Diese Konzeption hat eine unmittelbare Verbindung zu Otts Begriff der prozessualen Reaktionsform. Die Ermöglichungsstrukturen, die die Wissenschaften erschließen, sind nicht statische Objekte, die entdeckt und dann besessen werden; sie sind dynamische Strukturen, die sich in der wissenschaftlichen Praxis entwickeln, transformieren und präzisieren. Die Identität einer Ermöglichungsstruktur – etwa der Symmetriegruppe, die die elektroschwache Wechselwirkung beschreibt – ist nicht ein fertiger, in sich abgeschlossener Sachverhalt, sondern ein Prozess: das fortlaufende Resultat der theoretischen, experimentellen und mathematischen Arbeit, durch die die Struktur erschlossen, modifiziert und vertieft wird.

Wissenschaftliche Strukturen sind prozessual konstituiert, nicht substanzontologisch gegeben.

#### **4.6 Das Problem der Referenz zwischen Theorien: Continuity, Discontinuity und der Überschuss der Phänomene**

Eine der technisch schwierigsten Fragen der Realismusdebatte betrifft die Referenz theoretischer Terme zwischen sukzessiven Theorien. Wenn die Elektronen der klassischen Lorentzschen Elektronentheorie und die Elektronen der Quantenmechanik auf dasselbe referieren – wenn beide Theorien über dieselben Entitäten sprechen –, dann müsste es eine Kontinuität des Referenten geben, die den Theoriwechsel überdauert. Wenn aber die klassische Elektronen-Konzeption und die quantenmechanische Elektronen-Konzeption so verschieden sind, dass von substantieller Kontinuität der Konzeptionen nicht gesprochen werden kann, wie kann dann die Referenz konstant sein?

Die *Causal Theory of Reference*, das vor allem durch Saul Kripke und Hilary Putnam entwickelt wurde, versucht hier eine Antwort: Theoretische Terme referieren nicht durch Beschreibungen, die die Theorie mit dem Gegenstand verbinden, sondern durch kausale Ketten, die die wissenschaftliche Gemeinschaft mit dem Gegenstand verbinden, der durch die initiale Benennung kausal zugänglich gemacht wurde. Die Elektronen, auf die Thomson in seinen Kathodenstrahlexperimenten kausalen Zugang hatte, sind dieselben Elektronen, auf die die Quantenmechanik referiert, auch wenn die konzeptuellen Beschreibungen radikal different sind. Die Referenz wird durch die kausale Verbindung konstant gehalten, nicht durch konzeptuelle Ähnlichkeit.

Diese Antwort ist in der Realismusdebatte breit rezipiert worden, aber sie erzeugt eigenständige philosophische Schwierigkeiten. Was genau ist der Gegenstand, der durch die kausale Kette zugänglich gemacht wird? Wenn die klassische und die quantenmechanische Elektronen-Konzeption so verschieden sind, was verbindet die kausale Kette an ihrem anderen Ende? Der Gegenstand selbst – das Elektron, wie es in sich selbst ist – kann nicht durch eine der Theorien vollständig spezifiziert sein, ohne die Kontinuität bei radikalen Theoriwechseln zu gefährden; er scheint daher ein theorieunabhängiges Relatum zu sein, auf das verschiedene Theorien in verschiedener Weise Bezug nehmen.

Aus der Perspektive der Grenzontologie ist dieser Befund aufschlussreich. Der Gegenstand der kausalen Referenz – das Elektron als solches, unabhängig von allen theoretischen Beschreibungen – ist genau das, was in der Terminologie der Grenzontologie als Ermöglichungsgrund der Bestimmungen beschrieben werden kann: dasjenige, das die theoretischen Bestimmungen ermöglicht und das sie übersteigt, ohne selbst vollständig als bestimmtes Seiendes aufzutreten. Das Elektron an sich – nicht das Elektron der klassischen Lorentzschen Theorie und nicht das Elektron der Quantenmechanik, sondern das Elektron als Ermöglichungsgrund beider Beschreibungen – ist der Überschuss, auf den die kausale Referenz zeigt, ohne ihn vollständig positiv fassen zu können.

Diese Formulierung erklärt sowohl die Stärke als auch die Grenze der *Causal Theory of Reference*. Ihre Stärke liegt darin, dass sie die intuitive Einsicht einfängt, dass verschiedene Theorien über dasselbe sprechen können, auch wenn ihre konzeptuellen Beschreibungen

sehr verschieden sind: Das Sprechen über dasselbe wird durch die Einheit des Ermöglichungsgrundes gesichert, nicht durch die Identität der Beschreibungen. Ihre Grenze liegt darin, dass sie diesen Ermöglichungsgrund als kausal zugängliches Objekt konzipiert, das vollständige positive Bestimmungen hat, die nur noch nicht vollständig bekannt sind. Die grenzontologische Alternative: Der Ermöglichungsgrund der theoretischen Beschreibungen ist kein vollständig bestimmtes Objekt, das auf seine Entdeckung wartet; er ist eine Ermöglichungsstruktur mit immanenter Entzugsdimension, die sich der vollständigen positiven Fixierung strukturell entzieht. Die kausale Referenz zeigt als apophatische Geste auf diesen Ermöglichungsgrund, ohne ihn vollständig positiv zu fassen.

Der Überschuss der Phänomene gegenüber den theoretischen Beschreibungen zeigt sich konkret in der Geschichte der Wissenschaften als die Quelle wissenschaftlichen Fortschritts. Phänomene, die durch eine gegebene Theorie nicht vollständig erklärt werden – Anomalien im Kuhnschen Sinn –, verweisen auf einen Überschuss der Wirklichkeit über die theoretische Beschreibung. Dieser Überschuss ist nicht bloße Unvollständigkeit der Theorie; er ist die Manifestation des Ermöglichungsgrundes, der über die Bestimmungen hinausweist. Die Anomalie, die zur Revolution führt, ist der Ort, an dem die Entzugsdimension des Grenzbegriffs in der wissenschaftlichen Praxis sichtbar wird: Das Phänomen entzieht sich der vollständigen theoretischen Erfassung und erzwingt damit die Entwicklung einer reicheren Ermöglichungsstruktur.

#### **4.7 Wissenschaftlicher Fortschritt unter Bedingungen der Grenzstruktur: Approximation ohne teleologische Schließung**

Die Debatte zwischen kumulativem und revolutionärem Wissenschaftsbild hat eine versteckte gemeinsame Voraussetzung, die durch die Grenzontologie in Frage gestellt wird: die Annahme, dass wissenschaftlicher Fortschritt teleologisch strukturiert ist, dass er also eine Richtung auf ein Ziel hin hat, sei dieses Ziel die vollständige Wahrheit über die Wirklichkeit oder die optimale empirische Adäquatheit.

Das kumulative Bild – in verschiedenen Varianten vertreten durch den kritischen Rationalismus Poppers, der konvergenten Realismus mancher Vertreter der Realismusdebatte und durch Lakatos' Methode wissenschaftlicher Forschungsprogramme – beschreibt wissenschaftlichen Fortschritt als Annäherung an ein Ziel: die wahre Theorie, die die Wirklichkeit vollständig und korrekt beschreibt. Auch wenn dieses Ziel nie vollständig erreicht wird, gibt die teleologische Orientierung dem Fortschritt seine Richtung. Kuhns Bild – in *The Structure of Scientific Revolutions* explizit gegen teleologische Deutungen des Fortschritts gerichtet – beschreibt Fortschritt als Entwicklung hingegen ohne präspezifiziertes Ziel: Wissenschaft entwickelt sich, aber nicht auf ein vorab gegebenes Ziel hin.

Die Grenzontologie gibt Kuhns Intuition eine ontologische Grundlage, die dieser selbst nicht entwickelt hat. Wissenschaftlicher Fortschritt ohne teleologische Schließung ist nicht nur eine deskriptive Beobachtung der Wissenschaftsgeschichte; er ist die strukturelle Konsequenz der Grenzstruktur wissenschaftlicher Bestimmungsleistung. Wenn die Wirklichkeit als Ermöglichungsgrund wissenschaftlicher Bestimmungen einen Überschuss enthält, der sich vollständiger positiver Fixierung entzieht, dann gibt es keinen Endpunkt des wissenschaftlichen Fortschritts, an dem dieser Überschuss eingeholt wäre. Die vollständige

Theorie der Wirklichkeit ist nicht ein Ziel, auf das wissenschaftliche Entwicklung zuläuft; sie ist eine regulatorische Idee, die in der wissenschaftlichen Praxis keine Realisierung finden kann, ohne die Grenzstruktur zu leugnen.

Dies bedeutet nicht, dass wissenschaftlicher Fortschritt kein Fortschritt ist, oder dass alle Theorien gleich gut sind. Es bedeutet, dass Fortschritt präziser als die fortschreitende Erschließung von Ermöglichungsstrukturen beschrieben werden sollte, nicht als Annäherung an eine vollständige Beschreibung der Wirklichkeit. Jede neue Theorie erschließt eine reichere, präzisere, tiefere Ermöglichungsstruktur; sie erfasst Aspekte der Wirklichkeit, die die Vorgängertheorie nicht erfasste; sie ermöglicht Vorhersagen und Erklärungen, die die Vorgängertheorie nicht leisten konnte. Aber sie tut dies, indem sie eine neue Ermöglichungsstruktur konstituiert, die ihrerseits einen Überschuss über ihre eigenen Bestimmungen enthält – einen Überschuss, der die Grundlage weiteren Fortschritts ist.

Wissenschaftlicher Fortschritt ist in diesem Sinn eine offene Prozessualität: eine Entwicklung ohne teleologische Schließung, die keine abschließende Ruheposition kennt, in der die Wirklichkeit vollständig positiv fixiert wäre. Diese Beschreibung entspricht genau der prozessualen Reaktionsform, die Ott als Charakteristikum der vollständig entwickelten Grenzontologie beschreibt: eine Prozessualität, die Identitäten und Strukturen als Resultate von Prozessen begreift, die nie vollständig abgeschlossen werden, weil die Nicht-Identität, die sie konstituiert, immer neue Differenzierungen ermöglicht. Die wissenschaftliche Entwicklung ist die temporale und institutionelle Form dieser prozessualen Offenheit: nicht Annäherung an ein Ziel, sondern fortlaufende Erschließung einer Wirklichkeit, die über jede ihrer Erschließungen hinausweist.

Die Konsequenz für die Realismusdebatte ist eine Position, die weder naiver Realismus noch Antirealismus noch struktureller Realismus in den bekannten Varianten ist: ein grenzontologischer Realismus, der behauptet, dass wissenschaftliche Theorien reale Ermöglichungsstrukturen erschließen, die Bestimmungen von Wirklichkeitsaspekten ermöglichen; dass diese Ermöglichungsstrukturen nicht vollständig positiv bestimmbar sind, sondern immer einen Überschuss enthalten, der über die aktuellen Beschreibungen hinausweist; und dass wissenschaftlicher Fortschritt die fortschreitende Erschließung dieser Ermöglichungsstrukturen ist, ohne einen teleologischen Abschluss in der vollständigen Beschreibung der Wirklichkeit zu kennen. Dies ist kein bescheidener Realismus, der sich mit dem Minimalanspruch begnügt; es ist ein strukturell motivierter Realismus, der die Grenzstruktur der Wirklichkeit als konstitutiv für das Verhältnis zwischen Wissenschaft und Wirklichkeit begreift.

## **V. Theorienreduktion, Emergenz und die Stratifikation von Ermöglichungsebenen**

### **5.1 Die Reduktionsdebatte: Von Nagel zu Kim, von der Brückengesetz-Reduktion zur multiplen Realisierbarkeit**

Die Debatte um Theorienreduktion ist in gewissem Sinn die interne wissenschaftsphilosophische Formulierung derjenigen Frage, die Ott auf der Ebene der Fundamentalontologie als das Verhältnis zwischen Ermöglichungsebene und ermöglichten Ordnungen beschreibt. Wenn die Wirklichkeit in verschiedenen Beschreibungsebenen erschlossen wird – in der Physik, der Chemie, der Biologie, der Psychologie, den

Sozialwissenschaften –, stellt sich die Frage, wie diese Ebenen ontologisch und epistemisch zusammenhängen: Sind höherstufige Beschreibungen im Prinzip auf niedrigerstufige reduzierbar, oder sind sie eigenständig in einem Sinn, der durch Reduktion nicht eingeholt werden kann? Diese Frage berührt die Grenzstruktur an einem wichtigen Punkt: am Verhältnis zwischen der Ermöglichungsstruktur einer Ebene und der Ordnung, die durch sie ermöglicht wird.

Ernest Nagels klassisches Modell der intertheoretischen Reduktion, entwickelt in *The Structure of Science* (1961), beschreibt Reduktion als logische Ableitung: Eine höherstufige Theorie  $T_2$  wird auf eine niedrigerstufige Theorie  $T_1$  reduziert, wenn die Gesetze von  $T_2$  aus den Gesetzen von  $T_1$  zusammen mit Brückengesetzen logisch abgeleitet werden können, die die Terme beider Theorien verknüpfen. Die Thermodynamik wird auf die statistische Mechanik reduziert, indem Temperatur mit mittlerer kinetischer Energie molekularer Bewegung identifiziert wird; die klassische Genetik wird auf die molekulare Biologie reduziert, indem Gene mit DNA-Sequenzen identifiziert werden. Nagels Modell hatte den Vorzug der Präzision: Es machte die Bedingungen der Reduktion explizit und formulierbar.

Die Schwierigkeiten mit diesem Modell wurden schnell sichtbar und sind in der Folgediskussion intensiv analysiert worden. Die Brückengesetze – die Verbindungen zwischen den Termen der höherstufigen und der niedrigerstufigen Theorie – erwiesen sich als philosophisch problematisch. Sind sie empirische Entdeckungen oder logische Wahrheiten? Wenn sie empirische Entdeckungen sind, dann ist die Reduktion kein logisch notwendiges Verhältnis, sondern ein kontingentes; wenn logische Wahrheiten, wie lassen sie sich dann als solche ausweisen? Darüber hinaus setzen sie in der Regel Identitätsthese voraus – Temperatur ist mittlere kinetische Energie –, die selbst erklärungsbedürftig sind und die den Charakter einer wissenschaftlichen Entdeckung haben, nicht einer logischen Konsequenz.

Das entscheidende Gegenargument gegen Nagels Modell, das die Debatte nachhaltig veränderte, formulierte Hilary Putnam mit dem Argument der multiplen Realisierbarkeit. Höherstufige Eigenschaften wie Schmerz, Fitness, Liquidität oder Geldwert sind typischerweise durch eine Vielzahl verschiedener niedrigerstufiger Zustände realisierbar: Schmerz kann durch verschiedene neuronale Zustände in verschiedenen Organisationsformen realisiert sein; Liquidität kann durch verschiedene molekulare Strukturen realisiert sein; Geldwert kann durch Papierscheine, Münzen, Bankkonten oder andere digitale Einträge realisiert sein. Wenn eine höherstufige Eigenschaft durch viele verschiedene niedrigerstufige Zustände realisiert werden kann, dann gibt es kein eindeutiges Brückengesetz, das die höherstufige mit der niedrigerstufigen Beschreibung verbindet; die Disjunktion aller Realisierungsbedingungen wäre kein natürliches Prädikat der niedrigerstufigen Theorie.

Putnams Argument eröffnete den Raum für die funktionalistischen und nicht-reduktiven physikalistischen Positionen, die die Debatte der folgenden Jahrzehnte dominieren sollten. Jaegwon Kim versuchte, das Dilemma zwischen Reduktionismus und nicht-reduktivem Physikalismus durch das Argument der kausalen Ausschlusses zuzuspitzen: Wenn niedrigerstufige physikalische Ereignisse kausal suffizient für ihre Effekte sind, bleibt für die kausale Wirksamkeit höherstufiger Eigenschaften kein Raum, es sei denn, sie werden auf niedrigerstufige Eigenschaften reduziert. Kims Argument erzwingt eine Entscheidung:

entweder Reduktion oder Epiphänomenalismus der höherstufigen Eigenschaften. Beide Optionen erscheinen philosophisch unbefriedigend. Die Debatte hat damit eine Aporie erreicht, die strukturell der Aporie der Realismusdebatte entspricht: Die Positionen pendeln zwischen zwei Extremen, ohne eine stabile Mitte zu finden.

Die Grenzontologie erlaubt, diese Aporie neu zu diagnostizieren und einen Weg aus ihr zu zeigen, der weder Reduktionismus noch Epiphänomenalismus ist.

## **5.2 Ontologische Nicht-Identität und die Konstitution höherstufiger Eigenschaften**

Der Schlüssel zur grenzontologischen Behandlung der Reduktionsdebatte liegt im Begriff der ontologischen Nicht-Identität als drittem Negativitätstyp. Die ontologische Nicht-Identität, wie Ott sie in 2.1 entwickelt, ist die irreduzible innere Differenz, die jeder Identität immanent ist: die Tatsache, dass jede Identität durch Relationen, Kontexte und Bedingungen konstituiert wird, die nicht vollständig in ihr aufgehen. Diese Struktur ermöglicht eine präzise Beschreibung der Konstitution höherstufiger Eigenschaften, die weder auf vollständige Identität mit niedrigerstufigen Eigenschaften noch auf mysteriöse ontologische Eigenständigkeit hinausläuft.

Höherstufige Eigenschaften – Schmerz, Fitness, Temperatur, Liquidität – entstehen in Konstitutionsprozessen, die eine eigene Ermöglichungsstruktur haben, die sich nicht vollständig aus den Ermöglichungsstrukturen der niedrigerstufigen Ebene ergibt. Dies ist nicht die Behauptung einer mysteriösen Emergenz, die das kausale Gefüge der Welt unterbricht; es ist die Behauptung, dass die Konstitutionsprozesse, durch die höherstufige Eigenschaften entstehen, eine interne Differenzstruktur haben, die über die Differenzstruktur der niedrigerstufigen Komponenten hinausweist.

Betrachten wir das Standardbeispiel des Schmerzes. Schmerz ist multipel realisierbar: Er kann durch verschiedene neuronale Zustände in verschiedenen Organisationsformen realisiert sein. Was alle diese Realisierungen gemeinsam haben, ist nicht eine bestimmte niedrigerstufige Eigenschaft, sondern eine funktionale Rolle: die Rolle, durch schädigenden Reiz ausgelöst zu werden, bestimmte Verhaltensreaktionen zu motivieren, und mit anderen mentalen Zuständen in charakteristischer Weise zu interagieren. Die Eigenschaft des Schmerzes ist durch diese funktionale Rolle konstituiert – durch die Relationen, in denen der Zustand zu anderen Zuständen und zur Umwelt des Organismus steht.

In der Terminologie der Grenzontologie: Die Identität der höherstufigen Eigenschaft Schmerz ist durch eine Differenzstruktur konstituiert – die Relationen zu anderen mentalen Zuständen, zu Verhaltensreaktionen, zu schädigenden Reizen –, die nicht vollständig in einer der möglichen niedrigerstufigen Realisierungen enthalten ist. Jede konkrete Realisierung von Schmerz in einem bestimmten Organismus bringt die höherstufige Eigenschaft durch eine spezifische niedrigerstufige Differenzstruktur hervor; aber die höherstufige Eigenschaft selbst – Schmerz als funktionale Kategorie – verweist auf eine Ermöglichungsstruktur, die über jede einzelne Realisierung hinausweist und die durch die Gesamtheit aller Realisierungen nicht vollständig positiv fixiert wird.

Dies ist die ontologische Grundlage der multiplen Realisierbarkeit: nicht bloß die empirische Beobachtung, dass dieselbe höherstufige Eigenschaft durch verschiedene niedrigerstufige

Zustände realisiert werden kann, sondern die strukturelle Einsicht, dass die höherstufige Eigenschaft durch eine Ermöglichungsstruktur konstituiert ist, die die Differenzstruktur jeder einzelnen niedrigerstufigen Realisierung übersteigt. Die Eigenschaft des Schmerzes ist real – sie hat kausale Wirksamkeit, sie erklärt Verhalten, sie ist Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchung –, aber ihre Realität ist die Realität einer Ermöglichungsstruktur mit immanenter Entzugsdimension, nicht die Realität eines vollständig positiv bestimmbar, intrinsisch identifizierbaren niedrigerstufigen Zustands.

Die Konsequenz für Kims Argument des kausalen Ausschlusses lässt sich präzise herausarbeiten. Kims Argument setzt voraus, dass kausale Wirksamkeit an vollständige positive Bestimmtheit gebunden ist: Damit ein höherstufiger Zustand kausal wirksam sein kann, muss er mit einem niedrigerstufigen Zustand identisch sein, dessen kausale Wirksamkeit durch die niedrigerstufige Theorie vollständig beschrieben wird. Die Grenzontologie bestreitet diese Voraussetzung: Kausale Wirksamkeit ist nicht an vollständige positive Bestimmtheit gebunden. Die höherstufige Eigenschaft Schmerz ist kausal wirksam durch die Ermöglichungsstruktur, die sie konstituiert – durch die funktionale Rolle, die sie in der kausalen Ökologie des Organismus spielt. Diese kausale Wirksamkeit ist real, auch wenn die höherstufige Eigenschaft nicht mit einem bestimmten niedrigerstufigen Zustand identisch ist; sie ist die kausale Wirksamkeit der Ermöglichungsstruktur selbst, die sich in verschiedenen niedrigerstufigen Realisierungen manifestiert, ohne mit einer von ihnen identisch zu sein.

### **5.3 Emergenz als grenzontologisches Phänomen: Was die Grenzontologie gegenüber dem eliminativen und dem mysteriösen Emergentismus leistet**

Die Emergenz-Debatte hat sich in den letzten Jahrzehnten zu einer der zentralen Diskussionen der Wissenschaftsphilosophie und Metaphysik entwickelt. Zwei Extrempositionen dominieren das Feld: der eliminative Reduktionismus, der höherstufige Eigenschaften als ontologisch nicht eigenständig behandelt und ihre scheinbare Eigenständigkeit auf Erkenntnisdefizite zurückführt, und der mysteriöse Emergentismus, der höherstufige Eigenschaften als ontologisch radikal neu behandelt, ohne eine philosophisch befriedigende Erklärung ihrer Entstehung aus niedrigerstufigen Prozessen zu liefern. Beide Extrempositionen sind, aus der Perspektive der Grenzontologie, Fehldeutungen der Grenzstruktur.

Der eliminative Reduktionismus – in seiner stärksten Form vertreten durch die eliminative Materialistin Patricia Churchland und in abgeschwächter Form durch die metaphysische Prioritätsthese des Physikalismus – behauptet, dass höherstufige Beschreibungen letztlich durch niedrigerstufige ersetzt werden können und sollen. Alltagspsychologie, Neurobiologie und schließlich Physik bilden eine Hierarchie, in der die höherstufigen Beschreibungen als provisorische Approximationen an die niedrigerstufigen zu verstehen sind. Wenn wir die neuronalen Korrelate vollständig verstehen, wird die Rede von mentalen Zuständen wie Überzeugungen und Wünschen durch Rede über neuronale Zustände ersetzt.

Die grenzontologische Diagnose des eliminativen Reduktionismus entspricht strukturell der Diagnose des naiven Realismus: Er verkennt den Überschuss. Wenn höherstufige Eigenschaften durch eine Ermöglichungsstruktur konstituiert sind, die die Differenzstruktur der niedrigerstufigen Komponenten übersteigt, dann ist die Elimination der höherstufigen

Beschreibungen nicht ein epistemischer Fortschritt, sondern ein ontologischer Verlust: Man verliert die Beschreibung der Ermöglichungsstruktur, die die höherstufigen Phänomene konstituiert, und ersetzt sie durch eine Beschreibung der Komponenten, aus deren Wechselwirkung diese Ermöglichungsstruktur hervorgeht. Beide Beschreibungen sind real und legitim; keine ist durch die andere vollständig ersetzbar, weil jede eine andere Ebene der Grenzstruktur thematisiert.

Der mysteriöse Emergentismus – in dem er starke ontologische Eigenständigkeit höherstufiger Eigenschaften behauptet, ohne eine Erklärung ihrer Entstehung aus niedrigerstufigen Prozessen zu liefern – verkennt die Ermöglichungsdimension. Das Hard Problem of Consciousness, wie David Chalmers es formuliert, hat eine Struktur, die zum mysteriösen Emergentismus einlädt: Die subjektive Qualität der Erfahrung – das Wie-es-ist, auf Englisch die sogenannten *qualia* –, so Chalmers, ist prinzipiell nicht aus funktionalen und physikalischen Beschreibungen erklärbar, weil die funktionale und physikalische Beschreibung immer einen logischen Raum offen lässt, in dem dieselbe Funktion ohne Erfahrung vollzogen werden könnte. Damit wird die Erfahrung zu einem ontologisch radikalen Novum, das aus dem kausalen Gefüge der Welt herausfällt.

Die Grenzontologie erlaubt hier eine differenzierte Reaktion: Das Hard Problem verweist auf eine reale Grenzstruktur: Die subjektive Qualität der Erfahrung entzieht sich vollständiger funktionaler und physikalischer Beschreibung, und diese Entzugsdimension ist nicht durch bessere Beschreibungen auflösbar, sondern strukturell. Aber daraus folgt nicht, dass die Erfahrung ontologisch aus dem kausalen Gefüge der Welt herausfällt. Sie ist durch eine Ermöglichungsstruktur konstituiert, die in den neuronalen Prozessen realisiert ist, ohne mit ihnen identisch zu sein. Die Entzugsdimension bedeutet, dass die vollständige positive Beschreibung der Ermöglichungsstruktur der Erfahrung aus der Perspektive der dritten Person nicht möglich ist; sie bedeutet nicht, dass die Ermöglichungsstruktur unreal oder kausal ineffektiv ist. Das Mysteriöse am Hard Problem ist nicht die Existenz von Erfahrung, sondern die Asymmetrie zwischen der Ermöglichungsstruktur der Erfahrung und den Mitteln ihrer Beschreibung aus der Außenperspektive.

Was die Grenzontologie gegenüber beiden Extrempositionen leistet, ist eine Beschreibung der Emergenz, die weder eliminativ noch mysteriös ist: Höherstufige Eigenschaften entstehen in Konstitutionsprozessen, die eine eigene Ermöglichungsstruktur haben, die die Differenzstruktur der niedrigerstufigen Komponenten übersteigt; diese Ermöglichungsstruktur ist real und kausal wirksam; sie entzieht sich vollständiger positiver Fixierung durch eine niedrigerstufige Beschreibung, ohne deshalb ontologisch aus dem kausalen Gefüge der Welt herauszufallen. Emergenz ist die wissenschaftliche Erscheinungsform der Grenzstruktur auf der Ebene der Beschreibungsebenen-Übergänge.

#### **5.4 Die Stratifikation von Ermöglichungsebenen: Jede Beschreibungsebene als eigenständige Grenzstruktur**

Die Grenzontologie erlaubt eine systematische Konzeption der Stratifikation von Beschreibungsebenen, die über die üblichen Hierarchiemodelle – von der Physik über die Chemie zur Biologie zur Psychologie zu den Sozialwissenschaften – hinausgeht. In diesen Modellen wird die Stratifikation typischerweise als eine Hierarchie der Komplexität beschrieben: Höherstufige Ebenen entstehen durch die zunehmende Komplexität der

Organisation niedrigerstufiger Komponenten. Die Grenzontologie ersetzt dieses Bild durch ein ontologisch tieferes: Jede Beschreibungsebene ist eine eigenständige Grenzstruktur, die ihre eigene Ermöglichungs- und Entzugsdimension hat.

Was bedeutet es, eine Beschreibungsebene als eigenständige Grenzstruktur zu verstehen? Es bedeutet, dass die Entitäten und Eigenschaften einer Beschreibungsebene durch eine Ermöglichungsstruktur konstituiert sind, die aus den Wechselwirkungen der Komponenten der niedrigerstufigen Ebene hervorgeht, ohne vollständig in deren Beschreibungen aufzugehen; und dass diese Ermöglichungsstruktur ihrerseits einen Überschuss enthält, der über die Bestimmungen der jeweiligen Ebene hinausweist und Raum für weitere Differenzierungen und Entwicklungen schafft. Jede Ebene hat damit eine doppelte Grenzstruktur: nach unten, im Verhältnis zur niedrigerstufigen Ebene, aus der sie hervorgeht; und nach oben, im Verhältnis zu möglichen höherstufigeren Organisationsformen, die aus ihr hervorgehen können.

Diese Konzeption erleichtert für das Verständnis von Querschnittsphänomenen, die mehrere Beschreibungsebenen gleichzeitig involvieren. Biologische Evolution ist ein Beispiel: Sie vollzieht sich auf der Ebene der Populationsgenetik, ist aber in den molekularen Mechanismen der DNA-Replikation und -Mutation realisiert, die ihrerseits durch physikalisch-chemische Prozesse ermöglicht werden. Jede dieser Ebenen hat ihre eigene Ermöglichungsstruktur: Die Populationsgenetik beschreibt Selektionsprozesse, die durch die Variation und Vererbung von Merkmalen möglich sind; die molekulare Biologie beschreibt die Mechanismen, durch die Merkmale vererbt und variiert werden; die Physikochemie beschreibt die molekularen Wechselwirkungen, die diese Mechanismen ermöglichen. Keine dieser Ebenen ist durch die andere vollständig ersetzbar; jede thematisiert eine eigene Ermöglichungsstruktur, die über die Beschreibungen der anderen Ebene hinausweist.

Die Stratifikation von Ermöglichungsebenen impliziert auch, dass wissenschaftliche Reduktionen eine spezifische epistemische Funktion haben, die weder die vollständige Ersetzung der höherstufigen Beschreibung noch ihre bloße Ergänzung durch niedrigerstufige Information ist. Reduktion im Sinn der Grenzontologie ist die Erschließung der Ermöglichungsstruktur einer höherstufigen Eigenschaft in den Prozessen der niedrigerstufigen Ebene: Sie zeigt, wie die Ermöglichungsstruktur der höherstufigen Eigenschaft durch die Wechselwirkungen niedrigerstufiger Komponenten realisiert wird, ohne zu behaupten, dass die höherstufige Beschreibung damit überflüssig wird. Die Reduktion der Genetik auf die Molekularbiologie erschließt, wie Vererbung durch DNA-Prozesse realisiert wird; sie macht die Kategorie des Gens nicht überflüssig, weil das Gen als Ermöglichungsstruktur für Phänomene der Vererbung, Variation und Selektion eine eigenständige erklärende Funktion hat, die durch die molekulare Beschreibung nicht vollständig abgedeckt wird.

## **5.5 Mechanismen-Erklärungen (Machamer, Darden, Craver) und ihre ontologische Grundlage**

In der Wissenschaftsphilosophie der letzten zwei Jahrzehnte hat die mechanistische Erklärung – entwickelt vor allem durch Peter Machamer, Lindley Darden und Carl Craver in ihrem einflussreichen Aufsatz *Thinking about Mechanisms* (2000) und elaboriert durch Cravers *Explaining the Brain* (2007) – eine dominante Stellung in der Debatte um

wissenschaftliche Erklärung eingenommen. Das mechanistische Modell beschreibt wissenschaftliche Erklärungen als Beschreibungen von Mechanismen: organisierten Konfigurationen von Entitäten und Aktivitäten, die zusammenwirken, um ein Phänomen zu produzieren. Ein Mechanismus erklärt ein Phänomen, indem er die Komponenten identifiziert, die das Phänomen produzieren, die Aktivitäten dieser Komponenten beschreibt, und die Organisation zeigt, durch die die Aktivitäten der Komponenten zusammenwirken.

Das mechanistische Modell hat erhebliche Vorzüge gegenüber dem Nagel-Modell: Es erklärt, warum wissenschaftliche Erklärungen typischerweise nicht die Form logischer Ableitungen haben, es macht die Rolle experimenteller Eingriffe in der Erklärungspraxis verständlich und es gibt ein plausibles Bild der ebenenübergreifenden Erklärung, bei der höherstufige Phänomene durch niedrigerstufige Mechanismen erklärt werden.

Die Grenzontologie gibt dem mechanistischen Erklärungsmodell eine ontologische Grundlage, die Machamer, Darden und Craver selbst nicht vollständig ausarbeiten. Was ist ein Mechanismus ontologisch? Das Modell beschreibt Mechanismen als Konfigurationen von Entitäten und Aktivitäten; aber es bleibt die Frage, was diese Konfigurationen als Konfigurationen konstituiert, was die Organisation des Mechanismus ontologisch ausmacht.

Die grenzontologische Antwort: Die Organisation eines Mechanismus ist eine Ermöglichungsstruktur. Sie ist dasjenige, durch das die Aktivitäten der Komponenten als Einheit zusammenwirken, um das Phänomen zu produzieren; und diese Einheit ist nicht vollständig in den Eigenschaften der Komponenten enthalten, sondern übersteigt sie als die Ermöglichungsstruktur ihres koordinierten Wirkens. Ein Mechanismus ist in dieser Sicht nicht die bloße Summe seiner Komponenten und Aktivitäten; er ist die Ermöglichungsstruktur, durch die die Komponenten und Aktivitäten als Einheit konstituiert werden. Diese Ermöglichungsstruktur ist real und kausal wirksam; sie ist das, was das Phänomen erklärt, nicht die Summe der Komponenten als solche.

Dies hat unmittelbare Konsequenzen für das Verständnis der Grenzen mechanistischer Erklärung. Craver unterscheidet zwischen *constitutive* und *etiological mechanisms*: konstituierende Mechanismen erklären, was ein Phänomen ist, durch seine Bestandteile; ätiologische Mechanismen erklären, wie ein Phänomen hervorgerufen wird, durch seine Ursachen. Die Grenzontologie zeigt, dass beide Typen von Mechanismen auf eine Ermöglichungsstruktur verweisen, die über ihre explizite Beschreibung hinausweist: Die Beschreibung der Bestandteile und ihrer Aktivitäten erschöpft nicht die Ermöglichungsstruktur, durch die sie als Mechanismus konstituiert werden. Es gibt immer mehr in einem Mechanismus als die vollständige Beschreibung seiner Bestandteile; dieser Überschuss ist die Quelle wissenschaftlicher Innovationen, die neue Aspekte des Mechanismus erschließen.

Ein Beispiel: Der Mechanismus der synaptischen Transmission im Nervensystem ist in seinen Komponenten und Aktivitäten – Neurotransmitter, Rezeptoren, Ionenkanäle, postsynaptische Potentiale – gut beschrieben. Aber die Ermöglichungsstruktur dieses Mechanismus – das, was die Transmission als Information-übertragendes Ereignis in einem neuronalen Netz konstituiert – ist durch die Beschreibung der Komponenten nicht vollständig erfasst. Die höherstufigen Eigenschaften, die durch synaptische Transmission ermöglicht werden – Wahrnehmung, Kognition, Handlungsplanung –, verweisen auf

Ermöglichungsstrukturen, die die Mechanismus-Beschreibung übersteigen, ohne dass die Mechanismus-Beschreibung überflüssig würde. Die Ermöglichungsstrukturen verschiedener Ebenen sind aufeinander angewiesen, ohne ineinander aufzugehen.

### **5.6 Das Problem der mentalen Kausalität: Supervenienz, Determination und der Überschuss des Mentalen**

Das Problem der mentalen Kausalität ist dasjenige Spezialproblem der Reduktionsdebatte, das die Grenzontologie mit besonderer Schärfe auf die Probe stellt. Jaegwon Kims einflussreiches Argument des kausalen Ausschlusses besagt: Wenn mentale Eigenschaften auf physikalische supervenieren – wenn keine mentale Veränderung ohne physikalische Veränderung möglich ist –, und wenn physikalische Ereignisse kausal suffizient für ihre physikalischen Effekte sind, dann bleibt für die kausale Wirksamkeit mentaler Eigenschaften kein Spielraum, es sei denn, sie werden auf physikalische Eigenschaften reduziert. Nicht-reduktiver Physikalismus – die Position, dass mentale Eigenschaften real und kausal wirksam sind, ohne mit physikalischen Eigenschaften identisch zu sein – ist danach inkohärent: Er behauptet kausale Wirksamkeit für Eigenschaften, die ontologisch nicht eigenständig genug sind, um kausal wirksam zu sein.

Kims Argument hat eine Reihe von Antworten provoziert, von denen keine allgemein als überzeugend gilt. Die grenzontologische Antwort unterscheidet sich von den üblichen, weil sie nicht auf der Ebene der kausalen Begrifflichkeit operiert, die Kims Argument voraussetzt, sondern diese Begrifflichkeit selbst in Frage stellt.

Kims Argument setzt ein Bild kausaler Wirksamkeit voraus, das der naiven positiven Ontologie entspricht: Kausale Wirksamkeit ist an vollständige positive Bestimmtheit gebunden; ein Ereignis oder eine Eigenschaft ist kausal wirksam, wenn und nur wenn es vollständig bestimmt ist, was seine kausale Rolle konstituiert. In diesem Bild ist die kausale Wirksamkeit höherstufiger Eigenschaften bedroht, weil ihre vollständige Bestimmtheit nicht unabhängig von der Bestimmtheit niedrigerstufiger Eigenschaften ist.

Die Grenzontologie bestreitet die Voraussetzung: Kausale Wirksamkeit ist nicht an vollständige positive Bestimmtheit gebunden. Die Ermöglichungsstruktur einer höherstufigen Eigenschaft ist kausal wirksam durch dieselbe Struktur, durch die sie die höherstufige Eigenschaft konstituiert – durch die Relationen, in denen die Eigenschaft zu anderen Eigenschaften und zur Umwelt des Trägers steht. Diese Ermöglichungsstruktur ist real und kausal wirksam, auch wenn sie nicht mit einer bestimmten niedrigerstufigen Eigenschaft identisch ist; ihre kausale Wirksamkeit ist die kausale Wirksamkeit der Ermöglichungsstruktur als solcher, die sich in verschiedenen niedrigerstufigen Realisierungen manifestiert.

Der Überschuss des Mentalen gegenüber jeder vollständigen physikalischen Beschreibung ist in diesem Sinn nicht die Quelle einer Kausalitäts-Lücke, die durch eliminativen Reduktionismus gefüllt werden müsste; er ist die Ermöglicungsdimension des Mentalen, durch die mentale Eigenschaften eine eigenständige kausale Rolle spielen können, die nicht vollständig durch die Beschreibung ihrer physikalischen Realisierungen erfasst wird. Die Überzeugung, dass es regnet, verursacht das Mitnehmen eines Regenschirms nicht durch die spezifischen neuronalen Zustände, in denen sie realisiert ist, sondern durch ihre

Funktion als Überzeugung: durch die Relationen, in denen sie zu anderen mentalen Zuständen, zu Zielen und Handlungsabsichten steht. Diese funktionale Struktur ist die Ermöglichungsstruktur der mentalen Kausalität; sie ist kausal wirksam durch die Relation, die sie zwischen der Überzeugung und der Handlung konstituiert, unabhängig von der spezifischen niedrigerstufigen Realisierung.

Dies ist keine Mystifizierung der mentalen Kausalität, sondern ihre präzise Beschreibung aus der Perspektive der Grenzontologie. Die mentale Kausalität ist die kausale Wirksamkeit der Ermöglichungsstruktur des Mentalen: real, nicht-reduktiv, nicht-mysteriös.

### **5.7 Biologische Funktion, Zweckmäßigkeit und die prozessuale Dimension der Lebensformen**

Die Biologie stellt der Reduktionsdebatte ein Problem, das in seiner Eigenart über die Debatten um mentale Kausalität hinausgeht: das Problem der biologischen Funktion und Zweckmäßigkeit. Biologische Entitäten – Organe, Verhaltensweisen, molekulare Mechanismen – haben Funktionen in einem Sinn, der für die Physik und Chemie keine direkte Entsprechung hat. Das Herz hat die Funktion, Blut zu pumpen; die Niere hat die Funktion, Abfallprodukte zu filtern; das Immunsystem hat die Funktion, Pathogene abzuwehren. Diese Zuschreibungen von Funktion und Zweckmäßigkeit sind nicht bloß subjektive Projektionen menschlicher Zwecke auf die Natur; sie sind konstitutiv für biologische Erklärungen und für die Abgrenzung des Normalen vom Pathologischen.

Die philosophische Schwierigkeit besteht darin, biologische Funktion zu erklären, ohne auf teleologische Begriffe zurückzugreifen, die dem physikalischen Bild einer kausal geschlossenen Welt fremd erscheinen. Die wichtigsten Ansätze – Wrights ätiologische Theorie, nach der die Funktion eines Merkmals dasjenige ist, wofür es durch natürliche Selektion selektiert wurde, Cummins' Kapazitätstheorie, nach der die Funktion eines Merkmals seine Rolle in einem umfassenderen System ist und neuere dispositionelle oder normative Theorien – haben alle spezifische Schwächen, auf die in der Debatte hingewiesen wurde.

Die Grenzontologie erlaubt hier eine Beschreibung biologischer Funktion, die die prozessuale Reaktionsform auf die Lebensformen anwendet. Biologische Entitäten sind in einem spezifischen Sinn prozessual konstituiert: Ihre Identität ist nicht durch intrinsische Eigenschaften gegeben, sondern durch ihre Rolle in den Prozessen des Lebens – den Prozessen des Metabolismus, der Reproduktion, der Entwicklung, der Reaktion auf die Umwelt. Eine biologische Struktur ist das, was sie ist, durch ihre Funktion in diesen Prozessen; und diese Funktion ist keine intrinsische Eigenschaft der Struktur, sondern eine relational und prozessual konstituierte Eigenschaft.

In diesem Sinn ist biologische Funktion die Manifestation der prozessualen Reaktionsform auf der Ebene des Lebendigen. Die Funktion des Herzens, Blut zu pumpen, ist nicht eine intrinsische Eigenschaft des Herzgewebes; sie ist die Rolle, die das Herz in den zirkulatorischen Prozessen des Organismus spielt, durch die es als Herz konstituiert wird. Diese prozessuale Konstitution ist normativ: Das Herz funktioniert richtig, wenn es diese Rolle in der beschriebenen Weise spielt; es funktioniert schlecht oder ist krank, wenn es diese Rolle nicht oder nur unvollständig spielt. Die Normativität ist nicht extern

aufgezwungen; sie folgt aus der prozessualen Konstitution der biologischen Entität durch ihre Funktion.

Dieser Befund verweist auf eine enge Verbindung zwischen der prozessualen Reaktionsform und der Biologie als Wissenschaft. Wenn biologische Entitäten prozessual konstituiert sind – wenn ihre Identität durch ihre Rolle in den Lebensprozessen bestimmt ist, nicht durch intrinsische Eigenschaften –, dann hat die Biologie als Wissenschaft strukturell eine prozessontologische Grundlage: Sie beschreibt keine Substanzen mit intrinsischen Eigenschaften, sondern Prozesse, in denen Strukturen durch ihre funktionalen Rollen konstituiert werden. Die Spannung zwischen dem physikalisch-chemischen Bild einer substantiellen Welt und dem biologischen Bild einer funktional-prozessualen Welt ist damit nicht ein bloßes Beschreibungsproblem, sondern die wissenschaftliche Erscheinungsform der Spannung zwischen naiver positiver Ontologie und Grenzontologie.

Die prozessuale Dimension der Lebensformen hat darüber hinaus eine Konsequenz für das Verständnis biologischer Evolution, die die grenzontologische Perspektive über die Debatte um Reduktion und Emergenz hinausführt. Evolution ist kein Prozess, der auf ein teleologisches Ziel zuläuft – auf optimale Anpassung, auf maximale Fitness, auf irgendeinen anderen vorselektierten Endzustand. Sie ist eine offene Prozessualität: eine Entwicklung ohne präspezifiziertes Ziel, die Neuheit produziert, ohne diese Neuheit vorab zu determinieren. Die Ermöglichungsstruktur der Evolution – die Variation, Vererbung und Selektion von Merkmalen in Populationen unter Umweltbedingungen – enthält immer mehr als die aktuellen Formen, die sie hervorgebracht hat; sie ermöglicht immer neue Formen, die aus den aktuellen nicht vollständig vorhersagbar sind. Dies ist die prozessuale Offenheit, die Ott als Charakteristikum der vollständig entwickelten Grenzontologie beschreibt, auf der Ebene des biologischen Lebens: eine Ermöglichungsstruktur, die Neues produziert, ohne teleologisch geschlossen zu sein.

Die Stratifikation von Ermöglichungsebenen, die dieser Abschnitt entwickelt hat, ist damit nicht nur eine Lösung des Reduktionsproblems, sondern eine positive Beschreibung der ontologischen Architektur, durch die die Wissenschaften in ihrer Vielheit die Wirklichkeit in ihrer Vielheit erschließen. Jede Wissenschaft erschließt eine oder mehrere Ermöglichungsebenen mit ihrer spezifischen Grenzstruktur; keine erschöpft die Wirklichkeit; alle sind aufeinander angewiesen, ohne ineinander aufzugehen. Diese Architektur ist die wissenschaftliche Form der Doppelfunktion des Grenzbegriffs: Die Ermöglichungsstrukturen ermöglichen Bestimmungen auf ihrer Ebene und entziehen sich vollständiger positiver Fixierung durch Reduktion auf eine andere Ebene. Reduktion ist die Erschließung der Ermöglichungsstruktur einer höherstufigen Eigenschaft in den Prozessen der niedrigerstufigen Ebene; Emergenz ist die Tatsache, dass diese Ermöglichungsstruktur durch die niedrigerstufige Beschreibung nicht vollständig positiv fixiert wird.

## **VI. Idealisierung, Modellbildung und der Überschuss der Wirklichkeit**

### **6.1 Das Problem der Idealisierung in der aktuellen Wissenschaftsphilosophie: Cartwright, Giere, Frigg, Weisberg**

Die Wissenschaftsphilosophie der letzten drei Jahrzehnte hat sich mit einer Beobachtung konfrontiert gesehen, die das klassische Bild wissenschaftlicher Erkenntnis erheblich

kompliziert: Wissenschaftliche Modelle stellen die Wirklichkeit nicht direkt und vollständig dar. Sie idealisieren, abstrahieren, vereinfachen und verzerren auf eine Weise, die philosophisch erklärungsbedürftig ist. Das ideale Gas hat keine intermolekularen Wechselwirkungen; die reibungslose Ebene existiert nirgends; die vollständig elastische Kollision ist eine Fiktion; der vollkommene Wettbewerb der Mikroökonomik setzt Bedingungen voraus, die in keiner realen Wirtschaft erfüllt sind. Und dennoch sind die Theorien und Modelle, die auf diesen Idealisierungen beruhen, wissenschaftlich außerordentlich produktiv: Sie ermöglichen Vorhersagen, Erklärungen, technologische Anwendungen und weitere Forschung.

Das philosophische Problem ist nicht die Tatsache der Idealisierung als solche – das war schon immer bekannt –, sondern die Frage nach ihrer epistemologischen und ontologischen Bedeutung. Wenn Modelle die Wirklichkeit nicht direkt darstellen, was stellen sie dann dar? Wie können falsche Beschreibungen zu echtem Wissen führen? Und was sagt die ubiquitäre Praxis der Idealisierung über das Verhältnis zwischen wissenschaftlicher Theorie und der Wirklichkeit aus, die die Theorie zu beschreiben beansprucht?

Nancy Cartwright hat in *How the Laws of Physics Lie* (1983) die radikalste Diagnose formuliert: Die fundamentalen Gesetze der Physik – die Gesetze, die in wissenschaftlichen Modellen verwendet werden – sind buchstäblich falsch als Beschreibungen der Wirklichkeit. Sie beschreiben nicht, wie sich Dinge tatsächlich verhalten, sondern wie sie sich unter idealisierten, vollständig kontrollierten Bedingungen verhalten würden, die in der Natur nicht realisiert sind. Was real ist, sind nach Cartwright nicht die Gesetze, sondern die kausalen Kapazitäten der Dinge – ihre dispositionellen Eigenschaften, die sich in konkreten Situationen in Abhängigkeit von anderen Kapazitäten manifestieren. Die Gesetze sind *phenomenological laws*: Beschreibungen regulärer Phänomene unter standardisierten Bedingungen, nicht fundamentale Aussagen über die Natur der Dinge.

Ronald Giere entwickelt in *Science Without Laws* (1999) und *Scientific Perspectivism* (2010) eine andere Antwort: Modelle sind keine Beschreibungen der Wirklichkeit, sondern Konstrukte, die mit der Wirklichkeit durch eine Ähnlichkeitsrelation verbunden sind. Wissenschaftler behaupten nicht, dass ihre Modelle wahr sind; sie behaupten, dass ein gegebenes Modell der Wirklichkeit in bestimmten Hinsichten und bis zu einem bestimmten Grad ähnlich ist. Diese perspektivistische Konzeption vermeidet den naiven Realismus, ohne in den Antirealismus zu verfallen: Modelle sind real als kognitive Konstrukte, und ihre Ähnlichkeit zur Wirklichkeit ist real, auch wenn sie nie vollständig ist.

Roman Frigg entwickelt in seinem DEKI-Account (Denotation, Exemplification, Keying-up, Imputation) eine symboltheoretische Konzeption der Modellrepräsentation: Modelle repräsentieren durch eine komplexe Struktur von Bezeichnung und Exemplifikation, die es ermöglicht, Eigenschaften des Modells auf die Wirklichkeit zu übertragen, ohne direkte strukturelle Isomorphie vorauszusetzen. Michael Weisberg unterscheidet in *Simulation and Similarity* (2013) zwischen verschiedenen Modelltypen und den Ähnlichkeitsrelationen, durch die sie mit ihren Zielsystemen verbunden sind, und entwickelt damit eine differenzierte Taxonomie der Modellierungspraktiken.

Diese verschiedenen Ansätze teilen eine gemeinsame Problemdiagnose: Die Praxis der wissenschaftlichen Modellbildung lässt sich nicht durch das klassische Bild wahrer

Beschreibungen oder direkter Repräsentation erfassen. Aber keiner dieser Ansätze gibt eine vollständig befriedigende Antwort auf die ontologische Frage: Was ist die Wirklichkeit, die die Modelle auf verschiedene Weisen, in verschiedenen Graden, unter verschiedenen Aspekten erschließen? Die Grenzontologie gibt auf diese Frage eine Antwort, die die bestehenden Ansätze nicht ersetzen, sondern philosophisch fundieren kann.

## **6.2 Idealisierung als strukturelle Notwendigkeit, nicht als epistemisches Defizit**

Der entscheidende Schritt, den die Grenzontologie in der Idealisierungsdebatte ermöglicht, ist die Verschiebung der Idealisierung vom Status eines epistemischen Defizits in den Status einer strukturellen Notwendigkeit. Diese Verschiebung ist nicht terminologisch, sondern ontologisch; sie verändert die Fragestellung.

In den meisten wissenschaftsphilosophischen Behandlungen der Idealisierung wird diese implizit als epistemisches Defizit konzipiert: als eine Unvollständigkeit der Beschreibung, die aus pragmatischen Gründen – begrenzter Rechenkapazität, unzureichender Datenlage, Komplexität der Phänomene – in Kauf genommen wird, die aber im Prinzip durch vollständigere Beschreibungen überwunden werden könnte. Das ideale Gas ist eine Näherung an das reale Gas; die Reibungslosigkeit der Ebene ist eine Vereinfachung, die durch Einführung von Reibungskoeffizienten korrigiert werden kann; der vollkommene Wettbewerb ist ein Grenzfall realer Märkte. In diesem Bild ist Idealisierung ein Provisorium: nützlich für pragmatische Zwecke, aber prinzipiell durch vollständigere Beschreibungen ersetzbar.

Die Grenzontologie zeigt, dass dieses Bild philosophisch unzutreffend ist. Wenn die Wirklichkeit als Ermöglichungsgrund wissenschaftlicher Bestimmungen einen Überschuss enthält, der sich vollständiger positiver Fixierung strukturell entzieht, dann ist jede wissenschaftliche Beschreibung notwendig selektiv: Sie wählt bestimmte Aspekte der Ermöglichungsstruktur aus, abstrahiert von anderen, und gewinnt damit Beschreibungen, die partiell präzise sind, ohne den Anspruch zu erheben, die Wirklichkeit erschöpfend zu erfassen. Die Vollständigkeit, auf die die Beschreibungen im provisorischen Bild zulaufen sollen, ist strukturell nicht erreichbar: nicht weil unsere epistemischen Mittel endlich sind, sondern weil die Wirklichkeit als Ermöglichungsstruktur immer mehr enthält als jede ihrer Bestimmungen.

Idealisierung ist in diesem Verständnis keine Annäherung an eine vollständige Beschreibung, die im Prinzip möglich wäre; sie ist die notwendige Form, in der wissenschaftliche Bestimmungen die Wirklichkeit erschließen. Jede wissenschaftliche Beschreibung ist eine Idealisierung, weil jede Beschreibung aus dem Überschuss der Wirklichkeit über ihre Bestimmungen bestimmte Aspekte herausgreift und andere außer Acht lässt. Diese Selektion ist nicht willkürlich; sie wird durch wissenschaftliche Zwecke, durch die Struktur der Phänomene, durch die verfügbaren theoretischen Mittel und durch die experimentellen Praktiken geleitet. Aber sie ist immer eine Selektion: immer ein Herausgreifen aus einem Ermöglichungsgrund, der über das Herausgegriffene hinausweist.

Wenn Idealisierung jedoch strukturell notwendig ist, dann ist wissenschaftlicher Fortschritt nicht die sukzessive Eliminierung von Idealisierungen durch vollständigere Beschreibungen; er ist die Entwicklung reicherer, präziserer, tiefer greifender Idealisierungen, die mehr

Aspekte des Überschusses der Wirklichkeit erschließen. Die Ablösung des idealen Gases durch Van-der-Waals-Gase ist kein Schritt hin zur vollständigen Beschreibung des realen Gases; sie ist die Erschließung einer tieferen Ermöglichungsstruktur, die die intermolekularen Wechselwirkungen in die Beschreibung integriert, ohne damit alle weiteren relevanten Aspekte des realen Gases zu erfassen. Der wissenschaftliche Fortschritt ist ein offener Prozess der Vertiefung, nicht der Vervollständigung.

### **6.3 Ceteris-paribus-Gesetze und die Ermöglichungsdimension der Kapazitäten (Cartwright)**

Nancy Cartwrights Diagnose des Problems wissenschaftlicher Gesetze – dass die fundamentalen Gesetze der Physik buchstäblich falsch sind als Beschreibungen der Wirklichkeit, weil sie nur unter Ceteris-paribus-Bedingungen gelten und in der Natur die entsprechenden Idealbedingungen nie vollständig realisiert sind – ist aus der Perspektive der Grenzontologie teilweise korrekt und teilweise zu einseitig.

Korrekt ist die Beobachtung, dass wissenschaftliche Gesetze ceteris paribus gelten: Sie beschreiben, wie Dinge sich verhalten würden, wenn alle anderen relevanten Faktoren konstant gehalten oder eliminiert werden könnten. Das Newtonsche Gravitationsgesetz beschreibt die gegenseitige Anziehungskraft zweier Massen; in realen Situationen ist diese Anziehungskraft durch elektromagnetische, starke und schwache Wechselwirkungen, durch die Anwesenheit anderer Massen und durch eine Vielzahl weiterer Faktoren überlagert. Das Gesetz gilt buchstäblich nur unter idealisierten Bedingungen, die in der Natur nicht vollständig realisiert sind.

Cartwrights positive Antwort – die kausalen Kapazitäten – beschreibt, was das Gravitationsgesetz tatsächlich erfasst: nicht das Verhalten von Massen in komplexen realen Situationen, sondern die kausale Kapazität der Masse, durch Gravitation auf andere Massen zu wirken. Diese Kapazität ist real; sie manifestiert sich in allen Situationen, in denen Massen zusammenwirken, auch wenn ihre Manifestation durch andere Kapazitäten überlagert und modifiziert wird. Das Gravitationsgesetz beschreibt diese Kapazität unter idealisierten Bedingungen, die ihre ungestörte Manifestation ermöglichen.

Die grenzontologische Analyse vertieft Cartwrights Konzeption. Die kausalen Kapazitäten, die Cartwright beschreibt, sind in der Terminologie der Grenzontologie Ermöglichungsstrukturen: Strukturen, die bestimmte kausale Wirkungen ermöglichen und die ihrerseits von einem Überschuss getragen werden, der sich vollständiger positiver Fixierung entzieht. Die Kapazität der Masse zur gravitativen Wechselwirkung ist eine Ermöglichungsstruktur: Sie ermöglicht die gravitativen Effekte, die das Gravitationsgesetz beschreibt, ohne selbst vollständig durch das Gesetz erfasst zu werden. Das Gesetz beschreibt die Kapazität unter idealisierten Bedingungen; unter realen Bedingungen manifestiert sich die Kapazität in Wechselwirkung mit anderen Kapazitäten, und die resultierende Wirkung ist das komplexe Resultat dieser Wechselwirkungen.

Cartwrights Konzeption der kausalen Kapazitäten bleibt jedoch an einem entscheidenden Punkt unvollständig: Sie gibt keine Antwort auf die Frage, was die Kapazitäten ihrerseits konstituiert und was ihre Eigenständigkeit gegenüber den Gesetzen ontologisch fundiert. Die grenzontologische Ergänzung: Kausale Kapazitäten sind Ermöglichungsstrukturen mit

immanenter Entzugsdimension. Was die Masse zur gravitativen Wechselwirkung befähigt, ist eine Ermöglichungsstruktur, die nicht vollständig durch das Gravitationsgesetz oder durch seine Modifikationen erfasst werden kann; es gibt immer mehr in der gravitativen Kapazität der Masse, als das Gesetz beschreibt, und dieser Überschuss ist die Quelle weiterer wissenschaftlicher Differenzierungen – der allgemeinen Relativitätstheorie, der Quantengravitation, der zukünftigen Theorien. Die ceteris-paribus-Klausel ist die explizite Anerkennung dieses Überschusses: Sie markiert, dass die Beschreibung der Kapazität unter idealisierten Bedingungen eine Selektion aus einem reicheren Ermöglichungsgrund ist.

#### **6.4 Modelle als Grenzobjekte: Repräsentation ohne vollständige Positivierung**

In der Terminologie der Grenzontologie können wissenschaftliche Modelle als Grenzobjekte charakterisiert werden: als Objekte, die auf eine Ermöglichungsstruktur verweisen, ohne sie vollständig positiv zu fixieren. Diese Charakterisierung beschreibt die ontologische Funktion, die Modelle in der wissenschaftlichen Praxis erfüllen.

Ein wissenschaftliches Modell – das ideale Gas, das Bohr-Modell des Atoms, das Lotka-Volterra-Modell der Räuber-Beute-Dynamik, das Solow-Modell des Wirtschaftswachstums – beschreibt nicht direkt die Wirklichkeit. Es konstruiert ein System – ein idealisiertes, vereinfachtes, in spezifischen Hinsichten der Wirklichkeit ähnliches System –, mit dem ein reales Zielsystem verglichen, von dem Vorhersagen über das Zielsystem abgeleitet und durch das Phänomene des Zielsystems erklärt werden können. Das Modell ist das Grenzobjekt, das die Verbindung zwischen der theoretischen Beschreibung und der Ermöglichungsstruktur der Wirklichkeit herstellt.

Was Modelle als Grenzobjekte auszeichnet, ist ihre doppelte Funktion: Sie ermöglichen Bestimmungen – sie erlauben präzise Vorhersagen, Erklärungen, Interventionen –, und sie verweigern die vollständige positive Fixierung der Wirklichkeit, auf die sie verweisen. Diese Entzugsdimension zeigt sich in der Tatsache, dass kein Modell alle Aspekte seines Zielsystems erfasst: Das ideale Gas-Modell erfasst Druck, Volumen und Temperatur, aber nicht intermolekulare Wechselwirkungen, nicht Quanteneffekte, nicht die Geschichte der Gasmoleküle. Diese Nicht-Vollständigkeit ist die strukturelle Konsequenz der Entzugsdimension der Ermöglichungsstruktur des realen Gases: Die Ermöglichungsstruktur des realen Gases enthält immer mehr als das Modell beschreibt.

Die Grenzobjekt-Charakterisierung von Modellen erlaubt es, eine Unterscheidung zu treffen, die in der Modellierungsdebatte oft unklar bleibt: die Unterscheidung zwischen dem Modell als Werkzeug der Bestimmung und dem Modell als Verweis auf eine Ermöglichungsstruktur. Als Werkzeug der Bestimmung ist das Modell ein Konstrukt, das von Wissenschaftlern für bestimmte Zwecke erstellt und eingesetzt wird; seine Adäquatheit wird an seinem Zweck gemessen. Als Verweis auf eine Ermöglichungsstruktur ist das Modell ein Grenzobjekt, das auf die Wirklichkeit zeigt, die es ermöglicht und die es übersteigt; seine Adäquatheit wird an der Fähigkeit gemessen, auf die Ermöglichungsstruktur zu verweisen, ohne sie vollständig positiv zu fixieren.

Diese doppelte Charakterisierung erklärt eine Beobachtung, die in der Modellierungsdebatte schwer zu erklären ist: die Tatsache, dass Modelle produktiv sind, auch wenn sie falsch sind. Das Phlogiston-Modell der Verbrennung war falsch, aber es war produktiv: Es strukturierte

die Forschung über Verbrennung so, dass die Entdeckung des Sauerstoffs möglich wurde. Das Bohr-Modell des Atoms ist im Licht der Quantenmechanik falsch, aber es ist produktiv: Es zeigt auf eine Ermöglicungsstruktur des Atoms – die diskrete Energieniveaus und die Emission von Licht bestimmter Frequenzen –, die durch die Quantenmechanik präziser beschrieben, aber durch sie nicht vollständig ersetzt wird; das Bohr-Modell ist nach wie vor in spezifischen Kontexten ein nützliches Grenzobjekt. Die Produktivität falscher Modelle ist kein Rätsel, wenn Modelle als Grenzobjekte verstanden werden: Sie verweisen auf Ermöglicungsstrukturen, die durch verschiedene, einander ablösende Grenzobjekte zunehmend präziser, aber nie vollständig erschlossen werden.

### **6.5 Das Verhältnis zwischen Modell und Phänomen: Ähnlichkeit, Abbildung, Verweisung**

Die bestehenden Theorien des Verhältnisses zwischen Modell und Wirklichkeit – Ähnlichkeit (Giere), strukturelle Isomorphie (van Fraassen), Exemplifikation und Imputation (Frigg) – erfassen je eine Dimension dieses Verhältnisses, ohne die vollständige Struktur zu beschreiben. Die Grenzontologie erlaubt eine Integration, die die Stärken der verschiedenen Ansätze verbindet und ihre jeweiligen Schwächen überwindet.

Gieres Ähnlichkeitskonzeption hat den Vorzug, dass sie intuitiv plausibel und wissenschaftsnah ist: Wissenschaftler urteilen tatsächlich darüber, in welchen Hinsichten und bis zu welchem Grad ihre Modelle ihrer Wirklichkeit ähnlich sind. Ihre Schwäche liegt darin, dass Ähnlichkeit eine vage Relation ist, die ohne weitere Spezifikation wenig erklärt: Alle Dinge sind einander in gewissen Hinsichten ähnlich; was macht die Ähnlichkeit zwischen einem Modell und seinem Zielsystem philosophisch signifikant? Gieres Antwort – Wissenschaftler spezifizieren die Hinsichten und Grade der Ähnlichkeit, die für ihre Zwecke relevant sind – ist pragmatisch richtig, aber philosophisch unvollständig.

Van Fraassens Konzeption der empirischen Einbettung und strukturellen Isomorphie zwischen Modellstrukturen und den mathematisch aufbereiteten Phänomenen ist präziser, aber zu restriktiv: Sie setzt voraus, dass Modelle und ihre Zielsysteme dieselbe mathematische Struktur haben – dass es eine strukturerhaltende Abbildung zwischen ihnen gibt. Diese Voraussetzung ist in der wissenschaftlichen Praxis selten vollständig erfüllt; reale Systeme haben fast nie genau die Struktur, die das Modell beschreibt. Friggs DEKI-Account überwindet diese Einschränkung, indem er die Repräsentation als mehrstufigen Prozess konzipiert; aber er bleibt auf der Ebene der symbolischen und kognitiven Prozesse, ohne die ontologische Frage nach der Verfassung der repräsentierten Wirklichkeit selbst zu stellen

Die grenzontologische Ergänzung: Das Verhältnis zwischen Modell und Phänomen ist nicht primär Ähnlichkeit, Isomorphie oder symbolische Relation, sondern Verweisung auf eine Ermöglicungsstruktur. Das Modell verweist auf die Ermöglicungsstruktur des Phänomens: auf die Differenzstruktur, durch die das Phänomen als das konstituiert wird, was es ist, und die es über jede seiner Beschreibungen hinausweist. Diese Verweisung ist sowohl kognitiv-symbolisch als auch ontologisch-real: kognitiv-symbolisch in dem Sinn, dass das Modell ein von Wissenschaftlern konstruiertes Werkzeug ist, das auf eine bestimmte Weise auf die Wirklichkeit zeigt; ontologisch-real in dem Sinn, dass die Ermöglicungsstruktur, auf die es zeigt, unabhängig von dem Modell und seiner Konstruktion existiert.

Die verschiedenen Dimensionen der Verweisung – Ähnlichkeit, Isomorphie, Exemplifikation – sind verschiedene Aspekte der Art, wie das Modell auf die Ermöglichungsstruktur zeigt. Ein Modell kann auf die Ermöglichungsstruktur durch Ähnlichkeit verweisen: indem es bestimmte Aspekte der Struktur in idealisierter Form reproduziert. Es kann durch Isomorphie verweisen: indem es die mathematische Struktur der Ermöglichungsstruktur unter bestimmten Bedingungen exakt wiedergibt. Es kann durch Exemplifikation verweisen: indem es bestimmte Eigenschaften zeigt, die auch die Ermöglichungsstruktur hat. Alle diese Weisen des Verweizens sind real und epistemisch signifikant; keine erschöpft die Relation zwischen Modell und Ermöglichungsstruktur.

Die Entzugsdimension des Grenzobjekts zeigt sich in dem, was die Verweisung nicht leistet: Das Modell erschöpft die Ermöglichungsstruktur nicht; die Wirklichkeit enthält immer mehr als das Modell zeigt. Dies ist die strukturelle Eigenschaft der Verweisung als Verweisung auf eine Ermöglichungsstruktur mit immanenter Entzugsdimension. Die beste wissenschaftliche Praxis ist diejenige, die sich dieser Entzugsdimension bewusst ist: die weiß, dass das Modell auf eine Ermöglichungsstruktur verweist, die es übersteigt, und die diese Tatsache produktiv macht, indem sie den Überschuss als Ausgangspunkt weiterer Forschung begreift.

## **6.6 Mathematische Strukturen in der Physik und das Problem ihrer unangemessenen Wirksamkeit: Wigner neu gelesen**

In einem berühmten Aufsatz von 1960 fragte Eugene Wigner nach der *Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences*: Warum ist es möglich, die Natur so erfolgreich durch mathematische Strukturen zu beschreiben, obwohl diese Strukturen von Mathematikern ohne Rücksicht auf empirische Anwendungen entwickelt wurden? Die nicht-euklidische Geometrie, die Riemann vor ihrer physikalischen Anwendung durch Einstein entwickelt hatte; die Gruppentheorie, die vor ihrer Bedeutung in der Teilchenphysik ein rein mathematisches Unternehmen war; die komplexe Analysis, die vor ihrer Anwendung in der Quantenmechanik in der reinen Mathematik beheimatet war – all das sind Fälle, in denen mathematische Strukturen, die aus innermathematischen Motiven entwickelt wurden, sich als außerordentlich produktiv für die Beschreibung der Natur erwiesen.

Wigner selbst gab keine befriedigende Erklärung; er behandelte die Wirksamkeit der Mathematik als ein Mysterium, das sich einer rationalen Erklärung entzieht. Die Antworten, die in der Folgediskussion gegeben wurden, reichen von einem robusten mathematischen Platonismus – die Wirklichkeit hat eine mathematische Struktur, und die Mathematik erschließt diese Struktur – bis zu einem deflationären Naturalismus – die Mathematik ist so entwickelt worden, dass sie physikalische Strukturen beschreiben kann, weil Mathematiker von physikalischer Intuition geleitet werden. Keine dieser Antworten hat sich als vollständig überzeugend erwiesen.

Die Grenzontologie erlaubt eine Neuformulierung des Problems, die es aufklärt, ohne es zu eliminieren. Die Wirksamkeit mathematischer Strukturen in der Physik ist kein Mysterium, wenn Mathematik und Physik als verschiedene Weisen verstanden werden, auf dieselbe Ermöglichungsstruktur zu verweisen. Die Wirklichkeit hat eine relationale und strukturelle Verfassung – eine Verfassung, die durch das charakterisiert ist, was die Grenzontologie als ontologische Nicht-Identität beschreibt: die irreduzible innere Differenz, durch die jede Identität durch Relationen zu anderem konstituiert wird. Diese relationale Verfassung der

Wirklichkeit ist mathematisch beschreibbar, weil Mathematik das Studium von Strukturen, Relationen und Mustern ist.

Aber die Wirksamkeit ist unangemessen in dem Sinn, dass sie die Erwartung übersteigt, die man hätte, wenn Mathematik bloß eine von Mathematikern nach formalen Kriterien entwickelte Sprache wäre, die dann nachträglich auf die Natur angewendet wird. Die Erklärung liegt darin, dass die mathematischen Strukturen, die sich als physikalisch produktiv erweisen, Ermöglichungsstrukturen erschließen, die der Wirklichkeit immanent sind: Sie sind nicht von außen auf die Natur projiziert, sondern aus der Natur der relationalen Verfassung der Wirklichkeit abgeleitet, auch wenn dieser Ableitungsprozess durch innermathematische Motive geleitet wurde. Der Mathematiker, der nicht-euklidische Geometrie aus formalen Gründen entwickelt, erschließt Ermöglichungsstrukturen, die in der relationalen Verfassung des Raums angelegt sind; Einstein findet diese Ermöglichungsstrukturen, wenn er nach einer mathematischen Beschreibung der Gravitation sucht.

Die Entzugsdimension zeigt sich in der Tatsache, dass die mathematischen Strukturen die Ermöglichungsstrukturen der Wirklichkeit nie vollständig positiv fixieren. Es gibt immer mehr in der Ermöglichungsstruktur der Gravitation, als die allgemeine Relativitätstheorie beschreibt; die Quantengravitation wird neue Ermöglichungsstrukturen erschließen, die die allgemeine Relativitätstheorie als Grenzfall enthält. Und es gibt immer neue mathematische Strukturen, die auf noch nicht erschlossene Ermöglichungsstrukturen verweisen: Die Geschichte der Physik ist die Geschichte der fortlaufenden Erschließung relationalstruktureller Ermöglichungsgebilde durch mathematische Grenzbegriffe. Wigners Mysterium ist in diesem Licht kein Mysterium mehr, sondern die wissenschaftliche Erscheinungsform der Ermöglichungs- und Entzugsdimension der Grenzstruktur auf der Ebene der mathematisch-physikalischen Beschreibung.

### **6.7 Die prozessuale Dimension der Modellentwicklung: Wie Modelle sich transformieren, ohne durch Falsifikation ersetzt zu werden**

Die poppersche Wissenschaftstheorie beschreibt wissenschaftlichen Fortschritt als ein Wechselspiel von Vermutungen und Widerlegungen: Theorien werden aufgestellt, empirisch überprüft, falsifiziert und durch bessere Theorien ersetzt. Dieses Bild hat eine bestimmte Plausibilität für dramatische Fälle des Theoriewechsels – die Ablösung des Phlogiston-Modells durch die Sauerstofftheorie, die Ablösung der klassischen Mechanik durch die Quantenmechanik in der Beschreibung atomarer Phänomene. Aber es erfasst nicht, wie Modelle sich in der normalen wissenschaftlichen Praxis typischerweise entwickeln: nicht durch Falsifikation und Ersetzung, sondern durch Transformation, Erweiterung, Präzisierung und Kontextualisierung.

Das Bohr-Modell des Atoms wurde nicht falsifiziert und ersetzt; es wurde transformiert und in der Quantenmechanik aufgehoben in dem Sinn, dass die Quantenmechanik das Bohr-Modell als Grenzfall enthält und erklärt, warum und unter welchen Bedingungen es als Näherung gilt. Das klassische Modell des idealen Gases wurde nicht falsifiziert; es wurde durch das Van-der-Waals-Modell ergänzt, das intermolekulare Wechselwirkungen berücksichtigt, und durch weitere Modelle, die Quanteneffekte, Phasenübergänge und andere Phänomene einbeziehen. Die verschiedenen Modelle des idealen und realen Gases

koexistieren und werden für verschiedene Zwecke unter verschiedenen Bedingungen eingesetzt. Das Newtonsche Gravitationsgesetz gilt nach wie vor als gute Näherung in Situationen schwacher Gravitationsfelder und kleiner Geschwindigkeiten, auch nachdem die allgemeine Relativitätstheorie als präzisere Beschreibung entwickelt wurde.

Diese Beobachtungen verweisen auf eine prozessuale Dimension der Modellentwicklung, die durch das poppersche Falsifikationsbild nicht erfasst wird. Modelle transformieren sich; sie werden präzisiert, erweitert, in Grenzfälle anderer Modelle überführt, in verschiedenen Kontexten für verschiedene Zwecke eingesetzt. Diese Transformationen sind nicht zufällig; sie folgen einer Logik, die durch die Grenzontologie beschreibbar ist: die Logik der fortlaufenden Erschließung von Ermöglichungsstrukturen, die über die bisherigen Modelle hinausweisen, ohne diese zu eliminieren.

Die Grenzontologie beschreibt diese prozessuale Dimension durch den Begriff der offenen Prozessualität, den Ott als Charakteristikum der vollständig entwickelten prozessualen Reaktionsform entwickelt: eine Entwicklung ohne teleologische Schließung, die keine abschließende Ruheposition kennt, in der die Wirklichkeit vollständig positiv fixiert wäre. Die Modellentwicklung in der Wissenschaft ist die temporale und institutionelle Form dieser offenen Prozessualität: eine fortlaufende Vertiefung, Erweiterung und Präzisierung des Verweisens der Wissenschaften auf die Ermöglichungsstrukturen der Wirklichkeit, die keinen Endpunkt zu erreicht, an dem die Verweisungsrelation vollständig und erschöpfend wäre.

Konkret: Das System der Modelle, mit dem eine wissenschaftliche Disziplin die Wirklichkeit erschließt, ist keine statische Sammlung von Beschreibungen, sondern ein prozessuales Gefüge von Grenzobjekten, die in verschiedenen Hinsichten, auf verschiedenen Ebenen und für verschiedene Zwecke auf dieselben Ermöglichungsstrukturen zeigen. Dieses Gefüge transformiert sich, indem neue Grenzobjekte entwickelt werden, die auf Ermöglichungsstrukturen verweisen, die die bisherigen Grenzobjekte nicht erfassten; indem Grenzobjekte präzisiert werden, indem die Bedingungen ihrer Adäquatheit expliziter gemacht werden; indem Grenzobjekte in Beziehung zueinander gesetzt werden, indem gezeigt wird, wie sie auf verschiedene Aspekte derselben Ermöglichungsstruktur verweisen. Diese Transformation ist der Prozess wissenschaftlichen Fortschritts, verstanden nicht als Approximation an eine vollständige Beschreibung, sondern als unabschliessbare Erschließung einer Ermöglichungsstruktur, die über jeden ihrer Grenzbegriffe hinausweist.

Die prozessuale Dimension der Modellentwicklung erlaubt auch ein besseres Verständnis von wissenschaftlicher Kreativität und Innovation. Neue Modelle entstehen nicht durch die mechanische Anwendung von Regeln auf gegebene Daten; sie entstehen durch eine kreative Erschließung von Ermöglichungsstrukturen, die in den bisherigen Modellen noch nicht sichtbar waren. Diese Erschließung ist nicht arbiträr: Sie folgt der Logik des Überschusses, der die bisherigen Modelle trägt und über sie hinausweist. Aber sie ist auch nicht deterministisch: Der Überschuss der Ermöglichungsstruktur über die bisherigen Grenzobjekte lässt Raum für verschiedene mögliche neue Grenzobjekte, die verschiedene Aspekte der Ermöglichungsstruktur erschließen können. Wissenschaftliche Kreativität ist die Fähigkeit, diesen Raum produktiv zu navigieren – die Fähigkeit, auf der Basis des Überschusses neue Grenzobjekte zu entwickeln, die die Wirklichkeit reicher erschließen als die bisherigen. Die Grenzontologie gibt dieser Fähigkeit eine ontologische Grundlage: Sie ist möglich, weil die Wirklichkeit als Ermöglichungsstruktur immer mehr enthält als die

bisherigen Beschreibungen; und sie ist wissenschaftlich produktiv, weil dieser Überschuss nicht willkürlich, sondern strukturiert ist – durch die innere Differenzstruktur der Wirklichkeit, die in den neuen Grenzobjekten erschlossen wird.

## **VII. Wissenschaftliche Praxis als relationale Prozessstruktur: Institutionelle und soziale Dimension**

### **7.1 Science and Technology Studies als implizite Prozessontologie: Latour, Pickering, Daston**

Die Science and Technology Studies – im Folgenden STS – haben in den letzten vier Jahrzehnten eine Beschreibung wissenschaftlicher Praxis entwickelt, die in ihrer ontologischen Tiefenstruktur weit über soziologische Deskription hinausgeht, ohne diesen ontologischen Anspruch selbst explizit zu machen. Die Arbeiten von Bruno Latour und Steve Woolgar, Andrew Pickering und Lorraine Daston beschreiben wissenschaftliche Praxis auf eine Weise, die mit den Mitteln der Grenzontologie als eine implizite Prozessontologie charakterisiert werden kann: als eine Beschreibung, die Identitäten – wissenschaftliche Tatsachen, Theorien, Instrumente, epistemische Subjekte – als Resultate von Konstitutionsprozessen begreift, ohne diese Einsicht ontologisch vollständig zu fundieren.

Latours und Woolgars *Laboratory Life* (1979) und Latours spätere *Science in Action* (1987) entwickeln eine Beschreibung wissenschaftlicher Praxis, die deren konstitutiven Charakter hervorhebt. Wissenschaftliche Tatsachen entstehen nicht durch die bloße Aufdeckung vorhandener Sachverhalte; sie werden durch einen Prozess der Mobilisierung von Verbündeten, der Einschreibung in Texte, und der Konstruktion von Netzwerken aus menschlichen und nicht-menschlichen Akteuren produziert und stabilisiert. Latours zentrale These – dass die Unterscheidung zwischen der Natur und den sozialen Prozessen, durch die sie beschrieben wird, selbst ein Resultat wissenschaftlicher Praxis ist, kein Ausgangspunkt – ist eine ontologische These, auch wenn Latour sie häufig in soziologischer Sprache formuliert. Sie besagt, dass die Identität wissenschaftlicher Gegenstände relational konstituiert ist: durch Netzwerke von Praktiken, Instrumenten, Texten und Akteuren, die zusammen die Bedingungen definieren, unter denen ein Sachverhalt als wissenschaftliche Tatsache gilt.

Pickering entwickelt in *The Mangle of Practice* (1995) eine Beschreibung wissenschaftlicher Praxis als einen Prozess wechselseitiger Anpassung zwischen menschlichen und nicht-menschlichen Agenturen: Wissenschaftler entwickeln Zielsetzungen und Strategien, aber die Materialität der Welt – die Widerständigkeit der Apparaturen, das Verhalten der Phänomene, die Reaktionen der Instrumente – greift in diesen Prozess ein und verändert ihn. Das Resultat ist nicht die schlichte Realisierung wissenschaftlicher Absichten, sondern die temporale Emergenz stabiler Konstellationen aus dem *Mangle* der Praxis: dem produktiven Zusammenspiel von menschlicher und materieller Agentur. Wissenschaftliche Identitäten – stabile Phänomene, verlässliche Instrumente, konsolidierte Theorien – entstehen in diesem Prozess; sie sind nicht gegeben, sondern durch den Widerstand erworben, den die Materialität der Welt der wissenschaftlichen Praxis entgegensetzt.

Daston und Galison entwickeln in *Objectivity* (2007) eine historische Epistemologie wissenschaftlicher Tugenden: Sie zeigen, dass das, was als wissenschaftliche Objektivität

gilt, historisch variiert und verschiedene Formen annimmt – von der Naturwahrheit des achtzehnten Jahrhunderts über die mechanische Objektivität des neunzehnten Jahrhunderts bis zur trainierten Urteilskraft des zwanzigsten Jahrhunderts. Diese historische Variabilität ist keine Relativierung der Objektivität, sondern die Einsicht, dass das, was Objektivität ermöglicht, selbst historisch konstituiert ist: durch die Praktiken, Instrumente, institutionellen Strukturen und epistemischen Tugenden, die in einer bestimmten wissenschaftlichen Gemeinschaft zu einem bestimmten Zeitpunkt gelten.

Was alle drei Ansätze gemeinsam haben, ist eine fundamentale Einsicht, die in der Terminologie der Grenzontologie präzise beschreibbar ist: Wissenschaftliche Identitäten – Tatsachen, Theorien, Objektivitätsstandards, epistemische Subjekte – sind relational und prozessual konstituiert. Sie haben keine intrinsische, relationsunabhängige Natur, die sie unabhängig von den Prozessen ihrer Konstitution wären. In diesem Sinn sind die STS-Beschreibungen implizite Realisierungen der ontologischen Nicht-Identität auf der Ebene der wissenschaftlichen Praxis: Sie beschreiben Identitäten als Resultate von Differenzierungsprozessen, ohne diese ontologische Grundlage explizit zu machen. Die Grenzontologie kann diese implizite Prozessontologie explizieren und ihr die philosophische Tiefe geben, die sie für ihre eigenen theoretischen Ansprüche benötigt.

## **7.2 Kuhns Paradigmenbegriff und die Grenzstruktur wissenschaftlicher Gemeinschaften**

Thomas Kuhns *The Structure of Scientific Revolutions* ist nicht nur eine wissenschaftshistorische These über die Nicht-Linearität wissenschaftlichen Fortschritts; es ist – wenn auch nicht in dieser Sprache formuliert – eine Beschreibung der Grenzstruktur wissenschaftlicher Gemeinschaften. Das Paradigma, das Kuhn als die Grundlage normaler Wissenschaft beschreibt, ist in der Terminologie der Grenzontologie eine Ermöglichungsstruktur: Es ermöglicht die wissenschaftliche Praxis einer Gemeinschaft, indem es bestimmt, welche Probleme lösungswürdig sind, welche Lösungsmethoden akzeptabel sind, und welche Befunde als Bestätigung oder Anomalie gelten. Und es entzieht sich vollständiger expliziter Artikulation: Das Paradigma wird durch die Arbeit an Problembeispielen internalisiert, nicht durch die Lektüre von Regelkatalogen; es ist in der Praxis verkörpert, nicht in Propositionen fixiert.

Die Grenzstruktur des Paradigmas zeigt sich in drei Dimensionen, die Kuhn beschreibt, ohne sie ontologisch zu fundieren. Die erste ist die Dimension des impliziten Wissens: Das Paradigma enthält mehr, als explizit artikuliert werden kann; die Expertise eines erfahrenen Wissenschaftlers umfasst ein Wissen, das sich der vollständigen propositionalen Explizitmachung entzieht. Die zweite ist die Dimension der Anomalie: Das Paradigma definiert, was als Anomalie gilt – als Phänomen, das durch die normale Wissenschaft nicht vollständig erklärt werden kann –, und damit verweist es auf einen Überschuss der Wirklichkeit über die Erklärungsmittel des Paradigmas. Anomalien sind die Erscheinungsform der Entzugsdimension auf der Ebene der normalen Wissenschaft: Die Wirklichkeit enthält mehr, als das Paradigma zu erfassen vermag. Die dritte ist die Dimension des Paradigmenwechsels: Wenn Anomalien sich häufen und das Paradigma in eine Krise gerät, findet ein Paradigmenwechsel statt, der nicht durch Beweis erzwungen wird, sondern durch einen Gestaltwechsel – eine Transformation der Wahrnehmung und Praxis, die nicht vollständig durch die logischen Mittel des alten Paradigmas vermittelt wird.

Dieser Wechsel ist die wissenschaftliche Erscheinungsform der Tatsache, dass die Ermöglichungsstruktur, die das neue Paradigma erschließt, über die Mittel des alten Paradigmas hinausweist.

Was Kuhn selbst nicht vollständig ausarbeitet, ist die ontologische Grundlage dieser Grenzstruktur. Er beschreibt, wie Paradigmen funktionieren und wie sie wechseln; er gibt aber keine befriedigende Antwort auf die Frage, was die Wirklichkeit ist, auf die verschiedene Paradigmen in verschiedener Weise verweisen, und was die Einheit wissenschaftlichen Fortschritts trotz der Diskontinuität von Paradigmenwechseln garantiert. Kuhns vorsichtige Aussagen zur Inkommensurabilität – zur These, dass sukzessive Paradigmen die Welt in einem bestimmten Sinn different sehen und keine vollständig gemeinsame Vergleichsbasis haben – haben zu erheblichen Missverständnissen geführt, die durch eine grenzontologische Fundierung aufgelöst werden können.

Die grenzontologische Lösung: Sukzessive Paradigmen verweisen auf dieselbe Ermöglichungsstruktur der Wirklichkeit, erschließen aber verschiedene Aspekte dieser Struktur durch verschiedene Grenzobjekte. Die Inkommensurabilität ist real, aber sie betrifft die Grenzobjekte, nicht die Ermöglichungsstruktur selbst: Das phlogistische Paradigma und das Sauerstoffparadigma erschließen verschiedene Aspekte der Ermöglichungsstruktur chemischer Oxidation; sie sind als Grenzobjekte inkommensurabel, aber sie verweisen auf dieselbe Wirklichkeit, die sie verschieden erschließen. Wissenschaftlicher Fortschritt ist möglich, weil die Ermöglichungsstruktur mehr enthält als jedes der Grenzobjekte, durch die sie erschlossen wird: Der Überschuss des Sauerstoffparadigmas über das phlogistische ist der Überschuss der Ermöglichungsstruktur über das bisherigen Grenzobjekt, nicht die Entdeckung einer vollständig anderen Wirklichkeit.

### **7.3 Epistemische Arbeitsteilung (Kitcher) und wechselseitige Konstitution von Erkenntnisansprüchen**

Philip Kitchers *The Advancement of Science* (1993) und seine spätere *Science in a Democratic Society* (2011) entwickeln eine Theorie der epistemischen Arbeitsteilung in wissenschaftlichen Gemeinschaften, die für die grenzontologische Analyse aufschlussreich ist. Kitcher zeigt, dass die rationale Organisation wissenschaftlicher Forschung die Verteilung von Forschungsanstrengungen auf verschiedene Hypothesen und Methoden erfordert: Eine Gemeinschaft, in der alle Wissenschaftler dieselbe Hypothese verfolgen, ist epistemisch ineffizient, auch wenn diese Hypothese die aktuell vielversprechendste ist. Divergenz in Forschungsansätzen ist rational, weil sie die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass neue und unerwartete Ermöglichungsstrukturen erschlossen werden.

Diese Einsicht hat eine grenzontologische Dimension, die Kitcher selbst nicht ausarbeitet. Die epistemische Effizienz der Arbeitsteilung ergibt sich nicht nur aus pragmatischen Erwägungen über die Verteilung begrenzter Ressourcen; sie hat eine ontologische Grundlage in der Grenzstruktur der Wirklichkeit. Wenn die Ermöglichungsstrukturen, die die Wissenschaften erschließen, einen Überschuss über jede ihrer Bestimmungen enthalten, dann ist es epistemisch produktiv, verschiedene Aspekte dieses Überschusses durch verschiedene Forschungsansätze zu erschließen. Die Divergenz wissenschaftlicher Forschungsansätze ist die institutionelle Form der Reaktion auf die Ermöglichungsdimension

der Grenzstruktur: verschiedene Grenzobjekte für verschiedene Aspekte derselben Ermöglichungsstruktur.

Darüber hinaus beschreibt Kitchers Theorie eine Form der wechselseitigen Konstitution von Erkenntnisansprüchen, die – obwohl aus einer völlig anderen, analytisch-pragmatischen Tradition stammend – strukturell mit der *shishi wuai* – der Totalinterpenetration der Phänomene bei Fazang – vergleichbar ist. Erkenntnisansprüche in einer wissenschaftlichen Gemeinschaft werden durch ihre Relation zu anderen Erkenntnisansprüchen konstituiert: durch Bestätigung, Widerlegung, Erklärung, Ergänzung und Revision. Kein Erkenntnisanspruch steht für sich allein; seine epistemische Autorität hängt von seinem Verhältnis zu den anderen Erkenntnisansprüchen der Gemeinschaft ab, von den Methoden, durch die er erworben wurde, von den Instrumenten, die bei seiner Gewinnung eingesetzt wurden, und von den institutionellen Strukturen, in denen er eingebettet ist. Die Identität eines Erkenntnisanspruchs ist relational konstituiert: Sie ist nicht intrinsisch, sondern ergibt sich aus dem Geflecht der Relationen, in denen der Anspruch steht.

Diese relationale Konstitution von Erkenntnisansprüchen hat eine direkte Verbindung zur ontologischen Nicht-Identität, die Ott als dritten Negativitätstyp beschreibt. Die irreduzible innere Differenz, die jeder Identität immanent ist, erscheint auf der epistemischen Ebene als die relationale Einbettung jedes Erkenntnisanspruchs: Kein Anspruch ist vollständig durch sich selbst konstituiert; jeder verweist auf andere Ansprüche, auf Methoden, auf Instrumente, auf institutionelle Strukturen, die ihn konstituieren und über die er hinausweist. Die Grenzstruktur der Wirklichkeit erscheint damit auch auf der epistemischen Ebene als Grenzstruktur der wissenschaftlichen Gemeinschaft: als die Eigenschaft, dass kein Erkenntnisanspruch abgeschlossen und vollständig für sich besteht, sondern immer in einem Konstitutionszusammenhang steht, der über ihn hinausweist.

#### **7.4 Die *shishi wuai* der Wissenschaft: Instrumente, Theorien, Praktiken und ihre Totalinterpenetration**

Die Analyse der STS-Beschreibungen, des Kuhnschen Paradigmenbegriffs und der Kitcherschen Theorie der epistemischen Arbeitsteilung konvergiert in einem Befund, der in der Terminologie von Fazangs Huayan-Ontologie formuliert werden kann: Die wissenschaftliche Praxis hat die Struktur einer *shishi wuai* – einer Totalinterpenetration von Phänomenen, in der jedes Element alle anderen enthält und von allen anderen enthalten wird.

Die Instrumente, Theorien, Praktiken und institutionellen Strukturen, die zusammen die wissenschaftliche Praxis konstituieren, stehen in einer Relation wechselseitiger Konstitution, die der *shishi wuai* strukturell homolog ist. Das Elektronenmikroskop ist nicht unabhängig von den Theorien, die seine Konstruktion ermöglichten und die bestimmen, wie seine Bilder interpretiert werden; die Theorien, die das Elektronenmikroskop zu interpretieren erlauben, sind nicht unabhängig von den Phänomenen, die durch das Mikroskop sichtbar werden; die Phänomene, die durch das Mikroskop sichtbar werden, sind nicht unabhängig von den experimentellen Praktiken, durch die die Präparate hergestellt, die Bilder aufgenommen und die Artefakte identifiziert werden. Instrumente, Theorien und Praktiken konstituieren einander wechselseitig: Kein Element ist vollständig durch sich selbst konstituiert; jedes ist, was es ist, durch seine Relationen zu allen anderen.

Dies ist eine ontologische These über die Konstitution wissenschaftlicher Identitäten. Die Identität des Elektronenmikroskops als wissenschaftliches Instrument ist nicht intrinsisch gegeben; sie ist durch seine Relation zu den Theorien, Praktiken und Phänomenen konstituiert, in denen es eingesetzt wird. Eine andere Theorie, eine andere Praxis, andere Phänomene würden ein anderes Instrument konstituieren, auch wenn die physikalische Apparatur dieselbe bliebe. Die Totalinterpenetration bedeutet, dass die Veränderung eines Elements die Konstitution aller anderen verändert: Eine neue Theorie verändert, was als Phänomen gilt, welche Instrumente relevant sind, welche Praktiken angemessen sind; ein neues Instrument verändert, welche Phänomene sichtbar werden, welche Theorien plausibler erscheinen, welche Praktiken erforderlich sind.

Die strukturelle Analogie zur *shishi wuai* hat jedoch Grenzen, die expliziert werden müssen. Fazangs *shishi wuai* beschreibt die Totalinterpenetration aller Phänomene der Wirklichkeit: Jedes Phänomen enthält alle anderen vollständig und wird von allen anderen vollständig enthalten. Die *shishi wuai* der Wissenschaft ist partieller: Sie beschreibt die wechselseitige Konstitution innerhalb wissenschaftlicher Praxiskomplexe, nicht die vollständige Totalinterpenetration aller Elemente der Wissenschaft überhaupt. Die Elektrodynamik und die Biologie stehen zwar in Relationen zueinander – durch die physikalische Chemie, durch Biophysik, durch methodische Übertragungen –, aber diese Relationen sind nicht so dicht wie die Relationen innerhalb eines einzelnen Forschungsfeldes. Die *shishi wuai* der Wissenschaft ist keine undifferenzierte Totalinterpenetration, sondern eine differenzierte Struktur wechselseitiger Konstitution, in der die Dichte der Konstitutionsrelationen variiert.

Diese Modifikation präzisiert die grenzontologische Relevanz des Vergleichs. Die wechselseitige Konstitution, die die wissenschaftliche Praxis charakterisiert, ist real und philosophisch bedeutsam; sie beschreibt eine Ermöglicungsstruktur, in der die Identitäten der wissenschaftlichen Elemente relational konstituiert sind. Diese Ermöglicungsstruktur hat dieselbe doppelte Funktion wie der Grenzbegriff: Sie ermöglicht die wissenschaftliche Praxis, indem sie die Elemente in ihrer wechselseitigen Konstitution verbindet; und sie entzieht sich vollständiger positiver Fixierung, weil die wechselseitige Konstitution immer neue Möglichkeiten der Transformation und Weiterentwicklung enthält, die nicht vollständig aus den aktuellen Konstitutionsrelationen ableitbar sind.

### **7.5 Grenzen der soziologischen Beschreibung: Warum relationale Wissenschaftsbeschreibung ontologische Fundierung benötigt**

Die STS-Beschreibungen wissenschaftlicher Praxis haben eine erhebliche philosophische Leistung erbracht: Sie haben gezeigt, dass wissenschaftliche Tatsachen, Theorien und epistemische Subjekte relational und prozessual konstituiert sind; dass die Identität wissenschaftlicher Entitäten nicht intrinsisch, sondern durch das Geflecht der Konstitutionsrelationen bestimmt ist; und dass wissenschaftliche Praxis als komplexes System wechselseitiger Konstitutionsprozesse beschrieben werden muss.

Aber die STS-Beschreibungen stoßen an Grenzen, die sich aus ihrer eigenen Anlage ergeben und die durch eine grenzontologische Fundierung überwunden werden können. Die wichtigste dieser Grenzen betrifft die Frage nach dem ontologischen Status der relationalen Konstitution selbst. Wenn wissenschaftliche Tatsachen relational konstituiert sind – wenn sie

durch Praktiken, Instrumente, Netzwerke und institutionelle Strukturen hergestellt werden –, was verhindert dann den Schluss, dass sie beliebig konstruierbar sind? Die STS-Literatur ist notorisch gespalten zwischen einer realistischen Lesart, nach der die relationale Konstitution die Wirklichkeit erschließt, und einer konstruktivistischen Lesart, nach der die relationale Konstitution die Wirklichkeit produziert. Diese Spaltung betrifft eine fundamentale Frage der Wissenschaftsphilosophie: das Verhältnis zwischen wissenschaftlicher Erkenntnis und der Wirklichkeit, die sie zu beschreiben beansprucht.

Latour selbst hat in späteren Arbeiten – insbesondere in *We Have Never Been Modern* (1991) und in *Politics of Nature* (2004) – versucht, eine ontologische Grundlage für seine STS-Beschreibungen zu entwickeln, ohne in den naiven Realismus zurückzufallen. Aber seine Ontologie der Quasiobjekte und Hybride bleibt philosophisch unvollständig: Sie beschreibt den Mischcharakter von Entitäten, die weder vollständig natürlich noch vollständig sozial sind, ohne die ontologische Struktur dieser Mischnatur zu klären.

Die Grenzontologie bietet hier eine philosophisch genauere Grundlage. Die relationale Konstitution wissenschaftlicher Identitäten ist ontologisch fundierbar in dem Begriff der ontologischen Nicht-Identität: der irreduziblen inneren Differenz, die jeder Identität immanent ist und die durch relationale Konstitutionsprozesse konstituiert wird. Die Tatsache, dass wissenschaftliche Tatsachen relational konstituiert sind, bedeutet nicht, dass sie beliebig sind: Die relationale Konstitution vollzieht sich in Auseinandersetzung mit einer Wirklichkeit, die einen Überschuss über die Konstitutionsprozesse enthält – die Widerständigkeit der Phänomene, die Eigensinnigkeit der Materialität, die Grenzen der Instrumente. Dieser Überschuss ist die Entzugsdimension, die die relationale Konstitution begrenzt und ihr eine reale, nicht-beliebige Richtung gibt.

Die zweite Grenze der soziologischen Beschreibung betrifft die normative Dimension wissenschaftlicher Praxis. Wenn wissenschaftliche Identitäten relational konstituiert sind, auf welcher Grundlage können dann Urteile über gute und schlechte Wissenschaft, über epistemisch rationale und irrationale Praktiken, über wissenschaftlichen Fortschritt und Rückschritt gefällt werden? Die STS-Literatur hat diese axiologische Ebene weitgehend vernachlässigt: Die deskriptive Beschreibung relationaler Konstitutionsprozesse gibt per se keine Grundlage für normative Urteile. Diese Grundlage kann nur durch ontologische und epistemologische Überlegungen gewonnen werden, die über die soziologische Beschreibung hinausgehen.

Die Grenzontologie stellt hier einen Ansatz bereit, der präzise und nicht-willkürlich ist: Gute Wissenschaft ist diejenige, die die Ermöglichungsstrukturen der Wirklichkeit reichhaltig und genau erschließt – die Grenzobjekte entwickelt, die auf mehr Aspekte der Ermöglichungsstruktur verweisen, die tiefere Ebenen der Ermöglichungsstruktur erschließen, die den Überschuss der Wirklichkeit über die bisherigen Beschreibungen produktiv machen. Schlechte Wissenschaft ist diejenige, die die Entzugsdimension leugnet – die Ermöglichungsstrukturen vollständig positiv fixiert und damit den Überschuss, der über sie hinausweist, nicht sieht –, oder diejenige, die die Ermöglichungsdimension leugnet – die den Entzug akzeptiert und damit keinen Zugang zur Wirklichkeit beansprucht. Die Grenzontologie gibt der wissenschaftlichen Normativität eine ontologische Basis, die soziologisch beschreibbar, aber nicht soziologisch reduzierbar ist: Die normativen Standards

guter Wissenschaft sind nicht beliebige soziale Konventionen, sondern Reaktionen auf die Grenzstruktur der Wirklichkeit, auf die wissenschaftliche Erkenntnis ausgerichtet ist.

Die dritte Grenze betrifft die Frage der Erklärungsrichtung. Die STS-Beschreibungen erklären typischerweise die Entstehung wissenschaftlicher Tatsachen durch soziale Prozesse; sie erklären die soziale Organisation der Wissenschaft durch institutionelle Faktoren; sie erklären epistemische Normen durch historische Entwicklungen. Diese Erklärungsrichtung – von den sozialen und institutionellen Prozessen zu den epistemischen Ergebnissen – ist für soziologische Zwecke angemessen. Für philosophische Zwecke ist sie unvollständig: Sie erklärt, wie wissenschaftliche Erkenntnisse soziologisch konstituiert werden, ohne zu fragen, was die sozialen Konstitutionsprozesse ihrerseits ermöglicht und begrenzt. Die Grenzontologie gibt die entgegengesetzte Erklärungsrichtung: von der Grenzstruktur der Wirklichkeit zu den epistemischen und sozialen Konstitutionsprozessen, durch die diese Grenzstruktur erschlossen wird. Beide Erklärungsrichtungen sind legitim und notwendig; keine ersetzt die andere. Die philosophisch vollständige Beschreibung wissenschaftlicher Praxis erfordert beide Richtungen: die soziologische, die zeigt, wie Ermöglichungsstrukturen durch relationale Konstitutionsprozesse erschlossen werden, und die grenzontologische, die zeigt, warum diese Prozesse auf eine Wirklichkeit ausgerichtet sind, die sie ermöglicht und übersteigt.

## **VIII. Was die Wissenschaftsphilosophie der Grenzontologie schuldet: Anfragen und Modifikationen**

### **8.1 Die Differenzierung der Ermöglichungsstruktur nach wissenschaftlichen Domänen: Ein Desiderat**

Die bisherige Analyse hat gezeigt, dass die Grenzstruktur – die Doppelheit von Ermöglichungsdimension und Entzugsdimension – in den zentralen Problemfeldern der Wissenschaftsphilosophie wiederkehrt: in der Realismusdebatte, in der Reduktions- und Emergenzfrage, in der Theorie der Idealisierung und Modellbildung, in der Beschreibung wissenschaftlicher Praxis. Diese Wiederkehr ist kein Zufall; sie ist, wie der Essay im Anschluss an Otts Invarianzthese argumentiert, strukturell notwendig, weil die Wissenschaftsphilosophie überall dort, wo sie die Bedingungen wissenschaftlicher Bestimmungsleistungen vollständig reflexiv verfolgt, auf die Grenzstruktur trifft, die diese Bestimmungen ermöglicht und begrenzt.

Diese Allgemeinheit der Grenzstruktur ist ein philosophischer Vorzug; sie ist aber auch eine Quelle von Unschärfe, die im Licht der wissenschaftsphilosophischen Anwendung als Desiderat sichtbar wird. Otts Grenzontologie entwickelt die Grenzstruktur auf dem Niveau einer Fundamentalontologie: als Bedingung aller Bestimmtheit überhaupt, unabhängig von den spezifischen Domänen, in denen Bestimmungen vollzogen werden. Diese transzendente Allgemeinheit ist philosophisch notwendig für den Nachweis der Invarianzthese; aber sie lässt offen, wie die Grenzstruktur in verschiedenen wissenschaftlichen Domänen verschieden gestaltet ist.

Denn es ist evident, dass die Ermöglichungsstruktur in der Physik anders konfiguriert ist als in der Biologie, in der Biologie anders als in den Sozialwissenschaften, in den Sozialwissenschaften anders als in der Mathematik. In der Physik erscheint die

Entzugsdimension primär als Unterbestimmtheit durch Beobachtungsdaten und als konstitutive Idealität der Gesetze; in der Biologie erscheint sie als historische Kontingenz evolutionärer Prozesse, als Plastizität biologischer Systeme und als Mehrstufigkeit biologischer Kausalität; in den Sozialwissenschaften erscheint sie als Reflexivität sozialer Systeme – die Tatsache, dass soziologische Beschreibungen die Verhaltensweisen verändern können, die sie beschreiben –, als Indexikalität sozialer Bedeutungen und als normative Dimension sozialer Tatsachen; in der Mathematik erscheint sie als Unvollständigkeit formaler Systeme und als Unbegrenztheit mathematischer Möglichkeiten gegenüber jeder aktuellen Axiomatik.

Diese Diversifikation der Ermöglichungsstruktur nach wissenschaftlichen Domänen ist ein Desiderat, das die grenzontologische Grundlegung nicht aus eigenen Mitteln einlösen kann: Sie erfordert philosophische Analysen der jeweiligen wissenschaftlichen Domänen, die über die fundamentalontologische Beschreibung hinausgehen und die spezifische Konfiguration der Grenzstruktur in jeder Domäne herausarbeiten. Der vorliegende Essay hat domänenspezifische Analysen angedeutet – für die Physik in der Diskussion von Wigners Problem, für die Biologie in der Behandlung von Emergenz und biologischer Funktion, für die formalen Wissenschaften in der Analogie der Gödelschen Unvollständigkeit –, ohne eine systematische Theorie dieser Diversifikation zu entwickeln. Eine solche Theorie wäre die notwendige Ergänzung der fundamentalontologischen Grundlegung durch eine regionale Ontologie der wissenschaftlichen Domänen: eine Untersuchung der Frage, wie die allgemeine Grenzstruktur in den verschiedenen Bereichen wissenschaftlicher Bestimmungsleistung jeweils konkrete Gestalt annimmt.

## **8.2 Die normative Dimension: Methodologische Konsequenzen aus der Grenzstruktur**

Die Grenzontologie beschreibt die Bedingungen der Möglichkeit wissenschaftlicher Bestimmungsleistungen; sie gibt damit implizit auch eine Grundlage für normative Urteile über wissenschaftliche Methoden. Diese normative Dimension ist im vorliegenden Essay angelegt, aber nicht systematisch ausgearbeitet worden. Sie verdient eine explizite Behandlung, zumal sie die praktisch wichtigste Konsequenz der grenzontologischen Grundlegung für die Wissenschaftsphilosophie darstellt.

Die fundamentale methodologische Konsequenz aus der Grenzstruktur lässt sich folgendermaßen formulieren: Wissenschaftliche Methoden sind dann epistemisch angemessen, wenn sie die Doppelstruktur der Ermöglichungsdimension und der Entzugsdimension in ihrer Praxis respektieren – wenn sie weder die Ermöglichungsdimension leugnen, indem sie epistemische Bescheidenheit in Agnostizismus verwandeln, noch die Entzugsdimension leugnen, indem sie Grenzobjekte als vollständige positive Fixierungen der Wirklichkeit behandeln. Konkret: Eine Methode, die ihre eigenen Resultate als abschließende Beschreibungen der Wirklichkeit ausgibt, ohne den Überschuss der Ermöglichungsstruktur über ihre Bestimmungen anzuerkennen, ist methodologisch inadäquat; ebenso inadäquat ist eine Methode, die jeden Anspruch auf Erschließung einer Ermöglichungsstruktur zurückweist und ihre Resultate als bloße instrumentelle Fiktionen ohne ontologischen Gehalt beschreibt.

Aus dieser fundamentalen Konsequenz lassen sich spezifischere methodologische Forderungen ableiten, die für die wissenschaftliche Praxis relevant sind. Die erste ist die

Forderung nach epistemischer Offenheit: eine Praxis, die die Vorläufigkeit ihrer Bestimmungen strukturelle Eigenschaft ihrer Relation zur Wirklichkeit begreift und die Möglichkeit tieferer und reichhaltigerer Erschließungen der Ermöglichungsstruktur prinzipiell offen hält. Die zweite ist die Forderung nach reflexiver Methodenkritik: eine Praxis, die ihre eigenen Methoden als Grenzobjekte der Erschließung versteht und damit in der Lage ist, ihre methodischen Voraussetzungen zu problematisieren, wenn der Überschuss der Wirklichkeit über die bisherigen Methoden in Form von Anomalien sichtbar wird. Die dritte ist die Forderung nach Pluralismussensibilität: die Anerkennung, dass verschiedene Methoden verschiedene Aspekte der Ermöglichungsstruktur erschließen können und dass methodischer Monismus – die Überzeugung, dass eine Methode die einzig legitime Form wissenschaftlicher Erschließung darstellt – strukturell inadäquat ist.

### **8.3 Das Spannungsverhältnis von apriorischer Grenzstruktur und empirischer Entdeckung**

Ein philosophisch grundlegendes Spannungsverhältnis, das in der bisherigen Analyse latent geblieben ist, muss abschließend explizit thematisiert werden: das Verhältnis zwischen der apriorischen Grenzstruktur, die Otts Grenzontologie als transzendente Bedingung aller Bestimmtheit ausweist, und der empirischen Entdeckung konkreter Ermöglichungsstrukturen in der wissenschaftlichen Praxis.

Die Grenzontologie behauptet, dass die Grenzstruktur – die Doppelheit von Ermöglichungsdimension und Entzugsdimension – apriorisch notwendig ist: Sie muss immer schon vorhanden sein, wo Bestimmungen vollzogen werden, weil sie die Bedingung der Möglichkeit von Bestimmtheit überhaupt ist. Dieser apriorische Charakter hat einen transzendentalen Sinn, der über Kants erkenntnistheoretischen Apriorismus hinausgeht: Die Grenzstruktur ist nicht die Bedingung möglicher Erfahrung im Kantischen Sinn, sondern die ontologische Bedingung möglicher Bestimmtheit überhaupt. In diesem Sinn ist die Grenzstruktur nicht selbst Resultat wissenschaftlicher Entdeckung; sie ist die Bedingung, die alle wissenschaftliche Entdeckung ermöglicht.

Aber die konkreten Ermöglichungsstrukturen, die die Wissenschaften erschließen – die Ermöglichungsstruktur der Gravitation, der genetischen Vererbung, der sozialen Institutionen –, sind nicht apriorisch, sondern empirisch: Sie werden durch wissenschaftliche Forschung entdeckt, und ihre Entdeckung ist kontingent auf die Methoden, Instrumente, und institutionellen Strukturen der jeweiligen Wissenschaft. Die Frage lautet: Wie verhält sich die apriorische Grenzstruktur zu diesen empirisch entdeckten konkreten Ermöglichungsstrukturen?

Das Spannungsverhältnis entsteht dadurch, dass die apriorische Allgemeinheit der Grenzstruktur und die empirische Spezifität der konkreten Ermöglichungsstrukturen nicht ohne weiteres vermittelbar sind. Die Grenzstruktur sagt, dass es Ermöglichungsstrukturen mit Entzugsdimension gibt; sie sagt nicht, welche konkreten Ermöglichungsstrukturen existieren und welche Entzugsdimension sie haben. Diese Lücke ist philosophisch real: Die Grenzontologie kann aus ihren eigenen Mitteln nicht ableiten, was die Wissenschaften entdecken; sie kann nur die Form beschreiben, die ihre Entdeckungen notwendig haben müssen. Die Theorie der Relativität ist eine empirische Entdeckung, nicht eine Konsequenz

der Grenzontologie; aber die Form, in der sie als Grenzobjekt auf eine Ermöglichungsstruktur verweist, ist durch die Grenzontologie beschreibbar.

Diese Spannung ist nicht auflösbar, aber produktiv. Sie verweist auf die methodologische Komplementarität von Grenzontologie und empirischer Wissenschaftsphilosophie: Die Grenzontologie beschreibt die transzendente Form wissenschaftlicher Erschließung; die empirische Wissenschaftsphilosophie beschreibt die konkreten Inhalte, die in dieser Form erschlossen werden. Beide sind notwendig; keine ist auf die andere reduzierbar. Das Desiderat – das sowohl an Otts Projekt als auch an die an ihm orientierte Wissenschaftsphilosophie gerichtet werden muss – ist eine genauere Ausarbeitung der Vermittlung zwischen der apriorischen Form und den empirischen Inhalten: eine Untersuchung, wie die allgemeine Grenzstruktur in den konkreten Ermöglichungsstrukturen, die die Wissenschaften erschließen, spezifisch instanziiert wird.

#### **8.4 Zeitlichkeit und Historizität wissenschaftlicher Erkenntnis: Ergänzungsbedarf gegenüber der statischen Begrifflichkeit der Grenzontologie**

Eine weitere Anfrage an die Grenzontologie aus dem Blickwinkel der Wissenschaftsphilosophie betrifft die Behandlung von Zeitlichkeit und Historizität. Otts Begrifflichkeit – Ermöglicungsdimension, Entzugsdimension, ontologische Nicht-Identität, Grenzbegriff – ist primär struktural konzipiert: Sie beschreibt die synchrone Struktur der Grenzrelation, ohne die diachronen Prozesse zu thematisieren, durch die diese Struktur in der Zeit realisiert wird.

Wissenschaftliche Erkenntnis ist aber wesentlich historisch: Sie entwickelt sich in der Zeit, durch Prozesse der Akkumulation, Revision, Krisen und Transformationen, die sich nicht vollständig durch synchrone Strukturbeschreibungen erfassen lassen. Die Geschichte der Wissenschaft ist nicht die bloße zeitliche Abfolge verschiedener Realisierungen derselben Grenzstruktur; sie ist selbst ein konstitutiver Aspekt der Ermöglicungsstruktur wissenschaftlicher Erkenntnis. Was als Ermöglicungsstruktur für eine wissenschaftliche Gemeinschaft verfügbar ist, hängt von der Geschichte ab, durch die diese Strukturen erschlossen wurden; und die Entzugsdimension, die eine wissenschaftliche Gemeinschaft erlebt, ist nicht die abstrakte Entzugsdimension der Grenzstruktur überhaupt, sondern die konkrete Erfahrung des Überschusses über das historisch Erschlossene.

Die prozessontologischen Ressourcen, die Ott neben der apophatischen Dimension entwickelt, könnten hier produktiver eingesetzt werden als bisher explizit gemacht. Wenn Prozessualität – im Sinn Whiteheads und Bergsons – nicht nur als reaktive Form auf die Grenzstruktur, sondern als konstitutive Dimension der Ermöglicungsstruktur selbst begriffen wird, dann ist Historizität keine äußere Eigenschaft wissenschaftlicher Erkenntnis, die zu ihrer strukturalen Beschreibung hinzukommt, sondern eine innere Eigenschaft der Art, wie Ermöglicungsstrukturen in der Zeit real sind. Die Ermöglicungsstruktur der Gravitationstheorie ist nicht zeitlos vorhanden und wird dann durch die Geschichte der Physik sukzessive erschlossen; sie wird in ihrer konkreten theoretischen Identität durch die Geschichte der Physik in spezifischer Weise epistemisch und relational konstituiert und ist in diesem Sinn selbst historisch.

## **8.5 Die Frage nach domänenspezifischen apophatischen Operationen: Können Wissenschaften ihre eigene Grenzstruktur thematisieren?**

Die abschließende Anfrage ist zugleich die systematisch wichtigste: Können die Wissenschaften ihre eigene Grenzstruktur thematisieren? Können sie die Bedingungen, die ihre Bestimmungsleistungen ermöglichen und begrenzen, innerhalb ihrer eigenen Beschreibungsmittel reflexiv erfassen?

Die Frage hat eine theoretische und eine praktische Dimension. Theoretisch ist sie die Frage nach dem Verhältnis zwischen wissenschaftlicher Selbstreflexion und philosophischer Grundlegung: Ist die Grenzstruktur eine Bedingung, die die Wissenschaften nur durch philosophische Reflexion thematisieren können, oder können sie sie durch immanente, innerwissenschaftliche Operationen erschließen? Praktisch ist sie die Frage, ob die Wissenschaften selbst apophatische Operationen vollziehen – Operationen, die die Grenzen ihrer eigenen Beschreibungsmittel thematisieren und damit auf die Entzugsdimension ihrer Ermöglichungsstrukturen zeigen.

Die Analyse des vorliegenden Essays legt nahe, dass Wissenschaften faktisch apophatische Operationen vollziehen, ohne sie als solche zu thematisieren. Die Quantenmechanik thematisiert die Grenzen der klassischen Beschreibung durch das Superpositionsprinzip und die Unschärferelation; die Gödelschen Unvollständigkeitssätze thematisieren die Grenzen formaler Systeme durch innermathematische Mittel; die ceteris-paribus-Klauseln in der Physik thematisieren die Grenzen gesetzlicher Beschreibungen; die Anomalien in Kuhnschen Paradigmen thematisieren die Grenzen der Ermöglichungsstruktur des jeweiligen Paradigmas. All das sind apophatische Operationen: Operationen, die auf die Entzugsdimension der Ermöglichungsstrukturen verweisen, ohne sie vollständig positiv zu fixieren.

Was die Wissenschaften nicht leisten können, ist die philosophische Reflexion dieser apophatischen Operationen als apophatische: die Erkenntnis, dass sie durch die Grenzstruktur der Wirklichkeit notwendig sind, nicht durch zufällige Beschränkungen ihrer Methoden. Diese reflexive Erkenntnis ist die spezifische Leistung der Grenzontologie, die die Wissenschaftsphilosophie durch philosophische Mittel vollzieht. Die Grenzontologie und die Wissenschaftsphilosophie stehen damit in einer Arbeitsteilung, die strukturell der epistemischen Arbeitsteilung bei Kitcher homolog ist: Die Wissenschaften vollziehen die apophatischen Operationen; die Grenzontologie expliziert ihre strukturelle Notwendigkeit. Beide sind notwendig; keine ist auf die andere reduzierbar.

## **IX. Abschluss: Offenheit als epistemologisches Strukturmoment**

### **9.1 Zusammenfassung der Hauptargumente**

Der vorliegende Essay hat die strukturelle Verbindung zwischen Otts Grenzontologie und der Wissenschaftsphilosophie entwickelt. Diese Verbindung beruht auf der These, dass die Wissenschaftsphilosophie überall dort, wo sie die Bedingungen wissenschaftlicher Bestimmungsleistungen vollständig reflexiv verfolgt, auf die Grenzstruktur trifft, die Ott als Bedingung aller Bestimmtheit überhaupt entwickelt. Die Aporien der Wissenschaftsphilosophie sind in diesem Sinn keine bloßen Schwierigkeiten, die durch

genauere Analysen oder bessere Theorien behoben werden könnten; sie sind die spezifische wissenschaftsphilosophische Erscheinungsform der Grenzstruktur der Wirklichkeit.

Die Realismusdebatte zeigt, dass weder der naive Realismus noch der Antirealismus die Struktur wissenschaftlicher Erkenntnis adäquat beschreibt: Der naive Realismus leugnet die Entzugsdimension; der Antirealismus leugnet die Ermöglichungsdimension. Der grenzontologische Realismus – der strukturelle Realismus mit immanenter Entzugsdimension – beschreibt das Verhältnis von Wissenschaft und Wirklichkeit präziser als beide Alternativen, weil er die Doppelstruktur der Grenzrelation respektiert. Die Reduktions- und Emergenzfrage zeigt, dass die Ontologie der wissenschaftlichen Ebenen weder durch eliminative Reduktion noch durch mysteriöse Emergenz befriedigend beschrieben wird: Die Stratifikation von Ermöglichungsebenen, die durch das Konzept der ontologischen Nicht-Identität beschreibbar ist, erlaubt eine Theorie emergenter Phänomene, die weder das Mentale eliminiert noch es gegenüber dem Physischen in eine kausale Lücke stellt. Die Theorie der Idealisierung zeigt, dass wissenschaftliche Modelle keine epistemischen Defizite sind, sondern strukturell notwendige Grenzobjekte: Formen der Verweisung auf Ermöglichungsstrukturen, die über ihre Bestimmungen hinausweisen. Und die Theorie wissenschaftlicher Praxis zeigt, dass die wechselseitige Konstitution von Instrumenten, Theorien und Praktiken keine soziologisch zu erklärende Kontingenz ist, sondern die institutionelle Erscheinungsform der ontologischen Nicht-Identität auf der Ebene der wissenschaftlichen Gemeinschaft.

## **9.2 Die produktive Inkommensurabilität von Grenzontologie und Wissenschaftsphilosophie**

Die Verbindung zwischen Grenzontologie und Wissenschaftsphilosophie ist, wie der Essay gezeigt hat, keine vollständige Koinzidenz: Es gibt genuine Spannungen, Desiderata und Anfragen, die in beide Richtungen gehen. Die Grenzontologie stellt der Wissenschaftsphilosophie Fragen, die diese aus eigenen Mitteln nicht vollständig beantworten kann; die Wissenschaftsphilosophie stellt der Grenzontologie Fragen, die diese aus eigenen Mitteln nicht vollständig beantworten kann.

Diese wechselseitige Nicht-Auflösbarkeit der Spannung ist kein Mangel, der durch weitere Arbeit beseitigt werden sollte; sie ist selbst eine Erscheinungsform der Grenzstruktur, die den Essay durchzieht. Die Grenzontologie und die Wissenschaftsphilosophie sind verschiedene Weisen, auf dieselbe Ermöglichungsstruktur zu verweisen – auf die Bedingungen, die menschliche Erkenntnisleistungen ermöglichen und begrenzen. Als verschiedene Grenzbegriffe sind sie inkommensurabel: Sie beschreiben nicht denselben Sachverhalt in verschiedenen Sprachen, sondern erschließen verschiedene Aspekte desselben Ermöglichungsgrundes durch verschiedene Reflexionsformen. Ihre Inkommensurabilität ist produktiv, weil sie verhindert, dass eine der Reflexionsformen die andere absorbiert und damit die Aspekte des Ermöglichungsgrundes verliert, die nur durch die andere erschlossen werden können.

Die produktive Inkommensurabilität von Grenzontologie und Wissenschaftsphilosophie ist damit selbst ein Exempel der Invarianzthese: Das Zusammenspiel zweier Reflexionsformen, die beide die Bedingungen von Bestimmtheit thematisieren, realisiert die Grenzstruktur auf

einer Meta-Ebene. Auch diese Reflexion kennt keine abschließende Synthese; auch hier gilt, dass der Überschuss der Ermöglichungsstruktur über ihre Grenzbegriffe die fortlaufende Reflexion als offen und unabschließbar charakterisiert.

### **9.3 Offene Fragen und Forschungsperspektiven**

Der Essay hat eine Verbindung entwickelt, keine vollständige Theorie. Er hat gezeigt, dass die Verbindung besteht und dass sie philosophisch produktiv ist; er hat nicht alle Konsequenzen dieser Verbindung ausgearbeitet. Die offenen Fragen, die er hinterlässt, sind daher Forschungsperspektiven, die die produktive Unabgeschlossenheit des Projekts anzeigen.

Die wesentliche offene Frage betrifft die domänenspezifische Differenzierung der Ermöglichungsstruktur: Wie genau ist die Grenzstruktur in den verschiedenen wissenschaftlichen Domänen – in der Physik, der Biologie, den Sozialwissenschaften, der Mathematik – konfiguriert, und welche methodologischen Konsequenzen folgen aus dieser domänenspezifischen Konfiguration? Eine systematische Untersuchung dieser Frage würde eine regionale Ontologie der wissenschaftlichen Domänen erfordern, die die fundamentalontologischen Grundlagen der Grenzontologie mit den philosophischen Analysen der jeweiligen Wissenschaften verbindet.

Eine zweite offene Frage betrifft die Theorie wissenschaftlicher Rationalität, die aus der Grenzontologie folgt: Wie lässt sich eine normative Theorie wissenschaftlicher Methoden entwickeln, die die Grenzstruktur respektiert – die weder in methodologischen Fundamentalismus noch in methodologischen Anarchismus verfällt, sondern eine kontextspezifische, reflexiv selbstkorrigierende Methodologie beschreibt? Diese Frage hat unmittelbare Relevanz für die Wissenschaftspolitik und die Wissenschaftsethik: Sie betrifft die Frage, wie wissenschaftliche Institutionen organisiert sein sollten, damit die epistemische Arbeitsteilung die Ermöglichungsstrukturen der Wirklichkeit möglichst reichhaltig erschließt.

Eine dritte offene Frage betrifft das Verhältnis der Grenzontologie zu den aktuellen Debatten in der formalen Epistemologie und der Philosophie der Statistik: Wie verhält sich die grenzontologische Konzeption von Wahrscheinlichkeit und Evidenz zu bayesianischen und frequentistischen Theorien? Die Entzugsdimension der Ermöglichungsstruktur hat Implikationen für die Interpretation von Wahrscheinlichkeiten, die in diesen Debatten bisher nicht diskutiert wurden.

### **9.4 Der Aufsatz im Kontext von Otts Programm: Beitrag zu einem nicht abgeschlossenen Projekt**

Erwin Otts *Apophatik und Prozess als Grenzbegriffe der Ontologie* ist ein Werk, das seinen eigenen unabgeschlossenen Charakter explizit thematisiert: Es beansprucht nicht, eine abgeschlossene Theorie zu sein, sondern ein Prolegomenon – eine Vorbereitung zu einer Fundamentalontologie, die die Bedingungen möglicher Bestimmtheit reflexiv erschließt. Dieser Prolegomenon-Charakter ist der philosophischen Logik des Projekts immanent. Ein Projekt, das die Grenzstruktur als Bedingung aller Bestimmtheit ausweist, muss sich selbst als Grenzobjekt verstehen: als eine Beschreibung, die auf eine Ermöglichungsstruktur verweist, die über sie hinausweist.

Der vorliegende Essay versteht sich als ein Beitrag zu diesem nicht abgeschlossenen Projekt: als eine Erschließung einer Dimension – der wissenschaftsphilosophischen –, die in Otts Manuskript als Leerstelle markiert ist und deren systematische Erschließung das Programm der Grenzontologie erheblich erweitert. Diese Erweiterung ist nicht bloß additiv, sondern konstitutiv: Die Konfrontation der Grenzontologie mit den Aporien der Wissenschaftsphilosophie hat gezeigt, dass die Grenzontologie durch diese Konfrontation präzisiert und vertieft wird. Die Desiderata, die die Wissenschaftsphilosophie an die Grenzontologie richtet – die domänenspezifische Differenzierung, die Theorie der Historizität, die normative Dimension –, sind nicht bloß externe Anforderungen; sie sind Anfragen, die aus dem Überschuss der Ermöglichungsstruktur über die bisherigen Grenzbegriffe der Grenzontologie resultieren.

Offenheit als epistemologisches Strukturmoment – so lautet der Titel dieses abschließenden Abschnitts. Offenheit ist hier kein bloß rhetorischer Bescheidenheitsgestus; sie ist die konsequente Selbstanwendung der Grenzontologie auf das eigene Projekt. Wenn jede Beschreibung auf eine Ermöglichungsstruktur verweist, die sie übersteigt, dann gilt das auch für die Beschreibung der Grenzstruktur selbst: Auch die Grenzontologie verweist auf einen Ermöglichungsgrund, der über ihre bisherigen Formulierungen hinausweist. Und wenn wissenschaftliche Erkenntnis wesentlich durch offene Prozessualität charakterisiert ist – durch eine Entwicklung ohne teleologische Schließung –, dann ist die Philosophie, die diese Erkenntnis zu fundieren beansprucht, derselben Prozessualität unterworfen. Der Essay schließt daher nicht mit einer Konklusion, die das Gesagte vollständig zusammenfasst; er schließt mit einer Offenheit, die das Gesagte als Moment einer Reflexion kenntlich macht, die über es hinausweist – wie die Wirklichkeit über jede ihrer Bestimmungen.