philosophia naturalis

Journal for the Philosophy of Nature

KLOSTERMANN Band/Volume 45 / 2008 Heft/Issue 2

Journal for the Philosophy of Nature

philosophia naturalis

45 / 2008 / 2

KLOSTERMANN

Jahresinhaltsverzeichnis 2008

Inhalt

The articles are indexed in *The Philosopher's Index* and *Mathematical Reviews.*

Abonnenten der Printausgabe können über Ingentaconnect auf die Online-Ausgabe der Zeitschrift zugreifen: *www.ingentaconnect.com*

Zurückliegende Jahrgänge sind mit einer Sperrfrist von fünf Jahren für die Abonnenten von *www.digizeitschriften.de* zugänglich.

Satz: Mirjam Loch, Frankfurt am Main / Druck: KM-Druck, Groß-Umstadt.
Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier ∞ ISO 9706.

ISSN 0031-8027

Thomas Bartelborth

Dimensionen der Erklärungsstärke in modernen Erklärungstheorien

Zusammenfassung

Viele moderne Erklärungskonzeptionen betrachten das Erklären eines Ereignisses E als Angabe seiner Ursache A sowie der Naturgesetze G, die A und E miteinander verbinden. Die Naturgesetze dienen dabei dazu, bestimmte dispositionale Eigenschaften der beteiligten Systeme zu beschreiben, die E hervorgebracht haben. Erklärungen dieser Art betonen die metaphysischen Aspekte des Erklärens, sind daneben aber von durchaus von unterschiedlicher Qualität, was z.B. beim Schluss auf die beste Erklärung von entscheidender Bedeutung ist. Zunächst werden die Ideen dieser modernen (metaphysischen) Ansätze vorgestellt und motiviert, dann wird vor allem expliziert, wie sich die Erklärungsstärke in diesem Rahmen bestimmen lässt. Dabei finden wir unterschiedliche Aspekte der Erklärungsstärke, die in einem Spannungsverhältnis stehen. Es geht u.a. um den Informationsgehalt der Erklärung und die verschiedenen Formen der Vereinheitlichung.

Abstract

Many modern accounts of explanation regard the explaining of an event E as giving the cause A of E and a law L that connects A with E. Laws serve as descriptions of certain stable dispositional properties of the systems involved that have produced E. Furthermore, explanations are of a different quality, which is crucial for inferences to the best explanation. At first, the basic ideas of these accounts are introduced and motivated, and in the second step a conception of explanatory strength will be developed in this framework. We discover different aspects of explanatory strength that show a certain tension. Among these aspects we find the informational content of an explanation and different forms of unification.

1. Die Entwicklung moderner Erklärungstheorien

Die Erklärungsdebatte bildet aus gutem Grund einen Schwerpunkt der gegenwärtigen wissenschaftstheoretischen Forschung. In engem Zusammenhang damit stehen auch die Debatten um Kausalität und Naturgesetze, die als wichtige Aspekte von Erklärungen gehandelt werden. Wenn wir verstehen möchten, warum eine Fensterscheibe zu Bruch ging, fragen wir typischerweise nach den Ursachen dafür (etwa: einem Stein, der die Scheibe traf) und danach, wie diese Ursachen mit dem zu erklärenden Ereignis zusammenhängen (etwa: Glas ist zerbrechlich). Für Letzteres werden meist Naturgesetze oder Ähnliches herangezogen. Die beschreiben gewisse Eigenschaften oder Vermögen bestimmter Arten von Objekten. Die dispositionale Eigenschaft des Glases, zerbrechlich zu sein, weist auf ein solches allgemeines Muster für unser Verständnis unserer Umwelt hin. Alle Objekte besitzen bestimmte dispositionale Eigenschaften, mit deren Hilfe wir ihr Verhalten in einigen Situationen erklären können.

Ausgangspunkt der Debatte war das DN-Schema des Erklärens, dessen Probleme die modernen und wieder stärker metaphysischen Erklärungsauffassungen motivieren. Hauptziel dieser Untersuchung wird eine Explikation der Erklärungsstärke bzw. -tiefe sein, die bisher nur selten thematisiert wurde. Dazu soll aber vorher die moderne Erklärungsauffassung mit ihren metaphysischen Bestandteilen eingeführt und motiviert werden. Die Erklärungsstärke wird dort bedeutsam, wo wir unterschiedliche potentielle Erklärungen miteinander vergleichen müssen, um uns für eine bestimmte Hypothese zu entscheiden. Das ist typisch für das Verfahren des Schlusses auf die beste Erklärung, mit dem wir im Alltag und in der Wissenschaft bestimmte Theorien auswählen.

Den (logischen) Empiristen waren Erklärungen des zu Beginn geschilderten Typs suspekt. Diese Erklärungen postulieren oft verborgene Eigenschaften hinter den Phänomenen, mit deren Hilfe wir diese dann erklären. Diese seltsamen Vermögen und weitere unbeobachtbare Objekte wie Elektronen gehören für strikte Empiristen in den Bereich der metaphysischen Spekulationen, auf die sich die Wissenschaft lieber nicht einlassen sollte. Daher griffen sie eine bestimmte Auffassung der Wissenschaft dankbar auf, die darauf zu verzichten scheint:

> Im 19. Jahrhundert vertraten einige deutsche Physiker, z.B. Gustav Kirchhoff und Ernst Mach, die Meinung, dass die Naturwissenschaft nicht „Warum?" fragen sollte, sondern „Wie?". Damit meinten sie, dass die Wissenschaft nicht nach einem unbekannten metaphysischen Agens Ausschau halten, sondern die Ereignisse mit Hilfe von Gesetzen beschreiben sollte (Carnap 1968: Teil I.1)

Die entsprechende Erklärungsauffassung (das sogenannte deduktiv-nomologische Erklärungsschema) besagt, dass das Erklären eines Ereignisses E darin besteht aufzuzeigen, wie E aufgrund bestimmter empirischer Naturgesetze und einiger vorliegender Randbedingungen zu erwarten war und sich sogar deduktiv ableiten lässt. Möchten wir etwa eine Sonnenfinsternis erklären, beschreiben die Randbedingungen, wo sich die Erde, der Mond und die Sonne zu einem bestimmten Zeitpunkt aufhalten, und das Gravitationsgesetz liefert eine Beschreibung der Bahnen, die sie einnehmen, so dass sich ableiten lässt, wann der Mond gerade die Sonne verdecken wird. Die Hauptlast der Erklärung liegt dabei auf den Gesetzen. Sie stellen die relevante Verbindung zwischen den Randbedingungen und dem Ereignis E her. Für die logischen Empiristen werden Gesetze im Wesentlichen durch Allsätze der Form $\forall x(Fx \rightarrow Gx)$ repräsentiert. Sie beschreiben nur Regelmäßigkeiten der Natur und ersetzen so die Bezugnahme auf die metaphysischen Vermögen der nicht-empiristischen Erklärungen. Diese Abkehr von der Metaphysik ist natürlich nur insoweit erfolgreich, wie es gelingt, mit dieser Konzeption das wissenschaftliche Erklären korrekt zu rekonstruieren und eine nicht-metaphysische Explikation der Naturgesetze zu liefern.

Anhand einfacher Überlegungen und Beispiele aus der Erklärungsdebatte möchte ich im Folgenden zeigen, dass das nicht gelingen kann. Zunächst begründe ich, warum eine angemessene Vorstellung von Gesetzesartigkeit schon die Bezugnahme auf die zugrunde liegenden Vermögen benötigt. Dabei stütze ich mich in Abschnitt 2 auf die Überlegungen von Bird (2002, 2005) über die Wahrmacher von Gesetzesaussagen und entwickle dazu meine Vorstellung von *nomischen Mustern* (vgl. Bartelborth 2007, Kap. III). Die stellen eine Abschwächung einer strikten Form von Gesetzesartigkeit dar. Es wird nur noch eine gewisse Stabilität der erklärenden Generalisierung verlangt. Das lässt sich explizieren unter Rückgriff auf die Ideen von Woodward u.a., die weitergehende Anforderungen an die jeweils beschriebenen Vermögen formulieren. Abschnitt 3 zeigt, dass wir auch auf stärkere inhaltliche Zusammenhänge zwischen Explanans und Explanandum für das Erklären angewiesen sind, als sie das DN-Schema zur Verfügung stellt. Hier bietet sich die Kausalbeziehung an. Das hat einige Erklärungstheoretiker (wie z.B. Lipton 1991) allerdings zu der Annahme verführt, wir könnten gleich ganz auf die Gesetzesforderung verzichten und von einer Erklärung nur noch verlangen, dass sie einige konkrete Ursachen des Explanandumereignisses anführt, die etwa durch pragmatische Aspekte der Erklärungsfrage ausgewählt werden können (vgl. Bartelborth 2007, II.7). Unsere ganze Konzeption von wirkenden Eigenschaften passt allerdings nicht gut zu dieser Auffassung von Kausalität. Das zeigt sich auch in den meisten Explikationen von singulärer Verursachung. Außerdem wird in Abschnitt 4 begründet, weshalb insbesondere das Erklären sich keinesfalls mit singulären Kausalzusammenhängen begnügen kann. Wir sind also für das Erklären auf nomische Muster angewiesen. In Abschnitt 5 werden die Merkmale dieser Muster dann präziser beschrieben. Dazu entwerfe ich eine semantische Darstellung, die die erklärenden Muster durch ihre Modellmengen charakterisiert. Mit ihrer Hilfe können schließlich in Abschnitt 6 die unterschiedlichen Dimensionen der Erklärungsstärke auf recht einfache Weise formuliert werden. Dabei stellt sich im Ergebnis heraus, dass wir zusammen mit der *lokalen Invarianz* der nomischen Muster, die Woodward und Hitchcock betonen, ebenso ihre *globale Invarianz* berücksichtigen müssen. Dazu kommt als weitere Dimension der *empirische Gehalt* der Erklärung für unser Explanandum. Alle Aspekte der Erklärungsstärke stehen allerdings in einem Spannungsverhältnis und greifen so ineinander, dass gegenseitige Verrechnungen erforderlich werden.

2. Gründe für eine moderne Gesetzesauffassung

Das erste Problem des DN-Schemas findet sich in der genaueren Abgrenzung der Naturgesetze von anderen wahren Allaussagen. Also z.B. von: „Alle Flüsse enthalten höchstens 5 % Coca-Cola“ oder von (*) „Alle Sprecher der Tagesschau sind größer als 1,62 m.“ Wir finden viele wahre Allaussagen, die vermutlich keine Gesetze darstellen und dann nicht in Erklärungen eingesetzt werden können. Wir können nicht erklären, warum Joe größer ist als 1,62 m, in dem wir es darauf zurückführen, dass Sprecher der Tagesschau eben größer sind. Man merkt schon, dass uns diese Auskunft zu keinem Verstehen verhilft. Sie bleibt in jedem Fall unbefriedigend. Die Größe von Joe wird vielmehr anhand seiner genetischen Ausstattung erklärt und diese wiederum anhand ihrer evolutionären Vorgeschichte. Eher ist es so, dass seine Größe dabei behilflich war, diesen Beruf erfolgreich anstreben zu können.

Was kennzeichnet also echte Gesetze? Nach Auskunft der Empiristen sollten sie universell bezüglich Raum und Zeit sein und nicht aus logischen Gründen auf eine endliche (und räumlich beschränkte) Menge von Objekten beziehen. Carnap hoffte die Gesetzesartigkeit durch einfache semantische Anforderungen charakterisieren zu können, aber ein elementares Beispiel von Reichenbach zeigt bereits, dass das nicht ausreicht:

(1) Es gibt keinen stabilen Goldklumpen von 1.000 kg.
(2) Es gibt keinen stabilen Klumpen Uran-235 von 1.000 kg.

Was sind die Unterschiede im Hinblick auf Gesetzesartigkeit? Die Aussage (1) formuliert eine kontingenterweise (vermutlich) wahre Behauptung, die aber nicht zu Erklärungszwecken herangezogen werden kann und die insbesondere keine interessanten *kontrafaktischen Konsequenzen* abzuleiten gestattet. Wir können also nicht anhand von (1) *erklären*, warum ein bestimmter Klumpen Gold ein geringeres Gewicht als 1.000 kg hat. Wir können ebenso wenig schließen, dass ein großer Klumpen Metall, den wir zusammensetzen, sobald er mehr wiegen würde als 1.000 kg, kein Gold mehr sein würde. Es ist keine spezielle Eigenschaft des Goldes, die (1) wahr macht, sondern nur die Eigenschaft von Menschen, dass sie bisher keinen guten Grund hatten, einen solchen Klumpen herzustellen.

Das ist ganz anders im zweiten Fall. Uran-235 hat eine kritische Masse von ca. 50 kg. Größere Klumpen dieses Uran-Isotopes sind nicht stabil, sondern enden sofort in einer Kettenreaktion. Insofern hat (2) eine gewisse Erklärungskraft, weil es eine stabile Generalisierung darstellt, hinter der eine intrinsische Eigenschaft der beschriebenen Objekte steht. Sie kann auch auf gewisse kontrafaktische Fragen antworten. Das ist ein wichtiges Indiz für das Vorliegen einer Erklärung anhand eines *nomischen Musters*.

Wenn also jemand fragt, was passieren würde, wenn wir versuchen würden, einen 1.200 kg schweren Uran-235 Klumpen zu erzeugen, so ist die Antwort (2), dass es solche Klumpen für Uran-235 nicht geben kann, eine erste hilfreiche Einsicht. Allerdings noch keine sehr tiefschürfende. Wir erfahren z.B. noch nichts über den zugrunde liegenden Mechanismus, der das verhindert. Erst die Theorien über die spontane und die induzierte Kernspaltung erklären tiefer, was zu der Gültigkeit von (2) führt, und erklären daneben präziser, warum es uns nicht gelungen ist, einen 1.200 kg Klumpen Uran-235 zu erzeugen. Die exakten Ausführungen geben nämlich an, ab welcher Masse wir Schwierigkeiten haben werden, einen entsprechenden Klumpen zu erzeugen, und zwar bei den genannten 50 kg.

Um die Auszeichnungen von Gesetzen treffen zu können, müssen wir uns darauf beziehen, ob es sich bei der zugrundeliegenden jeweils beschriebenen Eigenschaft um eine intrinsische Disposition bzw. ein Vermögen des Typs von Objekt oder System handelt, um das es geht, oder vielmehr um eine extrinsische Eigenschaft, die nur zufällig zu diesem Zeitpunkt vorliegt, die aber nicht charakteristisch ist für die betreffende (natürliche) Art von Objekten. Wir stellen damit substantielle Vermutungen über die Art der hinter den Phänomenen stehenden Eigenschaften an und schreiben dem Uran-235 ein aktives Vermögen zu. Das ist kaum im Sinne der Empiristen, die hofften, Gesetze ließen sich als bloße Beschreibungen von tatsächlich auftretenden Regelmäßigkeiten verstehen. Neue Konzeptionen von Gesetzen importieren die Metaphysik bzw. die Naturphilosophie an dieser Stelle wieder in die Erklärungskonzeption (vgl. Bird 2005, Cartwright 1989, Ellis 2001, Hüttemann 1998, Lowe 2006 u. a.).

In modernen Erklärungskonzeptionen findet sich somit oft die folgende Idee: Erklärungen beschreiben dadurch, wie es zu bestimmten Ereignissen oder Tatsachen kam, dass im Vorfeld der betreffenden Situationen bestimmte intrinsische Eigenschaften der betreffenden Systeme identifiziert werden, die dafür verantwortlich sind. Sie stellen Kräfte (bzw. Vermögen, Fähigkeiten oder Dispositionen) dar, in bestimmten Situationen bzw. auf bestimmte Reize hin Veränderungen herbeizuführen. Diese Eigenschaften sind nicht immer basale physikalische Eigenschaften (wie andere Massen oder Ladungen anzuziehen), sondern können auch auf höheren Ebenen angesiedelt sein. Etwa die Eigenschaft, sich auf Erhitzung hin auszudehnen oder unter Druck zu zerbrechen oder auf bestimmte Äußerungen hin wütend zu werden etc. Diese Eigenschaften werden durch Generalisierungen beschrieben. Etwa: Alle Metalle dehnen sich beim Erhitzen aus. Oder: Je stärker ein Metall erwärmt wird, umso mehr dehnt es sich aus. Oder wir finden genauere quantitative Versionen davon.

Umso robuster diese Eigenschaften sind, umso stabiler ist die Generalisierung, die sie beschreibt. Damit ist u. a. gemeint, dass die Eigenschaften ihre Wirkungen unter möglichst vielen unterschiedlichen Bedingungen entfalten. Allerdings gibt es eine Debatte um die Frage, welcher Art die Stabilität sein soll, damit eine Generalisierung Erklärungskraft besitzt (s. u.). Erst im Fall maximaler Stabilität handelt es sich um strikte Naturgesetze. Erklärungen nehmen über diese Gesetze auf die Eigenschaften (und ihre kausalen Wirkungen) Bezug und erklären so die Wirkungen. Nicht alle Eigenschaften von Objekten oder Systemen führen zu Gesetzen und somit schließlich zu Erklärungen. Zwei Aspekte sind dabei von Bedeutung. Erstens muss es sich um *intrinsische dispositionale Eigenschaften* handeln (die einen kausalen Zusammenhang beschreiben) und zweitens müssen die resultierenden Generalisierungen eine gewisse *Stabilität* aufweisen.

Die Auffassung von Gesetzen als intrinsischer Vermögen bestimmter Systeme kann ein Problem lösen, mit dem z. B. alle empiristischen Regularitätenkonzeptionen belastet sind. Nur weil ein Gesetz vorliegt, müssen wir nicht eine strikte Regularität in der Welt vorfinden, die ihm entspricht. Das Galileische Fallgesetz gilt zwar für alle Körper, aber diese zeigen normalerweise keine entsprechende *Regularität*. Gesetze sind daher nicht mit Regularitäten zu identifizieren. Beschreiben sie hingegen dispositionale Eigenschaften, dürfen wir keine einfache Regularität erwarten, denn für die meisten Dispositionen gibt es sogenannte „Gegengifte" in Form von anderen kausalen Faktoren, die unseren ursprünglichen Vermögen entgegenwirken können, so dass sich die Wirkungen nicht einstellen (vgl. Bird 2004, Bartelborth 2007, 55 ff.). In unserem Beispiel ist das u. a. der Luftwiderstand. Die neue Gesetzesauffassung bietet somit eine Erklärungsleistung für bestimmte Phänomene, die die Regularitätenkonzeption von Gesetzen nicht zur Verfügung stellt.

Das bedeutet zugleich, dass Dispositionen nicht reduzierbar sind auf entsprechende Konditionalaussagen, obwohl sie im Normalfall zu bestimmten (approximativ geltenden) Regularitäten führen. Sonst kämen wir ihnen wohl nur schwerlich auf die Schliche. Der Gesetzesbegriff wird damit allerdings liberalisiert und erlaubt graduelle Abstufungen. Das entspricht auch unserer Wahrnehmung, dass wir es in den Sozialwissenschaften und der Medizin nicht mit strikten Gesetzeserklärungen zu tun haben. Die verfügbaren Generalisierungen beschreiben einzelne (schwache) Tendenzen in einem komplexen Umfeld anderer Faktoren mit oft unbekannten Überlagerungseffekten. Deshalb spreche ich auch lieber von *nomischen Mustern* (vgl. Bartelborth 2007, 83 ff.), die eine gewisse Stabilität aufweisen, d. h. in einer Reihe von Situationen realisiert werden, bzw. auf eine Reihe von kontrafaktischen Fragen Antworten liefern. Statt den Gesetzesbegriff aufzuweichen, weichen wir das DN-Schema auf und gestatten nomische Muster statt strikter Gesetze (vgl. Woodward/Hitchcock 2003).

3. Kausalität und die Instantiierung von Eigenschaften

Ein weiteres Problem des DN-Schemas stellt die genaue Art der Relevanzbeziehung dar. Für die logischen Empiristen war die Relevanz des Explanans für das Explanandum durch die Bedingung der deduktiven Ableitbarkeit bzw. einer probabilistischen Erwartbarkeit gegeben. Leider zeigt bereits ein simples Beispiel von Vorwegnahme („preemption") von Achinstein (1983), dass das nicht ausreicht:

(A1) Gesetz: Jeder Mensch, der ein Pfund Arsen zu sich nimmt, stirbt innerhalb von 24 Stunden.
Randbedingungen: Jones aß ein Pfund Arsen.
Explanandum Satz: Jones starb innerhalb von 24 Stunden.

Das Beispiel genügt dem deduktiv nomologischen Schema und würde sicherlich eine gute Erklärung abgeben, wenn Jones tatsächlich an der Einnahme des Arsens gestorben wäre. Doch (A1) gibt keine Erklärung für das Ableben von Jones an, wenn der von einem LKW überfahren wurde, ehe das Arsen anfing zu wirken. Dann handelt es sich zwar weiterhin um einen logisch gültigen Schluss, aber das Explanans beschreibt nicht die tatsächlichen Ursachen des Explanandums. Ein naheliegender Ausweg an dieser Stelle ist die Zusatzforderung, dass im Explanans eine/die *Ursache* des Explanandums angegeben werden muss.

Jedenfalls muss die Relevanzbeziehung über die logischen Beziehungen in unserer Darstellung der Erklärung hinausgehen. Wir sind außerdem gezwungen, uns auf einen objektiv vorliegenden Zusammenhang zu berufen (vgl. Bartelborth 1996, Kap. VIII.D.1). Das geht wiederum über den Rahmen der klassischen empiristischen Ansätze hinaus. Letztlich sind alle Vorschläge für diese Relevanzbeziehung, die intuitiv in Frage kommen, für einen konsequenten Empiristen als metaphysisch einzustufen.

Hier findet sich auch das Problem *singulärer* versus *allgemeiner Kausalität*. Wir haben oft Einzelfälle, also etwa konkrete Ereignisse, zu erklären. Empirisch untersuchen können wir dagegen typischerweise nur den allgemeinen Zusammenhang von (generischen) Faktoren. Wie überträgt man das auf den Einzelfall? So könnte man sagen, um eine Erklärungsbeziehung nachzuweisen, müssen wir zunächst nachweisen, dass bestimmte Faktoren oder Typen von Ereignissen A (wie z. B. Gammastrahlung) zu bestimmten anderen Typen von Ereignissen E (wie Fällen von Leukämie) führen. Dann müssen wir zeigen, dass genau dieser

Zusammenhang in unserem Fall vorliegt oder instantiiert wurde; bzw. wir müssen zeigen, dass die vorliegende Instanz von A gerade die tatsächliche Ursache der betreffenden Instanz von E ist. Wie lassen sich diese beiden Behauptungen überprüfen? Dazu sind unterschiedliche Verfahren anzuwenden. Den generischen Zusammenhang können wir idealerweise in einem kontrollierten Experiment nachweisen. Dass es im konkreten Fall von Anton aber gerade die Gammastrahlung und nicht etwa der Einfluss anderer Faktoren war, der die Leukämie von Anton ausgelöst hat, dass können wir nur anhand einer eliminativen Induktion begründen. Wir müssen andere Faktoren, die ebenfalls in Betracht kommen würden, so gut es geht ausschließen.[1]

Wir könnten für den Einzelfall etwa eine kontrafaktische Abhängigkeit im Einzelfall zum Nachweis der Kausalität fordern, wie es Woodward (2003, 74ff.) in seinen Definitionen (AC) und (AC*) (für „actual cause“) unternimmt. Doch dieser kontrafaktische Zusammenhang lässt sich wiederum nur auf der Ebene der Typen (Faktoren) von Ursachen empirisch untersuchen und löst daher nicht unser *Nachweisproblem* im Einzelfall. Ob Antons Leukämie tatsächlich durch die Gammastrahlung ausgelöst wurde, lässt sich so nicht feststellen. Wir können Anton eben nicht noch einmal in dieselbe Situation bringen, nur dass er diesmal keine Gammastrahlung abbekommt. Wir können das nur anhand von anderen Menschen untersuchen, die Anton ähnlich sind, aber nicht der Gammastrahlung ausgesetzt waren. Bei statistischen Effekten sind wir sogar zwingend auf größere Gruppen angewiesen. Gerade Woodward (2003), der viel Wert auf die empirische Überprüfbarkeit seiner Bedingungen legt, sollte daher an dieser Stelle die Nachweisprobleme ernster nehmen. Doch damit wäre auch seine Konzeption der (funktionalen) Invarianz (s.u.) gefährdet.

Was genau sind die Relata der Kausalbeziehung? Auf der Ebene der Einzelfälle sind es Instantiierungen von Eigenschaften. Es ist demnach nicht die Erde per se, die eine Anziehungskraft auf uns ausübt, sondern spezieller ihre schwere Masse. So ist es auch die elektrische Ladung eines Körpers, die die Anziehungskraft auf andere elektrisch geladene Körper ausübt und nicht die anderen Aspekte des Körpers. Viele davon tragen zur Anziehung nichts bei. Es sind demnach zunächst singuläre Sachverhalte, die als Relata auftreten. Es können aber auch größere und komplexe Sachverhalte verantwortlich sein, die ich als *Situationen* bezeichnen möchte.

Zentral sind dabei die Eigenschaften und ihre Vermögen, etwas Bestimmtes zu bewirken. Sie führen uns schließlich wieder aus dem Bereich der singulären Sachverhalte heraus in den der allgemeineren Sachverhalte, denn dieselben oder ähnliche Eigenschaften haben dieselben Vermögen (oder Tendenzen) auch in ihren anderen Instantiierungen. Nur so denken wir uns derartige Eigenschaften. Die für uns relevanten Eigenschaften zeigen nicht einmal diese und ein andermal jene Vermögen, sondern sie sind geradezu definiert über ganz bestimmte *generische Vermögen*. So gehören zur elektrischen Ladung ihre Kräfte, die sie auf andere elektrisch geladene Teilchen ausübt, zwangsläufig dazu. Typischerweise gehen wir davon aus, dass Objekte oder Systeme einer *natürlichen Art* bestimmte solcher dispositionalen Eigenschaften aufweisen. Elektronen werden etwa dadurch charakterisiert, dass sie eine negative elektrische Einheitsladung besitzen und diese ist wiederum dadurch gekennzeichnet, dass sie gleichartige Ladungen abstößt und positive Ladungen gemäß dem Coulombschen Gesetz anzieht.

Als eine pointierte Position finden wir hier den sogenannten *dispositionalen Essentialismus*, für den natürliche Arten oder bestimmte Eigenschaften notwendigerweise durch ihre kausalen Vermögen charakterisiert sind, d.h. sie weisen diese Vermögen mit Notwendigkeit auf (vgl. Ellis und Lierse 1994; Bird 2005, 2002). Wenn ein Ding andere elektrisch negativ geladene Partikel nicht abstößt, *kann* es demnach kein Elektron sein. So wird auch verständlich, weshalb Gesetze kontrafaktische Aussagen begründen können und oft als notwendige Aussagen erscheinen. In dieser Richtung denken wir jedenfalls üblicherweise, wenn wir einem Objekt bestimmte Eigenschaften zuschreiben. Allerdings kommen an dieser Stelle auch schwächere Ansätze wie der von Lowe (2006) in Frage (vgl. Bartelborth 2007, 71 ff.), weshalb ich keine Festlegung an dieser Stelle vornehmen möchte.

Bleiben wir zunächst im Bereich der deterministischen Kausalität. Was würde es dort bedeuten, wenn zwei Objekte a und b in allen intrinsischen Eigenschaften übereinstimmen und sich trotzdem in denselben Situationen unterschiedlich verhielten? Das widerspräche unserem grundlegenden Modell der Welt, wonach gleiche Ursachen gleiche Wirkungen haben. All unsere Theorien stützen sich darauf und sind entsprechend aufgebaut. Wir wären überzeugt, dass es einen noch unentdeckten Unterschied zwischen beiden Objekten geben müsste. Ohne gute Gründe sollten wir unsere Konzeption von Eigenschaften nicht aufgeben.

Hätten bestimmte Eigenschaftskonstellationen nur einmal eine bestimmte Wirkung und dann nie wieder, könnten wir sie auch nicht entdecken, denn unsere besten Verfahren dafür beruhen auf kontrollierten Experimenten oder Methoden der Differenz, die alle darauf setzen, dass gleiche Umstände gleiche Wirkungen haben. Derartige Ausnahmefälle kommen uns wie Magie vor und blieben unerklärliche Anomalien. Zu unserer Vorstellung von Eigenschaften und ihren Vermögen gehört daher zumindest für den wissenschaftlichen Einsatz die generelle Ebene immer mit dazu. Das wird auch durch die Hinzunahme von indeterministischen Kausalbeziehungen nicht unterlaufen. Es folgen dann zwar nicht mehr gleiche Wirkungen auf gleiche Ursachen, aber wir ersetzen das durch das Prinzip: gleiche Ursachen ergeben gleiche Wahrscheinlichkeiten für die Wirkungen. Außerdem wird die generelle Ebene für einen epistemischen Zugang zu diesen Zusammenhängen dann sogar noch bedeutsamer, denn wir müssen nun größere Fallzahlen gleichartiger Situationen miteinander vergleichen, um die Wahrscheinlichkeiten zu ermitteln.

4. Gibt es singuläre Kausalerklärungen?

Von ihrer Grundidee her sind viele Erklärungen (eines konkreten Ereignisses oder Sachverhalts E) Kausalerklärungen. Sie geben an, wie es zu diesem speziellen E kam, indem sie die Vorgeschichte von E erzählen. Dabei werden vor allem die *relevanten* Teile der Vorgeschichte präsentiert, also die, die tatsächlich zu E beigetragen haben, d.h. die (oder wenigstens einige der) Ursachen U von E. Das gilt im Alltag und setzt sich in der Wissenschaft fort, nur dass wir dort meist genauere Angaben eventuell sogar quantitativer Natur erwarten. Das zu schnelle Fahren verursachte das aus der Kurve fliegen. Genügt es also für eine Erklärung von E, einfach nur eine Ursache von E zu nennen, oder hatte Hempel Recht, dass hier immer schon implizit Gesetze im Spiel sind oder vorausgesetzt werden?

Schon beim Thema Kausalität wurde deutlich, dass die generellen Zusammenhänge unverzichtbar sind. Noch deutlicher wird das nun für das *Erklären*. Wenn ein Auto aus der Kurve getragen wurde, so tragen sicher viele Aspekte der Situation, in der das geschah, dazu bei. Aber wir müssen in unseren Erklärungen die wichtigen herausgreifen und explizit angeben. Wie können wir bestimmte Eigenschaften herausgreifen? Nur deshalb, weil sie einen speziellen Zusammenhang zum Ergebnis aufweisen, den wir kennen. Nur die Eigenschaften sind in einer Erklärung zu nennen, für die ein solcher Zusammenhang besteht und für die wir Grund zu der Annahme haben, dass er auch instantiiert wurde.

Dazu müssen wir zunächst den generellen Zusammenhang dieser Faktoren zu einem Herausschleudern von Autos möglichst genau darstellen. Das erst ermöglicht eine Übertragung auf ähnliche Fälle und entspricht damit auch dem Ziel des Erklärens, nämlich verändernd eingreifen zu können. Das ist die Voraussetzung für ein Verstehen dessen, was dort passiert ist, denn der Hinweis, dass die gesamte Situation S dafür kausal verantwortlich sei, kann das offensichtlich nicht leisten. Ein Erklären ist demnach immer ein Hervorheben von bestimmten Aspekten einer Situation als Ursachen und die Angabe eines (kausalen) stabilen Musters, das einen Zusammenhang der Ursachen zur Wirkung aufzeigt.

Dazu haben wir inzwischen gelernt, dass wir genau genommen *Kontraste* erklären wie: Warum ist Auto 1 aus der Kurve geflogen, während Auto 2 nicht aus der Kurve geflogen ist. Antwort etwa: Auto 1 fuhr mit 60 km/h durch die Kurve, Auto 2 aber nur mit 30 km/h. Doch wen kann diese Antwort noch überzeugen, wenn Millionen anderer Autos, die unserem 1. Fahrzeug gleich sind, in derselben Situation die Kurve ohne Probleme mit 60 km/h durchquerten? So wird der Kontrast nicht erklärt. Wir betrachten den genannten Unterschied nicht als die erklärende Differenz. Sie gibt nicht an, warum Auto 1 verunglückt ist, denn dann müsste sich diese Differenz auch in den anderen Fällen zeigen. Der Zusatz: „In diesem einen Fall war es aber die Ursache", wirkt eher wie eine Trotzreaktion als eine Erklärung. Das belegt wieder, dass das Erklären für uns vor allem eine generische Antwort verlangt und keine, die schlicht einen exotischen Einzelfall von Verursachung behauptet.

Wenn wir erklären möchten, warum die SPD in den letzten Monaten deutlich in der Wählergunst verloren hat, erwarten wir als Antwort auch nicht, dass das ein Resultat der gesamten Situation sei. Jede Analyse, die unser Verstehen befördern soll und die vielleicht sogar Hinweise auf ein Gegensteuern geben kann, muss bestimmte Faktoren hervorheben und damit zugleich die Idee verbinden, dass diese generell in einer ganz bestimmten Richtung wirken. Wenn ich also die Uneinigkeit der SPD als einen Teil einer Erklärung nenne, so muss ich zugleich bestimmte Annahmen unterschreiben wie etwa, dass Parteien, die eine höhere Uneinigkeit zeigen als der Durchschnitt, damit ceteris paribus Wählerstimmen verlieren. Für eine bessere Erklärung sollte die intendierte Generalisierung möglichst genau und explizit spezifiziert sein. Eine erste Annäherung stellt daher das DN-Schema der Erklärung dar mit der Zusatzforderung, dass unter den Randbedingungen im Explanans die tatsächlichen Ursachen des Explanandums genannt werden.

Wir müssen allerdings vom DN-Schema noch darin abrücken, dass wir keine strikten Naturgesetze verlangen können. In den Sozialwissenschaften oder der Medizin werden wir keine strikten ausnahmslosen Gesetze finden, sondern bestenfalls Normalfallhypothesen (Schurz 2004) bzw. Generalisierungen mit einer bestimmten Stabilität, die ich als *nomische Muster* bezeichnen möchte. Das wurde schon in unserem Auto-Beispiel deutlich. Die anvisierte Generalisierung dort wird man wohl kaum als ein Naturgesetz bezeichnen wollen.[2] Damit sieht ein Schema für das Erklären wie folgt aus:

Modernes Erklärungsschema	
$A \Rightarrow E$	(nomisches Muster: A führt zu E)
Am	(Eine Instantiierung m von A liegt vor)
Em	(Die Instanz Em wurde verursacht von Am bzw. das Muster $A \Rightarrow E$ wurde für m instantiiert)

5. Stabile Generalisierungen als nomische Muster

Es gibt eine Vielzahl möglicher Prädikate, aber nur einige davon beziehen sich auf erklärende (substantielle) Eigenschaften. Wir würden z.B. grue-artigen Prädikaten nicht zubilligen, dass sie auf echte Eigenschaften verweisen. Schon gar nicht auf erklärende. Auch viele andere relationale Eigenschaften eignen sich zumindest nicht für wissenschaftliche Erklärungen wie etwa die Eigenschaft von Franz „größer zu sein als eine bestimmte Ute“. Wir erwarten nicht, dass wir einen Wachstumsschub von Franz so erklären können: Er war immer größer als Ute und die hatte einen Wachstumsschub, daher hatte er auch einen. Selbst wenn Franz immer größer war als Ute, erklärt das nicht seinen Wachstumsschub. Franz Größer-sein-als-Ute ist normalerweise keine solche Eigenschaft, die eine intrinsische stabile kausale Eigenschaft von Franz darstellt. Derartige Eigenschaften können sich ändern, ohne dass sich Franz verändert, was ihrer Stabilität schon im Wege steht.

Typischerweise erklären wir das Verhalten eines Systems S anhand seiner intrinsischen Eigenschaften, natürlich durchaus in Reaktion auf äußere Einflüsse (hier also etwa anhand der hormonellen Situation von Franz). Aber die verwendeten Eigenschaften sollten selbst zunächst Eigenschaften des jeweiligen Systems S sein, die es dann disponieren, in bestimmter Weise auf solche Einflüsse zu reagieren. Oder wir gehen zu einem größeren System S' über, das S und Teile seiner Umwelt umfasst, in dem alle betrachteten Einflüsse intrinsisch sind. Erklären können wir dann jedoch auch nur bestimmte Eigenschaften von S' und nicht unbedingt auch der Teile von S'. Die erklärenden Eigenschaften müssen jeweils gewisse stabile und natürliche Charakteristika der Systeme darstellen. Das erwarten wir von intrinsischen Eigenschaften dieser Systeme, jedoch nicht von kontingenten relationalen Beziehungen zu anderen Objekten. Die kontrovers diskutierte Frage bleibt aber, was wir unter der gesuchten Invarianz bzw. Stabilität genau zu verstehen haben.

Dazu gehen wir zunächst davon aus, wie es in diesen Debatten inzwischen üblich ist, dass wir es mit zwei (oder mehr) (Zufalls-) Variablen A und E zu tun haben und diese unsere beteiligten kausalen Faktoren darstellen (vgl. Woodward/Hitchcock 2003, Halpern/Pearl 2005). Dabei kann es sich durchaus um dichotome Variablen handeln, die qualitative Prädikate repräsentieren. Wir müssen uns jedenfalls zunächst um eine genaue Charakterisierung dieser Funktionen bemühen, was oft unterlassen wird. Mein Vorschlag dazu ist: Es seien A(x,s,t) und E(x,s,t') Funktionen, die bestimmten Objekten oder Systemen x in einer bestimmten Situation s (unter bestimmten Bedingungen) zu einem Zeitpunkt t bzw. t' eine reelle Zahl zuordnen, die die Ausprägung der Eigenschaften A bzw. E darstellen. Durch die Wahl von t' möchte ich die Möglichkeit eröffnen, dass die Wirkung zeitlich nach der Ursache eintritt. Außerdem soll eine Funktion f darstellen, wie die Faktoren (A könnte auch mehrere Faktoren beinhalten) zusammenwirken, um E hervorzubringen. Zusammen mit einem Faktor für mögliche Abweichungen U bzw. nicht beachtete Restfaktoren erhalten wir so die Darstellung:

(G) $E(x,s,t') = f(A(x,s,t)) + U(x,s,t)$

Denken wir als Beispiel an den Fall, dass ein größerer Funke (F) einen Brand (B) in einer Scheune verursacht. Dazu kommen die Faktoren

Sauerstoff (S) und die Abwesenheit von Nässe (N) und alle Faktoren seien dichotom und nehmen nur die Werte 0 und 1 an. Dann erhalten wir (wobei wir U im Folgenden meist weglassen):

(1) $B = F \cdot S \cdot (-N)$

Hier müssen drei Faktoren zusammenwirken, um die Wirkung zu erzielen. Die Variablen können aber auch quantitative Größen darstellen. M sei die Menge eines Medikaments und N die Anzahl der Nebenwirkungen. Dann hat in einem bestimmten Bereich Γ unsere Gleichung vielleicht die Gestalt:

(2) $N = aM$,

d.h. die Anzahl der Nebenwirkungen oder der Umfang der Nebenwirkungen (N) steigt linear mit der Menge des eingenommen Medikaments (M). Unsere kleine Theorie sollte genau genommen neben der Gleichung (2) immer die Angabe des Definitionsbereichs Γ für die Funktion f enthalten, für den die Gleichung gilt, sonst ist sie unvollständig.

Die Idee ist nun, dass in (G) A nur dann eine Ursache von E darstellt, wenn es eine *Intervention* an A relativ zu E gibt, so dass, wenn A bei ansonsten gleicher Situation s einen anderen Wert annähme, damit auch der Wert von E ein anderer wäre.[3] Es sollen natürlich nicht alle Eigenschaften bei der Intervention konstant gehalten werden, denn z.B. A wird geändert und auch die zwischen A und E liegenden Größen, die auf irgendeinem Pfad die Wirkung von A auf E übertragen, sollten nicht konstant gehalten werden. Interventionen werden präziser z.B. in Woodward (2003: Kap. III) oder in Woodward & Hitchcock (2003) definiert, aber in ähnlicher Form auch bei anderen Autoren wie Halpern/Pearl (2005). Die Idee ist relativ einfach: Eine Intervention an A bzgl. E setzt A auf einen neuen Wert (set A = r) und hält dabei die Werte aller (relevanten) anderen Variablen fest, die Einfluss auf E haben könnten, aber nicht auf den Pfaden von A nach E liegen. Das ist im Prinzip die Beschreibung eines idealen kontrollierten Experiments, bei dem alle relevanten Variablen kontrolliert (fix gehalten) werden. Die semi-formale Präzisierung ist etwas komplexer.

Welche Stabilität sollte nun ein nomisches Muster bzw. eine erklärende Generalisierung aufweisen? Für Woodward und Hitchcock (2003) stehen die gerade genannten Interventionen ganz im Vordergrund. Nur sie entscheiden, ob (G) eine Erklärungskraft besitzt. Dazu muss es als Minimalforderung zumindest eine Intervention geben, die zu neuen Werten der Funktion E führen würde. Das ist in Beispielen gut nachvollziehbar. Damit der Funke tatsächlich Ursache des Brandes ist, muss gelten: Hätten wir den Funken verhindert, wäre es auch nicht zu dem Brand gekommen. Für die klassische Konzeption der Gesetzesartigkeit und der Vereinheitlichung zählt dagegen nur, ob die Gleichung auch für andere Objekte x ebenso Bestand hat und darüber hinaus, ob sie auch unter anderen Umständen s bestehen bliebe. Wer hat hier Recht? Ich glaube, beide Konzeptionen haben ein Stück weit Recht, vor allem wenn es um die Bestimmung der Erklärungsstärke geht und sind dann im Unrecht, wenn sie die Invarianzforderungen der anderen Seite ablehnen.

Die Woodward/Hitchcocksche Stabilitätsforderung möchte ich als *funktionale* oder manchmal auch als lokale Invarianzforderung bezeichnen, weil sie verlangt, dass die funktionale Gleichung (G) erhalten bleibt, bei einer Abänderung des Wertes von A für ein und dasselbe Objekt oder System unter denselben Bedingungen. Die *minimale* funktionale Invarianzforderung ist die nach Invarianz unter wenigstens einer solchen Testintervention. Testinterventionen sollen den Unterschied zwischen einer bloßen Korrelation und echten Kausalbeziehungen aufdecken. Es mag zwar so sein, dass gelbe Finger immer mit einer erhöhten Lungenkrebsrate einhergehen, aber sie sind nicht die Ursache dafür. Wenn wir die anderen Einflussfaktoren wie das Rauchen konstant halten, und nur die Eigenschaft gelbe Finger auf Null setzen (d.h. bei Rauchern etwa die Finger schützen oder säubern), dann sinkt trotzdem ihre Lungenkrebsrate nicht. Die funktionale Invarianz der Gleichung (G) unter mindestens einer Intervention ist also geradezu eine Voraussetzung dafür, dass (G) überhaupt kausal interpretierbar ist. Sonst könnte (G) noch eine reine Korrelationsgleichung sein oder sogar nur ein einzelnes Datum darstellen.

Als *globale* Invarianzforderung können wir demgegenüber zunächst an die *Situationsinvarianz* denken, wobei wir verlangen, dass unsere Gleichung ebenso unter anderen Randbedingungen s gilt. Das sollte eigentlich für jede Generalisierung für bestimmte Situationen s erfüllt sein. Es können sich etwa Rahmenbedingungen ändern, die weit entfernt liegen und für den betreffenden Zusammenhang vermutlich völlig irrelevant sind. Das sind die uninteressanten Fälle der Situationsinvarianz. Es gibt aber auch spannendere und in einem Vergleich zweier Hypothesen kann die Situationsinvarianz daher trotzdem den Ausschlag geben.

Erweist sich die Darstellung der Wirkung eines Medikaments nicht als stabil unter einer Änderung der Außentemperaturen, ist diese Wirkung schwächer als eine mit der betreffenden Stabilität. Die Gleichung sollte außerdem für möglichst viele Objekte gelten, und wir erwarten damit eine weitere globale Invarianz, nämlich eine gewisse *Objektinvarianz* bzw. *Vereinheitlichung* durch (G). Was wäre, wenn (G) nur für ein einziges Objekt a gelten würde? Wir hatten uns schon überlegt, dass das nicht zusammenpasst mit unserer Konzeption, wie Eigenschaften wirken. Außerdem erwarten wir natürlich auch eine starke *Zeitinvarianz* für Paare <t,t'>, die durch eine zeitliche Verschiebung auseinander hervorgehen, für gesetzesartige Generalisierungen.

Um diese Invarianzen präzise darstellen zu können, so dass wir uns in der Explikation der Erklärungsstärke darauf stützen können, möchte ich die folgenden Konzepte einführen: Ein System m=<x,s,t,t'> bestehend aus einem Objekt x in einer bestimmten Situation s und zwei Zeitpunkten t und t' nenne ich ein *Modell* unserer Minitheorie (G mit Definitionsbereich Γ), wenn m die Gleichung G und zugleich eine gewisse funktionale Invarianzforderung erfüllt.

$M(G) = \{m;\ A(m) = r \in \Gamma \wedge \mathrm{set}(A = r) \rightarrow E(m) = f(r)\}$,
[wobei A(x,s,t,t') gerade dem alten A(x,s,t) und E(x,s,t,t') dem früheren E(x,s,t‘) entsprechen sollen].

Damit erhalten wir für unseren Invarianzbereich Γ(G) die Charakterisierung:

$$\Gamma(G) = \{r \in \mathbb{R};\ \forall m \in M(G) \wedge A(m) = r \rightarrow E(m) = f(A(m))\}$$

Die Forderung nach minimaler funktionaler Invarianz besagt nun, dass Γ(G) mindestens zwei Werte r_1 und r_2 enthalten muss mit $f(r_1) \neq f(r_2)$. Man beachte, dass f einfach nur eine mathematische Funktion ist, Γ(G) aber eine empirisch zu bestimmende Größe. Man könnte sagen, dass M(G) die Menge der globalen Invarianz unserer Theorie (G) angibt. Sie gibt die Vereinheitlichung durch (G) an, denn sie beschreibt, auf welche Systeme unsere Theorie erfolgreich anwendbar ist. Doch die Situation ist genau genommen noch etwas komplizierter, denn wir finden ein komplexeres Abhängigkeitsverhältnis zwischen M und Γ(G).

Betrachten wir den einfachen Fall, dass die Menge eines eingenommenen Medikaments (Variable A) linear wachsend eine Menge an Nebenwirkungen (Variable E) jeweils auf einer Skala von 0 bis 1 verursacht:

(g) $E = cA$, mit $c \in \mathbb{R}^+$ (hier ist also $f(x) = cx$)

Nun gebe es aber zwei Typen von Menschen, die *Robusten* und die *Sensiblen*, und es gebe Menschen in unterschiedlichen Situationen: diejenigen, die noch andere Medikamente einnehmen und diejenigen, die ansonsten keine weiteren Medikamente einnehmen. Dann kann Folgendes der Fall sein: Für die Robusten ohne weiteren Medikamente (M_{ro}) gilt (g) auf dem ganzen Intervall $[0, 1]$, für die Sensiblen ohne weitere Medikamente (M_{so}) ergeben sich ab der Dosierung ½ bereits deutlich höhere Raten von Nebenwirkungen als nur linear anwachsende (ebenso für die Robusten mit weiteren Medikamenten: Mro) und für die Sensiblen mit weiteren Medikamenten (M_{sm}) sogar bereits ab einer Dosierung von ¼. So erhalten wir Teilmengen von $\Gamma ro = [0, 1]$, denen eine spezielle Bedeutung zukommt: $\Gamma_{so} = \Gamma_{rm} = [0,½]$ und $\Gamma_{sm} = [0,¼]$. Hier zeigt sich die enge gegenseitige Abhängigkeit von Modellmenge und Invarianzbereich. Typischerweise erhalten wir für größere Modellmengen kleinere Invarianzbereiche. Genaugenommen haben wir es also mit drei Theorien (g_{ro}, g_{rm+so}, g_{sm}) zu tun, in denen unsere Funktion f jeweils einen anderen Definitionsbereich hat. Die Theorien besagen dann:

(g_{ro}) Für alle $m \in M_{ro}$ gilt: $E(m) = cA(m)$ im Bereich $A(m) \in [0, 1]$,
(g_{rm+so}) Für alle $m \in M_{ro} \cup M_{rm} \cup M_{so}$ gilt:
$E(m) = cA(m)$ im Bereich $A(m) \in [0, ½]$,
(g_{sm}) Für alle $m \in M_{ro} \cup M_{rm} \cup M_{so} \cup M_{sm}$ gilt:
$E(m) = cA(m)$ im Bereich $A(m) \in [0, ¼]$

Man sieht hieran, dass bei größerer Modellmenge (d.h. bei größerer globaler Invarianz der Theorie) ihre lokale Invarianz abnimmt. Im folgenden Abschnitt interessiert uns nun die Frage, welche der drei Theorien die größte Erklärungsstärke hat.

6. Dimensionen der Erklärungsstärke

Insgesamt haben die Empiristen also Recht behalten mit ihrer ursprünglichen Befürchtung, dass Erklärungen metaphysische Zusammenhänge darstellen, die sich nicht auf empiristisch annehmbare Eigenschaften reduzieren lassen. Trotzdem sind ihre eigenen Ansätze zur *Systematisierungsfunktion* von Erklärungen damit nicht überflüssig geworden, sondern kommen hier zum Tragen, wo es um die *Erklärungsstärke* geht.

Erklärungen sind mehr oder weniger gut. Das findet sich allerdings weder im DN-Schema noch in der Darstellung der Metaphysik des Erklärens wieder. Wie lässt sich das rekonstruieren? Meine Antwort ist, dass die *Systematisierungskraft der erklärenden Muster* im Wesentlichen darüber entscheidet, wie groß die Erklärungskraft und damit auch die Güte der jeweiligen Erklärung ist. Meines Erachtens sind es vor allem *zwei Dimensionen*, die die Erklärungsstärke eines Datums E durch eine Theorie T bestimmen. Das ist zum ersten die spezielle Information, die uns T über das Auftreten von E gibt, bzw. der *Informationsgehalt* von T relativ zu E und zum anderen die *Vereinheitlichungskraft* von T (vgl. Bartelborth 2002). Beide Dimensionen lassen sich als plausible Aspekte der Erklärungskraft auffassen und werden auch immer wieder genannt, aber die Frage bleibt, was genau darunter zu verstehen ist. Außerdem übersehen oder vernachlässigen alle Ansätze ganz bestimmte Aspekte.

6.1 Vereinheitlichung

Was kann man nun unter *Vereinheitlichung* verstehen? Hitchcock/Woodward (2003, 184ff.) nennen einige Aspekte von Erklärungsstärke, von denen ich die wichtigsten aufgreifen möchte. Für sie zählt im Bereich der Vereinheitlichung vor allem die *lokale Invarianz*. Eine Theorie G mit größerem Anwendungsbereich Γ ist deshalb erklärungsstärker als Theorie G' mit kleinerem $\Gamma' \subset \Gamma$, weil G mehr kontrafaktische Fragen darüber beantworten kann, was passiert wäre, wenn A einen anderen Wert aufgewiesen hätte.

Das erscheint zunächst plausibel, wird jedoch sofort problematisch, wenn wir berücksichtigen, dass eine größere funktionale Invarianz mit einer kleineren globalen Invarianz einhergehen kann, d.h., es könnte dann M(G') echt enthalten sein in M(G), wie es in unserem Beispiel oben der Fall ist. Das beunruhigt Woodward und Hitchcock nicht, da sie schlicht behaupten, dass eine Invarianz bzgl. der Objekte x keine Relevanz für die Erklärungsstärke besitzt. Für sie wäre also unsere Theorie gro eindeutig die erklärungsstärkste Theorie.

Es sollte sie jedoch beunruhigen, denn auch sie erkennen an, dass eine größere Invarianz bzgl. der Randbedingungen s die Erklärungsstärke vergrößert. Die steht aber ebenso in einem Spannungsverhältnis zur funktionalen Invarianz wie die Objektinvarianz. Außerdem habe ich oben schon dafür argumentiert, dass auch die Objektinvarianz sowohl für Kausalbehauptungen und insbesondere für Erklärungsbehauptungen eine große Bedeutung besitzt. Deshalb wurde sie bisher in Vereinheitlichungskonzeptionen des Erklärens sogar in den Mittelpunkt gestellt. Woodward und Hitchcock haben Recht, dass damit die ebenfalls wichtige funktionale Invarianz übersehen wurde, aber diese kann die globale nicht ersetzen, sondern ergänzt sie nur. Das wird in unserem Beispiel auch durch die enge Verzahnung der beiden Typen von Vereinheitlichung deutlich. Damit haben wir bereits im Bereich der Vereinheitlichung zumindest zwei Dimensionen der Vereinheitlichung, die in unterschiedliche Richtungen weisen (außerdem können auch die Objektinvarianz und die Situationsinvarianz in Konflikt geraten). Wir erhalten somit nur eine partielle Ordnung für die Erklärungsstärke. Doch es kommen noch weitere Aspekte der Erklärungsstärke hinzu. Woodward und Hitchcock weisen darauf hin, dass Γ (jedenfalls für quantitative Größen A und E) möglichst nicht in Mengen isolierter Punkte zerfallen darf, sondern eher zusammenhängend sein sollte. Wir können zumindest behaupten, dass für eine bessere Erklärung Γ wenigstens offene Intervalle enthalten sollte, so dass benachbarte Systeme normalerweise auf ähnliche Weise durch G erklärt werden können.

Als erstes Resultat erhalten wir, dass G' dann die besseren Erklärungen liefert als G, wenn ceteris paribus $\Gamma(G) \subset \Gamma(G')$ ist oder wenn $M(G) \subset M(G')$ ist und außerdem $\Gamma(G')$ zusammenhängender ist als $\Gamma(G)$. Für quantitative Theorien erhalten wir damit als Erklärungsschema für die Erklärung, warum ein bestimmtes Objekt o in einer bestimmten Situation s zu t' gerade die Eigenschaft E im Ausmaß s aufweist:

Erklärungsschema für quantitative Größen

(G) $\forall z \in M(G)$ gilt: $E(z) = f(A(z))$ im Bereich $A(z) \in \Gamma$

$$\frac{m = \langle o,s,t,t' \rangle \in M(G) \wedge A(m) = u \in \Gamma}{E(m) = v = f(u)}$$

Doch es gibt noch einen weiteren Aspekt von Vereinheitlichung zu beachten. Die Vereinheitlichung sollte nicht auf triviale Weise erfolgen, sondern durch ein *einheitliches Muster*, das in vielen Fällen instantiiert ist. Das ist ein altes Problem der Vereinheitlichungsansätze, dass die Vereinheitlichung z.B. nicht dadurch zustande kommen darf, dass zwei Theorien mit ganz unterschiedlichen Mustern per Konjunktion zusammengefügt werden. Natürlich können mehrere Muster in einer Erklärung zusammenwirken und etwa einen komplexeren kausalen Mechanismus beschreiben, doch durch die Konjunktion wird dann keine zusätzliche Vereinheitlichung erzielt. Diese Forderung ist intuitiv verständlich, aber nicht leicht zu präzisieren. Eine ältere Idee ist dazu, dass es zu einem vereinheitlichenden nomischen Muster keine zwei Muster geben darf, deren Konjunktion denselben (empirischen) Gehalt aufweist. Eine formale Präzisierung dieser Idee findet sich in Bartelborth (2002, 1996) im Rahmen der strukturalistischen Theorienauffassung unter dem Stichwort der *organischen Einheitlichkeit*. Dabei geht es darum, wie eng die Modelle einer Theorie untereinander vernetzt sind oder ob die Modellmenge in zwei separate Klassen zerlegt werden kann.

Neben der Vereinheitlichung durch ein nomisches Muster G müssen wir aber auch berücksichtigen, was uns G direkt zum Auftreten von E zu sagen hat. Das ist eine Dimension von Erklärungsstärke, die wiederum in einem gegensätzlichen Verhältnis zu den bisherigen Dimensionen steht.

6.2 Höhere Wahrscheinlichkeit für E

Von dem erklärenden nomischen Muster verlangen wir, dass es eine gute Vereinheitlichung bietet, aber zunächst sollte es auch möglichst gehaltvolle Informationen dazu anführen, warum gerade E aufgetreten ist (und nicht etwa F) und warum E in dieser Situation zu erwarten war. In der Debatte um das induktiv-statistische Modell der Erklärung hat sich gezeigt, dass es nicht ausreicht, wenn das Explanans zu einer hohen Wahrscheinlichkeit für das Explanandum führt. Es fehlt eine Forderung der Relevanz des Explanans für das Explanandum. Daher hat sich die Bedingung der Erhöhung der Wahrscheinlichkeit als plausible Forderung durchgesetzt (das statistische-Relevanz-Modell), die allerdings als Relevanzforderung selbst zu kurz greift. So erhöhen zwar gelbe Finger die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Lungenkrebs (durch ihre Korrelation mit dem Rauchen), haben dafür aber keinen Erklärungswert. Deshalb musste auch die SR-Konzeption durch die Forderung nach einer Kausalbeziehung ergänzt werden. Trotzdem hat der Siegeszug der SR-Bedingung dazu geführt, dass die Forderung der hohen Wahrscheinlichkeit des IS-Modells ganz aufgegeben wurde (vgl. Strevens 2000). Das ist ein offensichtlicher Fehler. Die Forderung nach einer möglichst guten Information darüber, warum dieses spezielle Ereignis E (und nicht andere wie F) aufgetreten ist, findet sich am ehesten in der Forderung nach möglichst hoher Wahrscheinlichkeit wieder. Wenn P(E/A) größer wird, dann wird P(F/A) damit kleiner, wenn F eine echte Alternative zu E darstellt. Für die Relevanzbedingung sind wir ohnehin auf eine Forderung nach einem Kausalzusammenhang bzw. der Instantiierung des nomischen Musters angewiesen.

In unserer Gleichung G sind die Wahrscheinlichkeiten nicht explizit aufgeführt, aber intuitiv in U angesiedelt. U liefert eine reelle Zahl für jedes einzelne Experiment mit einer Wahrscheinlichkeit P(U), die oft als normalverteilt angenommen wird und deren Werte typischerweise als von A unabhängig angesehen werden. Genau genommen müssten wir diese Verteilung P(U) noch extra angeben. Doch der Einfachheit halber wird sie ebenso wie die genaue Angabe des intendierten Definitionsbereichs von f meist weggelassen. U soll zunächst die für E kausal relevanten Faktoren repräsentieren, die wir mit A noch nicht erfasst haben, es kann aber ebenso dazu dienen, Messfehler anzugeben oder genuin indeterministische Effekte zu beschreiben.

Betrachten wir zur Forderung hoher Wahrscheinlichkeiten für das Explanandum ein Beispiel. Nehmen wir zwei Theorien T_1 und T_2. Die erste besagt, dass die Krankheit K mit 5 % Wahrscheinlichkeit zum Tode führt, während die zweite für K 90 % Todeswahrscheinlichkeit annimmt. Wenn nun Fritz ohne anderen erkennbaren Grund gestorben ist, dann ist die Auskunft, dass er K hatte, zwar in jedem Fall ein relevanter Faktor, der zu einer Erklärung führt, aber im Falle von T_1 bleibt die Frage viel offener, warum hat es gerade Fritz erwischt, wenn doch nur 5 von 100 daran sterben. Die Erklärung mit Hilfe von T_2 ist intuitiv weitaus überzeugender. Strevens (2000) erläutert das an Beispielen aus der statistischen Mechanik, in denen speziell die hohe Wahrscheinlichkeit einen wesentlichen Erklärungsfaktor darstellt. D.h. ceteris paribus ist eine Erklärung für E umso besser, umso größer P(E/T) ist.

Das lässt sich auch anhand von Überlegungen zur Stärke der Kausalität bzw. Bedeutung des in G genannten Kausalfaktors erläutern. Nehmen wir an, es wäre ein kausales Muster $A \Rightarrow E$ instantiiert (mit dichotomen Variablen), mit dessen Hilfe wir ein vorliegendes konkretes Explanandum-Ereignis e erklären. Etwa der Art: Durch erhöhte radioaktive Erdstrahlung A (etwa in Gegenden mit einem erhöhten Anteil an radioaktiven Elementen im Boden) erhöht sich die Rate von Darmkrebs E. Wie stark ist nun der genannte Faktor A bei der Entstehung von Darmkrebs? Dazu möchte ich auf eine Überlegung von Humphreys (1989) zurückgreifen. Im Prinzip könnten wir für die Wirkung von A die Größe P(E/A)–P(E/non-A) heranziehen, aber wir sollten noch berücksichtigen, dass wir überall einer gewissen Erdstrahlung ausgesetzt sind. Deshalb sollten wir lieber einen Vergleich zu einem neutralen Zustand N ziehen, der etwa der durchschnittlichen Strahlung in Deutschland in den Gegenden entspricht, die keine erhöhte Strahlung aufweisen. Dann lässt sich der Einfluss des Faktors A auf E als P(E/A)–P(E/N) ausweisen. Wir nehmen nun als Durchschnittswert schlicht P(E) und betrachten P(E/A)–P(E). Das belegt schon, dass ceteris paribus eine höhere Wahrscheinlichkeit P(E/A) eine stärkere Kausalbeziehung anzeigt und auch für einen Vergleich zweier Ursachen A und A' herangezogen werden kann. Genau genommen könnten wir uns auf die *Einzelfallwahrscheinlichkeit* des Vorkommens von E beziehen, das erklärt werden soll, aber da in unserer Erklärung nur das Muster A ⇒ E herangezogen wird, trägt unsere Erklärung auch nur im Umfang der generischen Wahrscheinlichkeit P(E/A) dazu bei.

Wie kommen diese Wahrscheinlichkeiten zustande? Betrachten wir zur Illustration eine deterministische Welt mit dichotomen Kausalfaktoren. Das lässt sich anhand einer Darstellung von Kausalfaktoren im Rahmen der sogenannten *minimalen Theorie* (die auf Mackies INUS-Konzeption aufbaut) erläutern und ich verwende die Schreibweise mit Hilfe eines Doppelkonditionals (vgl. Baumgartner/Grasshoff 2004, 97): $AX \vee Y \rightrightarrows E$.[5] Wenn A eine Ursache von E ist, so verursacht A normalerweise zusammen mit weiteren oft unbekannten Kofaktoren X die Wirkung E. Außerdem wird es meist noch andere Faktorenbündel Y geben, die ebenso zu E führen. Zusätzlich sollen in der minimalen Theorie $AX \vee Y$ keine redundanten Teile mehr in AX und ebenso in Y enthalten sein, wodurch $AX \vee Y$ notwendig ist für E. Wann wird dann P(E/A)-P(E) groß? Dazu nehmen wir vereinfachend an, dass A von X, Y und XY statistisch unabhängig sind (vgl. dazu Baumgartner/Grasshoff 2004, 241 ff.). Dann können wir diese Differenz in einer kleinen Nebenrechnung auf die Wirkung der einzelnen Faktoren zurückführen und erhalten das instruktive Resultat:

$P(E/A) = P(AX \vee Y/A) = P(AX/A) + P(Y/A) - P(AXY/A) = P(X) + P(Y) + P(XY)$ und
$P(E) = P(AX \vee Y) = P(A)P(Y) + P(Y) - P(XY)$ wegen der genannten Unabhängigkeit.
(*) Dann wird $P(E/A) - P(E) = P(X) - P(A)\,P(X) = P(X) \cdot P(\text{non-}A)$.

Also wirkt ein Faktor A umso stärker beim Hervorbringen von E, umso weiter verbreitet seine notwendigen Kofaktoren sind und umso seltener er selbst auftritt. Das liefert wichtige Hinweise darauf, welche Faktoren wir im Normalfall für besonders erklärungsrelevant erachten. Das wird nicht nur von pragmatischen Aspekten bestimmt (was manche Autoren wie Lipton 1991 annahmen), sondern auch von Verteilungshäufigkeiten in unserer Welt. Ist eine Scheune abgebrannt (E) werden wir im Normalfall dafür die brennende Zigarette (A) zur Erklärung nennen und nicht die (allgegenwärtige) Anwesenheit von Sauerstoff, weil die nur als Kofaktor unsere Wahrscheinlichkeitsdifferenz merklich erhöht. Andere notwendige Faktoren sind hingegen seltener und daher ist ihre Nennung in einer Erklärung informativer. Sind ihre Kofaktoren dann weitverbreitet, liefern sie gute Erklärungen.

6.3 Präzisere nomische Muster

In der Wissenschaft stoßen wir auch auf andere Verfahren, um den Gehalt einer Erklärung zu erhöhen. *Quantitative* nomische Muster können die Werte mehr oder weniger genau vorhersagen. Auch das erhöht die Wahrscheinlichkeit von E, weil man so die Verteilung P(U) konzentrierter um den Nullpunkt wählen kann.

Zunächst können wir die sich aus einem freien Fall ergebende Geschwindigkeit eines Objekts O zum Zeitpunkt t (etwa 2 s freier Fall E: $v_t \approx 19{,}6$ m/s) innerhalb gewisser Grenzen durch das Galileische Fallgesetz $v = gt$ als direkte Beschleunigung zur Erde hin erklären, mit $g = 9{,}81$ m/s², wobei g wegen der Erdabplattung und der Erdrotation zwischen ca. 9,78 m/s² (Äquator) und 9,83 m/s² (Pol) schwankt. Der erste Erklärungsansatz bemüht nur das Fallgesetz, und könnte zusätzlich die Schwankungsbreite einbeziehen. Für größere Falllängen müssten wir Newtons Gravitationsgesetz heranziehen, da die Gravitationskraft mit der Entfernung vom Erdmittelpunkt abnimmt (wir könnten genau genommen sogar noch Einsteins Gravitationsgesetz als Präzisierung nutzen). Auf einer dritten Stufe sollten wir vor allem den Luftwiderstand berücksichtigen, der bei niedrigen Geschwindigkeiten noch proportional der Geschwindigkeit ist (also gleich k_v mit Konstante k), bei höheren sogar mit dem Quadrat der Geschwindigkeit wächst und daher sicher die wichtigste Verbesserung darstellt. Außerdem können wir noch Seitenwind und die spezielle Form des Objekts (das vielleicht ins Trudeln kommt) berücksichtigen. In einem gewissen Sinn wird die Erklärung dadurch immer besser.

Aber es gibt dabei auch Abstriche. Die Erklärung wird immer spezifischer auf das Objekt O zugeschnitten. Der Faktor k ist z.B. stark von der Form des Objekts abhängig, und der Seitenwind ist eine spezielle Größe unserer spezifischen Situation. Entweder führen wir k als existenzquantifizierte Konstante ein oder wir bestimmen k mit Hilfe anderer Theorien. Die Gesetze für die Luftreibung gelten wiederum für spezielle Bereiche. Die Einfachheit und Allgemeinheit des galileischen Fallgesetzes geht hier verloren. Die hat auch etwas mit Vereinheitlichung zu tun. Für diesen Problembereich nennen auch Hitchcock und Woodward (2003) das Spannungsverhältnis zwischen größerer Vereinheitlichung und größerem Gehalt, führen allerdings beide Phänomene unter dem Stichwort der Vereinheitlichung auf.

6.4 Vergleiche der Erklärungskraft

Eine einfache Erklärung eines Ereignisses oder einer Tatsache E besteht aus zwei Elementen: einem generellen und einem singulären. Das generelle Element ist die Angabe eines nomischen Musters G ($A \Rightarrow E$), wonach generell Ereignisse vom Typ A Ereignisse vom Typ E (bzw. Ereignisse eines Typs, zu dem E gehört) hervorbringen. Zum singulären Element gehört, dass dieses Muster auch tatsächlich in unserem konkreten Fall instantiiert ist, bzw. im Falle kausaler Muster, dass eine Instanz von A vorliegt, die die tatsächliche Ursache einer Instanz von E darstellt. Damit wir überhaupt davon sprechen können, ein solches Muster sei instantiiert, muss die Minimalbedingung von Hitchcock und Woodward erfüllt sein, wonach es mindestens noch eine Testintervention an A gibt, so dass E nicht aufgetreten wäre (bzw. einen anderen Wert angenommen hätte), wenn A nicht aufgetreten wäre (bzw. einen anderen Wert angenommen hätte). Doch das ist noch eine recht schwache Forderung an Erklärungen und sagt uns wenig darüber, was bessere von schlechteren unterscheidet.

Die Erklärungsstärke selbst ist ein *multidimensionales Konzept*, das für den Vergleich der Stärke von Erklärungen und besonders den erklärenden Theorien zunächst nur eine Halbordnung liefert. Die Dimensionen für eine einfache Theorie T (mit Muster G) im Hinblick auf eine Erklärung von E haben wir nun beisammen. Sie nehmen wiederum Bezug auf die beiden Aspekte des Erklärens. Zunächst muss die Theorie möglichst *gehaltvolle Informationen* über unsere zu erklärende Instanz von E liefern, die sich so zusammenfassen lassen, dass für dichotome Größen $P(E/A)-P(E)$ möglichst groß sein sollte. Die Erklärungsstärke durch T ist also umso größer, umso größer $P(E/A)$ wird.

Das heißt, dass das Muster G eine relativ zu unserer Welt möglichst starke Ursache angeben sollte, die deshalb stark ist, weil die erforderlichen Kofaktoren normalerweise vorliegen, während die Angabe von A besonders informativ ist, weil A selbst als keineswegs selbstverständliche Hintergrundbedingung angesehen werden kann, sondern eher ungewöhnliche Umstände darstellt. Für quantitative Größen erwarten wir, dass sie den Wert von E möglichst genau spezifizieren, dass die Verteilung P(U) an der betreffenden Stelle also möglichst konzentriert ist (eine kleine Streuung aufweist).

Dazu kommt als zweites der Aspekt möglichst guter *Vereinheitlichung* durch G. Der findet sich zunächst in der *funktionalen Invarianz* als Grundlage dafür, dass wir es überhaupt mit einem nomischen Muster zu tun haben. Die Erklärungsstärke ist ceteris paribus umso größer, je umfangreicher $\Gamma(G)$ ist. Aber informativ wird eine Gleichung G erst, wenn wir es auch mit einer gewissen *globalen Invarianz* zu tun haben. Das gehört seinerseits zu unserem Verständnis der kausalen Wirkungen von dispositionalen Eigenschaften. Hierhin gehört ebenfalls die Forderung, dass möglichst ganze *Phänomene* also *Typen* von Situationen und Objekten insgesamt erklärt werden. Die Erklärungskraft von G ist also größer als die von G', wenn $M(G') \subset M(G)$ gilt, wobei zugleich $\Gamma(G') \subseteq \Gamma(G)$ gegeben ist und $P(E/A)/P(E/A') \geq 1$ ist. Insbesondere ist die Inklusionsbedingung für die Modelle so zu verstehen, dass sie möglichst für ganze Klassen von Modellen gilt, die intuitiv ein Phänomen repräsentieren. Die drei explizierten Dimensionen lassen sich womöglich in konkreten Einzelfällen gegeneinander verrechnen, aber es sind bisher keine allgemeinen Regeln dafür gefunden worden.

Komplexe wissenschaftliche Theorien haben eine spezielle Struktur, um die beiden Hauptdimensionen der Erklärungsstärke gemeinsam zu verwirklichen. Sie bestehen aus allgemeineren Komponenten, in denen sie ihre große Vereinheitlichungskraft zeigen und spezielleren Komponenten, in denen sie für kleinere Mengen intendierter Anwendungen gehaltvollere Muster zur Verfügung stellen. Die Newtonsche Mechanik bietet mit f=ma zunächst ein sehr allgemeines und nicht sehr gehaltvolles Muster, das dann um spezielle Kraftgesetze etwa für die Haftreibung für spezielle Anwendungen ergänzt wird und erst dadurch einen größeren Gehalt erhält. Im Rahmen der strukturalistischen Theorienauffassung lassen sich solche Strukturen weiter präzisieren (vgl. Bartelborth 2002).

Anmerkungen

1 In der Konzeption von Halpern und Pearl (2005) verbleiben die Erklärungsbeziehungen auf der generischen Ebene, denn dort sind die Kontexte einfach nur konkrete Werte, die die Variablen annehmen. In den Beispielen geht es allerdings um Instantiierungen der entsprechenden Eigenschaften in konkreten Objekten. Bei Hitchcock und Woodward beziehen sich die Gleichungen nur auf ein konkretes Objekt. In beiden Fällen scheint es sich somit um keine adäquate Konzeption des Erklärens zu handeln, da nicht jeweils beide Aspekte des Erklärens einbezogen werden.
2 Als Alternative könnten wir natürlich auch den Gesetzesbegriff weiter liberalisieren und dann weiter von Gesetzen in diesen Beispielen sprechen. Doch der intuitivere Weg scheint mir der zu sein, hier ein neues Konzept einzuführen, das nicht die strikteren Anforderungen von Gesetzen erfüllen muss.
3 Zur Notation: „A“ und „E“ werden hier sowohl für die generischen Ereignisse oder Sachverhalte wie auch für ihre Instanzen eingesetzt und der Kontext sollte klären, was genau gemeint ist.
4 Wir nehmen hier A der Einfachheit halber immer als einen einfachen Faktor, aber die ganze Konstruktion kann leicht auf den Fall erweitert werden, in dem A mehrere Faktoren repräsentiert und f: $\mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ ist.
5 Mit AX ist die Konjunktion A = 1 und X = 1 gemeint.

Literatur

Achinstein, Peter, 1983: *The Nature of Explanation*, Oxford University Press, Oxford.

Bartelborth, Thomas, 1996: *Begründungsstrategien. Ein Weg durch die analytische Erkenntnistheorie*, Akademie Verlag.

Bartelborth, Thomas, 2002: Explanatory Unification, in: *Synthese* 130: 91–207.

Bartelborth, Thomas, 2007: *Erklären*, Berlin–New York: Walter de Gruyter.

Baumgartner, Michael/Graßhoff, Gerd, 2004: *Kausalität und kausales Schließen*, Bern Studies in the History and Philosophy of Science.

Bird, Alexander, 2002: On whether some laws are necessary, in: *Analysis* 62: 257–270.

Bird, Alexander, 2004: Antidotes All the Way Down?, in: *Theoria* 19, 259–269.

Bird, Alexander, 2005: Explanation and Metaphysics, in: *Synthese* 143, 89–107.

Carnap, Rudolf, 1968: *Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaften*, Ullstein Materialien.
Cartwright, Nancy, 1989: *Nature's Capacities and their Measurement*, Oxford: Oxford University Press, Oxford.
Ellis, Brian and Lierse, Caroline, 1994: Dispositional Essentialism, *Australasian Journal of Philosophy* 72: 27–45.
Ellis, Brian, 2001: *Scientific Essentialism*, Cambridge Studies in Philosophy. Cambridge: Cambridge University Press.
Halpern, Joseph Y. /Pearl, Judea, 2005: Causes and Explanations: A Structural-Model Approach. Part I: Causes & Part II: Explanations, in: *British Journal for the Philosophy of Science* 56 (4), I: 843–887 & II: 889–911.
Hitchcock, Christopher/Woodward, James, 2003: Explanatory Generalizations, Part 2: Plumbing Explanatory Depth, in: *Nous* 37: 181–99.
Humphreys, Paul, 1989: *The Chances of Explanation. Causal Explanation in the Social, Medical, and Physical Sciences*, Princeton: Princeton University Press.
Lipton, Peter, 1991, *Inference to the Best Explanation*, London: Routledge.
Lowe, E. Jonathan, 2006: *The Four-Category Ontology. A Metaphysical Foundation for Natural Science*, Oxford: Clarendon Press.
Schurz, Gerhard, 2004: Normic Laws, Nonmonotonic Reasoning, and the Unity of Science, in: Rahman. S. et al. (eds.), *Logic, Epistemology, and the Unity of Science*, Dordrecht, Kluwer, 181–211.
Strevens, Michael, 2000: Do Large Probabilities Explain Better?, in: *Philosophy of Science* 67, 366–90.
Woodward, James, 2003: *Making Things Happen. A Theory of Causal Explanation*, Oxford: Oxford University Press.
Woodward, James/Hitchcock, Christopher, 2003: Explanatory Generalizations, Part 1: A Counterfactual Account, in: *Nous* 37: 1–24.

Ralf Busse

Fundamentale Eigenschaften und die Grundlagen des Ähnlichkeitsnominalismus[1]

Zusammenfassung

Gibt es fundamentale physikalische Eigenschaften? In diesem Beitrag geht es mir nur um ein ganz abstraktes Konzept von fundamentalen oder, in D. Lewis' Terminologie, perfekt natürlichen Eigenschaften und Relationen. Mein Ziel ist es, den Ähnlichkeitsnominalismus über perfekte Natürlichkeit als eine Alternative zur Universalientheorie zu verteidigen. Gegner wie Anhänger stellen den Ähnlichkeitsnominalismus oft fälschlicherweise als die Position dar, dass sich die Eigenschaften und Relationen von Dingen auf Ähnlichkeiten zwischen ihnen reduzieren lassen oder darauf beruhen. Doch man muss die in einer Theorie in Anspruch genommenen Grundbegriffe (Ideologie) von den in ihr postulierten fundamentalen Eigenschaften, Relationen und Strukturen (Typologie) unterscheiden. Ähnlichkeit ist der charakteristische Grundbegriff des Ähnlichkeitsnominalisten, mit dem er ein allgemeines Konzept der perfekten Natürlichkeit definiert. Er postuliert Ähnlichkeit nicht als eine fundamentale Relation, auf die alle anderen Bestimmungen der Dinge zurückführbar sein sollen. Auf dieser Grundlage weise ich D. M. Armstrongs Supervenienzargument gegen den Ähnlichkeitsnominalismus zurück und entkräfte G. Rodriguez-Pereyras Argument gegen ein irreduzibel plurales Ähnlichkeitsprädikat. Ich schlage einen Grundbegriff der Ähnlichkeit vor, der zu einer einfachen Definition der perfekten Natürlichkeit führt, die den modalen Realismus vermeidet und Goodmans „companionship difficulty" löst.

Abstract

Are there fundamental physical properties? In this paper I shall only be concerned with a highly abstract metaphysical notion of fundamental or, in D. Lewis' terminology, perfectly natural properties and relations. My aim is to defend resemblance nominalism about perfect naturalness as an alternative to a theory of universals. Both foes and friends of resemblance nominalism erroneously present it as the view that all having of properties and relations of things reduces to or rest on resemblances between things. But one has to distinguish between the primitive concepts on which a theory relies (ideology) and the fundamental properties, relations and structures it postulates (typology). Resemblance is the resemblance nominalist's basic concept with which she defines the general notion of perfectly naturalness. She does not postulate resemblance as a fundamental relation to which all other features reduce. On the basis of this insight I rebut D. M. Armstrong's supervenience argument against this view and reject Rodriguez-Pereyra's argument against an irreducibly plural basic resemblance. I suggest a primitive concept of resemblance that leads to a simple definition of perfect naturalness which avoids modal realism and solves Goodman's companionship difficulty.

Einleitung

Gibt es fundamentale physikalische Eigenschaften? Gibt es eine letzte Ebene der physikalischen Beschreibung der Welt, auf die sich alle anderen physikalischen und ebenso alle weiteren Phänomene zurückführen lassen, darunter biologische, geistige und soziale? Das ist eine aspektreiche und überaus schwierige Frage. Ihre Beantwortung habe ich mir in diesem Beitrag nicht zum Ziel gesetzt.[2] Mich interessiert ein philosophischer Kernbegriff davon, was eine fundamentale Eigenschaft überhaupt sein soll. In der heutigen metaphysischen Debatte wird dieser Kernbegriff im Anschluss an D. Lewis meist durch die Rede von natürlichen oder genauer von perfekt natürlichen Eigenschaften ausgedrückt. Eine verbreitete Ansicht ist, dass zur Auszeichnung perfekt natürlicher Eigenschaften bestimmte abstrakte Entitäten angenommen werden müssen, nämlich Universalien. (Unter abstrakten Entitäten verstehe ich dabei alles Existierende, das kein konkretes Einzelding ist. Universalien sind demnach abstrakt unabhängig von der Frage, ob ihnen raumzeitliche Lokalisierungen zugesprochen werden können.) Zweifellos stellte es für die naturwissenschaftliche und naturphilosophische Diskussion eine erhebliche Festlegung dar, wenn die Annahme einer fundamentalen physikalischen Ebene zur Annahme derartiger Universalien verpflichtete.

Zum Glück gibt es aber nominalistische Alternativen zur universalientheoretischen Konzeption fundamentaler Charakteristika. Diese nominalistischen Theorien nehmen natürliche Eigenschaften an, ohne dazu abstrakte Entitäten wie Universalien ins Spiel zu bringen. Ich möchte im Folgenden eine nominalistische Konzeption verteidigen, nämlich den Ähnlichkeitsnominalismus über natürliche Eigenschaften. Wie sich zeigen wird, muss der Ähnlichkeitsnominalismus nicht nur gegen seine Feinde, sondern auch gegen seine Freunde verteidigt werden. Der feindliche Angriff, den ich zurückweisen werde, stammt von D. M. Armstrong. Der Freund des Ähnlichkeitsnominalismus, dessen Konzeption ich als falsch angelegt kritisieren werde, ist G. Rodriguez-Pereyra.

Das grundsätzlich verfehlte Verständnis des Ähnlichkeitsnominalismus, welches implizit sowohl Armstrongs Gegenargumenten als auch Rodriguez-Pereyras kritikwürdiger Konzeption zugrunde liegt, hat C. Dorr in seiner Besprechung von Rodriguez-Pereyras Buch *Resemblance Nominalism* (2002) formuliert:

> Dem Ähnlichkeitsnominalismus zufolge sind Tatsachen über Ähnlichkeiten primitiv; alle anderen Tatsachen über die Welt beruhen letztlich auf Tatsachen darüber, welche Einzeldinge einander ähneln. (2005: 557)

Der richtig verstandene Ähnlichkeitsnominalismus vertritt Ähnlichkeit nicht als eine fundamentale Beziehung, aus deren Bestehen zwischen Dingen sich alle weiteren Eigenschaften und Beziehungen und so „alle anderen Tatsachen über die Welt" ergeben. Sondern er nimmt Ähnlichkeit nur als einen Grundbegriff in Anspruch. Mit diesem Grundbegriff definiert er den allgemeinen Begriff perfekt natürlicher Eigenschaften und Beziehungen.

Ich (1) erläutere zunächst den Grundgedanken der perfekten Natürlichkeit und führe (2) Lewis' klassentheoretische allgemeine Eigenschaftstheorie als Hintergrund ein. Dann (3) unterscheide ich zwischen qualitäts-repräsentierenden und qualitäts-konstituierenden Universalien und (4) erläutere den nominalistischen Grundgedanken, dass Einzeldinge per se qualitativ sind. Anschließend (5) unterscheide ich zwischen der Ideologie einer Theorie, d.h. ihrem Umfang an Grundbegriffen, und ihrer Typologie, d.h. dem Umfang der in ihr postulierten fundamentalen Eigenschaften und Beziehungen. (6) Armstrongs Supervenienz-Einwand gegen den Ähnlichkeitsnominalismus lässt sich mit dem Hinweis ausräumen, dass Ähnlichkeit für den Nominalisten nur ideologisch grundlegend, nicht aber auch typologisch fundamental ist. (7) Auch Rodriguez-Pereyras Festlegung auf ein zweistelliges Ähnlichkeitsprädikat, die zu erheblichen Schwierigkeiten führt, erweist sich als unbegründet, da Ähnlichkeit nur als Grundbegriff des Nominalismus dient. (8) Aus demselben Grund erweist sich Rodriguez-Pereyras Annahme des modalen Realismus, d.h. der Existenz realer bloß möglicher Individuen und Welten, als unnötig. (9) Ich schlage einen pluralen Ähnlichkeitsbegriff vor, mit dem sich perfekte Natürlichkeit recht einfach definieren lässt. (10) Abschließend unterstreiche ich den Gewinn durch eine Konzeption fundamentaler Bestimmungen, die weder auf Universalien noch auf reale Possibilia angewiesen ist.

Eigenschaften und Natürlichkeit

Mit einem bedeutungsvollen Prädikat können wir einem Ding oder einer Person eine Eigenschaft zuschreiben. Wir können beispielsweise Angela Merkel die Eigenschaft zuschreiben, im Jahr 2008 Mitglied der deutschen Bundesregierung zu sein. Um die Frage, ob es überhaupt Eigenschaften gibt, die wir Dingen oder Personen mittels funktionstüchtiger Prädikate zuschreiben können, soll es im Folgenden nicht gehen. Es geht nicht um nominalistische Theorien im Sinne von Theorien, die die Existenz von Eigenschaften überhaupt leugnen.[3]

Besonders durch die Arbeiten D. M. Armstrongs und D. Lewis' hat die Auffassung Verbreitung gefunden, dass unter den Eigenschaften – vorausgesetzt es gibt sie – einige objektiv ausgezeichnet sind. Mit Lewis werde ich diese ausgezeichneten Eigenschaften fundamentale oder (perfekt) natürliche Eigenschaften nennen. Lewis und Armstrong denken dabei in erster Linie an fundamentale physikalische Charakteristika wie etwa die elektrische Elementarladung. Der Ähnlichkeitsnominalismus, um den es gehen soll, ist eine Theorie darüber, wodurch solche Eigenschaften als perfekt natürlich ausgezeichnet sind. Nominalismus in dieser Angelegenheit bedeutet, dass man zur Auszeichnung natürlicher Eigenschaften keine speziellen qualitativen Entitäten annimmt. Der Nominalist über perfekte Natürlichkeit vertritt eine Auszeichnung natürlicher Eigenschaften. Doch er verzichtet dabei auf Universalien, also auf besondere universelle qualitative Entitäten, die identisch an oder in vielen verschiedenen Einzeldingen vorkommen können. Ebenso verzichtet er dabei auf Tropen, also partikuläre qualitative Entitäten, die jeweils nur an oder in einem Einzelding auftreten. Bei der Auszeichnung natürlicher Bestimmungen nimmt er nur die Existenz der Einzeldinge selbst an.[4] Die verschiedenen Versionen des Nominalismus über natürliche Eigenschaften stimmen darin überein, dass natürliche Eigenschaften nicht mittels Universalien oder Tropen ausgezeichnet sind. Sie unterscheiden sich in der positiven Auskunft darüber, wie diese Auszeichnung stattdessen beschrieben werden sollte.

Der Nominalismus über perfekte Natürlichkeit hat wenig mit der traditionellen Position des Nominalismus zu tun, derzufolge das Allgemeine nur in unseren Bezeichnungen liegt. Er ist tatsächlich mit der Annahme abstrakter Entitäten vereinbar, insbesondere mit der Annahme von Mengen oder Klassen. Daher wäre es auch irreführend, diese Position als Partikularismus zu bezeichnen, denn Mengen sind jedenfalls keine konkreten Einzeldinge.[5] Aufgrund des Gegensatzes zu einer universalientheoretischen Erklärung der perfekten Natürlichkeit hat sich in der heutigen Debatte die Bezeichnung als Nominalismus eingebürgert, und dem folge ich hier.[6]

Die nächstliegenden Kandidaten für natürliche Eigenschaften und Beziehungen sind fundamentale physikalische Bestimmungen. Da es um ganz grundsätzliche Fragen der philosophischen Eigenschaftstheorie geht, werde ich mich mit recht naiven Beispielen begnügen. Ich werde beispielsweise von Elektronen und ihrer Masse, ihrer Ladung und ihren Spinzuständen sprechen, so als hätte man es mit einfachen, problemlos individuierbaren Teilchen und mit einer handvoll fundamentaler Charakteristika von ihnen zu tun. Um den skalaren, vektoriellen und tensoriellen Größen der Physik, ihren Eichfeldern, verschränkten Quantenzuständen usw. gerecht werden zu können, muss die philosophische Eigenschaftstheorie sicherlich viel komplexer ausfallen, als die folgende Diskussion suggerieren mag.[7] Im Folgenden geht es jedoch um sehr grundsätzliche Fragen, die sich anhand von einfachen Beispielen klären lassen.

Lewis' allgemeine Eigenschaftstheorie als Hintergrund

Der hier betrachtete Ähnlichkeitsnominalismus ist eine Theorie über die Natürlichkeit gewisser Eigenschaften, nicht über Eigenschaften überhaupt. Es soll ganz um die Chancen einer nominalistischen Konzeption natürlicher Eigenschaften gehen, insbesondere im Kontrast zu einer universalientheoretischen Lösung. Deshalb empfiehlt es sich, der Diskussion eine leistungsstarke allgemeine Eigenschaftstheorie zugrunde zu legen, die nicht bereits eine Entscheidung zwischen einer nominalistischen und einer universalientheoretischen Konzeption der Natürlichkeit präjudiziert. Eine solche Theorie liegt in D. Lewis' mengentheoretischer Konstruktion von Eigenschaften vor.[8]

Lewis erreicht eine überaus leistungsfähige und gegenüber der Annahme von Universalien neutrale Eigenschaftstheorie aufgrund zweier ontologisch gehaltvoller Annahmen. Erstens akzeptiert er die Existenz von Mengen. Damit kann er grundsätzlich zu jedem bedeutungsvollen einstelligen Prädikat ein Objekt angeben, das sich mit der durch das Prädikat ausgedrückten Eigenschaft identifizieren lässt, nämlich die Menge genau der Dinge, auf die das Prädikat zutrifft. Die durch das Prädikat „ist rot" ausgedrückte Eigenschaft ist beispielsweise die Menge genau der Dinge, auf die „ist rot" zutrifft, d.h. die Menge aller roten Dinge. Nur das Erfordernis, die mengentheoretischen Paradoxien zu vermeiden, schränkt diese Zuordnung von Mengen als von Prädikaten ausgedrückte Eigenschaften ein. Ich spreche allerdings im Folgenden meist von Klassen statt von Mengen, um offen zu lassen, in welchen Fällen tatsächlich mengentheoretische Entitäten in Anspruch genommen werden müssen.[9] Diese Frage steht nicht im Vordergrund, wenn es um die Auszeichnung natürlicher Eigenschaften geht.

Während viele Theoretiker Lewis' Annahme von Mengen teilen, wird seine zweite ontologisch gehaltvolle Annahme weitgehend abgelehnt. Es handelt sich um seinen modalen Realismus. Lewis nimmt an, dass es neben den konkreten Individuen der wirklichen Welt, in der wir existieren, noch eine Überfülle von bloß möglichen Individuen gibt, die sich zu bloß möglichen Welten zusammenfügen. Bloß mögliche Individuen sind für Lewis weder abstrakte Konstrukte noch Fiktionen, sondern Dinge derselben Kategorie wie die wirklichen Dinge. Die wirkliche Welt ist die maximale Gesamtheit der raumzeitlich in Beziehung stehenden wirklichen Individuen. Ganz ähnlich sind bloß mögliche Welten maximale Gesamtheiten von bloß möglichen Individuen, die untereinander in raumzeitlichen Beziehungen stehen (oder wenigstens in Beziehungen, die unseren raumzeitlichen analog sind).[10] Um der Einfachheit der Diskussion willen werde ich so tun, als stünden uns Lewis' reale mögliche Individuen und Welten zur Verfügung. Erst gegen Ende werde ich skizzieren, wie eine ähnlichkeitsnominalistische Theorie der Natürlichkeit von Eigenschaften aussehen kann, die nicht auf reale Possibilia angewiesen ist.

Gestützt auf beide Annahmen, die von Mengen[11] und die von realen bloßen Possibilia, kann Lewis Eigenschaften mit beliebigen Klassen von möglichen Individuen identifizieren, d.h. von wirklichen oder bloß möglichen Individuen.[12] Damit kann er Prädikaten, die in der Wirklichkeit denselben Umfang haben, aber verschiedene Eigenschaften auszudrücken scheinen, verschiedene Klassen zuordnen. So ist der wirkliche

Umfang der beiden Prädikate „ist ein sprechender Esel“ und „ist ein fliegendes Pferd“ derselbe, nämlich die leere Klasse. Aber da es für Lewis allerlei bloß mögliche sprechende Esel und bloß mögliche fliegende Pferde gibt, kann er zwei verschiedene Klassen als Eigenschaften angeben, die die beiden Prädikate ausdrücken.

Zu Lewis’ Eigenschaftstheorie im weiteren Sinn gehört auch eine Theorie der Relationen oder Beziehungen. Eine zweistellige Relation ist eine Klasse von geordneten Paaren von möglichen Individuen. So ist die Klasse von Paaren $\langle x,y \rangle$, so dass x eine Schwester von y ist, die Relation des Schwester-Seins-von. Allgemein ist eine n-stellige Relation eine Klasse von geordneten n-Tupeln $\langle a_1, a_2, \ldots, a_n \rangle$ von möglichen Individuen.

Jede beliebige Klasse von möglichen Einzeldingen zählt als Eigenschaft. Nach Lewis sind jedoch einige Eigenschaften objektiv als fundamental oder perfekt natürlich ausgezeichnet.[13] Er denkt dabei besonders an fundamentale physikalische Bestimmungen, etwa an die Eigenschaft, die negative elektrische Elementarladung zu besitzen. Aber das Konzept der natürlichen Eigenschaft ist nicht auf physikalische Bestimmungen festgelegt. Es könnte beispielsweise geistige Charakteristika geben, die nicht auf physikalische Bestimmungen reduzierbar sind. Unter diesen mentalen Bestimmungen könnten einige als fundamental ausgezeichnet sein. Sie würden ebenso als perfekt natürliche Bestimmungen zählen wie fundamentale physikalische Eigenschaften. Ganz ähnlich sind einige Relationen als natürlich ausgezeichnet. Raumzeitliche Beziehungen zwischen Positionen der Raumzeit oder Objekten in ihr sind nahe liegende Beispiele dafür.

Der im Folgenden betrachtete Nominalist streitet mit seinen Kontrahenten darüber, wie die Auszeichnung natürlicher Eigenschaften zu verstehen ist. Unabhängig von dieser Frage lässt sich jedoch umreißen, was mit dem Konzept der perfekten Natürlichkeit gemeint ist. Eine Klasse möglicher Dinge ist eine Eigenschaft selbst dann, wenn sie völlig willkürlich zusammengewürfelt ist. Natürliche Eigenschaften sollen hingegen keine willkürlichen Zusammenfassungen von Dingen sein. Sie sollen vielmehr Dinge enthalten, die ihrer qualitativen Natur nach zusammen gehören. Die Klasse genau der möglichen Partikel mit elektrischer Elementarladung fasst nicht willkürlich irgendwelche Dinge zusammen. Sondern ihre Elemente gehören aufgrund einer objektiven Gemeinsamkeit zusammen. Dieser Gedanke lässt sich gut in der folgenden Haupterläuterung des Konzepts der perfekten Natürlichkeit formulieren:

(Ähnlichkeit) Das Teilen einer perfekt natürlichen Eigenschaft macht mehrere Einzeldinge einander vollkommen ähnlich in genau einer intrinsischen Hinsicht.

Mehrere Teilchen, die alle die Elementarladung tragen, sind damit zweifellos einander ähnlich. Sie ähneln sich außerdem nicht darin, dass sie zu anderen Dingen in bestimmten Beziehungen stehen, sondern sie ähneln sich in einer intrinsischen Hinsicht. Und sie sind einander in dieser Hinsicht nicht einigermaßen ähnlich, so wie sich zwei Personen mit den Körpergrößen 1,85 m und 1,87 m einigermaßen in ihrer Größe ähneln. Sondern während sich die beiden Personen nicht vollkommen hinsichtlich der Körpergröße ähnlich sind, ähneln sich die elementar geladenen Teilchen vollkommen hinsichtlich der Ladung.

Dieser zentralen Punkt der vollständigen Ähnlichkeit lässt sich noch auf etwas andere Weise erläutern. Perfekt natürliche Eigenschaften sind solche, die von verschiedenen Dingen gewissermaßen nicht mehr auf unterschiedliche Weise besessen werden können. Die Eigenschaft, eine Körpergröße von 1,85 m oder 1,87 m oder dazwischen zu haben, ist keine solche Eigenschaft. Zwei Personen können sie auf verschiedene Weise besitzen. Die eine hat sie etwa, indem sie 1,85 m groß ist, die andere, indem sie 1,87 m groß ist. Vorausgesetzt hingegen, dass die elektrische Elementarladung tatsächlich eine fundamentale physikalische Qualität ist, können zwei Teilchen diese Ladung nicht mehr auf verschiedene Weise besitzen. Sie sind eben beide elektrisch elementar geladen. Damit ist eine absolut *determinierte* Weise ihres qualitativen Beschaffenseins angegeben.

Wenn perfekt natürliche Eigenschaften auch als fundamental bezeichnet werden, so ist damit zum einen diese absolute Determiniertheit gemeint. Zum anderen ist gemeint, dass solche Eigenschaften nicht nur eine determinierte, sondern auch eine *einfache* Weise des qualitativen Beschaffenseins von Dingen erfassen.[14] Damit ist gemeint, dass das Haben einer perfekt natürlichen Eigenschaft durch ein Ding nicht impliziert (wohl aber zulässt), dass es selbst oder Teile von ihm bestimmte andere determinierte Charakteristika aufweisen. Wenn ein Teilchen die determinierte Eigenschaft hat, die Elementarladung und die Elektronenmasse zu besitzen, so impliziert das, dass es die Elementarladung und damit eine andere, fundamentalere determinierte Eigenschaft besitzt. Die Eigenschaft, die Elementarladung und die Elektronenmasse zu besitzen, ist daher zwar determiniert, aber nicht einfach und deshalb nicht perfekt natürlich.

Dieses Konzept fundamentaler Eigenschaften als einfacher determinierter Aspekte der Qualitativität von Dingen lässt vollkommen offen, von welcher Art diese Eigenschaften sind. Insbesondere müssen die perfekt natürlichen, fundamentalen Bestimmungen keine Eigenschaften von einfachen punktgroßen Individuen sein. Wenn die Physik mit extrem nicht-lokalen fundamentalen Bestimmungen aufwartet, so können sie als perfekt natürlich gelten. Sie müssen nur im erläuterten Sinn determiniert und einfach sein.[15]

Natürliche Eigenschaften werden nicht nur angenommen, weil eine Unterscheidung zwischen natürlichen und nicht-natürlichen Bestimmungen an sich plausibel ist und die gegebenen Erläuterungen einleuchten. Natürliche Eigenschaften sollen darüber hinaus eine ganze Reihe theoretischer Rollen spielen. Um nur ein wichtiges Beispiel zu nennen: Für Lewis wie für Armstrong müssen Naturgesetze als Korrelationen (Lewis) bzw. als notwendige Zusammenhänge (Armstrong) nicht zwischen irgendwelchen, sondern zwischen natürlichen Eigenschaften und Relationen (bei Armstrong zwischen Universalien) aufgefasst werden. Anders ließen sich naturgesetzliche nicht von bloß akzidentellen Korrelationen unterscheiden.[16] Eine Konsequenz davon ist, dass Natürlichkeit begrifflich primär gegenüber Naturgesetzlichkeit ist. Natürliche Charakteristika können nicht als Charakteristika definiert werden, die in naturgesetzlichen Zusammenhängen stehen. (Siehe Lewis 1983: 39–43, 1986a: 63.) Perfekte Natürlichkeit muss gegenüber Naturgesetzlichkeit begrifflich eigenständig sein. Diese begriffliche Eigenständigkeit ist jedoch damit vereinbar, dass wir am ehesten via Erforschung der Naturgesetze herausfinden können, was für natürliche Eigenschaften und Relationen es in Wirklichkeit gibt.

Zwei Universalienprobleme, zwei Universalienkonzeptionen

Es liegt nahe zu sagen, dass Nominalismus und Universalientheorie konkurrierende Vorschläge zur Lösung des Universalienproblems sind. Die Theorie der Tropen kommt als weiterer Lösungsvorschlag in Betracht. Doch ich werde mich im Weiteren auf die Konkurrenz zwischen Universalientheorie und Nominalismus konzentrieren. Dabei muss man aber mindestens zwei verschiedene Universalienprobleme unterscheiden.[17] Das erste ist das Problem der anscheinenden Bezugnahme auf und Quantifikation über universelle Eigenschaften. Mit Eigenschaften sind dabei universelle (nicht partikuläre) Eigenschaften gemeint, die also von vielen numerisch verschiedenen Dingen besessen werden können. Dieses erste Universalienproblem kann kurz als das Problem der abstrakten Bezugnahme bezeichnet werden. Beispielsweise ist in der Aussage „Mut ist eine Tugend" allem Anschein nach ein singulärer Term „Mut" enthalten, mit dem auf eine universelle Eigenschaft Bezug genommen wird. In der Aussage „Maria und Peter teilen einige Vorlieben" wird allem Anschein nach existenziell über universelle Eigenschaften quantifiziert. Die Frage ist, ob solche Aussagen nur wahr sein können, wenn in ihnen tatsächlich auf Eigenschaften Bezug genommen oder über Eigenschaften quantifiziert wird.

Der Universalientheoretiker in einem ersten Sinn bejaht dies. Aber mehr noch. Er glaubt nicht, dass Eigenschaften mit mengentheoretischen Entitäten identifiziert werden können, so wie Lewis es vorschlägt. Vielmehr glaubt er, dass es abstrakte Entitäten sui generis gibt, die von vielen verschiedenen Dingen oder Personen besessen werden können. Zur Abgrenzung von mengentheoretischen Entitäten bezeichnet er sie als Universalien. Unter diesen Universalien befänden sich auch Charaktereigenschaften und Vorlieben. Da solche Universalien zur Lösung des Problems der abstrakten Bezugnahme angenommen werden, sollen sie zur Unterscheidung A-Universalien heißen. Das A-Universalienproblem lässt sich demnach in der Frage formulieren, ob abstrakte universelle Entitäten sui generis, nämlich A-Universalien angenommen werden müssen, um das Phänomen der anscheinenden abstrakten Bezugnahme zu erklären. Der A-Universalientheoretiker bejaht diese Frage. Lewis hingegen verneint sie. Ihm zufolge können Klassen von möglichen Individuen die Rolle spielen, für die der A-Universalientheoretiker Entitäten sui generis vorsieht.[18]

Das zweite Universalienproblem ist das der perfekten Natürlichkeit von Eigenschaften. Ich unterstelle, dass perfekte Natürlichkeit anerkannt werden muss. Man kann das Problem der perfekten Natürlichkeit also nicht auflösen, indem man die Unterscheidung zwischen natürlichen und nicht-natürlichen Bestimmung leugnet. Die Lösung des Problems setzt dann voraus, dass das erste Universalienproblem, das A-Problem, bereits auf irgendeine Weise gelöst ist. Irgendwie muss die allgemeine Rede von Eigenschaften geklärt sein, damit man eine Theorie der Auszeichnung einiger weniger Eigenschaften vorschlagen kann. Eine solche Lösung des ersten Problems ist Lewis' mengentheoretische und modal-realistische Eigenschaftskonzeption. Eigenschaften sind danach beliebige Klassen von Possibilia, und einige wenige dieser Klassen sind perfekt natürlich.

Lewis erkennt die Annahme von Universalien als eine mögliche Lösung des Problems der perfekten Natürlichkeit an. Die dazu erforderlichen Universalien wären keine Mengen von Einzeldingen, sondern Entitäten eigener Art. Sie wären Entitäten, die als Ganze an oder in vielen verschiedenen Einzeldingen auftreten und sie dadurch zu Dingen desselben Typs machen können (1986a: 67). Beispielsweise könnte die elektrische Elementarladung ein solches Universal sein, das eine klassentheoretisch konstruierte Eigenschaft als perfekt natürlich auszeichnet. Verschiedene Einzeldinge wären elektrisch elementar geladen, indem dieses Universal an ihnen auftritt. Ein und dasselbe Universal, die elektrische Elementarladung, könnte an sehr vielen verschiedenen Einzeldingen auftreten. Es träte dabei *als Ganzes* an ihnen allen auf und nicht etwa, indem es aus Teilen bestünde, von denen je einer an einem der Dinge aufträte. Es stünde in einer irreduziblen Beziehung des Exemplifiziertseins zu jedem dieser Dinge. Die Klasse derjenigen möglichen Einzeldinge, an denen dasselbe Universal vorkommt, wäre eine fundamentale oder perfekt natürliche Eigenschaft. Auf diese Weise löst die Annahme von Universalien das zweite Universalienproblem, das der perfekten Natürlichkeit. Universalien, wie sie zur Lösung des Problems der perfekten Natürlichkeit angenommen werden, sollen N-Universalien heißen.

Auf den ersten Blick erscheinen A-Universalien und N-Universalien nicht wesentlich verschieden. Universalien beider Sorten sollen abstrakte Entitäten sui generis sein, die von einer beliebigen Pluralität von Einzeldingen exemplifiziert werden können. Der Hauptunterschied scheint zu sein, dass in einer universalientheoretischen Lösung des ersten Universalienproblems viel mehr A-Universalien angenommen werden müssten, als es N-Universalien bedürfte, um das zweite Problem zu lösen. *Mut* müsste als A-Universal angenommen werden, nicht aber als N-Universal, denn Mut ist sicherlich keine fundamentale Eigenschaft wie die Elementarladung. In Lewis' Terminologie wäre die Annahme von A-Universalien eine Theorie *reichlicher* Eigenschaften, während die Annahme von N-Universalien zu einer Theorie *spärlicher* Eigenschaften beitrüge.[19]

Wichtiger als diese quantitative Diskrepanz sind aber die ganz verschiedenen Rollen, die A- und N-Universalien spielen sollen. Das A-Universal *Mut* würde nur angenommen, um dem abstrakten singulären Term „Mut“ einen Bezug zu verschaffen. Diese Entität *Mut* wäre ein abstrakter Repräsentant der charakterlichen Ausstattung vieler verschiedener Personen. Sie diente dazu, um allgemein über diesen gemeinsamen Aspekt des Charakters vieler Personen sprechen zu können. Diese Entität *konstituierte* aber nicht den Charakter von Personen, ebenso wenig wie die Elementschaft in der Klasse der mutigen Personen den Charakter dieser Personen konstituiert. Jemand ist nicht dadurch mutig, dass eine abstrakte Entität *Mut* an oder in ihm auftritt. Diese Entität repräsentierte nur einen Aspekt seines Charakters. A-Universalien wären qualitätsrepräsentierende, aber keine qualitäts-konstituierenden Universalien.

N-Universalien werden hingegen gar nicht zum Zweck der Qualitäts-Repräsentation angenommen. In Lewis' allgemeiner Eigenschaftstheorie spielen bereits Klassen von möglichen Individuen die Rolle der Qualitäts-Repräsentanten. „Mut“ bezieht sich für Lewis auf so eine Klasse, nicht auf ein Universal. Vielmehr soll die Rolle von N-Universalien gerade in der Qualitäts-Konstitution bestehen. Der universalientheoretischen Lösung des Problems der perfekten Natürlichkeit zufolge sind Einzeldinge elektrisch elementar geladen, indem an oder in ihnen das Universal der Elementarladung auftritt. Die Klasse genau der Dinge, die elektrisch elementar geladen sind, ist eine perfekt natürliche Eigenschaft. Den obigen Erläuterungen zufolge heißt das, dass diese Klasse nicht willkürlich zusammengewürfelt ist. Ihre Elemente weisen vielmehr eine objektive Gemeinsamkeit auf. Sie sind Dinge, die einander in einer intrinsischen Hinsicht vollkommen ähneln. Der N-Universalientheoretiker führt diese objektive Gemeinsamkeit und dieses vollkommene Sichähneln in einer Hinsicht darauf zurück, dass an den Dingen in der Klasse identisch dasselbe N-Universal vorkommt, nämlich die Elementarladung. Das N-Universal *repräsentiert* folglich nicht eine bereits an den Dingen selbst vorliegende gleiche Qualitativität. Sondern die qualitative Gleichheit und Ähnlichkeit der Dinge soll darin *bestehen*, dass dasselbe N-Universal an ihnen vorkommt. Dann besteht aber auch die Qualitativität eines jeden der Dinge darin, dass dieses N-Universal an ihm vorkommt. Die N-Universalien eines Dinges machen seine Qualitativität aus statt sie bloß abstrakt zu repräsentieren. Sie sind qualitäts-konstituierend.

Der N-Universalientheoretiker ist demnach auf eine besondere Sicht von qualitativ bestimmten Einzeldingen festgelegt. Qualitativ bestimmte Dinge sind ihm zufolge komplex. Sie bestehen aus einem partikulären Kern, der für sich betrachtet qualitätslos ist, und außerdem aus all den Universalien, die an diesem Kern auftreten und die Qualitativität des ganzen Dinges ausmachen. Im Anschluss an Armstrong kann man die partikulären Kerne als dünne und die Komplexe aus diesen Kernen und den an ihnen auftretenden Universalien als dicke Einzeldinge bezeichnen.[20]

Klassen- und Ähnlichkeitsnominalismus über perfekte Natürlichkeit

Für den Universalientheoretiker sind qualitativ bestimmte Einzeldinge dicke, komplexe Dinge, bestehend aus partikulären Kernen und Universalien. Der Grundgedanke einer nominalistischen Lösung des Problems der perfekten Natürlichkeit lässt sich in Abgrenzung von dieser Konzeption von Dingen bestimmen. Auch der Nominalist kennt komplexe Einzeldinge. Aber dabei handelt es sich immer um Dinge, deren Bestandteile allesamt wiederum Einzeldinge sind. Ein Atom besteht etwa aus allerlei Nukleonen und Elektronen. Der Grundgedanke des Nominalisten über perfekte Natürlichkeit ist, dass einfache Einzeldinge sowie Dinge, die ausschließlich Einzeldinge als Teile oder Komponenten haben, per se qualitativ bestimmt sein können. Dem N-Universalientheoretiker zufolge sind einfache dünne Einzeldinge per se qualitätslos. Sie sind nur partikuläre Kerne, die Qualitativität verliehen bekommen, indem Universalien an ihnen vorkommen. Für den Nominalisten hingegen werden einfache, strukturlose Einzeldinge nicht durch andere Entitäten mit Qualität versehen, sondern sie können von sich aus, per se qualitativ sein. Ein Elektron ist für den Nominalisten nicht dadurch qualitativ bestimmt, dass es ein Komplex aus einem qualitätslosen Kern und mindestens einem Universal, etwa der Elementarladung ist. Sondern das – so sei der Einfachheit halber unterstellt – strukturlose Elektron ist per se qualitativ.

Wie das genauer zu verstehen ist, ergibt sich aus der nominalistischen Konzeption der perfekten Natürlichkeit von Eigenschaften. Der Universalientheoretiker analysiert perfekte Natürlichkeit mithilfe der Annahme von Universalien:

(UT) E ist eine perfekt natürliche Eigenschaft gdw. E eine maximale Klasse von möglichen Individuen ist, die alle dasselbe Universal U exemplifizieren.

Diese Analyse der perfekten Natürlichkeit bringt es mit sich, dass der Universalientheoretiker qualitativ bestimmte Einzeldinge als Komplexe aus qualitätslosen Kernen und Universalien verstehen muss. Umgekehrt führt die nominalistische Grundüberzeugung, einfache Einzeldinge könnten per se qualitativ sein, zu dem Ergebnis, dass der Nominalist perfekte Natürlichkeit nicht auf vergleichbare Weise analysieren kann. Der Nominalist muss entweder perfekte Natürlichkeit von Eigenschaften oder ein eng verwandtes Konzept als unanalysierbaren, primitiven Begriff akzeptieren.

Eine Version des Nominalismus ergibt sich, wenn man perfekte Natürlichkeit selbst als Grundbegriff hinnimmt. Lewis' allgemeine Eigenschaftstheorie bietet uns beliebige Klassen von möglichen Individuen an, die mit Eigenschaften identifiziert werden. Der Nominalist der natürlichen Klassen behauptet, wir könnten direkt begreifen, dass manche dieser Klassen als natürlich ausgezeichnet sind. Der Begriff der perfekten Natürlichkeit ist für ihn zwar nicht analysierbar oder definierbar. Wohl aber lässt er sich erhellend erläutern. Dazu kann dieser Nominalist auf plausible Beispiele wie etwa die elektrische Elementarladung verweisen. Zusätzlich kann er Erläuterungsformeln wie die oben bereits eingeführten verwenden: Die Elemente einer perfekt natürlichen Klasse sind nicht willkürlich zusammengewürfelt, sondern weisen eine objektive Gemeinsamkeit aus. Das Teilen einer perfekt natürlichen Eigenschaft macht Dinge vollkommen ähnlich in einer intrinsischen Hinsicht. Und verschiedene Dinge können eine perfekt natürliche Eigenschaft nicht mehr auf verschiedene Weise besitzen.

Trotz dieses Angebots an Erläuterungen weist der Nominalismus der natürlichen Klassen zwei Nachteile auf, seien es auch eher nur Darstellungsnachteile. Erstens ist sein Grundbegriff ein Begriff zweiter Stufe, also ein Begriff, der auf Eigenschaften zutrifft. Er lässt sich höchstens als ein Begriff auffassen, der mittelbar konkrete Individuen charakterisiert, nämlich die Elemente von Eigenschaftsklassen. Selbst so verstanden ist er aber zweitens ein Begriff, der nur sehr große Pluralitäten von Dingen charakterisiert, beispielsweise all die möglichen Partikel, welche elektrisch elementar geladen sind.[21] Man wünschte sich eher einen

Grundbegriff, der zum einen direkt auf konkrete Dinge zutrifft und zum anderen wenigstens nicht ausschließlich große Pluralitäten von Dingen charakterisiert.

Hier bietet sich die zweite Version des Nominalismus der perfekten Natürlichkeit als Alternative an, der Ähnlichkeitsnominalismus. Die Haupterläuterung der perfekten Natürlichkeit einer Eigenschaft besagt, das Teilen einer solchen Eigenschaft mache mehrere Dinge vollkommen ähnlich in einer intrinsischen Hinsicht. Ähnlichkeitsnominalisten schlagen vor, einen Begriff der vollkommenen Ähnlichkeit von Dingen in einer Hinsicht als Grundbegriff festzulegen und mit ihm perfekte Natürlichkeit von Eigenschaften zu definieren. Ähnlichkeit ist plausiblerweise ein Begriff, der direkt auf konkrete Dinge zutrifft, also auf die Elemente von Eigenschaftsklassen statt auf diese Klassen selbst. Ähnlichkeit kann außerdem gut zwischen wenigen Dingen bestehen. Am plausibelsten lässt sich wohl von genau zwei verschiedenen Dingen sagen, sie seien einander vollkommen ähnlich in einer Hinsicht.

Leider genügt ein solcher zweistelliger Begriff der Ähnlichkeit von Dingen nicht, um perfekte Natürlichkeit zu definieren. Angenommen ein Ding 1 habe die natürlichen Eigenschaften F und G, Ding 2 habe die Eigenschaften G und H und Ding 3 habe die Eigenschaften F und H. Je zwei der drei Dinge sind einander vollkommen ähnlich in einer Hinsicht. Sie teilen jeweils eine natürliche Eigenschaft. Aber dennoch gibt es keine natürliche Eigenschaft, die alle drei Dinge besitzen.[22] Natürliche Eigenschaften lassen sich daher nicht als Klassen von Dingen definieren, von denen je zwei einander vollkommen in einer Hinsicht ähneln.

Möchte man an einem Ähnlichkeitsbegriff festhalten, der direkt auf konkrete Dinge zutrifft, so muss man von einem zweistelligen zu einem pluralen Begriff übergehen. Ein umgangssprachliches Beispiel für eine plurale Prädikation wäre etwa „Die Müllers sind eine Familie". Plurale Prädikate wie „sind eine Familie" werden nicht mit gewöhnlichen singulären Termen zu Sätzen verbunden, die genau ein Objekt des Gegenstandsbereiches bezeichnen. Sie bilden Sätze vielmehr zusammen mit genuin pluralen Termen, die distributiv eine Mehrzahl von Objekten des Gegenstandsbereiches bezeichnen. Der plurale Term „die Müllers" bezeichnet nicht etwa die Menge der Mitglieder der Familie Müller. In der Aussage spricht man plausiblerweise nicht im Singular über eine Menge, also einen abstrakten Gegenstand, sondern man spricht in einem Schlage über mehrere Person*en* (Plural!). Der Term „die Müllers" bezeichnet distributiv Mutter Müller, Vater Müller und ihre beiden Kinder Anna und Bertold, und das Prädikat „sind eine Familie" trifft kollektiv auf diese vier Personen zu.[23]

Der Nominalist kann das folgende plurale Ähnlichkeitsprädikat wählen: „(diese Dinge) sind einander vollkommen ähnlich in einer intrinsischen Hinsicht". Es drückt einen irreduzibel pluralen Begriff aus. Dieser Begriff kann auf beliebig umfassende Pluralitäten von Dingen angewendet werden, ob zu ihnen nur ein Ding (der Grenzfall einer nicht-leeren Pluralität), zwei Dinge, eine andere endliche Zahl von Dingen oder gar unendlich viele Dinge gehören. Als ähnlichkeitsnominalistische Definition der perfekten Natürlichkeit bietet sich dann an:

(ÄN) Eine Eigenschaft ist perfekt natürlich genau dann, wenn sie eine maximale Klasse von Dingen ist, die einander vollkommen ähnlich in einer intrinsischen Hinsicht sind.

Vielleicht legt sich der Einwand nahe, die Definition sei zirkulär. Das Prädikat „ähnlich *in einer Hinsicht*" scheint nämlich eine Existenzquantifikation über Hinsichten zu enthalten: Es gibt eine Hinsicht, in der sich die Dinge ähneln. Mit Hinsichten könnten hier jedoch nur natürliche Eigenschaften gemeint sein. (ÄN) liefe so letztlich auf die Aussage hinaus, eine natürliche Eigenschaft sei eine maximale Klasse von Dingen, die alle eine natürliche Eigenschaft teilen, und das ist offenkundig zirkulär. Aber so ist (ÄN) nicht gemeint. Der Ähnlichkeitsnominalist betrachtet sein Grundprädikat als unstrukturierte Einheit, so als wählte er dafür einen einfachen Prädikatbuchstaben „R". Die umgangssprachliche Formulierung soll nur das intendierte Verständnis des Prädikats konnotieren, das der Nominalist durch geeignete Erläuterung zu vermitteln sucht.

Auch wenn man das akzeptiert, ist die Definition jedoch keineswegs unproblematisch. Adäquat ist sie nur unter Voraussetzungen, die allenfalls in Lewis' modalem Realismus und auch dort nur unter bestimmten Bedingungen gemacht werden können. Da es mir nicht um technische Einzelprobleme, sondern um das grundsätzliche Verständnis des Ähnlichkeitsnominalismus geht, werde ich zunächst diese Voraussetzungen machen. Die Grundsatzfragen des Ähnlichkeitsnominalismus können so anhand des genannten verhältnismäßig einfachen pluralen Ähnlichkeitsprädikats diskutiert werden. Erst gegen Ende dieses Beitrags werde ich angeben, welchen Ähnlichkeitsbegriff ich für die richtige Wahl halte, und skizzieren, wie sich mit ihm die Probleme des Ähnlichkeitsnominalismus lösen lassen, ohne dass man den modalen Realismus akzeptiert.

G. Rodriguez-Pereyra lehnt einen pluralen Grundbegriff ab und entwickelt einen Ähnlichkeitsnominalismus, der an einem zweistelligen Ähnlichkeitsprädikat festhält. Dafür gibt er aber die Forderung auf, der Grundbegriff der Ähnlichkeit müsse ausschließlich direkt auf konkrete Dinge zutreffen. Sein zweistelliges Prädikat trifft auch auf beliebig komplexe mengentheoretische Paare von Paaren … von Dingen zu. Den Grundfehler von Rodriguez-Pereyras Theorie werde ich in später herausstellen.

Je weiter die Komplexität des erforderlichen Grundbegriffs der Ähnlichkeit wächst, umso attraktiver mag der Nominalismus der natürlichen Klassen erscheinen. Immerhin kommt er mit einem einstelligen Grundbegriff aus, mag er auch auf Klassen von Dingen statt direkt auf konkrete Dinge zutreffen. Doch bereits an dieser Stelle ist abzusehen, dass sich die verschiedenen Versionen des Nominalismus keineswegs ausschließen. Perfekte Natürlichkeit und vollkommene Ähnlichkeit in einer Hinsicht sind alternative nominalistische Grundbegriffe, die bei richtiger Wahl interdefinierbar sind. Ein Kampf auf Leben und Tod zwischen dem Nominalisten der natürlichen Klassen und dem Ähnlichkeitsnominalisten wäre ähnlich irrational, als wenn sich Logiker ernsthaft darüber auseinandersetzten, ob man die Aussagenlogik mit den Grundjunktoren „nicht“ und „und“, mit den Grundjunktoren „nicht“ und „wenn-dann“ oder besser nur mit dem Shefferstrich aufbauen solle.[24]

Dennoch hat die Formulierung des Nominalismus über perfekte Natürlichkeit mittels eines strikt erststufigen Grundbegriffs der Ähnlichkeit einen wichtigen Vorteil. Dieser Vorteil ist von erheblichem Wert, wenn es darum geht, den Nominalismus gegen Einwände von universalientheoretischer Seite zu verteidigen. Der strikt erststufige Ähnlichkeitsnominalismus ist nämlich diejenige Version des Nominalismus, die am besten den nominalistischen Grundgedanken zum Ausdruck bringt, dass strukturlose Einzeldinge per se qualitativ sein können. Die klassennominalistische Wahl eines zweitstufigen Grundbegriffs der Natürlichkeit, der auf Klassen von Dingen zutrifft, verschleiert ein wenig, dass es die *per se*-Qualitativität der Einzeldinge ist, aufgrund welcher sie sich in natürlichen Eigenschaftsklassen zusammenfinden. Der Ähnlichkeitsnominalist besteht demgegenüber darauf, dass sein Ähnlichkeitsbegriff, der zwar erläuterungsfähig, aber einer definitorischen Analyse weder fähig noch bedürftig sein soll, direkt auf konkrete Individuen zutrifft, die völlig strukturlos sind oder nur aus anderen Einzeldingen bestehen. So bringt er durchsichtig zum Ausdruck, dass sich die Einzeldinge von sich aus in Pluralitäten von Dingen sortieren, die einander in einer Hinsicht vollkommen ähnlich sind. Er bringt damit zum Ausdruck, dass diese Einzeldinge selbst, dass sie per se qualitativ sind.

Der Ähnlichkeitsnominalist muss nicht nur ein Konzept natürlicher Eigenschaften, sondern auch eines natürlicher Relationen anbieten. Eine zweistellige natürliche Relation ist eine ausgezeichnete Klasse von geordneten Paaren von Dingen. Es könnte sich etwa um solche Paare handeln, deren Elemente genau einen Zentimeter voneinander entfernt sind. (Hier unterstelle ich zur Vereinfachung eine nicht-relativistische Raumzeit.) Der vorgeschlagene plurale Ähnlichkeitsbegriff, der natürliche Eigenschaften auszuzeichnen erlaubt, kann auch auf die Elemente einer solchen Relation angewandt werden. Die beiden Paare $\langle a,b \rangle$ und $\langle c,d \rangle$ könnten sich in einer Hinsicht vollkommen ähnlich sein, etwa dahingehend, dass ihr erstes Element jeweils einen Zentimeter von ihrem zweiten entfernt ist. Streng genommen trifft der Grundbegriff des Nominalisten in diesem Fall zwar nicht auf die Einzeldinge selbst zu, sondern nur auf geordnete Mengen von Dingen. Doch ich denke, der Ähnlichkeitsnominalist kann diese Komplikation hinnehmen. Ich werde hier auf besondere Probleme der Theorie der Relationen nicht genauer eingehen.

Ontologie, Typologie und Ideologie

Lewis entscheidet sich nicht zwischen Universalientheorie und Nominalismus über Natürlichkeit. Ihm zufolge gleichen sich die Vor- und Nachteile beider Theorien in etwa aus. Dabei sieht er die Kosten der Universalientheorie hauptsächlich in der Erweiterung der Ontologie. Die Kosten des Nominalismus sieht er hingegen in der Komplexität des erforderlichen Grundbegriffes, sei es des Begriffs der natürlichen Eigenschaft selbst oder eines geeigneten Ähnlichkeitsbegriffs.[25] Es liegt nahe, diese verschiedenartigen Nachteile mit der Unterscheidung von Ontologie und Ideologie zu beschreiben, die Quine eingeführt hat. Nach Quine besteht die Ontologie einer ausformulierten Theorie in dem Umfang an Gegenständen, die es geben muss, damit die Theorie wahr ist.[26] Ihre Ideologie besteht in dem Umfang an Begriffen (oder „Ideen"), die in der

Theorieformulierung nicht definiert werden, sondern als verstanden vorausgesetzt werden müssen. Die Universalientheorie hat erhebliche ontologische Kosten, der Nominalismus ideologische.[27]

Bei näherem Hinsehen zeigt sich allerdings, dass die Unterscheidung zwischen Ontologie und Ideologie nicht ausreicht, um die wesentlichen Dimensionen von Theorien zu beschreiben. Es ist richtig, dass man an einer Theorie zuallererst zwischen dem unterscheiden muss, was in ihr angenommen oder postuliert wird, und den begrifflichen Mitteln, mit denen diese Annahmen formuliert werden. Der zweite Aspekt, der Umfang der in der Theorieformulierung in Anspruch genommenen Grundbegriffe, lässt sich treffend als Ideologie der Theorie bezeichnen. Aber das, was in einer Theorie angenommen wird, ist nicht nur ontologischer Art. In einer Theorie der fundamentalen Physik etwa werden nicht nur Teilchen bestimmter Sorte angenommen, sondern auch fundamentale Zustände, in denen sich die Teilchen befinden können, und Beziehungen, in die sie zueinander treten können. Im Kontrast zur Ontologie und Ideologie einer Theorie lässt sich diese dritte Dimension als ihre Typologie bezeichnen.

Der Unterschied zwischen Ontologie und Typologie lässt sich gut am Beispiel zweier verschiedenartiger Erweiterungen der Physik im 20. Jahrhundert veranschaulichen. Paulis Postulierung des Neutrinos zur Erklärung des β-Zerfalls war eine ontologische Erweiterung der Physik. Er nahm an, dass bei Prozessen dieser Art noch ein weiteres Teilchen auftritt, zusätzlich zu den Protonen, Neutronen und Elektronen, deren Existenz man schon zuvor angenommen hatte.[28] Demgegenüber war die Annahme der Spinzustände des Elektrons in der Erklärung der Stern-Gerlach-Resultate eine typologische Erweiterung der Physik. Man nahm nicht etwa an, dass zusätzlich zu den Nukleonen und Elektronen eines Atoms noch ein weiteres Teilchen existierte, dessen Auftreten die Befunde erklärte. Sondern man nahm nur zusätzliche fundamentale Zustände des altbekannten Elektrons an, nämlich die verschiedenen Spinzustände.[29]

Eine typologische Annahme wie die der Spinzustände ist von anderer Art als eine ontologische Annahme wie die des Neutrinos. Man sollte sie nicht als eine ontologische Annahme besonderer Art hinstellen, etwa als Annahme der Existenz einer bestimmten fundamentalen, natürlichen Eigenschaft. Das wird besonders deutlich, wenn man wieder Lewis' allgemeine Eigenschaftstheorie als Hintergrund wählt. Setzt man sie voraus, so existieren all die möglichen Individuen und all die Klassen von ihnen *ohnehin*. Die neue Annahme beim Postulieren der Spinzustände ist nicht, dass es noch weitere Klassen von Dingen gibt, sondern dass mehr dieser Klassen *natürliche* Klassen sind, als man bisher dachte.[30]

Für die Debatte zwischen Universalientheoretikern und Nominalisten ist jedoch ein anderer Unterschied wichtiger als der zwischen Ontologie und Typologie. Übersieht man, dass es neben der ontologischen noch eine typologische Dimension von theoretischen Annahmen gibt, so droht man theoretisch angenommene fundamentale Bestimmungen einerseits und in der Theorieformulierung in Anspruch genommene Grundbegriffe andererseits zu verwechseln. Man verwechselt Typologie und Ideologie. Dass aber zwischen Typologie und Ideologie einer Theorie ein klarer Unterschied besteht, lässt sich anhand von Lewis' Konzeption theoretischer Terme erklären.[31] Lewis unterscheidet in der Formulierung einer neuen wissenschaftlichen Theorie zwischen O-Termen und T-Termen. O-Terme sind „alte" („old") Ausdrücke, die bereits vortheoretisch verstanden sind. Das können etwa Ausdrücke sein, mit denen wir Reaktionen von Messinstrumenten beschreiben. Es kann sich aber auch um theoretische Ausdrücke von wissenschaftlichen Theorien handeln, die wir bei der Formulierung der neuen Theorie voraussetzen, etwa um mechanisches Vokabular bei der Formulierung der Elektrodynamik. Die T-Terme sind hingegen theoretische Ausdrücke, die erst im Rahmen der neuen Theorie Bedeutung erhalten. Ein T-Term der Elektrodynamik wäre etwa der Ausdruck „ist elektrisch elementar negativ geladen".

Aufbauend auf dem Konzept des Ramsey-Satzes schlägt Lewis ein Verfahren vor, mit dem sich die T-Terme einer Theorie mittels der O-Terme definieren lassen. Als erstes bilde man aus all den verschiedenen Theorieklauseln per Konjunktion einen einzigen Satz **T**. Dann nominalisiere man darin alle prädikativen T-Terme. Man gehe etwa von „*x* ist elementar negativ geladen" über zu „*x* besitzt die negative elektrische Elementarladung". Der singuläre Term „die negative Elementarladung" soll eine Eigenschaft bezeichnen. Man ersetze nun alle nominalisierten T-Terme eins-zu-eins durch Variablen F, G, H … . „Die negative Elementarladung" wird beispielsweise durch „G" ersetzt. So erhält man einen in diesen Variablen offenen Satz $\mathbf{T}(F, G, H, \ldots)$, der außer logisch-mathematischem Vokabular nur noch O-Terme enthält. Der existenzielle Abschluss dieser Formel $\exists F \exists G \exists H \ldots \mathbf{T}(F, G, H, \ldots)$ wäre der Ramseysatz der Theorie **T**. Statt seiner bilde man jedoch die folgende Kennzeichnung:

das n-Tupel $\langle F, G, H, \ldots \rangle$, so dass $\mathbf{T}(F, G, H, \ldots)$

Der T-Term „die negative Elementarladung" lässt sich dann durch die folgende Identitätsaussage definieren:

die negative Elementarladung = das zweite Element in dem n-Tupel $\langle F, G, H, \ldots \rangle$, so dass $\mathbf{T}(F, G, H, \ldots)$

Die negative Elementarladung ist eine fundamentale Eigenschaft, die wir in der neuen Theorie postulieren. Sie gehört zur Typologie der neuen Theorie. Sie wird durch den T-Term „die negative Elementarladung" bezeichnet. Unser *Begriff* von der negativen Elementarladung ist der Begriff von derjenigen physikalisch fundamentalen Eigenschaft G, welche es auch sein mag, die die in dem offenen Satz $\mathbf{T}(F, G, H, \ldots)$ für G spezifizierte naturgesetzliche Rolle spielt.[32] Zur naturgesetzlichen Rolle der Elementarladung gehört es etwa, dass sich zwei Dinge, die sie beide besitzen, gegenseitig abstoßen.

Der offene Satz $\mathbf{T}(F, G, H, \ldots)$ enthält aber an deskriptivem Vokabular nur die O-Terme. Unser Begriff von der Elementarladung wird also mittels der Begriffe analysiert, die die O-Terme ausdrücken. Die Elemente der Typologie sind weder Grundbegriffe noch damit definierte Begriffe. Die Grundbegriffe sind die von den O-Termen ausgedrückten Bedeutungen. Mit ihnen werden nur die naturgesetzlichen Rollen definiert, welche die postulierten Elemente der Typologie spielen. Die typologischen Elemente selbst werden nicht definiert, sondern als Spieler der definierten Rollen theoretisch angenommen.[33] Die typologisch postulierten natürlichen Eigenschaften und Relationen sind also gerade nicht Bedeutungen des als verstanden vorausgesetzten Vokabulars. Sie sind nicht einmal Bezugsgegenstände dieses Vokabulars. Und die begrifflichen Inhalte des als verstanden vorausgesetzten Vokabulars sind gerade keine angenommenen natürlichen Eigenschaften oder Beziehungen. Es wird deutlich, wie Typologie und Ideologie auseinanderklaffen:

Typologie:	die von den T-Termen bezeichneten Eigenschaften und Relationen
Ideologie:	die von den O-Termen ausdrückten Begriffe

Gegen Armstrongs Supervenienz-Einwand: Ähnlichkeit gehört nur zur Ideologie des Nominalismus

Metaphysische Theorien wie die Universalientheorie oder der Nominalismus über perfekte Natürlichkeit sind viel stärker als einzelwissenschaftliche Theorien darauf abgestellt, ihre Grundbegriffe explizit auszuzeichnen, zu systematisieren und minimal zu halten. Anders als die wissenschaftlichen O-Terme, die Lewis betrachtet, sind die Grundprädikate einer philosophischen Theorieformulierung keine Ausdrücke der Alltagssprache oder einer bereits funktionierenden Wissenschaftssprache, deren hinreichendes Verständnis in der Wissenschaftlergemeinschaft unterstellt werden kann. Sondern der Philosoph muss seine sehr abstrakten Grundbegriffe oft mit einigem Aufwand explizit einführen und erläutern. Doch der Grundkontrast von Typologie und Ideologie bleibt auch in der Metaphysik bestehen. Es ist eine Sache, wenn sich ein Philosoph in seiner Theorieformulierung auf das Verständnis eines erläuterten Prädikats verlässt, ohne den damit ausgedrückten Begriff mittels anderer Ausdrücke definieren zu können. Eine ganz andere Sache ist es, wenn er theoretisch ein fundamentales Charakteristikum, eine fundamentale Beziehung oder ein fundamentales Strukturmerkmal postuliert. Wer beispielsweise eine irreduzible metaphysische Notwendigkeit, eine fundamentale Beziehung der Exemplifikation von Universalien durch Einzeldinge oder eine sogenannte nicht-mereologische Form der Zusammensetzung[34] annimmt, nimmt nicht nur Grundbegriffe in Anspruch, sondern er macht in seiner Metaphysik bestimmte typologische Annahmen.

Bei der Beurteilung metaphysischer Theorien ist es schon deshalb entscheidend, Typologie und Ideologie klar zu unterscheiden, weil man sonst die theoretischen Kosten von Theorien falsch einschätzt. Die theoretischen Kosten sind von ganz anderem Gewicht, wenn etwas als ein Element der Typologie angenommen werden muss, als wenn es nur als ideologisches Grundelement, als bloßer Grundbegriff in Anspruch genommen wird. Außerdem aber können sich bestimmte Einwände gegen eine metaphysische Theorie auflösen, sobald man versteht, dass sie auf der irrigen Unterstellung beruhen, ein tatsächlich bloß ideologisches, grundbegriffliches Element müsse als typologisches Grundelement angenommen werden. Gerade Bedenken gegen den Ähnlichkeitsnominalismus beruhen zu einem großen Teil auf der Verwechslung von Ideologie mit Typologie. Das präziseste Exemplar der Sorte von Einwänden, die ich im Blick habe, ist Armstrongs Supervenienz-Einwand. Armstrong skizziert ihn zu Beginn von *A Combinatorial Theory of Possibility*:

Es scheine, „dass die Eigenschaften und Relationen der Dinge nicht über ihren bloßen Ähnlichkeiten supervenieren. Denn eine andere Menge von Eigenschaften und Relationen könnte genau dieselbe Ähnlichkeitsstruktur aufweisen.“ Wir scheinen hier ein Argument dafür zu haben, „Eigenschaften und Relationen als primär und Ähnlichkeiten als sekundär anzunehmen“.[35]

Der Einwand lässt sich genauer folgendermaßen verstehen: Der Ähnlichkeitsnominalist behauptet, Ähnlichkeit sei grundlegend oder „primär“ gegenüber natürlichen Eigenschaften (und Relationen). Wenn das stimmt, muss aber die Verteilung natürlicher Eigenschaften über die Dinge über den Ähnlichkeitsverhältnissen zwischen den Dingen supervenieren. Supervenienz bedeutet dabei, dass zwei mögliche Welten, die in den Ähnlichkeitsverhältnissen zwischen den Dingen in ihnen übereinstimmen, immer auch in der Verteilung der natürlichen Eigenschaften über die Dinge übereinstimmen. Es ist aber offenbar möglich, dass es in zwei verschiedenen möglichen Welten jeweils *n* Einzeldinge gibt, so dass es zwar eine Eins-zu-eins-Zuordnung zwischen den Dingen beider Welten gibt, die die Ähnlichkeitsverhältnisse erhält, aber keine, die die natürlichen Eigenschaften erhält. Um es an einem einfachen Fall zu erläutern: Welt 1, die genau aus den beiden einander in einer Hinsicht vollkommen ähnlichen Dingen *a* und *b* besteht, besitzt dieselbe Ähnlichkeitsstruktur wie Welt 2, die genau aus den beiden einander in einer Hinsicht vollkommen ähnlichen Dingen *a*' und *b*' besteht. Trotz dieser Isomorphie hinsichtlich der Ähnlichkeiten können die Dinge in beiden Welten verschiedene natürliche Eigenschaften haben. In Welt 1 könnten *a* und *b* beide die negative Elementarladung tragen und *deshalb* vollkommen ähnlich in einer Hinsicht sein, während ihre Bildobjekte *a*' und *b*' in Welt 2 beide die positive Elementarladung tragen und einander *deshalb* ähneln. Die erforderliche Supervenienz von Eigenschaften über Ähnlichkeiten besteht also nicht. Folglich – so der von Armstrong nahe gelegte Schluss – ist Ähnlichkeit nicht grundlegend, und der Ähnlichkeitsnominalismus ist falsch.

Der Fehler in diesem Argument passiert gleich zu Anfang. Die These des Ähnlichkeitsnominalisten wird dahingehend wiedergegeben, Ähnlichkeit sei gegenüber natürlichen Eigenschaften „primär“. Das ist jedoch bereits eine unglückliche Formulierung. Richtig ist, dass für diesen Nominalisten der Begriff der Ähnlichkeit *begrifflich* grundlegend ist für den allgemeinen Begriff der natürlichen Eigenschaft. Der allgemeine Begriff der natürlichen Eigenschaft wird mittels eines grundlegenden Ähnlichkeitsbegriffs definiert, etwa wie oben angegeben:

(ÄN) Eine Eigenschaft ist perfekt natürlich genau dann, wenn sie eine maximale Klasse von (möglichen) Individuen ist, die einander alle in einer Hinsicht vollkommen ähnlich sind.

Die unglückliche Anfangsformulierung suggeriert demgegenüber, Ähnlichkeit sei grundlegend nicht für den allgemeinen Begriff der natürlichen Eigenschaften, sondern für all die verschiedenen Eigenschaften selbst. Sie suggeriert, der Nominalist vertrete eine Ähnlichkeitsbeziehung als das einzige *typologische* Grundelement, dessen Bestehen zwischen Dingen mit Notwendigkeit all deren Eigenschaften festlegt. Nur wenn die These des Nominalisten derartig missverstanden wird, kann man folgern, die Verteilung von Eigenschaften müsse ihm zufolge über den Ähnlichkeitsverhältnissen zwischen Dingen supervenieren, und ihn wegen dieser Konsequenz kritisieren.

Die beiden Grundunterscheidungen, die ich vorgeschlagen habe, ermöglichen zusammen ein adäquates Grundverständnis des Ähnlichkeitsnominalismus. Dieses Verständnis erlaubt es insbesondere, Einwände wie Armstrongs Supervenienzargument abzuweisen. Die erste Unterscheidung ist die zwischen qualitäts-repräsentierenden und qualitäts-konstituierenden Eigenschaften. Der Ähnlichkeitsnominalismus ist eine Alternative zu einer Theorie qualitäts-konstituierender Universalien. In einer solchen Universalientheorie nimmt man an, dass Einzeldinge ihre Qualitativität aufgrund spezieller qualitativer Entitäten besitzen, nämlich aufgrund von Universalien. Der Nominalist vertritt demgegenüber die Ansicht, dass Einzeldinge nicht aufgrund von anderen Entitäten qualitativ bestimmt sind, sondern dass sie von sich aus, nicht-derivativ oder per se qualitativ sind. Ihre verschiedenartige *per se*-Qualitativität lässt sich allerdings durch abstrakte Entitäten repräsentieren. Lewis' Eigenschaftstheorie bietet natürliche Klassen (von *n*-Tupeln) möglicher Individuen als solche Repräsentanten an.

Die zweite Grundunterscheidung ist die zwischen der Ideologie und der Typologie einer Theorie. Ähnlichkeit ist für den Ähnlichkeitsnominalisten nur Element seiner Ideologie. Er nimmt einen Grundbegriff der Ähnlichkeit in Anspruch, um seine Theorie zu formulieren. Ähnlichkeit ist für ihn hingegen kein Element der Typologie. Sie ist nicht selbst eine fundamentale, perfekt natürliche Beziehung zwischen Dingen. Dementsprechend behauptet der Ähnlichkeitsnominalist auch nicht, dass alle anderen Bestimmungen von Dingen über ihren Ähnlichkeiten beruhen. Ähnlichkeit ist nicht typologisch grundlegend für alle anderen Eigenschaften und Beziehungen. Der Nominalist verwendet seinen Grundbegriff der Ähnlichkeit nur, um den allgemeinen Begriff der natürlichen Eigenschaft und den allgemeinen Begriff der natürlichen Beziehung zu definieren. Indem er Ähnlichkeit als unanalysierbaren Begriff verwendet, der auf mehrere Einzeldinge zutreffen kann, macht er gerade die theoretische Annahme, dass Einzeldinge per se qualitativ sind. Aufgrund ihrer verschiedenartigen *per se*-Qualitativität sortieren sie sich in natürliche Klassen (von *n*-Tupeln) ein, die daher als abstrakte Repräsentanten der Weise dienen können, wie die Dinge sind und wie sie sich zueinander verhalten.

Gegen Rodriguez-Pereyra I: Formale Prinzipien der pluralen Ähnlichkeit sind unproblematisch

Der Umstand, dass Ähnlichkeit der Grundbegriff des Nominalisten und nicht etwa ein Element seiner Typologie ist, ist auch für die Auflösung eines anderen vermeintlichen Problems entscheidend. Ähnlichkeit zeichnet sich plausiblerweise durch gewisse formale Eigenschaften aus. Solche Eigenschaften lassen sich durch Prinzipien erfassen, die neben dem Ähnlichkeitsprädikat nur logisches Vokabular enthalten. Von einer zweistelligen Beziehung der vollkommenen Ähnlichkeit in einer Hinsicht etwa wird man auf jeden Fall Symmetrie (x ähnelt $y \rightarrow y$ ähnelt x) und wohl auch Reflexivität in ihrem Bereich (x ähnelt $y \rightarrow x$ ähnelt x) fordern.

Für den Nominalismus über perfekte Natürlichkeit habe ich einen pluralen Ähnlichkeitsbegriff ins Spiel gebracht. Er wird durch das Prädikat „(diese Dinge) sind in einer Hinsicht vollkommen ähnlich“ ausgedrückt. Es ist überaus einleuchtend, dass dieser plurale Begriff durch ein Prinzip der Kontraktion beherrscht wird. Wenn eine Pluralität von Dingen eine vollkommene Ähnlichkeit aufweist, so auch jede Teilpluralität dieser Pluralität, oder ein wenig stilisierter:

Wenn gewisse Dinge einander vollkommen ähneln, so ähneln sich auch beliebige Dinge, zu denen nur (aber nicht notwendigerweise alles) gehört, was auch zu den erstgenannten Dingen gehört.

Dieses Kontraktionsprinzip lässt sich gut aufgrund der Intention rechtfertigen, eine Auszeichnung natürlicher Eigenschaften zu definieren. Um einen einfachen Spezialfall zu nehmen: Angenommen die Dinge *a*, *b* und *c* sind einander vollkommen ähnlich in einer Hinsicht. Der Intention nach sind sie dann Elemente derselben natürlichen Klasse. Doch dann sind auch beispielsweise die Dinge *a* und *b* Elemente derselben natürlichen Klasse. Also sind auch *a* und *b* vollkommen ähnlich in einer Hinsicht.

G. Rodriguez-Pereyra, der die ausführlichste Verteidigung des Ähnlichkeitsnominalismus der letzten Jahre verfasst hat (2002), hat einen radikalen Einwand gegen formale Prinzipien der Ähnlichkeit vorgebracht.[36] Er lehnt einen pluralen Begriff der Ähnlichkeit als Grundbegriff gerade deshalb ab, weil der Begriff einem Prinzip der Kontraktion unterliegen müsste. Seine Begründung ergibt jedoch höchstens dann Sinn, wenn er Ähnlichkeit als ein Element der Typologie statt bloß als eines der Ideologie des Nominalismus behandelt. Offiziell bestreitet er, dass Ähnlichkeit eine natürliche Beziehung ist (2002: 62). Doch dann schreibt er, im Ähnlichkeitsnominalismus würden Eigenschaften aufgrund von Ähnlichkeit besessen (2002: 89) und man könne eine vollständige und nicht-redundante Charakterisierung der Einzeldinge mittels Ähnlichkeiten geben (2002: 63). Offenbar soll nicht nur der allgemeine Begriff der natürlichen Eigenschaft durch den Ähnlichkeitsbegriff definiert werden. Sondern Ähnlichkeit wird als typologisch fundamental betrachtet; auf ihr beruht alles Haben von Eigenschaften.[37]

Rodriguez-Pereyra argumentiert folgendermaßen gegen ein plurales und für ein zweistelliges Ähnlichkeitsprädikat (siehe (2002: 80–81)): Für das plurale Konzept müsste das Prinzip der Kontraktion gelten: Wenn die Dinge einer gegebenen Pluralität einander ähneln, dann auch die Dinge einer jeden ihrer Teilpluralitäten. Wenn nun die plurale Ähnlichkeit primitiv wäre, so seine Überlegung, müssten die Ähnlichkeit in einer Hinsicht etwa der Dinge *a*, *b* und *c* und die Ähnlichkeit in einer Hinsicht der Dinge *a* und *b* unabhängige Tatsachen sein: „Die kollektive Ähnlichkeit von *a*, *b* und *c* ist eine atomare Tatsache, die die Ähnlichkeit von *a* und *b* nicht impliziert." Der Pluralist könne den Zusammenhang nicht erklären, sondern nur stipulieren. Wenn Ähnlichkeit hingegen zweistellig sei, folge „*a* ähnelt *b*" logisch aus der Konjunktion „(*a* ähnelt *b*) und (*b* ähnelt *c*) und (*a* ähnelt *c*)".

Sicherlich wäre ein nur zweistelliges Grundkonzept einem mehr-oder gar beliebig-stelligen, pluralen Begriff prima facie vorzuziehen, allein aus Gründen der begrifflichen Einfachheit. Aber ein schlagendes Argument gegen einen pluralen Grundbegriff ergibt sich nicht. Die plurale objektive Ähnlichkeit ist ein Element der nominalistischen Ideologie, d.h. der in Anspruch genommenen theoretischen Grundbegriffe, nicht der Typologie, d.h. der postulierten fundamentalen Eigenschaften und Relationen. Ein konsequenter modaler Rekombinatorialist mag von fundamentalen Eigenschaften und Relationen fordern, dass sie in beliebiger Kombination auftreten können. Zwei fundamentale Eigenschaften F und G können ko-exemplifiziert sein, aber ebenso gut kann F ohne G auftreten und umgekehrt. Ähnlich wird ein Rekombinatorialist verlangen, dass verschiedene Exemplifikationen einer fundamentalen Relation R modal voneinander unabhängig sein müssen. Wenn R eine fundamentale multigradische Relation ist, d.h. eine, die hinsichtlich ihrer Stelligkeit nicht festgelegt ist, so müsste $\mathrm{R}(a,b,c)$ ohne $\mathrm{R}(a,b)$ bestehen können. All das gilt für perfekt natürliche Eigenschaften und Relationen, falls man ein starkes Prinzip der modalen Rekombination annimmt.[38]

Aber für *Begriffe* gilt sicher kein solches Rekombinationsprinzip. Unser Begriff des Junggesellen scheint zum Beispiel so geregelt zu sein, dass er nie zutrifft, ohne dass auch der Begriff des Unverheiratetseins zutrifft. Entsprechend können auch unsere Grundbegriffe problemlos formalen Prinzipien unterliegen, die ihre Anwendungsfälle in einen allgemeinen, begrifflich notwendigen Zusammenhang bringen.[39] Die Grundbegriffe dienen uns dazu, einen Aspekt der allgemeinen Struktur der Realität allgemein zu erfassen. Im vorliegenden Fall ist dieser Aspekt die Gliederung der Eigenschaften in perfekt natürliche und andere. Eine solche Gliederung der Eigenschaften verlangt aber, wie gesehen, auch den begrifflichen Zusammenhang zwischen $\mathrm{R}(a,b,c)$ und $\mathrm{R}(a,b)$, wenn „R“ für den Grundbegriff der Ähnlichkeit stehen soll.

Tatsächlich kommt auch Rodriguez-Pereyra selbst nicht ohne formale Einschränkungen aus, denen das Zutreffen seines Ähnlichkeitsprädikats unterliegt. Die Hürde, die er nehmen muss, ist Goodmans Problem der unvollkommenen Gemeinschaften („imperfect communities“). Die Dinge u, v und w sind paarweise ähnlich in einer Hinsicht, und sie ähneln sich auch allesamt in einer Hinsicht:

$$u_{\mathrm{F}} \qquad\qquad v_{\mathrm{F}} \qquad\qquad w_{\mathrm{F}}$$

Die Dinge *a*, *b*, und *c* sind hingegen zwar paarweise ähnlich, ähneln sich aber keineswegs allesamt; sie bilden eine unvollkommene Gemeinschaft:

$$a_{\mathrm{F,G}} \qquad\qquad b_{\mathrm{F,H}} \qquad\qquad c_{\mathrm{G,H}}$$

Dinge, die sich alle in einer Hinsicht ähneln, sind daher nicht als Dinge definierbar, von denen je zwei einander ähnlich sind. Mit einem pluralen Ähnlichkeitsbegriff lässt sich dieses Problem lösen. Rodriguez-Pereyra beharrt hingegen auf der Zweistelligkeit des Ähnlichkeitsprädikates. Als Relata lässt er jedoch nicht nur Einzeldinge, sondern auch Paare solcher Dinge, Paare von Paaren von ihnen usw. zu. Eine Klasse von Dingen, die allesamt einander ähnlich sind, ist dann eine Klasse von Dingen, von denen je zwei einander ähneln, von denen je zwei Paare einander ähneln, von denen je zwei Paare von Paaren einander ähneln, usw.

Man kann mit gutem Grund bezweifeln, ob dieses Ähnlichkeitsprädikat noch einen zweistelligen Begriff ausdrückt. Die Aussageform „Paar $\langle x,y\rangle$ ähnelt Paar $\langle z,u\rangle$" scheint in Wahrheit eher eine mengentheoretisch verkappte vierstellige Beziehung zwischen Dingen auszudrücken. Wichtiger aber ist, dass Rodriguez-Pereyra ein sehr spezielles Verständnis der Ähnlichkeit zwischen Paaren (und Paaren von Paaren …) unterstellen muss, um unvollkommene Gemeinschaften auszuschließen. Man betrachte den einfachen Problemfall der Dinge *a*, *b* und *c*. Die zu betrachtenden Paare wären:

$$\langle a_{\mathrm{F,G}}, b_{\mathrm{F,H}}\rangle \qquad \langle b_{\mathrm{F,H}}, c_{\mathrm{G,H}}\rangle \qquad \langle a_{\mathrm{F,G}}, c_{\mathrm{G,H}}\rangle$$

Ähneln sich je zwei dieser Paare? In gewissem Sinne durchaus, denn je zwei Paare stimmen darin überein, dass ihre Elemente jeweils in einer Eigenschaft übereinstimmen. Die Elemente des ersten Paares sind beide F, die des zweiten beide H und die des dritten beide G. Die Paare ähneln sich aber nicht *in* der Eigenschaft, die sie teilen. Gerade das ist jedoch erforderlich, damit Dinge eine vollkommene Gemeinschaft bilden, d.h. allesamt typgleich sind. So sind $\langle a_{\mathrm{F}}, b_{\mathrm{F}}\rangle$ und $\langle b_{\mathrm{F}}, c_{\mathrm{F}}\rangle$ in dem erforderlichen stärkeren Sinn ähnlich, weil ihre Elemente *in derselben Eigenschaft* übereinstimmen, nämlich in ihrer F-heit. So verstanden sind die Anwendungen von Rodriguez-Pereyras zweistelligem Ähnlichkeitsbegriff aber ebenso wenig voneinander unabhängig wie die Anwendungen eines pluralen Ähnlichkeitskonzept. Wenn die Paare $\langle x,y\rangle$ und $\langle y,z\rangle$ im erforderlichen Sinn einander ähnlich sind, so sind auch *x* und *y* einander ähnlich, ebenso *y* und *z* sowie *x* und *z*. Rodriguez-Pereyras Ähnlichkeitskonzept wird folglich ebenso von einem Kontraktionsprinzip beherrscht wie das plurale Konzept. Mit seinem Beharren auf der syntaktischen Zweistelligkeit ist also gar nichts gewonnen. Man handelt sich nur eine unerfreuliche und unplausible mengentheoretische Komplexität der Relata ein. Außerdem gerät Rodriguez-Pereyras Definition des Begriffs der perfekt natürlichen Klasse (er spricht von „property classes“ (2002: 144–155)) mit seinem zweistelligen Prädikat überaus kompliziert.

Gegen Rodriguez-Pereyra II: Ähnlichkeitsnominalismus ohne reale Possibilia

Bisher habe ich Lewis' allgemeine Eigenschaftstheorie unterstellt, die auf der Annahme von Mengen und dem modalen Realismus beruht. Der Grund war, dass ich die grundsätzliche Diskussion der ähnlichkeitsnominalistischen Konzeption der perfekten Natürlichkeit von Eigenschaften und Relationen nicht mit der Frage belasten wollte, worin qualitätsrepräsentierende Eigenschaften und Relationen bestehen. Insbesondere die Annahme realer bloß möglicher Individuen und Welten möchten die allermeisten Philosophen jedoch um fast jeden Preis vermeiden – so auch ich. Ich möchte daher in Absetzung von Rodriguez-Pereyra erklären, wie ein Ähnlichkeitsnominalismus der perfekten Natürlichkeit grundsätzlich aussehen muss, der nicht auf den modalen Realismus angewiesen ist. Das Fehlen der Ideologie/Typologie-Unterscheidung bei Rodriguez-Pereyra führt ihn nämlich nicht nur dazu, auf einem zweistelligen Ähnlichkeitsprädikat zu bestehen. Er lässt sich davon außerdem in den modalen Realismus hineintreiben – unnötigerweise, wie ich zeigen möchte.

Eine programmatische Grundentscheidung Rodriguez-Pereyras, die für seine Theorie eine zentrale Rolle spielt, kann ich hier nicht im Detail diskutieren. Ihm zufolge muss eine Eigenschaftstheorie Entitäten angeben, die als „Wahrmacher“ für Aussagen wie „*a* ist F“ dienen, in denen Dingen Eigenschaften zugeschrieben werden. Diese methodologische These ist jedoch nicht ausreichend begründet, da sie auf einem viel zu engen Verständnis von Definitionen und Analysen in der Philosophie beruht.[40] Statt nach Wahrmachern für Zuschreibungen von natürlichen Eigenschaften zu suchen, sollte der Ähnlichkeitsnominalist vielmehr den allgemeinen Begriff der natürlichen Eigenschaft direkt mittels eines geeigneten Grundbegriffs der Ähnlichkeit zu definieren versuchen.

Eine folgenreiche weitere Entscheidung Rodriguez-Pereyras lautet, es müsse für die Zuschreibung zweier verschiedener natürlicher Eigenschaften hinsichtlich ein und desselben Einzeldings „*a* ist F" und „*a* ist G" jeweils auch zwei verschiedene Wahrmacher geben. Etwas vereinfacht sollen diese beiden Wahrmacher in Pluralitäten von Sachverhalten bestehen, die im einen Fall die Ähnlichkeit des Gegenstands *a* zu all den Dingen, die F sind, und im anderen Fall seine Ähnlichkeit zu all den Dingen, die G sind, betreffen. Auch wenn man sich der allgemeinen Forderung von Wahrmachern anschließt, ist diese Entscheidung keineswegs zwingend. Gegenstand *a* kann selbst sowohl der Wahrmacher von „*a* ist F" als auch der von „*a* ist G" sein. Voraussetzung ist, dass sich auf andere Weise der Umstand beschreiben lässt, dass Gegenstand *a* zweifach (oder mehrfach) qualitativ bestimmt ist. Dieser Umstand ist jedoch schon damit beschrieben, dass Gegenstand *a* Element zweier (oder mehrerer) ähnlichkeitsnominalistisch charakterisierter natürlicher Klassen von Dingen ist.[41] Ein besonderes Problem ergibt sich nur in dem Fall, dass Gegenstand *a* intuitiv gesprochen zwei natürliche Eigenschaften besitzt, die de facto dieselbe Extension haben. Wie der Ähnlichkeitsnominalist dieses Problem der Ko-Exemplifikation ohne die Annahme realer möglicher Welten lösen kann, werde ich in einem Augenblick erklären.

Zuvor möchte ich auf ein anderes Problem eingehen, das einen Ähnlichkeitsnominalisten in den modalen Realismus hineintreiben könnte. Es handelt sich um das Problem der einmalig exemplifizierten natürlichen Eigenschaften. Der Universalientheoretiker kann solche Eigenschaften leicht erklären. Er muss nur annehmen, dass Universalien zwar mehrfach exemplifizierbar sind und typischerweise tatsächlich vielfach exemplifiziert sind, dass es aber auch möglich ist, dass ein Universal nur von einem einzigen Ding besessen wird. Die Einermenge eines solchen Dings zählt dann als perfekt natürliche Eigenschaft. Aber wie kann der Ähnlichkeitsnominalist der Möglichkeit einmalig exemplifizierter natürlicher Eigenschaften gerecht werden? Ähnlichkeit ist eine Beziehung. Daher mag es scheinen, es müsse allerwenigstens zwei einander ähnliche Dinge geben, damit überhaupt von Ähnlichkeit die Rede sein könne. Folgt man Rodriguez-Pereyra in den modalen Realismus, so lässt sich das Problem mit der Annahme realer möglicher Individuen lösen: Selbst wenn nur ein einziges wirkliches Ding F ist, gibt es außerdem all die anderen realen möglichen F-Dinge. Mit Rodriguez-Pereyra kann man dann sagen, das wirkliche Ding sei F aufgrund („in virtue of") seiner Ähnlichkeitsbeziehungen zu diesen möglichen F-Dingen, die in anderen möglichen Welten existieren.

Wenn R eine fundamentale Beziehung ist, mag es wirklich eine fragwürdige Annahme sein, dass ein Ding in R zu sich selbst und zu nichts anderem steht.[42] Aber Ähnlichkeit ist keine fundamentale Beziehung, kein Element der ähnlichkeitsnominalistischen Typologie. Ähnlichkeit ist ausschließlich ein Grundbegriff dieser Theorie. Nichts spricht dagegen, dass ein Ding sich selbst und nichts anderem vollkommen in einer Hinsicht ähnlich sein kann. Mit diesem ausschließlich reflexiven Zutreffen des grundlegenden Ähnlichkeitsbegriffes auf ein einzelnes Ding wäre der Umstand erfasst, dass dieses Ding einen fundamentalen qualitativen Charakter aufweist (denn sonst ähnelte es sich nicht einmal selbst vollkommen in einer Hinsicht), den nichts anderes aufweist (denn sonst ähnelte es auch noch anderen Dingen). Wie beim Universalientheoretiker zählt die Einermenge eines solchen Dings als perfekt natürliche Eigenschaft. Reale Possibilia sind also nicht erforderlich, um das Problem der einmalig exemplifizierten natürlichen Eigenschaften ähnlichkeitsnominalistisch zu lösen.

Nun zum Problem des Nominalisten mit koextensiven perfekt natürlichen Eigenschaften. Es ist zumindest denkbar, dass es zwei verschiedene natürliche Eigenschaften F und G gibt, die jedoch von genau denselben Dingen exemplifiziert werden. Der Universalientheoretiker kann diesem Umstand durch die Annahme zweier Universalien gerecht werden, die de facto von denselben Einzeldingen exemplifiziert werden. Wie aber soll der Ähnlichkeitsnominalist eine solche Situation beschreiben? Er scheint nur eine einzige Klasse von Dingen zur Verfügung zu haben, die einander in einer Hinsicht vollkommen ähneln. Dass diese Dinge tatsächlich in zwei natürlichen Eigenschaften F und G übereinstimmen, kann er so nicht erfassen. Folgt man Rodriguez-Pereyra in den modalen Realismus, so hat man nicht nur Klassen von wirklichen Dingen, sondern auch Klassen von wirklichen und bloß möglichen Dingen zur Verfügung. Die wirklichen F-Dinge mögen genau mit den wirklichen G-Dingen zusammenfallen. Aber in anderen möglichen Welten gibt es F-Dinge, die keine G-Dinge sind, und umgekehrt. Dieser Umstand lässt sich durch Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen wirklichen und bloß möglichen Dingen erfassen.

Man kann den Umstand, dass die wirklichen Dinge, die zu einer Klasse gehören, in zwei natürlichen Eigenschaften statt bloß in einer übereinstimmen, aber auch anders beschreiben. Die Dinge in dieser Klasse sind einander nicht in genau einer Hinsicht vollkommen ähnlich, sondern in genau zwei Hinsichten. Das grundlegende Ähnlichkeitsprädikat des Nominalisten muss einen Index für Grade der Ähnlichkeit enthalten: (diese Dinge) sind einander in genau *n* Hinsichten vollkommen ähnlich. Dabei ist „*n*" ein Platzhalter für Zeichen für natürliche Zahlen, vielleicht auch für transfinite Zahlen. Zwar wäre die Annahme einer fundamentalen Beziehung zwischen Dingen, die relativ zu Zahlen besteht, sehr fragwürdig. Aber Ähnlichkeit ist keine fundamentale Beziehung, sondern nur ein Grundbegriff. Ein Prädikat, das einen Grundbegriff ausdrückt, mag durchaus eine Stelle für Zahlen enthalten, solange man erläutern kann, was die Zahlenwerte besagen sollen. Das ist aber durchaus möglich. Insbesondere kann ein gradierter Ähnlichkeitsbegriff formalen Prinzipien gehorchen, die etwas über das Verhalten der Ähnlichkeitsgrade aussagen. So leuchtet das folgende Additionsprinzip ein: Wenn die Dinge in einer Klasse einander in *m* Hinsichten ähneln und die Dinge in einer zweiten Klasse einander in *m*' Hinsichten ähneln, so ähneln sich die Dinge, die zu beiden Klassen gehören, in *n* Hinsichten, wobei *n* zwischen $\max(m, m')$ und $m + m'$ liegt.

Mit der Aussage, dass sich die Dinge in einer Klasse in genau zwei Hinsichten vollkommen ähneln, hat man zugegebenermaßen noch keine zwei verschiedenen Entitäten angegeben, die man mit den beiden natürlichen Eigenschaften F und G identifizieren kann, welche diese Dinge besitzen. Das ist aber ein Problem der Theorie qualitäts-*repräsentierender* Eigenschaften. Entscheidend ist, dass der Nominalist auch ohne reale Possibilia durchaus über eine Beschreibung derjenigen Art von Situation verfügt, die der Universalientheoretiker mit der koextensiven Exemplifikation zweier verschiedener qualitäts-konstituierender Universalien erklärt. Der Nominalist kann sich entweder mit der Aussage zufrieden geben, manche Klassen wiesen eine vollkommene Ähnlichkeit in einem höheren Grade als 1 auf. Oder er kann versuchen, auf dieser Basis zwei verschiedene qualitäts-repräsentierende Entitäten mit mengentheoretischen Mitteln zu konstruieren. Wenn M eine maximale Klasse von Dingen ist, die einander in genau zwei Hinsichten ähneln, so könnte er etwa die Objekte ⟨M,1⟩ und ⟨M,2⟩ mit den beiden natürlichen Eigenschaften identifizieren, die diese Dinge exemplifizieren. Diese Objekte ließen sich zum Aufbau von möglichen Ersatz-Welten verwenden.[43] Ersatzwelten sind konsistente Mengen von abstrakten Konstrukten, die die Wirklichkeit als auf bestimmte Weise beschaffen repräsentieren. Eine Menge der Form {…, ⟨*a*, ⟨M,1⟩⟩, ⟨NON, *a*, ⟨M,2⟩⟩, …} könnte etwa den Umstand repräsentierten, dass der Gegenstand *a* eine der beiden natürlichen Eigenschaften besitzt, die die Dinge in der Klasse M haben, nicht aber die andere. (NON ist dabei ein konventionell festzulegendes Objekt, das das Nicht-Haben einer Eigenschaft repräsentiert.) Ob und wie sich Lewis' Reich realer möglicher Welten durch abstrakte Konstruktionen dieser Art nachbilden lässt, ist allerdings Gegenstand der Diskussion.[44]

Ein adäquater Ähnlichkeitsbegriff und die Definition der Natürlichkeit im Grad *n*

Damit sind die Probleme grundsätzlich ausgeräumt, zu deren Lösung Rodriguez-Pereyra den modalen Realismus ins Spiel bringt. Noch sind aber nicht alle Hürden genommen, vor denen der Ähnlichkeitsnominalist steht. Das verbliebene Hauptproblem bezeichnet N. Goodman als „companionship difficulty" ((1966: 160–62); vgl. Rodriguez-Pereyra (2002: 149–53)). Ich nenne es das *Problem der echten natürlichen Teilklassen*. Der zur Lösung dieses Problems erforderliche Grundbegriff der Ähnlichkeit ist nicht nur irreduzibel plural und gradiert, sondern außerdem kontrastiv.[45] Genauer bezieht er zwei Pluralitäten von Dingen *xx* und *yy* relativ zu einem Zahlenwert *n* aufeinander. Er lässt sich folgendermaßen erläutern:

$xx\mathrm{R}_n yy$ beinhaltet, dass die Dinge *xx* einander vollkommen in *n* Hinsichten ähneln, in denen sie keinem der Dinge *yy* ähneln.

Als Werte für „*n*" kommen die natürlichen Zahlen einschließlich Null, grundsätzlich aber auch transfinite Zahlen in Frage. Der Grundgedanke der Definition der Natürlichkeit einer Klasse ist, dass perfekt natürliche Eigenschaften Klassen von Dingen sind, mit denen gegenüber den Dingen außerhalb der Klasse mindestens eine Hinsicht der Ähnlichkeit hinzukommt. Seien die *xx** das Komplement der Dinge *xx*; zu den *xx** gehören also genau diejenigen Dinge, die nicht zu den *xx* gehören. Als Definition ergibt sich:

E ist eine im Grad *n* perfekt natürliche Klasse := $xx\mathrm{R}_n xx^*$ (mit $n \neq 0$), wobei zu den *xx* genau die Elemente von E gehören.

Das Problem der echten natürlichen Teilklassen ist folgendes: Angenommen M ist eine (in einem Grad *m*) natürliche Klasse von Dingen und N ist echte Teilklasse von M. N kann nun selbst wieder eine natürliche Klasse in einem Grad *n* sein oder auch nicht. Das Problem ist, wie diese beiden Fälle zu unterscheiden sind. Das plurale Ähnlichkeitskonzept „(diese Dinge) sind vollkommen ähnlich in genau einer Hinsicht" reicht dazu nicht aus. Denn in keinem der beiden Fälle ist N eine *maximale* Klasse von Dingen, die einander genau in einer Hinsicht ähneln. Dieses Problem wird mit dem kontrastiven Ähnlichkeitsbegriff gelöst: Genau dann, wenn N eine natürliche Klasse in Grad *n* ist, ähneln sich die Dinge in N alle in *n* Hinsichten, in denen sie keinem Ding außerhalb von N ähneln.[46]

Schluss

Ich habe vorgeschlagen, in der Debatte zwischen Universalientheoretikern und Nominalisten zwei Unterscheidungen zu treffen. Zunächst muss man qualitäts-repräsentierende von qualitäts-konstitutierenden Universalien unterscheiden. Der Universalientheoretiker der perfekten Natürlichkeit nimmt qualitäts-konstitutierende Universalien an, also spezielle universelle Entitäten, die die Qualitativität von Einzeldingen ausmachen und sie nicht nur abstrakt repräsentieren. Die Kernthese des Nominalisten über perfekte Natürlichkeit lautet, dass es derartige qualitäts-konstitutierende Entitäten nicht gibt und Dinge dennoch Qualitativität besitzen. Es gibt ihm zufolge keine zu Einzeldingen hinzutretende oder in sie eingelassene Entitäten, die die Qualitativität der Einzeldinge ausmachen, weder universelle noch partikuläre, weder Universalien noch Tropen. Sondern Einzeldinge sind von sich aus oder per se qualitativ. Sie sortieren sich objektiv und von selbst in Klassen von Dingen ein, die in einer Hinsicht vollkommen übereinstimmen oder ähnlich sind. Der Ähnlichkeitsnominalist wählt einen Begriff der vollkommenen Ähnlichkeit von Dingen in einer Hinsicht als Grundbegriff, um natürliche von nicht-natürlichen Eigenschaften und Relationen zu unterscheiden. Damit erfasst er zugleich allgemein den Umstand, dass Einzeldinge per se qualitativ sind. Denn nur aufgrund ihrer *per se*-Qualitativität kann der Ähnlichkeitsbegriff auf sie zutreffen.

Die zweite Unterscheidung ist die zwischen der Typologie und der

Ideologie einer Theorie. Die Typologie einer Theorie ist der Umfang an fundamentalen Eigenschaften, Relationen oder Strukturen, die in ihr postuliert werden. Die Ideologie einer Theorie ist der Umfang an Grundbegriffen, die bei ihrer Formulierung als schon verstanden in Anspruch genommen werden, mögen die Begriffe auch speziell zur Formulierung der Theorie etabliert worden sein. Vollkommene Ähnlichkeit in einer Hinsicht ist der Grundbegriff des Ähnlichkeitsnominalisten. Ähnlichkeit ist ein Element seiner Ideologie, nicht seiner Typologie. Für diesen Nominalisten ist Ähnlichkeit begrifflich grundlegend. Er definiert den allgemeinen Begriff der natürlichen Eigenschaft mittels seines Ähnlichkeitsbegriffs. Keineswegs aber führt er alle Eigenschaften auf Ähnlichkeiten zwischen Dingen zurück. Ähnlichkeit ist nicht typologisch grundlegend. Die Verteilung natürlicher Eigenschaften über die Dinge superveniert nicht über den Ähnlichkeiten zwischen den Dingen. Sondern umgekehrt legen die verschiedenen natürlichen Eigenschaften der Dinge sowie die natürlichen Relationen zwischen ihnen fest, auf welche Dinge der Ähnlichkeitsbegriff zutrifft.

Damit lassen sich viele grundsätzliche Einwände gegen den Nominalismus beiseite räumen, und für viele Einzelprobleme ergeben sich Lösungen. So wird der Nominalist durchaus D. M. Armstrongs Hinweis gerecht, die Ähnlichkeiten zwischen Dingen seien durch ihre Natur festgelegt. Die Ähnlichkeiten zwischen Dingen supervenieren nämlich über der Verteilung der natürlichen Eigenschaften (und Beziehungen). Ähnlichkeit ist begrifflich primär gegenüber dem allgemeinen Begriff der natürlichen Eigenschaft. Das ist problemlos damit vereinbar, dass die verschiedenen natürlichen Eigenschaften, etwa die Massen und Ladungen von Teilchen, typologisch grundlegend für das Bestehen von Ähnlichkeiten zwischen Dingen sind. Ebenso lassen sich Rodriguez-Pereyras Bedenken gegen eine plurale Ähnlichkeit ausräumen. Ähnlichkeit ist der nominalistische Grundbegriff, der durch gehaltvolle formale Prinzipien nicht nur geregelt sein kann, sondern geregelt sein muss, damit sich eine adäquate Gliederung der Eigenschaften in natürliche und nicht-natürliche ergibt. Rodriguez-Pereyras Einwand gegen solche Prinzipien ergibt nur dann einen Sinn, wenn man unterstellt, der Nominalist müsse Ähnlichkeit als fundamentale Beziehung, als Element der Typologie annehmen. Doch das ist nicht der Fall. Zugleich lassen sich Probleme wie das der einmaligen Exemplifikation und der koextensiven natürlichen Eigenschaften lösen, ohne dass man sich zum modalen Realismus bekennen muss, wie es Rodriguez-Pereyra tut. Die Einsicht, dass Ähnlichkeit ausschließlich als Grundbegriff fungiert, ermöglicht schließlich eine solche Bestimmung dieses Grundbegriffs, dass sich eine verhältnismäßig einfach Definition des Begriffs der perfekten Natürlichkeit (im Grad *n*) ergibt.

Damit sind keineswegs alle Probleme gelöst, die sich einer Eigenschaftstheorie aus der Perspektive der Naturphilosophie stellen. Nichts ist darüber gesagt, wie fundamentale physikalische Größen zu verstehen sind. Erst recht wurde nichts über einzelne wichtige physikalische Grundphänomene wie Eichfelder[47] oder Quantenzustände gesagt. Wohl aber wurde eine abstrakte Theorie fundamentaler Eigenschaften und Beziehungen formuliert, die weder auf qualitäts-konstituierende Universalien etwa Armstrongscher Art noch auf Tropen noch auf reale mögliche Individuen und Welten angewiesen ist.

Anmerkungen

1 Für wertvolle Hinweise danke ich Hans Rott, den Diskutanten meiner Vorträge in Konstanz, Göttingen und Genf sowie den Gutachtern von *Philosophia Naturalis*.
2 Zu anti-fundamentalistischen Argumenten und Theorien siehe Cartwright (1999), Hüttemann (2004), Schaffer (2004a). Gegen Cartwright siehe Hoefer (2003), zu früheren Argumenten Cartwrights mein (2007a).
3 Einen kritischen Überblick über nominalistische Theorien in diesem Sinne bietet Künne (2006), (2007: Postskriptum).
4 Als Basislektüre der Metaphysik natürlicher Eigenschaften und Relationen eignet sich die folgende Auswahl: Lewis (1986a: 50–69), Armstrong (1989a), Künne (2006) oder (2007: Postskriptum), Schwarz (2009: Kap. 5). Ein exzellenter „State of the Art“-Artikel ist Oliver (1996). Zur Theorie der Tropen siehe Campbell (1990) sowie Armstrongs Diskussion (1989a: Kap. 6). Zur Einführung in Lewis’ und Armstrongs Philosophie siehe Nolan (2005), Schwarz (2009) und Mumford (2007).
5 Siehe Künne (2006), (2007: 311–28) zu einer Verwendung dieser Bezeichnung.
6 Armstrong bemerkt treffend, der Prädikatnominalismus, demzufolge das Gemeinsame an Einzeldingen bloß darin besteht, dass dasselbe Prädikat auf sie zutrifft, sei die einzige Theorie, die im Wortsinne nominalistisch ist; siehe (1978: 14), (1989a: 10).
7 Eine nominalistische Theorie kontinuierlicher physikalischer Größen schlage ich in Grundzügen in (2007b) vor. In (2009) wende ich sie auf vektorielle Grundgrößen an. Mein Beitrag (2007a) enthält eine reduktionistische Konzeption von Kräften.
8 Zu Lewis’ Eigenschaftstheorie siehe insgesamt (1986a: 50–69).
9 Zur Terminologie der Mengen und Klassen siehe Lewis (1986a: 50–51

Fn. 37). In (1991: 4) verwendet er die Ausdrücke anders. Aufgrund von Nolan (1996) neigt Lewis später (2002) zu der Ansicht, dass selbst unproblematisch scheinende Eigenschaften keine Mengen, sondern echte Klassen sind.

10 Zur Exposition des modalen Realismus siehe Lewis (1986a: Kap. 1).

11 In seinem Buch zur Mengentheorie hat Lewis Mengen als (Summen von) abstrakten Entitäten eigener Art angenommen, die es noch zusätzlich zu den Individuen der vielen möglichen Welten gibt; siehe (1991). Sein (1993) bereitet hingegen eine strukturalistische Reduktion der Mengenhierarchie auf die möglichen Individuen vor; siehe Schwarz (2009: Kap. 4).

12 Genauer gesagt sind Eigenschaften erster Stufe solche Klassen. Eigenschaften höherer Stufe haben selbst Mengen als Elemente. Siehe Lewis (1986a: 50 Fn. 37).

13 Eigenschaften, die nicht perfekt natürlich sind, können immer noch natürlich in einem gewissen Grad sein. Deshalb schreibt Lewis „perfectly natural“ für die fundamentalen Charakteristika (1986a: 60–61). Dem folge ich, nenne allerdings die perfekt natürlichen Charakteristika manchmal auch kurz „natürlich“.

14 Dieses Verständnis der Fundamentalität natürlicher Eigenschaften als einfache determinierte Qualitativität bietet die Grundlage, um Einwänden gegen eine fundamentalistische Konzeption natürlicher Charakteristika zu begegnen, etwa Schaffers in (2004a). Beispielsweise ist Fundamentalität in diesem Sinn entgegen Lewis' Suggestion (1986a: 60) mit Redundanz vereinbar: Ein und dieselbe fundamentale Qualitativität von Dingen könnte sich durch verschiedene, gleichberechtigte Eigenschaften oder Relationen repräsentieren lassen. Zu Theorien der Qualitativität von Einzeldingen siehe meinen Beitrag (2008).

15 Die Annahme perfekt natürlicher Eigenschaften impliziert also nicht schon Lewis' spekulative Hypothese der Humeschen Supervenienz, derzufolge die einzigen perfekt natürlichen Eigenschaften in der wirklichen Welt intrinsische Qualitäten von punktgroßen Entitäten wie Positionen der Raumzeit, Materieportionen oder Feldportionen sind (1994: 225–227).

16 Siehe Lewis (1983: 39–43), (1994), Armstrong (1997: Kap. 15–16). Zur Vielfalt theoretischer Rollen, die natürliche Eigenschaften spielen sollen, siehe ausführlich Lewis (1983). Kritisch gegenüber dem Gedanken eines objektiven Ausgezeichnetseins natürlicher Eigenschaften verhält sich Taylor (1993). Auch Quine hat so etwas nie angenommen, sondern allenfalls nach einer Unterscheidung von Eigenschaften durch unsere kognitive Ausstattung gesucht (1969). Siehe auch Quinton (1957).

17 Als ein weiteres Universalienproblem kommt die Frage in Betracht, ob mit Prädikaten in Aussagen eine besondere ontologische Verpflichtung verbunden ist. Vgl. Moreland (2001: Kap. 1) zur Unterscheidung verschiedener Universalienprobleme.

18 Ausschließlich oder primär um A-Universalien (allerdings nicht immer unter der Bezeichnung „Universalien“) geht es etwa in Strawson (1979), Bealer (1982), Künne (2006), Künne (2007: Postskriptum), Schiffer (2003: 61–71), Schnieder (2004: Kap. I).

19 Zur Terminologie („abundant“ vs. „sparse“) siehe Lewis (1983: 11–13), (1986a: 59).

20 Unter dem dicken Einzelding verstehe ich hier die mereologische Summe aus dem dünnen Ding und seinen Universalien, wobei ich von Relationen zu anderen Dingen absehe; vgl. der Sache nach Lewis (1986a: 65). Für Armstrong ist das dicke Ding hingegen eine Entität eigener Art, nämlich ein komplexer Sachverhalt, der das dünne Ding und die Konjunktion seiner Universalien als seine nicht-mereologischen Komponenten hat. Ich selbst lehne wie Lewis das Konzept einer nicht-mereologischen Zusammensetzung ab. Doch für das Folgende macht das keinen Unterschied. Siehe Armstrong (1989a: 88–98), (1997: 119–126) sowie Lewis (1986b), (1992), (1998).

21 Vgl. Armstrongs (1989a: 39) zweifellos kritisch gemeinte Einschätzung, für den Klassennominalisten sei Natürlichkeit eine „Gestalteigenschaft“ einer Klasse. Früher (1978: 44) meinte er sogar, „natürliche Klasse“ sei eher eine Problembeschreibung als eine Lösung.

22 Das ist N. Goodmans „imperfect community difficulty“ (1966: 162–164); siehe Rodriguez-Pereyra (2002: 142–149).

23 Zur pluralen Quantifikation und Prädikation siehe Lewis (1991: Abschnitt 3.2), Linnebo (2003).

24 Lewis deutet in (1983: 14 Fn. 9) an, dass der Nominalismus der natürlichen Klassen und der Ähnlichkeitsnominalismus möglicherweise gar keine verschiedenen Theorien sind. In (1986b: 79) deutet er an, er bevorzuge den Nominalismus der natürlichen Klassen.

25 Zur Unentschiedenheit zwischen den Alternativen siehe Lewis (1983: 9), (1986a: 64). In (1986b) argumentiert Lewis allerdings gegen die Universalientheorie mittels der Annahme, „atomless gunk“ sei möglich, d. h. Einzeldinge, die nicht aus letzten Teilen bestehen (zu diesem Konzept siehe Lewis (1991: 20–21)).

26 Um der Anschaulichkeit willen formuliere ich so, als sei ontologische Verpflichtung nach Quine eine Beziehung zwischen Theorien und einzelnen Dingen, die also durch „T ist verpflichtet auf *x*“ ausdrückbar wäre. Tatsächlich ist Quine am besten so zu verstehen, dass ontologische Verpflichtung durch das Schema „T ist verpflichtet auf φs“ (etwa zu lesen als: „laut T gibt es φs“) ausgedrückt wird, wobei „φ“ ein Platzhalter für Prädikate ist. Ähnlich verfahre ich im Fall typologischer Verpflichtungen.

27 Siehe Quine (1951a). Was ich als Ideologie bezeichne, entspricht Quines Teilfrage, welche Ideen fundamental oder primitiv für eine Theorie sind, nicht der allgemeinen ideologischen Frage, welche Ideen in der Theoriesprache überhaupt ausdrückbar sind (1951a: 14). Rodriguez-Pereyra vergleicht Universalientheorie und Nominalismus ausführlich in den Dimensionen Ontologie und Ideologie (neben Kohärenz und Konservativität) (2002: 202–226), übersieht aber den Unterschied zwischen Ideologie in Quines Sinn und Typologie.

28 Siehe beispielsweise Addison/Wesley (1988: 368–377).

29 Siehe Mayer-Kuckuk (1994: 87–89). Nicht nur die Physik, sondern auch die historische Entwicklung ist komplizierter als hier skizziert.

30 Unterstellt man die Universalientheorie der Natürlichkeit, dann geht eine typologische Annahme immer auch mit einer ontologischen Annahme einher. Mit den Spinzuständen nähme man auch entsprechende Entitäten, nämlich Spin-Universalien an. Aber es ist sicher angemessen, die typologischen Annahmen des Physikers so zu verstehen, dass sie gegenüber der Wahl einer metaphysischen Theorie der Natürlichkeit neutral sind. Sie gehen nicht von Haus aus mit ontologischen Annahmen einher. – Für nicht-fundamentale Theorien wie etwa die Chemie bietet sich ein theorierelativer Begriff der Typologie an. So könnten vielleicht Valenzen von Atomen als chemisch-typologisch gelten, obwohl sie keine absolut fundamentalen Charakteristika sind.

31 Siehe zum Folgenden Lewis (1970).

32 Möglicherweise muss die Kennzeichnung rigidifiziert werden, damit sich eine Gleichheit der Bedeutungen ergibt. Es kann hier offen bleiben, ob das erforderlich ist.

33 Siehe Lewis' aus dem Nachlass veröffentlichten Aufsatz (2009) zu den epistemologischen Konsequenzen, die dies ihm zufolge hat. Siehe Schwarz (2009: 105–107) sowie kritisch Schaffer (2004b).

34 Zu letzterem siehe Armstrong (1997: 118, 122) und kritisch Lewis (1986b: 96–97).

35 Armstrong (1989b: 7). Siehe ähnlich (1989a: 46–47, 56).

36 Bereits Armstrong bemängelt am Ähnlichkeitsnominalismus, dass solche Prinzipien darin als unerklärbare Axiome angenommen werden müssen (1989a: 57).

37 Zu Rodriguez-Pereyra siehe Armstrongs wohlwollende Besprechung (2003) sowie die eher kritischen von Dorr (2005), MacBride (2004), Paseau (2005), Walker (2004), Wilson (2006), Zimmerman (2004). Die zentrale Diagnose stellt allerdings keiner der Rezensenten, dass Rodriguez-Pereyra nämlich nicht zwischen Ideologie und Typologie unterscheidet und Ähnlichkeit de facto als typologisch fundamental ansetzt. Offiziell klassifiziert Rodriguez-Pereyra Ähnlichkeit zwar als Stück seiner Ideologie (2002: 203). Doch das liegt nur daran, dass er nicht zwischen Ideologie und Typologie unterscheidet.

38 Zu einem schwächer formulierten Prinzip der Rekombination siehe Lewis (1986a: 86–92). Lewis lässt dort metaphysische Unvereinbarkeiten zwischen fundamentalen Eigenschaften zu (1986a: 154–155). Zum Kombinatorialismus im Rahmen einer Universalientheorie siehe Armstrong (1989b).

39 Dazu muss man sich nicht auf ein gehaltvolles Konzept von Analytizität festlegen. Auch ein Quineaner (siehe Quine (1951b)) wird einräumen, dass es eine erkennbare Hürde zwischen Überzeugungssystemen gibt, die verheiratete Junggesellen ausschließen, und solchen, die sie zulassen. Eine absolute und scharfe Schwelle ist nicht erforderlich.

40 Siehe (2002: 26–30). Siehe meine Kritik in (2008: Abschn. 4). Zur Verteidigung der Forderung von Wahrmachern siehe auch Rodriguez-Pereyra (2008).

41 Ein denkbares Argument gegen Gegenstand *a* als Wahrmacher für Aussagen wie „*a* ist F" lautet: Wahrmacher sind Entitäten, deren Existenz die

Wahrheit der fraglichen Aussage notwendig nach sich zieht (die These des Wahrmacher-Essenzialismus). Doch angenommen „*a*" ist ein starrer Designator für *a*. Dann (i) erfordert die Wahrheit von „*a* ist F" notwendigerweise, dass *a* existiert; (ii) dass *a* existiert, zieht aber notwendigerweise die Wahrheit von „*a* ist G" nach sich (falls diese Prädikation tatsächlich wahr ist und wie angenommen von *a* wahr gemacht wird); dann (iii) impliziert „*a* ist F" aber notwendigerweise „*a* ist G", was sehr unplausibel ist. Für den Nominalisten handelt es sich dabei um einen Fehlschluss. Er kann sich der These des Wahrmacher-Essenzialismus nämlich allenfalls in einem trivialen Sinn anschließen (das gilt auch für Rodriguez-Pereyra). Das wird am besten im Rahmen einer Gegenstück-Theorie von *de re*-Modalitäten deutlich. (ii) beinhaltet dann, dass in allen möglichen Welten, in denen genau das wirkliche Objekt *a* und nicht etwa eines seiner von ihm verschiedenen Gegenstücke existiert, „*a* ist G" wahr ist. Dazu ist aber nur erforderlich, dass „*a* ist G" tatsächlich wahr ist. (i) ist hingegen so zu lesen, dass in allen Welten, in denen „*a* ist F" wahr ist, *a* selbst oder ein anderes Gegenstück von *a* existiert. Demnach bedeutet „*a* existiert" in (i) und in (ii) Verschiedenes, und deshalb ist der Schluss auf (iii) ungültig. Ob die Unfähigkeit des Nominalisten, einer substanziellen Version des Wahrmacher-Essenzialismus gerecht zu werden, gegen ihn spricht, ist eine andere Frage.

42 Zu beachten ist, dass Identität keine perfekt natürliche Beziehung ist. Die Paare $\langle a,a\rangle$ und $\langle b,b\rangle$ weisen keine qualitative Ähnlichkeit in einer Hinsicht dadurch auf, dass jeweils ihr erstes und ihr zweites Element identisch sind. Lewis vorübergehende Erwägung, Identität könnte perfekt natürlich sein (1986a: 67 Fn. 47), ist fehlgeleitet.

43 Können Klassen wirklicher Gegenstände überhaupt als Eigenschaften gelten? N. Wolterstorff hat dagegen ein modales Argument vorgebracht: Klassen haben ihre Elemente notwendigerweise; Eigenschaften haben ihre Instanzen nicht notwendigerweise; also sind Eigenschaften nicht Klassen ihrer Instanzen ((1970: 177–181); vgl. Armstrong (1989b: 27)). Die den Voraussetzungen dieses Einwandes am weitesten entgegenkommende Antwort lautet: Die Prädikate „ist Element von" und „exemplifiziert" haben einen ganz unterschiedlichen bedeutungskonstitutiven Gebrauch und drücken daher verschiedene Beziehungen aus. Das Elementschaftsprädikat wird korrekt in Übereinstimmung mit den Axiomen der Mengenlehre gebraucht, während das Exemplifikationsprädikat im Wesentlichen durch den nominalisierenden Übergang von „*a* ist F" zu „*a* exemplifiziert F-heit" geregelt ist. Daher können sich die Aussagenformen „*x* ist Element der Klasse der F-Dinge" und „*x* exemplifiziert F-heit" in modalen Kontexten unterschiedlich verhalten, selbst wenn die Eigenschaft F-heit mit der Klasse der F-Dinge identifiziert wird.

44 Siehe Lewis (1986a: Kap. 3), Divers (2002: Teil III), Sider (2002)). Meine Skizze gehört zu der Theoriesorte, die Lewis als „linguistic ersatzism" bezeichnet (1986a: 142–165).

45 Ein solches kontrastives, allerdings nicht-gradiertes Ähnlichkeitskonzept erwägt Lewis in (1983: 15 Fn. 9).

46 Ein Spezialfall des Teilmengenproblems ist Rodriguez-Pereyras Problem

der natürlichen Schnittmengen. Während es für seine Konzeption eine zusätzliche Hürde darstellt (2002: Kap. 11), ist es mit der angegebenen Lösung des Teilmengenproblems ebenfalls gelöst. Angenommen zwei natürliche Klassen von Dingen M und N haben einen nicht-leeren Schnitt S. S kann selbst wiederum eine natürliche Klasse sein oder auch nicht. Wieder gilt: S ist genau dann eine natürliche Klasse, wenn sich die Dinge in S in einer Hinsicht ähneln, in denen sie keinem der Dinge außerhalb von S, also auch keinem der Dinge in den Restmengen von M und N ähneln. Wie Dorr (2005) richtig gegen Rodriguez-Pereyra einwendet, muss der Ähnlichkeitsnominalist formale Prinzipien für seine Ähnlichkeitsbeziehung angeben und zeigen, dass eine Beziehung, die diesen Prinzipien gehorcht, den Bereich der Einzeldinge in der erwarteten Weise in natürliche Klassen gliedert. Den formalen Beweis, dass es solche Prinzipien für den hier vorgeschlagenen Ähnlichkeitsbegriff gibt, werde ich an anderer Stelle führen.

47 T. Maudlins (2007: Kap. 3) generellen Angriff auf das Konzept natürlicher Eigenschaften, der sich auf die Struktur von Eichtheorien stützt, kann ich hier nicht diskutieren.

Literatur

Alonso, Marcelo; Finn, Edward J., 1988: *Quantenphysik*. München: Addison-Wesley.

Armstrong, D. M., 1978: *Nominalism and Realism. Universals and Scientific Realism Volume I*. Cambridge: Cambridge University Press.

–, 1989a: *Universals. An Opinionated Introduction*. Boulder (Colorado): Westview Press.

–, 1989b: *A Combinatorial Theory of Possibility*. Cambridge: Cambridge University Press.

–, 1997: *A World of States of Affairs*. Cambridge: Cambridge University Press.

–, 2003: „Rodriguez-Pereyra, Gonzalo, Resemblance Nominalism“ (Rezension). In: *Australasian Journal of Philosophy* 81, S. 285–286.

Bealer, George, 1982: *Quality and Concept*. Oxford: Oxford University Press.

Busse, Ralf, 2007a: „Eine reduktionistische Regularitätstheorie klassischer Kraftgesetze“. In: *Facta Philosophica* 9, S. 213–244.

–, 2007b: „Fundamentale Größen in einer Lewis'schen Eigenschaftstheorie“. In: *Philosophia Naturalis* 44, S. 183–218.

–, 2008: „Qualitativität und Ähnlichkeit: Grundlagen der Eigenschaftstheorie“, in: *Facta Philosophica* 10, S. 185–230.

–, 2009: „Humean Supervenience, Vectorial Fields, and the Spinning Sphere“. Erscheint in einem Sonderband von Dialectica „The Metaphysics of Vectors“.

Campbell, Keith, 1990: *Abstract Particulars*. Oxford: Blackwell.

Cartwright, Nancy, 1999: *The Dappled World*. Cambridge: Cambridge University Press.

Divers, John, 2002: *Possible Worlds*. London: Routledge.

Dorr, Cian, 2005: „Resemblance Nominalism: A Solution to the Problem of Universals, by Gonzalo Rodriguez-Pereyra“ (Rezension). In: *Mind* 114, S. 557–561.

Goodman, Nelson, 1966: *The Structure of Appearances*. 2. Aufl. Indianapolis: Bobbs-Merrill.

Hoefer, Carl, 2003: „For Fundamentalism“. In: *Philosophy of Science* 70, S. 1401–1412.

Hüttemann, Andreas, 2004: *What's Wrong with Microphysicalism?* London: Routledge.

Künne, Wolfgang, 2006: „Der Universalienstreit in der neueren analytischen Philosophie“. In: *Information Philosophie* 2006/2, S. 22–33.

–, 2007: *Abstrakte Gegenstände. Semantik und Ontologie*. 2. erweiterte Auflage Frankfurt a. M.: Klostermann.

Lewis, David, 1970: „How to Define Theoretical Terms“. In: Lewis, David, Philosophical Papers Vol. 1. Oxford: Oxford University Press 1983, S. 78–95.

–, 1983: „New Work for a Theory of Universals“. In: Lewis (1999), S. 8–55.

–, 1986a: *On the Plurality of Worlds*. Oxford: Blackwell

–, 1986b: „Against Structural Universals“. In: Lewis (1999), S. 78–107.

–, 1991: *Parts of Classes*, Oxford: Blackwell.

–, 1992: „Armstrong on Combinatorial Possibility“. In: Lewis (1999), S. 196–214.

–, 1993: „Mathematics is Megethology“. In: Lewis, David, *Papers in Philosophical Logic*. Cambridge: Cambridge University Press 1998, S. 203–229.

–, 1994: „Humean Supervenience Debugged“. In: Lewis (1999), S. 224–247.

–, 1998: „A World of Truthmakers?“ In: Lewis (1999), S. 215–220.

–, 1999: *Papers in Metaphysics and Epistemology*. Cambridge: Cambridge University Press.

–, 2002: „Tensing the Copula“. In: *Mind* 111, S. 1–13.
–, 2009: „Ramseyan Humility“. In: Braddon-Mitchell, David; Nola, Robert (Hrgr.), Conceptual Analysis and Philosophical Naturalism. Cambridge (Mass.): MIT Press 2009, S. 203–222.
Linnebo, Øystein, 2003: „Plural Quantification Exposed“. In: *Noûs* 37, S. 71–92.
MacBride, Fraser, 2004: „Gonzalo Rodriguez-Pereyra. Resemblance Nominalism“ (Rezension). In: *Notre Dame Philosophical Reviews*, zugänglich unter http://ndpr.nd.edu/review.cfm?id=1385.
Mayer-Kuckuk, Theo, 1994: *Atomphysik*. Stuttgart: Teubner.
Moreland, James Porter, 2001: *Universals*. Montreal & Kingston: McGill-Queen's University Press.
Maudlin, Tim, 2007: *The Metaphysics Within Physics*. Oxford: Oxford University Press.
Mumford, Stephen, 2007: *David Armstrong*. Stocksfield: Acumen.
Nolan, Daniel, 1996: „Recombination Unbound“. In: *Philosophical Studies* 84, S. 239–262.
–, 2005: *David Lewis*. Stocksfield: Acumen.
Oliver, Alex, 1996: „The Metaphysics of Properties“. In: *Mind* 105, S. 1–80.
Paseau, Alexander, 2005: „Resemblance Nominalism: A Solution to the Problem of Universals, by Gonzalo Rodriguez-Pereyra“ (Rezension). In: *European Journal of Philosophy* 13, 143–147.
Quine, Willard Van Orman, 1951a: „Ontology and Ideology“. In: *Philosophical Studies* 2, S. 11–15.
–, 1951b: „Two Dogmas of Empiricism“. In: Quine, Willard Van Orman, From a Logical Point of View. Harvard University Press 1961, S. 20–46.
–, 1969: „Natural Kinds“. In: Quine, Willard Van Orman, Ontological Relativity and Other Essays. New York: Columbia University Press 1969, S. 114–138.
Quinton, Anthony, 1957: „Properties and Classes“. In: Proceedings of the Aristotelian Society 48, S. 33–58.
Rodriquez-Pereyra, Gonzalo, 2002: *Resemblance Nominalism. A Solution to the Problem of Universals*. Oxford: Oxford University Press.
–, 2008: „Why Truth-Makers“ (mit Postscript). In: Lowe, E. Jonathan; Rami, Adolf (Hrgr.), Truth and Truth-Making. Stocksfield: Acumen: 227–250.

Schaffer, Jonathan, 2004a: „Two Conceptions of Sparse Properties“. In: *Pacific Philosophical Quarterly* 85 (2004), S. 92–102.

–, 2004b: „Quiddistic knowledge“. In: Jackson, Frank; Priest, Graham (Hrgr.), Lewisian Themes. The Philosophy of David K. Lewis. Oxford: Oxford University Press, S. 210–230.

Schiffer, Stephen, 2003: *The Things We Mean*. Oxford: Oxford University Press.

Schnieder, Benjamin, 2004: *Substanzen und (ihre) Eigenschaften*. Berlin: de Gruyter.

Schwarz, Wolfgang, 2009: *David Lewis. Metaphysik und Analyse*. Paderborn: Mentis.

Sider, Theodor, 2002: „The Ersatz Pluriverse“. In: *Journal of Philosophy* 99, S. 279–315.

Strawson, Peter F., 1979: „Universals“. In: Strawson, Peter F., Entity and Identity. Oxford: Oxford University Press 1997, S. 52–64.

Taylor, Barry, 1993: „On Natural Properties in Metaphysics“, *Mind* 102, S. 81–100.

Walker, Mark Thomas, 2004: „Resemblance Nominalism: A Solution to the Problem of Universals. By Gonzalo Rodriguez-Pereyra“ (Rezension). In: *Philosophical Books* 45, S. 243–245.

Wilson, Jessica, 2006: „Resemblance Nominalism: A Solution to the Problem of Universals. Gonzalo Rodriguez-Pereyra“ (Rezension). In: *Philosophy and Phenomenological Research* 72, S. 241–246.

Wolterstorff, Nicholas, 1970: *On Universals. An Essay in Ontology*. Chicago: University of Chicago Press.

Zimmerman, Dean, 2004: „Possible Donkeys. Gonzalo Rodriguez-Pereyra, Resemblance Nominalism“ (Rezension), *Times Literary Supplement May* 7 2004, S. 10–11.

Erik C. Banks

The Problem of Extension in Natural Philosophy

Abstract

The construction of extension is a long-standing problem in natural philosophy. The primary goal of the paper is to clarify the philosophical concept of extension per se and to develop a simple working combinatorial model to illustrate the idea. Grassmann's exterior algebra is proposed as the combinatorial structure and Mach's elements are interpreted as the content.

Zusammenfassung

Die philosophische Konstruktion der Ausdehnung aus einfachem, nicht ausgedehnten Inhalt ist ein Problem mit langer Herkunft in der Philosophie der Natur. Das Ziel dieses Aufsatzes ist, den philosophischen Begriff der Aufdehnung aufzuklären und ein kombinatorisches Modell des Raumes darzustellen, in welchem Machs Elemente der Inhalt und Grassmanns Algebra der Zusammenhang des Inhalts sind.

1.

The construction of spatial extension from prior notions of quality is a long-standing problem in natural philosophy, although, strangely, the idea receives little play in contemporary thinking about space and time. Straightforwardly, one starts with unextended qualities and relations, to arrive at a solid, extended manifold suitable for grounding the world of physics, or psychology.[1] This philosophical construction of extension is not a physical investigation of an extension already assumed as given, nor is it a mathematical investigation, because mathematics is indifferent to an extended representation of numbers or manifolds, as opposed to some other. The *philosophical* investigation of extended representation must begin from scratch and cannot assume a topology, a coordinate system of numbers, a metric, not even a simple expanse or ready made drafting board on which to do constructions, if these are already considered as extended. We want to know what extended quantity is in general, not a classification of already given extensions and their properties. An initial division of labor avoids the confusion of philosophical and scientific goals, even if they later turn out to be the same.

2.

The reason why philosophers have traditionally used unextended qualities to construct extensions – unfamiliar entities in science or mathematics – is that it is the only way to avoid begging the philosophical questions. One cannot construct extension from things already extended to begin with. Some examples are Leibniz's dynamical construction of extension from within a community of unextended monads and Russell's use of unextended quality overlaps to define a topological manifold of points, defined by the intersection of qualities. Carnap and Goodman used similarity relations and patches of sensations to define perceptual manifolds of sight, touch and so on as similarity classes. To philosophers, these last two versions are probably the most familiar, as are the following objections which have cast doubt on the very idea of space constructions:

Objection 1. The construction is positivistic and can only amount to constructing the world from sense-data. But we know this fails because the world is not *made* of human sense data, but of particles and fields which existed before human experience. There is moreover no reasonable way to translate the findings of science into a purely observational or sense-data language.

Objection 2. Qualities, being mental, have no principle of composition. There is no theory of what they are or how they are connected with one another beyond a vague „what it's like" subjective criterion of identity, similarity and difference (Chalmers, 2003). Moreover, the use of a similarity relation strongly suggests a mentalistic construction instead of a real construction of physical space. In any case, the world in space and time *outside* of us does not hold together because of our subjective similarity standards, but because of its real physical connectedness.

Objection 3. The whole construction is circular if taken as a serious construction of extension, if for no other reason than that qualitative sensations of color or sound are already extended in space and time, or are „at" points somewhere in some pre-existing manifold. (Even Russell's attempts to avoid assuming extension seem to founder when he implicitly calls on a background space to constrain the topological overlaps of quality patches.)

We can meet these objections[2] by adopting the view that quality is *not* automatically mental, but an Aristotelian feature of the natural universe. We might then frame a notion of non-extended, but internally structured, quality to fit the bill along with a combinatorial relation for using them constructively. There are ample precedents. Leibniz's petites perceptions were an early example of objective qualities. Kant also claimed that sensation is the common matter of mental impressions and things in themselves, but *not* their form which is constructed around them by the imagination and understanding (Lockwood 1989, Banks 2005). And Ernst Mach proposed a theory of neutral elements neither mental nor physical (Mach 1959 Ch 1, Banks 2003). Mach's elements were qualities like sensations, but also effective dispositions, or powers, acting on one another. One construction over these elements yielded the sensory fields of psychology; another resulted in physical objects in space and time, but the elements would be the self-same items in both cases, psychology and physics being but two orderings of the same underlying natural content. William James' „pure experiences" and Russell's „unsensed sensibilia" and „event particulars" were based on Mach's elements (Banks 2003, 2004). Carnap also relates that his notion of quality was of the radical empiricist *cum* Machian kind, and he even contemplated a construction parallel to the ill-starred *Aufbau* in which, this time, the elements would be treated as realistic, energetic qualities of physics (Carnap, 1960, Richardson, 1990). Recently, objective qualities have been revived in the philosophy of mind, for example in the work of Grover Maxwell (1978), Michael Lockwood (1989) David Chalmers (1996, 2003), Galen Strawson (2006), myself and many others, but I believe Mach's elements remain the best of these because of their robust causal efficacy and full-blooded membership in the natural world (Banks 2007).

An argument for these neutral elements follows from the traditional mind-brain identity theory. If the qualitative mental processes *are* the corresponding brain states, not superadded to them, then by the symmetry of identity, the „raw look" of energies in the nervous system is actually qualitative. A mass of sensations is what an assembly of physical energies actually *looks like* in nature. In our brains we can observe this fact directly. Of course what we „see" is a resultant of an enormous agglomeration of these physical energies of our nervous systems in specific structural relations, and their relation may matter as much as the constituents do. But it is ridiculous to think our nervous systems must be unique in the universe. So, it seems reasonable to assume that physical energies outside the nervous system also have quality and intensity, but they are probably far more intense and energetic, and the complexes they form no doubt so different as to obviate any panpsychist analogies. But the idea that natural qualities occur *only* in the human nervous system seems ridiculously restrictive, and the idea that sensations are *not* self-energies in the brain seems likewise unbelievable. So the need to assume objective elements is urged upon us by two very reasonable premises.

3.

Since the seventeenth century, we have thought of the world as consisting of extended *quantities* all the way down to the smallest level of tiny, identical particles in potential fields moving against a background of space and time. But there is a countervailing view that notions of quality are metaphysically, perhaps even logically, prior to notions of quantity. We are all familiar with the idea that the frictionless planes, perfect spheres or the absolutely free particle are abstractions. Leibniz famously argued that one *only* arrives at quantitative determinations by leveling off individual qualitative differences (Leibniz 1989, 2002). The reverse is not true: one cannot abstract quality away from quantitatively identical things like sets, numbers or geometric points. Leibniz also urged that extension is ex-tended, complex and divisible, and thus cannot be an ultimate simple property. In the nineteenth century, philosophically minded mathematicians Bernhard Riemann and Herman Grassmann attempted an analysis of extension from the ground up. Both required that such an analysis should not use extended concepts at the outset, and both were led to the idea of a philosophical construction of space which they mention in the preambles of their most famous works, Grassmann's *Theory of Extension* (*Ausdehnungslehre*) and Riemann's „On the Hypotheses that lie at the Foundation of Geometry."

Grassmann's theory operates with directed line segments, which are already extended of course, but prior to that he describes constructing extension from an elementary process of „joining and separation" in which traces of previous stages in the process are reproduced and adjoined to a present stage (Grassmann 1995). He gives the example of a row of identical letters or units:

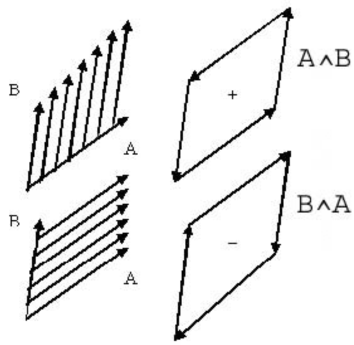
a, aa, aaa, aaaa …

which is traced out by a process that *associates* one unit with the next, finding them identical under one concept (they are both a's) and also *dissociating* them, finding them different under another concept (one ‚a' differs from its neighbors), and then collecting them all up in an extension. Moreover, the previous units generated are reproduced and added alongside the presently produced unit, so that they do not just fall away.[3]

Extension of even this primitive sort interprets the formal operation of multiplication: constantly reproducing and adding the multiplicand ‚a' to itself, separated by n units of the multiplier, in this case moments of time.[4] Although a multiplication can be defined more abstractly, this mechanism of association and dissociation is essential to extended *representations* of multiplication; this is the first main idea of the present paper. Why would such a pattern of associations and dissociations *look* like an extended quantity? For the same reason the points of a wire viewed head on do not extend unless we turn the wire through an independent, dissociating direction to set its points apart from one another, extension is a result of an associative *and* a dissociative operation.

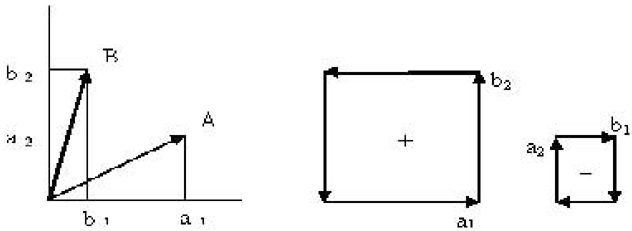
Grassmann algebra, in addition to being a universal scientific language, was also intended to answer philosophical questions about the origins of extension, as William Rowan Hamilton's quaternions were originally intended as a „science of pure time." Michael Crowe writes in his history of vector analysis that these philosophical aims strongly offended mathematicians, who preferred to think of their science as complete in itself without any superadded intuitive picture thinking (Crowe 1967, p. 95).

The operations and entities of Grassmann's algebra are ‚born' indifferent to coordinate systems of numbers and measure. Unlike vector algebra where coordinates are introduced only to abstract away from them, Grassmann algebra describes a world entirely innocent of these notions, which makes it ideally suited to a philosophical space construction. Grassmann algebra (See also Zaddach 1994) assumes a basis of mutually independent elements e_1, e_2, e_3, whose coefficients are all added and subtracted separately from one another as quantities of different kinds. Unlike the vector cross product, which yields another vector, or Hamilton's quaternion multiplication which yields another quaternion, Grassmann defined his outer „wedge product" $\wedge$ as a higher order extension, so that two directed lines will multiply to a directed area or parallelogram, by moving one directed segment along another and generating a directed extended area element:



This geometric multiplication is like arithmetic multiplication in that the parallelogram $A \wedge B$ is obtained by reproducing B a total of A times along A's length and reproducing and adding the results. Geometric multiplication is however non-commutative, so that the parallelogram $e_1 \wedge e_2$ is directed in the opposite sense as $e_2 \wedge e_1$ and these are considered as opposite area-generating processes that undo each other: $e_1 \wedge e_2 = -e_2 \wedge e_1$. The need for independently directed or dissociated, segments, is responsible for the non-commutativity, for in $B \wedge A$ the segment A advances from one determinate point of B to the next while in-between taking on all values along its own length. When B takes a value at a point, A is completely dissociated from B, and takes all values. The associative-dissociative mechanism is welded into the extended product, if one takes a determinate value the other is in a superposition of values.

In coordinate terms, the magnitude of the area $A \wedge B$, where directed segment A is $(a_1e_1 + a_2e_2)$ and B is $(b_1e_1 + b_2e_2)$, is given by a determinant of the components and basis elements, where a positive or negative sign is affixed depending on whether the products are an odd or an even permutation of the basis elements, indicating underlying generating processes that cancel one another.[5]



$\mathbf{A} \wedge \mathbf{B} = a_1b_2 - a_2b_1\, \mathbf{e}_1 \wedge \mathbf{e}_2$.

Notice that the product formed actually occupies a new, higher order space, with new area coordinates, in units of $e_1 \wedge e_2$. Other independent coordinates of the subspace of bivectors are $e_2 \wedge e_3$, and $e_1 \wedge e_3$. The next step up is a sub-space of solid parallelepiped coordinates, or trivectors obtained by triple products. For three basis elements, then, the subspaces are e_1, e_2, e_3; $e_1 \wedge e_2, e_2 \wedge e_3, e_1 \wedge e_3$; $e_1 \wedge e_2 \wedge e_3$.

Grassmann also defined a regressive product (v) which takes higher order extensions to extensions of lower order, if they share an overlap. For example $(e_1 \wedge e_2)\ \mathrm{v}\ (e_2 \wedge e_3) = e_2$. In a causal qualitative sense, the regressive product behaves in a similar way to the empirical method of variations, for example when we isolate out a common element C experimentally from its concomitant occurrences in AC and BC, ‚isolating out' the common factor by holding it constant through variation with A and B. This is an experimental way of analytically reducing complexes to simpler elements, or lowering the grade of elements through a product. It is also possible in Grassmann, and related Clifford algebra, to define only one product for raising and lowering operations by employing the notion of duality (Hestenes, 1984).

4.

Riemann also began his famous geometry lecture by observing that mathematics had only considered constructions *in* space and said nothing about the construction *of* space, or the general concept of manifold extension. He then went on to define general concepts of quantity and how they arise from what he called „modes of determination" (*Bestimmungsweisen*):

Quantitative concepts are only possible when there is a general concept that admits of various modes of determination. As these modes of determination allow a continuous transition from one to the other, or a discrete one, they form a continuous or a discrete manifold. The individual modes of determination are in the first case points in the second case elements of the manifold…In a concept whose modes of determination form a continuous manifold, if one transitions in a determinate way from one mode of determination to another, the modes of determination that are run through form a simply extended manifold, whose essential mark is this, that from a point one may progress continuously only in either of two directions, forward or back (Riemann 1876).

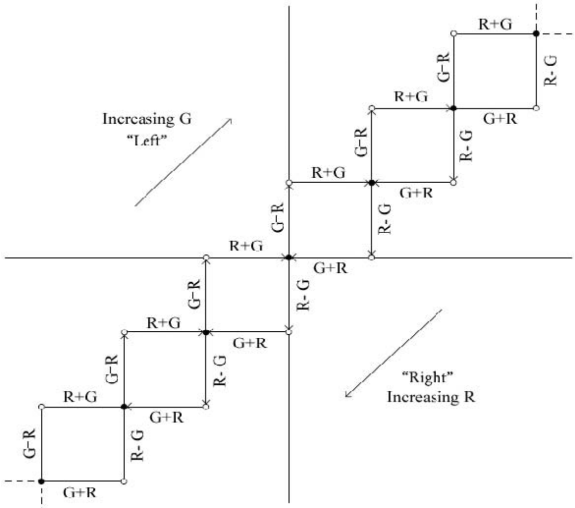
These are puzzling statements, to be sure, but as we now know from the excellent historical research of Erhard Scholz (1982a, b), Riemann's modes were like *qualitative* predicate concepts like color hues, or the pitches of a one-dimensional tone row, and they were drawn from those sorts of examples – which Riemann found expounded in the work of the philosopher and psychologist J.F. Herbart whose extensions of visual and tone space are explicitly generated by alternating patterns of associated and dissociated qualities. (Herbart had influenced Grassmann and Mach as well, see Banks 2003, 2005.)

Riemann actually cites color space as an example of a triply extended manifold, where the three directions of the manifold are analogous to the three primary colors, the individual points to qualitatively distinguished color mixtures. This is a strange example because color space is anisotropic and non-homogeneous, but still counts as a space of the most fundamental kind. In a spatial extension, Riemann's modes become the directions of forward or back and describe possible orderings of points traced out in either direction to infinity. For Riemann, spatial direction is directly analogous to the qualitative orderings of hue, pitch or quality. The modes, or directions, of a manifold extension come even before the points in it, since they are the means for determining points, formed by the exchange or transition (*Übergang*) of the modes. For other readings than mine see Torretti, 1978, Dominguez 1999.

Riemann's definition of extension also demands a minimum of *two* such qualitative modes of determination and either a discrete or continuous transition between them. Why two? Why is a single quality not already an extended manifold, and why does it not suffice to order a variety of individuals under a single concept or genus, like a series of men more and less tall, or a series of shades more or less red, the traditional idea of a predicate? As Riemann says, designating individuals in an *extension* requires various *independent* means of determining them through color, figure, size and other qualities they possess. One quality alone does not suffice to determine an individual per se, it just says that the individual falls under a qualitative genus or a class concept or intension.

Nor would two qualities determine an individual if they were too much alike in the discriminations they made. It would be like using two adjectives or predicates ‚hirsute' and ‚hairy' so dependent in meaning that they always made fused or overlapping determinations. So to really determine an individual, setting it apart from others falling under the same concept, we require at least two predicates that are dependent, in that an individual possess both of them, but also independent or dissociated, in the sense that other individuals alike in the first respect are different in another. For example, suppose we have a group of men separated by height. If we introduce another quality such as weight, men all of one constant height can be separated out by their differences in weight and vice versa, for a more complex determination of size as a matrix of the two dependent-independent orderings, a given size is either a height by weight or weight by height. Reversewise, a given size can be varied (against other sizes) to separate out the properties of constant weight and constant height from the complex size property.

We can understand Riemann's talk of determining points in a given order by a „transition" of one mode to another, I believe, as a tracing process by which two qualities determine a point by associating there, then dissociating to set the point off from its neighbors, then associating again at the next point.[6] We can imagine a continuous or a discrete transition between modes, say R and G, in which, as he himself pointed out, metric information (missing in the continuous case) is welded into the manifold directly, like a honeycomb of cells separated by gaps. These kinds of manifolds had been constructed previously by Herbart (1964, Banks 2003, 2005). Here we can think of the association (+) and dissociation (-) of modes as switching on and off discretely in-between points, to separate one individual (solid dot) from the next with a dissociating gap (open dot). Notice also the similarity of Riemann's transition between dependent-independent modes to create a richer concept and Grassmann's idea of extension as a multiplication of one element through the elements of another, „setting apart" the units of one through the units of the other, for example in the generation of an area.



Riemann's Discrete Manifold

So here is the importance of the color space example. Riemann is saying that a physical or geometric space is actually leveled off from an manifold more like a color space underneath, of qualitatively different points and individuals generated in a given order, like ordering individual men from short to tall or from light to heavy. Spaces like those of color are fundamentally nonhomogeneous and anisotropic, but by leveling off the properties of the underlying manifold, ignoring the qualitative differences by looking at the abstract *patterns* of modes and generated individuals, we interpret space as homogenenous and isotropic: a quality-less pure expanse of internally identical points, ordered in both directions indifferently to infinity. Riemann says that mathematicians can treat extensions of points, lines, areas and solids abstractly without worrying about what actual concrete things or manifolds these abstractions have been derived from, as they do with discrete manifolds of number for counting:

Notions whose modes of determination form a *discrete* manifold are so common that at least in the cultivated languages it is always possible to find a notion in which they are included. Hence mathematicians found the theory of discrete magnitudes upon the postulate that certain given things are to be regarded as equivalent (Riemann 1867).

5.

I will identify Grassmann's generating directional elements with Riemann's qualitatively directed modes of determination and give them both a further interpretation as the objectively neutral Machian elements discussed in the introduction. The elements are qualities with magnitude (push and pull) and direction (type). Just as we make higher dimensional analogies to four-dimensional or n-dimensional things, we can also make lower dimensional analogies to these more primitive elements, simpler even than points, building up extension from a more basic level. We can thus code information into an extension internally without increasing the number of extended dimensions.

Grassmann (1995) used a ‚vector' representation of color quality, where direction and qualitative type are directly analogous, and derived his empirical law of mixing by interpreting the direction of the vector as its hue on the color wheel, and the magnitude of the vector as the length from white or gray at the center to pure saturations on the rim. Like vectors, colors, ideally at least, can be expressed as linear combinations of a basis of primaries, which add together in mixtures, and the basis elements themselves can be expressed as linear combinations of any three orthogonal hues, removing the need for any absolute basis or absolute directions.

We can thus use these magnitude and directional properties to conceptualize the intensive force and type of Machian elements. Elements are dynamical entities, causally dependent and independent, and all fused together whole in a massive agglomeration or complex, such as they appear in our sensations, from which they can only be separated by the method of variations, holding a given element constant in its complex by varying the concomitant elements that occur in combination with it. As Mach often pointed out: there are no such things as isolated element „atoms" or „building blocks" of nature. An element, as he originally defined it, is something we cannot at present isolate any further or divide out from its occurrence in a complex. I must break sharply with Mach, however, in his demand that all elements be *observable* qualities as it conflicts with our intention to utilize unextended elements. Unextended, intensive elements, with their interior structure, cannot be observed, or even visualized, except as part and parcel of extended constructions, but we will still want to work with these entities in our construction.

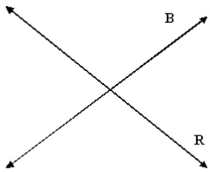
So without visualizing elements directly and externally, we can attribute an interior structure to them: *type* and *magnitude*. The type is indifferently a property, a direction, or even a concept of classification (an intension); it plays all of these roles.[7] Type determines whether two elements are causally dependent (associated) or independent (dissociated) and thus whether they can affect each other's magnitudes or not. An element's magnitude or intensive force will be called its tension. Comparing elements to tiny springs, for example, the potential quantity of tension is like the stiffness in the coils of the spring or its overall capacity to store tension. The potential intensity is like the compression of the spring, describing how intensely it will communicate tension to other elements associable with it.[8]

In response to the complaint that one just can't visualize these elements, I think it is better to postpone the question and imagine that we are dealing instead with some vast array of *qualitatively ordered* information, in the form of intensions or taxa. Not just any taxa or philosophers' properties,[9] either but only those that exert real influence in the causal structure of nature. The problem is how such an ordering of individuals by taxa or intentions becomes an ordering of familiarly extended and serially generated objects in space and time – just as Riemann claimed that space *qua* triple extended quantity comes from leveling off a prior manifold which orders, or classifies, its points using qualitative modes. A manifold of qualitative information *becomes* an extended manifold representation of objects in space and time when rules for that kind of representation are satisfied and the whole thing is leveled off.

6.

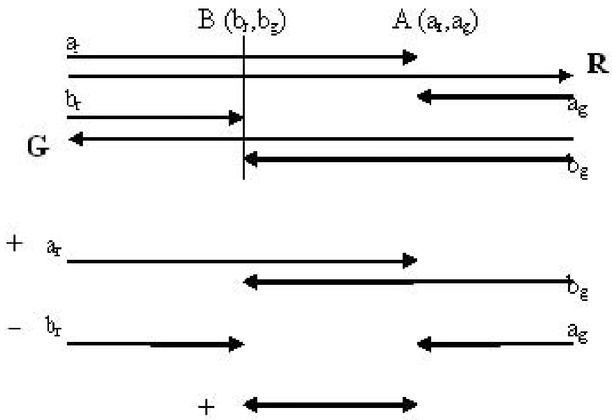
Nature presents us with a vast and bewildering manifold of elements, which we find combined every which way and constantly evolving toward new configurations. There are probably no such things as either purely independent or dependent elements in nature, more likely all elements have complex causal relations with one another which have to be analyzed into *grades* of dependence and independence.[10] As a first step, however, let us imagine isolating out a basis of *free* element types, {B, R, G, Y, S, W} like a set of primary colors, which will serve to express (classify) the other types as mixtures or combinations and which are a representative basis for codifying nature's qualitative variety. This need not be a privileged basis, or positivist building blocks, for, as in the case of the colors, *any* set of independent basis elements or notions might serve to express the others.

Now let's return to Riemann's construction of points, using the elements in place of his modes of determination. A point individual is determined by two elements which are dependent in that individual but occur independently elsewhere in other individuals. A bound occurs where two otherwise free elements come into dependence and bound each other from two directions or by means of two types of determinations:



We can put a causal interpretation on this classificatory notion by imagining a bound as a kind of mutual impedence, where elements meet and oppose. If we allow for these bounds to change dynamically, we can interpret the rates of change and overcoming of these bounds as a primitive intensive time determination. A multiplication of all free elements with all, will give us a mesh of elements with degrees or internal bounds as well as open zones of independence. These internally bounded elements are of a higher level of extension than free elements without internal boundaries and represent degrees ordered in one sense or direction given by the type of element. Individuals bounds in the mesh are identified by their „qualitative coordinates" so to speak. Individuals bounded by several elements to various degrees are called points.

The next step up is the multiplication of points. The points A and B are found by summing their two graded elements R, G as their „modes of determination" or qualitative coordinates in either independent direction $A = a_r + a_g$, $B = b_r + b_g$. We take a wedge product and the result is a handed spectrum of all of the point individuals that lie between A and B in two orderings (+) and (-).



$\mathbf{A} \times \mathbf{B} = a_r b_g - a_g b_r$

This spectrum extends in a new independent direction and is a more complex type. But for directions lying within the spectrum the product traces out all possible point determinations of its two component types in *both* directions between the given limits, or endpoints. While graded elements order their points in a preferred direction or class, like rays in geometry, the points within the spectrum are traced out by two classifications, so that the extended determinations of point individuals are made in at least two ways, similar to a matrix ordering of elements by row and by column. This result combines Grassmann's wedge product with Riemann's requirement that an extended manifold of points should be produced by two directions or orderings.

7.

It is now time to answer an important objection which has probably occurred to the reader. Aren't these patterned serial associations and dissociations *already* spatial and or temporal, not to mention notions of bounding or causal impedence and interaction of dynamical tension elements? Surely the serial construction of space cannot *itself* be extended in space without begging the question.

To meet this objection, I suggest we look closer at Grassmann's generating process at any given level of extension. An area element, like $a_1b_2 - a_2b_1\ \mathbf{e}_1 \wedge \mathbf{e}_2$, is generated, as we saw above, by reproducing all points along the vector A at every point of B and reproducing and collecting up the results. At its own level, it is indeed a serial process. But from the higher level of bivector space, a space with area-coordinates such as $\mathbf{e}_1 \wedge \mathbf{e}_2$, the whole area is present simultaneously and there is no serial construction except in a potential sense.

Similarly, real numbers like $\sqrt{2}$ are not treated as „evolving" limit processes, but completed infinite sets. What must be represented as a sequence of determinations at a lower order can be represented as a completed whole at its own proper level. The generating processes of finished spatial extension must appear to us as *potential* processes, beneath our own level of extension, processes completed potentially serially but for us, all at once. The unextended generating processes appear this way from within an already extended space, as simultaneous, not successive, superpositions of all the associations and dissociations that trace out the present level of extension.

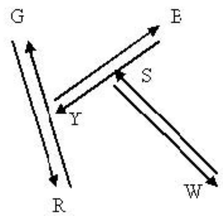
Something similar is often said of time (Barbour, 2000, Lockwood, 2007) whether time ‚flows' or not, or, as Lockwood says, where the horizon between the potential and that actual is made, can be considered an artifact of the observer's own level of extension, although it is certainly empirically real for us. In fact, all *actual* measureable quantities for us are certainly occupants of three dimensional space, or rather four dimensional spacetime as the basic arena of events described in a physical language. Possibly for this reason Heisenberg (following Bohr) claimed that three dimensional spatial language of classical physics is specially selected to be the language of actuality and measurement. It is a realistic restriction that should *not* be replaced, he claimed, even while he allowed that the abstract configuration spaces of wave functions may be real in a potential, not actual, sense because it is „not in space and time" (Heisenberg 1930 p.65). I propose to follow Heisenberg and identify the actual with measured extension in three dimensional space, or spacetime, while identifying *both* lower and higher dimensional entities and serial processes as potential in nature (Heisenberg 1958, p. 117).[11]

Hence an extended quantity like an area can be measured determinately and given a value. But if the present account is right, this area is also product of two elements of lower order associated and dissociated with one another and hence taking on no determinate, measurable values; when one takes on a value, the other is completely dissociated from it. By the same token these processes have to be real in some sense, they support the extension. But because we consider the extended quantity the fixed, actual thing, the tracing process is considered *potentially* to have run through all the associations-dissociations of elements all at once to support the actual extension. So if lower dimensional serial constructions are not actual serial tracing processes in spacetime, but simultaneous superpositions, then the question is really not begged and we are not assuming space to construct it.[12]

8.

We want to thus describe a tracing out of space in time by means of unextended spectra and their superposed associations and dissociations one level below the finished, actual extension of experience. To describe such a three dimensional tracing process in time, we have limit the construction to a certain level and not allow extensions to continue into the infinite, as Grassmann's algebra does. Suppose then that the multiplication of two spectra returns again a spectrum (*not* a higher order extension) which points in a third direction, or manifests a third type, independent of the component spectra, but still within the overall extension, not a higher order direction. (Similarly a multiplication of two square matrices with equal numbers of rows and columns ab x bc = ac, returns a matrix of the same order.)

We can understand this visually, in the above potential sense, as a rotation from two dependent-independent spectra types to a third type. A multiplication of elements can result in a change of intensive length (where they are causally dependent in a bound) or a change of directional type (where they are causally independent).[13] When two independent spectrum elements meet, they can still interact by each „pushing along its length" so to speak, resulting in a circulating, or screw-motion, transferring their degrees of potential tension into a third direction or element type. „Positive" will mean this new type is increasing, giving off tension in a new direction or new type, and „negative" will mean that it is decreasing or absorbing tension into it. To this new type will come a new partner element and a new spectrum, and so it continues, (using non-commutative multiplication as the associative-dissociative mechanism responsible for tracing the extension). A new spectrum B (below) is extended out in the third direction through the association-dissociation of G and R:



One branch of expanding combination tree starting with RG

These space generating processes spread out in a sphere of every conceivable pattern or combination of spectrum elements, in all directions. Starting with R at the base of the tree, we have five other choices. The resulting combinatorial patterns of the various spectra and their multiplications appear in the finished product, as it were, like directions at infinity, setting the ground rules for how it is possible to move within the manifold extension by combinatorially tracing out all of these possibilities as the basic directions of the manifold, just as the directions of right and left set the possibilities for a one dimensional line and represent all of the possible ways to move in it.

9.

How many of these combinatorial spectra should there be and what should the set of possible combinations look like? To set up the solution, consider what happens if we are only given a basis of four spectra types to work with {G,R,B,Y} all associable-dissociable with all. In an *extended* RG process, a line of R and G determinations, we want R and G to associate, then take other partners, then re-associate. With only four spectra to work with, if R and G are together then so are B and Y. If R is dissociated from G, it can associate with either B or Y, leaving the other for G. The best we can do is mix up the cross-directional associations randomly (R with B or Y; G with B or Y), so as not to create any lasting associations between them.

RG, BY
RY, GB
RG, BY
RB, GY
RG, BY

What these combinations produce is a discrete line of points moving in the R or G direction, set off by gaps of dissociation in the other two spectrum types. Dependent because the dissociations have also generated a B-Y line, such that wherever the R-G line has a point, the B-Y line has one too and wherever it has a gap, so does the other. We can think of these two lines as becoming extended in a dependent way, i.e., by sliding over one another in different directions.

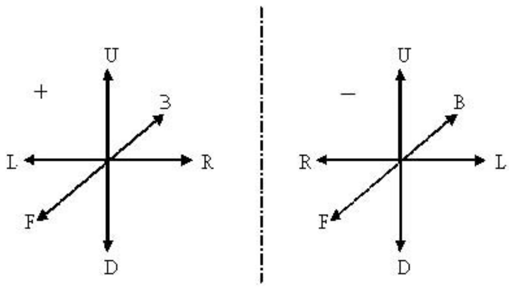
Consider moving to at least six spectra. Now the combinatorial possibilities increase, so that it is possible to separate out three bidirectional independent lines, all free of one another and set off by the larger number of randomized cross-directional associations. For example, when R and G are associated, BY and SW may be either associated with each other, or cross-associated BS, YW, so as not to create a dependent association with the RG line.

RG, BY, SW
RG, BS, YW
RG, BW, YS
RG, BY, SW

The same goes of course for the other two lines BY and SW. I am not claiming there *must be* six spectrum directions a priori; one might always have more, or less. But there is something special about the combinatorial relations that give a three dimensional space; it is the first free extension, three independent lines, completely set off against a random background.

10.

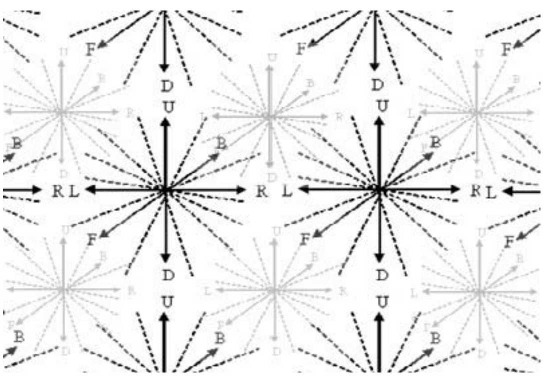
I would like to close by touching on some consequences of the above construction as it relates to a few traditional issues in philosophy of space. The comparison between this combinatorial model of space and ordinary, naïve, flat, infinite Euclidean space is interesting. Euclidean space is a completed manifold all given at once and one step above the serial construction of space. It has six directions at infinity, but its independent axes are fully opposed pairs of dependent directions (forward, back) (up, down) and (right, left). The directions of Euclidian space are in no way qualitatively different, but are completely arbitrary, or leveled off, differing not a bit among one another. Moreover the cross-directions (forward, down) and (back, up) appear dissociated and orthogonal, having nothing to do with each other. Euclidean space is presented to intuition as a finished „box" with no clue how it is constructed (all geometric constructions being already embedded in space) but these features strike me as vestiges of the underlying combinatorial processes responsible for its finished form. The alternating patterns of associated-dissociated spectra, then, are what we really mean by directions in space, like right, left, up, down. Even if the spectra are specific directional properties, *patterns* of those spectra can exhibit the required isotropy of space, as we consider arbitrary rotations of axes which hide the underlying differences of the spectra making up these patterns. Likewise certain physical and geometrical considerations seem to point to a substantial built-in dependence even among the independent directions of space (vanCleve, ed. 1991; Mach 1930, Banks 2003). For example in an orientable space, exchanging left and right means exchanging up and down, or front and back, to preserve the handedness of the coordinate system, or handed volume (see also Wrede 1972, Chapter 1.6).



Because non-orientable spaces are also possible a priori, (see VanCleve, Ed. 1991), the fact that physical space is orientable suggests that spatial directions might conceal dependent properties, like the spectra, in combinations or patterns, but not as absolute directions of right and left. In the above construction, axis flips are facts about exchanges of tension in the underlying patterns of spectra that trace out the volume. Referring to the branch of the combinatorial tree pictured above (RG, BY, SW), flipping spectra, like RG to GR, has to be offset by other exchanges of tension in the overall pattern for the same handed volume element to be traced out.[14]

I have been assuming discrete generating processes and countable sets of points, but there is no reason why one might not extend these constructions to uncountable sets of continua. One could abstractly interpret the power set operations as a method for generating all the uncountable subsets of a countable set of elements by association-dissociation, interpreting the collection between brackets {a, b} to mean an association, and separating with brackets {a}, {b} to mean a dissociation of members, and the whole power set as representing the final collecting up of all the uncountable subsets of associated-dissociated members.

On the relation of geometric space to physical processes in space, it is possible to code more into the manifold internally than just the spatial directions and their extension. There is nothing wrong with treating certain of the cross-directional dependencies (like RY, BW, GS) *not* as randomized background but as „lines" in their own right, extended against the spatial background of the other directions (RG, BY, SW). Call the RY process U, the BW process V and the GS process W. In fact, we can have a *dependent* three-extension of associated spatial directions, and three extended processes *in* space, mutually embedded and encoded in one another and reciprocally differentiated, in so far as they can be differentiated by the method of variations. When the three spatial directions are associated, the three process cross-directions are either dissociated or associated, and vice versa. Any residual associations between spatial directions and physical processes are randomized and eliminated.



The original qualitative manifold of elements has been reclassed into a quantitative one, a manifold of extended process of potential tension exchange, some of which represent the tracing out of space in three independent directions (solid lines) others of which represent the propagation of physical processes of various independent kinds through space (dotted lines). The conclusion of the space construction is the beginning of geometry and physics, or rather to do the actual construction we should reason backwards from the established properties of spacetime and physical potentials to the basis elements of the construction. The combinatorial directions trace the manifold extension which can then be investigated for its topology, coordinate system, and metrics for distance and/or interval properties. The two specifications of tension by quantity and intensity serve to delineate these tracing processes in space into still more definite form, such as particulate potential sources and distances, as suggested above in footnote 6.

Is spatial extension (and its directions) separable from the processes in space (and its types)? It might be that under some circumstances (such as variably accelerated motions) we can vary the two manifolds independently and they can be separated out. In other circumstances (such as inertial motions) we cannot make the separation. So whether they really are separate might not be a metaphysical question but might depend instead on the method of variations and whether they are separable under a given circumstance.

I hope these beginnings suggest a link with a natural science, which would start from primitive notions of direction and magnitude, and a geometric algebra of neutral qualities, building up and leveling off the extension to give familiar properties of a spacetime manifold (extension, direction, dimension). These would not have to be taken for granted but could be traced back to information encoded in the manifold.

Notes

1 There are space constructions not involving qualities or the associative-dissociative mechanisms of this article (Penrose, 2006, Finkelstein, 1969, Jammer, 1993, Reichenbach, 1958, Sklar, 1987).

2 There are other objections of a technical nature, for example the uniqueness of the construction by similarity relations (quasianalysis), see Toader 2004.

3 What Grassmann says about a sequential process could well be captured by the language of set theory, in which all of the temporal stages are represented simultaneously in one coexisting set, which can exhibit a nested structure like the generating process he describes, especially in that the previous stages are reproduced and adjoined to later stages by a rule.

4 Actually Grassmann understands „a multiplication", whether commutative or not, as defined by this distributive property over addition, because multiplication is really understood as addition.
5 The operator takes the value + or – depending on whether the indices are an even or odd number of rearrangements. For example if we have 1, 2, 3 an odd number of exchanges results in 2, 1, 3 or 3, 2, 1 or 1, 3, 2 while the evens are 1, 2, 3 itself, 2, 3, 1 and 3, 1, 2.
6 The qualities also change in value in moving from one individual to another in a given ordering. They assume a value, change independently of one another, then assume new values at a different individual, see diagram below.
7 Not out of confusion, but because these roles have not been separated out as yet.
8 As I have suggested in Banks 2002, given a matrix or table of these intensities and the method of variations, one can differentiate the tension as due to two factors: those variations due to constant capacities that vary only in their potential differences $r_1, \ldots, r_n$ along rows (which can come to represent source particles distant from a test source) and tension due to variable capacities holding their potential levels constant (which come to represent different quantities of potential A, B, C, D … in columns, for the source particles). This is a way of getting a particle and distance formulation out of a more abstract table of qualities and their interactions.
9 To form a philosopher's property take any word and at the suffix -ness to it.
10 It might well be that a Clifford central product like that used by Hestenes (1984) best expresses an interaction between naturally dependent-and-independent elements. But the algebera I used here separates the roles more clearly I believe.
11 As Lockwood (2007) points out, even the block universe view of time in 4-D could be said to flow when considered in a higher dimensionality, and the flowing, static views of time simply exchange places as we ascend.
12 Incidentally, on this view, beings occupying a different level of extension would not observe wave function collapse the same way. So-called collapse would then turn out to be a dimension-dependent artifact based on a certain kind of privileged extended representation that we employ as our preferred physical language. Heisenberg harshly criticized Schrödinger's and deBroglie's early attempts to interpret matter waves as actual three dimensional waves. Instead they occupy a configurational space with a potential existence. In Heisenberg 2003, pp. 70–71, he has Carl von Weizsäcker compare the distinction to that made in Kantian philosophy between empirically real space and time language and processes that are real but which may exist outside of a spacetime representation. It is then measurement that forces the natural processes into an extended representation.
13 The generating processes do not need to be unique either, when different basis elements and their associative-dissociative relations can account for the same extension.
14 Again, the geometric product captures both notions neatly.

15 If we reverse RG to GR, we get not Y, but the flipped –Y. This will lead to the tracing of a different tension element unless we flip –Y's partner element B to –B. (That's actually another exchange of the two spectra responsible for B, four total.) –B–Y however has the same sense as BY, and leads to element S as before. After these changes are made, the migration of tension proceeds in the same sense as RG, BY, SW.

References

Banks, Erik, 2007: „Machian Elements and Psychophysical Relations" Fechner Day Conference: The Proceedings of the International Society for Psychophysics Tokyo.

–, 2005: „Kant, Herbart and Riemann", *Kant-Studien* 96, 2.

–, 2003: Ernst Mach's World Elements: A Study in Natural Philosophy. Kluwer Academic Publishers.

–, 2002: „Ernst Mach's ‚New Theory of Matter' and his Definition of Mass", *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 33(4).

Barbour, Julian, 2000: *The End of Time*: Oxford.

Bohm, David, 1962: „Classical and Non-Classical Concepts in the Quantum Theory: An Answer to Heisenberg's Physics and Philosophy" *British Journal for the Philosophy of Science* 12 (48): 265–280.

Boi, Luciano, 1994: „Die Beziehungen zwischen Raum, Kontinuum und Materie im Denken Riemanns." *Philosophia Naturalis* 31(2).

Carnap, Rudolf, 1927: „Der Raum." *Kant-Studien*, Ergänzungshefte.

–, 2003: *The Logical Structure of the World and Pseudoproblems in Philosophy*, R. A. George trans. LaSalle, IL: Open Court.

Chalmers, David, 2003: „The Place of Consciousness in Nature" (S. Stich and F., Warfield, eds.) Blackwell Guide to Philosophy of Mind. Blackwell.

Clifford, W. K., 1878: „The Nature of Things in Themselves" *Mind*, Vol. 3, No. 9.

–, 1946: *The Common Sense of the Exact Sciences*. New York: Knopf.

Crowe, Michael, 1992: *A History of Vector Analysis*. New York: Dover.

Dominguez Jose Ferreiros, 1999: *Labyrinth of Thought: A History of Set Theory and its Role in Modern Mathematics*. Science Networks Historical Studies.

Feigl, Herbert, 1967: *The Mental and the Physical: The Essay and Postscript.* University of Minnesota.

Finkelstein, David, 1969: „Space Time Code." *Physical Review*, vol. 184, Issue 5, pp. 1261–1271.
Gardner, Martin, 1990: *The New Ambidextrous Universe*. New York: W. H. Freeman.
Goodman, Nelson, 1977: *The Structure of Appearance*. Dordrecht: Reidel.
Grassmann, Hermann, 1878: *Die lineale Ausdehnungslehre*. 2nd Edition, Leipzig: Otto Wigand.
–, 1995: *A New Branch of Mathematics: The Ausdehnungslehre of 1844 and Other Works*. Lloyd Kannenberg, trans. (Chicago and LaSalle IL: Open Court, 1995).
Heisenberg, Werner, 1930: *The Physical Principles of the Quantum Theory*. Chicago.
–, 1950: *Physics and Philosophy*. New York: HarperCollins.
–, 2003: *Quantentheorie und Philosophie*. Stuttgart: Reclam.
Herbart, J. F, 1964: *Sämtliche Werke in chronologischer Reihenfolge*, (1887–1912), 19 vols., ed. Karl Kehrbach and Otto Flügel. Aalen, Germany: Scientia-Verlag.
Hestenes, David and Sobczyk, Garret, 1984: *Geometric Algebra: a Unified Language for Mathematics and Physics*. (Dordrecht: D. Reidel).
–, 1999: *New Foundations for Classical Mechanics*. Berlin: Springer.
Jammer, Max, 1993: *Concepts of Space*. New York: Dover 1993.
Kant, Immanuel, 1902a: „Von dem ersten Grunde des Unterschiedes der Gegenden im Raum", in: *Kants Gesammelte Schriften* (Preussische Akademie der Wissenschaften Berlin, 1902–).
–, 1902b: *Kritik der reinen Vernunft*, in: *Kants Gesammelte Schriften*.
Leibniz, G. W., 1989: *Philosophical Essays* (D. Garber and R.Ariew, eds.) Indianapolis: Hackett.
Lockwood, Michael, 1989: *Mind, Brain and the Quantum*. Blackwell, 1989.
–, 2007: *The Labyrinth of Time*: Oxford.
MacAdam, David, 1970: *Sources of Color Science* (MIT Press:1970).
Mach, Ernst, 1911: *History and Root of the Principle of the Conservation of Energy*, P.E.B. Jourdain, trans. Chicago: Open Court.
–, 1960: *The Science of Mechanics*. Thomas McCormack, trans. LaSalle IL: Open Court.
–, 1959: *The Analysis of Sensations*. (C.M. Williams and Sydney Waterlow, trans.) New York: Dover.

–, 1923: „Eine Betrachtung über Zeit und Raum“ in Populärwissenschaftliche Vorlesungen 5. Auflage. Leipzig: J.A. Barth.

Maxwell, Grover, 1978: „Rigid Designators and Mind-Brain Identity“ in C. Wade Savage, ed. Minnesota Studies in the Philosophy of Science 9 Minneapolis: Univ. of Minnesota Press, pp. 365–403.

Penrose, Roger, 2006: *The Road to Reality*. Oxford.

Reichenbach, Hans, 1958: *The Philosophy of Space and Time* New York: Dover.

Richardson, Alan, 1990: „How Not to Russell Carnap's Aufbau“ *Proceedings of the Philosophy of Science Association*, Vol 1, 3–14.

Riemann, Bernhard, 1876: „Über die Hypothesen welche der Geometrie zugrunde liegen“, in: *Gesammelte Werke*. Leipzig: Teubner.

Russell, Bertrand, 1996: *An Essay on the Foundations of Geometry*. London: Routledge.

–, 1959: *The Analysis of Matter*. New York: Dover, 1959.

Schlipp, Paul Ed., 1999: *The Philosophy of Rudolf Carnap*. LaSalle, IL: Open Court.

Scholz, Erhard, 1982a:. „Herbart's Influence on Bernhard Riemann“ *Historia Mathematica* 9, 413–440.

–,. 1982b:„Riemanns frühe Notizen zum Mannigfaltigkeitsbegriff und zu den Grundlagen der Geometrie“, in: *Archive for History of Exact Sciences* 27, 213–232, 223.

Sklar, Lawrence, 1987: *Philosophy and Spacetime Physics*. Berkeley: UC Press.

Strawson, Galen, 2006: „Realistic Monism: Why Physicalism Entails Panpsychism.“ *Journal of Consciousness Studies* 13, 10–11: 3–31

Toader, Iulian, 2004: „A Diagrammatic Reconstruction of Carnap's Quasianalysis.“ *Synthese* 142: 43–59.

Torretti, Roberto, 1978: *The Philosophy of Geometry from Riemann to Poincaré*. Dordrecht: D. Reidel.

Van Cleve, J. and Frederick, R. E. (eds.) 1991: *The Philosophy of Right and Left*. Dordrecht: Kluwer.

Wrede, Robert, 1972: *Introduction to Vector and Tensor Analysis*. New York: Dover.

Zaddach, Arno, 1994: *Grassmanns Algebra in der Geometrie*. BI-Wissenschaftsverlag.

Marco Giovanelli

Kant, Helmholtz, Riemann und der Ursprung der geometrischen Axiome

Zusammenfassung

Der Aufsatz versucht, das Verhältnis zwischen Immanuel Kant und Hermann von Helmholtz in Bezug auf das Raumproblem nochmals zu diskutieren. Zuerst wird gezeigt, dass das Grundproblem von Kants Philosophie der Geometrie im Versuch besteht, nachzuweisen, dass die Kongruenz geometrischer Figuren nicht auf die Identität von Begriffen zurückgeführt werden kann. Wenn man den Kongruenzbegriff als Grundbegriff von Kants Raumauffassung betrachtet, besitzt man ein *tertium comparationis*, das erlaubt, die Kantische Raumlehre mit der Entwicklung der Geometrie im 19. Jahrhundert und besonders mit Bernhard Riemanns Ansatz zu vergleichen. Helmholtz' Philosophie der Geometrie, die gerade von einer Definition von Kongruenz ausgeht, stellt dabei eine historische und systematische Vermittlung dar.

Abstract

The essay attempts to discuss one more time the relationship between the positions of Immanuel Kant and Hermann von Helmholtz concerning the problem of space. First, it is pointed out that the fundamental problem of Kant's philosophy of geometry is to show that the congruence of geometric figures cannot be reduced to the logical identity of concepts. The notion of congruence, as the basic notion of Kant's theory of space, offers therefore a *tertium comparationis*, that allows to compare Kant's doctrine of space, with the development of geometry in the 19th century, especially with Bernhard Riemann's approach. Helmholtz's philosophy of geometry, that starts precisely with a definition of congruence, in this way represents a historic and systematic mediation.

1. Einleitung

Wenn man sich mit dem Thema „Kant und die nicht-euklidischen Geometrien" befasst, ist man sofort mit einem *received view* konfrontiert. Hermann von Helmholtz hat wahrscheinlich mehr als jeder andere dazu beigetragen, eine solche Auffassung in die philosophische Debatte einzuführen:[1] nach der Einführung der nicht-euklidischen Geometrien sei Kants Auffassung des Raumes als „eine *a priori* gegebene Form aller äusseren Anschauung" (Helmholtz, 1903, II, 4) völlig unhaltbar geworden. Denn Kant habe versucht „die geometrischen Axiome als *a priori* durch transzendentale Anschauung gegebene Sätze zu betrachten" (Helmholtz, 1903, II, 30). Wenn aber außer dem euklidischen auch Räume anderer Art möglich sind, so wäre damit auch widerlegt, dass „die Axiome der Geometrie nothwendige Folgen einer *a priori* gegebenen transzendentalen Form unserer Anschauungen im Kant'schen Sinne seien" (Helmholtz, 1903, II, 22).[2]

Um die Stellung der Philosophie Kants gegenüber den neueren Geometrien zu verstehen, sind meines Erachtens Helmholtz' erkenntnistheoretische Arbeiten vor allem von einem anderen Standpunkt aus bedeutsam. Die Auffassung der nicht-euklidischen Geometrie, welche Helmholtz zuerst in *Über die thatsächlichen Grundlagen der Geometrie* (1866; HGS, I.2.2, 610–617) und später im mathematisch ausführlicheren *Über die Thatsachen, die der Geometrie zum Grunde liegen* (1868; HGS, I.2.2, 618–639) vorschlug, geht nämlich nicht, wie üblich, von der Ablehnung des Parallelaxioms, sondern von der Definition der Kongruenz als geometrischer Grundrelation aus. Statt dem axiomatischen Standpunkt, der der Kantischen Perspektive vollkommen fremd ist, besitzt man im Kongruenzbegriff jenes *tertium comparationis*, das erlaubt, die Kantische Raumlehre mit der späteren Entwicklung der Geometrie zu vergleichen. Das Problem Kants, als er den Raum als „Anschauung" und nicht als „Begriff" definierte, bestand nicht darin, die Axiome der euklidischen Geometrie etwa *a priori* „anschauen" zu lassen, sondern vielmehr festzustellen, dass die „Kongruenz" geometrischer Figuren nicht auf die logische „Identität" von Begriffen zurückgeführt werden kann.[3]

2. Kants Unterscheidung zwischen Begriff und Anschauung

Um diese Hypothese darlegen zu können, wird zuerst versucht, die Gründe für Kants These zu verstehen, dass der Raum „kein discursiver oder, wie man sagt, allgemeiner *Begriff*", sondern „eine reine *Anschauung*" (B 39; meine Hervorhebung), „eine reine Form der sinnlichen Anschauung" (B 47) sei.[4] Zu diesem Zweck dürfte es nützlich sein, zunächst eine terminologische Erläuterung vorzunehmen.

Mit dem Wort „Anschauung“ meint Kant eine einzelne Vorstellung (*repraesentatio singularis*); dagegen ist „Begriff“ eine allgemeine Vorstellung (*repraesentatio per notas communes*; vgl. z.B. Ak. IX, 91). Die „Anschauung“ ist daher die unmittelbare Vorstellung eines einzelnen Objekts („dies da“), während der Begriff die mittelbare Vorstellung mehrerer Objekte durch Merkmale ist, die diesen Objekten gemeinsam sind. Durch die Anschauung wird also das Objekt gegeben (die Anschauung hängt von der Gegenwart des Gegenstandes ab), durch den Begriff wird es gedacht (auch wenn das Objekt nicht mehr vorhanden ist; vgl. z.B. B74).[5]

Nach Kant ist dagegen in der leibnizschen Tradition „diejenige Vorstellungsart, die wir bloße *Anschauung* nannten, eigentlich nur der verworrene *Begriff* von ihrem Gegenstande“ (Ak. XX, 278; meine Hervorhebung) und „Anschauung von Begriffen der Dinge, nur dem Grade des Bewußtseyns nach, nicht specifisch, unterschieden“ (Ak. XX, 278). Die Leibnizianer verglichen also „alle Dinge bloß durch Begriffe mit einander und fand[en], wie natürlich, keine andere Verschiedenheiten als die, durch welche der Verstand seine reinen Begriffe von einander unterscheidet“ (B 326). Für Kant dagegen gibt es eine Form von Verschiedenheit, die nur in der Anschauung gegeben sein kann. Dass dies die Hauptthese Kants darstellt, kann bestätigt werden, wenn man die Beispiele betrachtet, von denen Kant ausgeht, um zu zeigen, dass der Raum kein Begriff sein kann, sondern notwendigerweise als Anschauung angesehen werden muss.

Solche Beispiele scheinen dadurch verbunden zu sein, dass sie versuchen, die Kongruenz geometrischer Figuren (die nur durch ihre wechselseitige Position oder Orientierung im Raum verschieden sind) von der logischen Identität von Begriffen (die durch unterschiedliche innere Eigenschaften definiert werden), zu unterscheiden. Wenn zwei Begriffe dieselben inneren Bestimmungen haben, d.h. dieselbe Quantität und dieselbe Qualität,[6] sind sie ein und derselbe Begriff; im Gegensatz dazu kann man zwei Raumfiguren denken, die zwar in allen inneren Merkmalen übereinstimmen und demzufolge gleich und ähnlich sind,[7] aber als verschieden betrachtet werden müssen, weil sie voneinander durch äußere Bestimmungen im Raum unterschieden werden können. Zwei geometrische Gebilde können als unterschieden erkannt werden, obgleich sie in ihren Eigenschaften (Qualität und Quantität) vollkommen übereinstimmen (es gibt in einem nichts, das es im anderen nicht gibt). Wenn dagegen zwei Begriffe verschieden sind, gibt es immer etwas, das einem zukommt und dem anderen nicht. Nicht die Verschiedenheit der Dinge macht die Verschiedenheit der Orte aus, wie die Leibnizianer meinten, sondern umgekehrt kann allein die bloße Verschiedenheit der Orte die Verschiedenheit der Dinge bewirken.[8] Die vollkommene Homogenität des Raumes, dessen Teile nur durch die Lage zueinander verschieden sind, ist also nicht die verworrene Manifestation der inneren Verschiedenheit der Dinge, sondern umgekehrt gibt es eine Form von Verschiedenheit, die erst aufgrund der gegenseitigen Stellung im Raum von sonst vollkommen identischen Dingen hervortritt.

2.1 Die inkongruenten Gegenstücke

Das berühmteste Beispiel Kants, um die Unterscheidung zwischen Kongruenz und logischer Identität zu zeigen, ist jenes der so genannten „inkongruenten Gegenstücke“.[9] Kant versucht damit zu belegen, dass zwei geometrische Figuren zwar das Kriterium der logischen Identität der Begriffe erfüllen können, weil sie in ihren Eigenschaften übereinstimmen, aber trotzdem als vollkommen verschieden gelten können, obwohl sich in einer Figur nichts finden lässt, was es in der anderen nicht gibt.

Nach der üblichen, von Kant akzeptierten Definition von Kongruenz laufen „alle Beweise von durchgängiger Gleichheit zweier gegebener Figuren (da eine in allen Stücken an die Stelle der andern gesetzt werden kann) […] zuletzt darauf hinaus, daß sie einander decken“ (Ak. IV, 284).

> Wenn zwei Dinge in allen Stücken, die an jedem für sich nur immer können erkannt werden, (in allen zur Größe und Qualität gehörigen Bestimmungen) völlig einerlei sind, so muß doch folgen, daß eins in allen Fällen und Beziehungen an die Stelle des andern könne gesetzt werden, ohne daß diese Vertauschung den mindesten kenntlichen Unterschied verursachen würde (Ak. IV, 285).

Wenn zwei Figuren in allen inneren Merkmalen übereinstimmen und damit die Forderung der logischen Identität erfüllen, dann sollte eine mit der anderen zur Deckung gebracht werden können und damit auch den Bedingungen der Kongruenz unterworfen sein.

Logische Identität und Kongruenz wurden nämlich durch das *Salva-veritate*-Kriterium[10] definiert. In seiner *Philosophia prima sive Ontologia* definiert Christian Wolff die logische Identität wie folgt: „Eadem dicuntur, quae sibi substitui possunt salvo quocumque pradicato.“[11] Wenn ein Begriff in einem Satz durch einen anderen ersetzt werden kann, ohne die Wahrheit des Satzes zu gefährden, so handelt es sich um ein und denselben Begriff. Die Kongruenz wird von Wolff, indem er direkt auf diese Definition Bezug nimmt, ähnlich charakterisiert: „res congruentes prorsus eadem sunt, consequenter unam alteri substituere licet salvo omni praedicato", z.B. „si duo triangula congruunt, unum alteri eo successu substituere licet, ut non appareat, substitutionem fuisse facta."[12]

„In der That", schreibt Kant, „verhält sich dies auch so mit *ebenen* Figuren in der Geometrie" (Ak. IV, 285; meine Hervorhebung), die, wenn sie gleich und ähnlich sind, auch zur Deckung gebracht werden können; es ist aber möglich, zwei *körperliche* Figuren zu denken, z.B. die rechte und die linke Hand, „wenn man sie blos nach der Ausdehnung auffaßt", die „unerachtet jener völligen *innern* Übereinstimmung doch eine solche Verschiedenheit im *äußeren* Verhältniß" zeigen, „daß sich eine an die Stelle der andern gar nicht setzen läßt" (Ak. IV, 285; meine Hervorhebungen). Eine ein- oder zweidimensionale Figur kann immer mit ihrem Spiegelbild durch eine Drehung in der zweiten oder dritten Dimension zur Deckung gebracht werden; im Fall einer dreidimensionalen Figur hat man dagegen keine vierte Dimension, die eine solche Bewegung ermöglicht.[13]

Zwei Begriffe können durch bestimmte Merkmale unterschieden werden, die ein Begriff besitzt und der andere nicht, dagegen können zwei geometrische Körper wie die linke und die rechte Hand völlig gleich und ähnlich sein, wenn man die inneren Bestimmungen, Quantität und Qualität, betrachtet, und trotzdem so verschieden wegen ihrer äußeren Verhältnisse, dass „der Handschuh der einen Hand [...] nicht auf der andern gebraucht werden" (Ak. IV, 286) kann. Es ist nach Kant unmöglich zu zeigen, welche Eigenschaft eine rechtsorientierte Figur, z.B. eine rechtsdrehende Schraube, besitzt, die sie von einer linksdrehenden unterscheidet, weil „eine vollständige Beschreibung der einen in allen Stücken auch von der andern gelten" muss (Ak. II, 382). So ist ein Körper vom anderen nicht zu unterscheiden, „wenn er allein und zugleich vollständig beschrieben wird";[14] sie sind aber verschieden, wenn man ihre wechselseitigen Verhältnisse im Raum betrachten kann. Der Unterschied zwischen einer rechts- und einer linksdrehenden Schraube ist also für Kant zwar „innerlich" (eine rechte Schraube, „man mag [sie] drehen und wenden, wie man will" (Ak. II, 383), aber es wird niemals eine linke daraus). Es ist jedoch kein „innerer" Unterschied, weil es keine Eigenschaft gibt, die eine linksdrehende Schraube besitzt und eine rechtsdrehende nicht.[15]

Was eine rechte Schraube ist, wird bestimmt durch ihre Lage, z.B. hinsichtlich einer linken Schraube oder wenn man so will, hinsichtlich eines gegebenen, als rechts dekretierten asymmetrischen Gegenstandes.

Wir können daher auch den Unterschied ähnlicher und gleicher, aber doch incongruenter Dinge [...] durch keinen einzigen *Begriff* verständlich machen, sondern nur durch das Verhältniß zur rechten und linken Hand, welches unmittelbar auf *Anschauung* geht (Ak. IV, 286; meine Hervorhebung).

Da sich durch keine begriffliche Beschreibung feststellen lässt, was links von rechts unterscheidet, erfordert eine anschauliche Ausweisung einen Akt willkürlicher Wahl, was links und was rechts ist; nachdem die Wahl jedoch für einen Körper getroffen ist, ist sie für jeden Körper festgelegt.[16]

2.2 Positive und negative Größe

Weder die Inkongruenz noch die Dreidimensionalität des Raumes sind hier also entscheidend. Wesentlich ist vielmehr die Verschiedenheit des „Sinnes“ (oder, wie Kant normalerweise schreibt, der „Richtung“), die nicht begrifflich definiert werden kann. Das kann bestätigt werden, wenn man ein anderes, schon in der vorkritischen Zeit[17] besprochenes Problem der Unterscheidung von positiver und negativer Größe betrachtet. Eine “Richtung” (Sinn) kann nicht an sich von der anderen unterschieden werden. Welche Richtung man „nach links“ und „nach rechts“ nennen soll, ist durch den begrifflich zu beschreibenden Charakter der Linie nicht gegeben; „+*a* und -*a* sind einander nicht qualitative sondern nur in der Relation der Richtung entgegengesetzt“ (Ak. XXII, 176). Die Richtungen (Sinne) können also per se nicht unterschieden werden, und die Entgegensetzung tritt erst auf, wenn man sie anschaulich vergleicht: „Allein in der sinnlichen Anschauung, darin Realität (z.B. Bewegung) gegeben wird, finden sich Bedingungen (entgegengesetzte Richtungen), von denen im Begriffe der Bewegung überhaupt abstrahirt war“ (B 338), da man „entgegenstehende Richtungen [...] nur in der *Anschauung*, nicht in bloßen *Begriffen* vorstellen“ (Ak. XX, 283; meine Hervorhebungen) kann.

In *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft* verbindet Kant ausdrücklich das Problem der inkongruenten Gegenstücke mit dem Problem der Bewegung in entgegengesetzten Richtungen. Wenn man z.B. eine Kreisbewegung betrachtet, kann man fragen:

[W] as ist hier die Seite, nach der die Bewegung gerichtet ist? eine Frage, die mit der eine Verwandtschaft hat: worauf beruht der innere Unterschied der Schnecken, die sonst ähnlich und sogar gleich, aber davon eine Species rechts, die andere links gewunden ist; [...]ein Begriff, der sich zwar construiren, aber als Begriff für sich durch allgemeine Merkmale und in der discursiven Erkenntnißart gar nicht deutlich machen läßt (Ak. IV, 483 f.)

In beiden Fällen geht es um Gegenstände, die nicht zu unterscheiden sind, wenn sie isoliert betrachtet werden, denn es ist unmöglich, „in der Beschreibung eines Cirkels, ohne an ihm irgend eine Verschiedenheit der Gegenstände zu bedürfen, doch die Bewegung von der Linken zur Rechten von der in entgegengesetzter Richtung zu unterscheiden“ (Ak. VIII, 135). Das, was in einem gegebenen Raum nach der einen Seite zu, und das, was nach der anderen zu liegt, kann bei aller Schärfe des Verstandes nicht begrifflich beschrieben, d.h. auf Verstandesmerkmale zurückgeführt,[18] sondern nur direkt anschaulich aufgewiesen werden, weil „sich dieser Unterschied zwar in der *Anschauung* geben, aber gar nicht auf deutliche *Begriffe* bringen, mithin nicht verständlich erklären (*dari, non intelligi*) lässt“ (Ak. IV, 484, meine Hervorhebung).

2.3 Zwei Kubikfüße im Raume

Das Problem Kants scheint noch deutlicher hervorzutreten, wenn man ein in der *Kritik der reinen Vernunft*, im Anhang *Von der Amphibolie der Reflexionsbegriffe*, diskutiertes Beispiel betrachtet: „Es ist die frage, ob 2 Dinge blos *numero* verschieden seyn können oder ob sie durchaus specifisch *plura* seyn müssen, um mehr als ein Ding zu seyn.“ (Ak. XVII, 683; Refl. 4712) Dieses Problem hat eine evidente Ähnlichkeit mit jenem der inkongruenten Gegenstücke. Es geht nämlich auch hier um zwei Objekte, die gleich und ähnlich und trotzdem verschieden sind wegen ihrer wechselseitigen Position im Raum: „Wenn uns ein Gegenstand mehrmals, jedesmal aber mit eben denselben innern Bestimmungen (*qualitas* et *quantitas*) dargestellt wird, so ist derselbe, wenn er als Gegenstand des reinen Verstandes gilt, immer eben derselbe und nicht viel, sondern nur ein Ding (*numerica identitas*)“ (B 319); wenn er aber nicht durch „Begriffe“, sondern in der „Anschauung“ gegeben wird, „ist doch die Verschiedenheit der Örter“, nämlich eine äußere Relation, „ein genugsamer Grund der numerischen Verschiedenheit [*numerica diversitas*] des Gegenstandes (der Sinne) selbst“ (B 319). Hier ein Beispiel Kants:

Der *Begriff* von einem Kubikfuße Raum, ich mag mir diesen denken, wo und wie oft ich wolle, ist an sich völlig einerlei. Allein zwei Kubikfüße sind im Raume dennoch bloß durch ihre Örter unterschieden (*numero diversa*); diese sind Bedingungen der *Anschauung*, worin das Object dieses Begriffs gegeben wird, die nicht zum Begriffe, aber doch zur ganzen Sinnlichkeit gehören (B 339; meine Hervorhebungen).

Wenn „A und B [...] in Ansehung aller ihrer innern Bestimmungen (der Qualität und Quantität) völlig einerley sind", sind sie ein und derselben Begriff; in der Anschauung dagegen können sie „doch durch die Örter im Raume" unterschieden werden, „weil ganz ähnliche und gleiche Räume außer einander vorgestellt werden können" (Ak. XX, 282).

Man kann also letztlich behaupten, dass alle bisher betrachteten Beispiele Kants, um Begriff und Anschauung zu unterscheiden (die inkongruenten Gegenstücke, die positiven und negativen Größen, die zwei Kubikfuß an verschiedenen Orten), auch wenn sie nicht immer von Kant selbst in Verbindung gebracht werden, etwas gemein haben: Es geht um Elemente, die dieselben inneren Merkmale (*notae internae*), Quantität und Qualität, besitzen, d. h. gleich und ähnlich sind, und trotzdem durch äußere wechselseitige Relationen (*ratione relationis*; Ak XXIX, 838) verschieden sind,[19] weil sie eine verschiedene Lage oder Orientierung im Raum besitzen.

2.4 Der Raum als reine Anschauung

Wenn also Kant den Raum der „Logik der Anschauung" und nicht der „Logik des Begriffes" unterwirft, bedeutet das zunächst, dass ein Teil des Raumes für sich betrachtet von irgendeinem anderen kongruenten gar nicht zu unterscheiden ist; die Teile des Raumes sind verschieden nur wegen ihrer wechselseitigen Stellung:

Denn ein Theil des Raums, ob er zwar einem andern völlig *ähnlich* und *gleich* sein mag, ist doch *außer ihm* und eben dadurch ein vom ersteren *verschiedener* Theil [...]; und dieses muß daher von allem, was in den mancherlei Stellen des Raums zugleich ist, gelten, so sehr es sich sonst auch ähnlich und gleich sein mag (B 320; meine Hervorhebungen).

Durch die Unterscheidung zwischen Begriff und Anschauung versucht Kant also eine von moderner mathematischer Naturwissenschaft festgestellte Eigenschaft des Raumes „erkenntnistheoretisch" zu begründen, d. h. mit den Worten Leonhard Eulers, „que tout le différent lieu ou partie de l'espace soient semblable entre eux" [alle verschiedenen Orte oder

Teile des Raumes sind einander ähnlich].[20] Der Raum ist willkürlich teilbar in Teile, die immer wieder kongruent sein können und deshalb Teile desselben Raumes sind:[21]

> Der Raum ist kein discursiver oder, wie man sagt, allgemeiner Begriff […], sondern eine reine Anschauung. Denn erstlich kann man sich nur einen einigen Raum vorstellen, und wenn man von vielen Räumen redet, so versteht man darunter nur Theile eines und desselben alleinigen Raumes (B 39).

Während die Begriffe sich hierarchisch strukturieren (nach Arten und Gattungen), sind alle Teile des Raumes vollkommen gleichberechtigt. Der Anschauungsbegriff drückt also diese Indifferenz der euklidischen Gebilde gegenüber allen absoluten Lageunterschieden und damit die Bestimmungs- und Eigenschaftslosigkeit der einzelnen Punkte im euklidischen Raum aus. Man geht also nicht von einzelnen verschiedenen, wirklich vorhandenen Räumen aus, aus denen man, von ihren besonderen Eigenschaften absehend, den allgemeinen Raumbegriff abstrahiert; man beginnt vielmehr mit dem apriorisch definierten einheitlichen Feld von qualitativ undifferenzierten möglichen räumlichen Einteilungen, unter denen sich objektiv, ohne individuelle anschauliche Ausweisung, keine Wahl treffen lässt.

Können die bisher ausgeführten Überlegungen als „metaphysische Erörterung" (B 37ff.) der Raumvorstellung angesehen werden, so bedarf es einer „transscendentale[n] Erörterung" (B 40f.) oder, wie Kant gelegentlich auch sagt, „transscendentale[n] Deduction" (B 120; Ak. IV, 285) derselben. Warum muss der Raum notwendigerweise eine einzelne und undifferenzierte „Form der Anschauung" sein? Das „transzendentale Argument" Kants scheint in folgendem Schluss zu bestehen: Wenn die Teile des Raumes nicht alle gleichberechtigt wären, der Raum also keine „reine Anschauung" wäre, wäre Geometrie unmöglich. Die Geometrie ist aber ein Faktum. Anders als für die Metaphysik lässt sich für die Geometrie ein Buch aufzeigen, nämlich die Elemente von Euklid, in dem sie in ihrer wissenschaftlichen Form dargestellt ist.[22] Der homogene Raum ist also eine notwendige Bedingung der Möglichkeit der Geometrie.

In der euklidischen Geometrie sind alle Orte im Raum objektiv gleichberechtigt, d.h. dass von jedem Raumpunkte aus in alle Richtungen gleiche Konstruktionen vollzogen werden können. Die Punkte sind so, wie sie sind, nur als Ansatzpunkte möglicher Konstruktionen zu denken, wobei die Forderung besteht, dass die Identität dieser Konstruktionen sich bei aller Verschiedenheit des Ausgangselementes feststellen lasse, da eine bestimmte Eigenschaft entweder allen individuellen Raumpunkten oder keinem zukommt. Die Kongruenz ist nämlich Ausdruck der Möglichkeit dafür, an verschiedenen Stellen des Raumes identische Konstruktionen[23] vorzunehmen und damit identische Bestimmtheiten zu determinieren. Da jeder Ort im Raume an und für sich so gut wie jeder andere ist, muss eine Konstruktion an einem Ort ebenso erfolgen können wie an einem anderen, wenn nur die Bedingungen dieselben sind.[24]

3. Die Auseinandersetzung Helmholtz' mit der Kantischen Auffassung der Geometrie

Um die euklidische Geometrie zu ermöglichen, müssen wir also *a priori* voraussetzen, dass jede Figur, ohne inhaltlich eine andere zu sein als sie ist (ohne also ihre Qualität und ihre Quantität, ihre Form und ihre Größe zu ändern), ebenso gut an jeder anderen Raumstelle sein kann wie gerade an dieser. Figuren können also verschieden sein, nur aufgrund ihrer Lage oder Orientierung im Raum, obwohl sie gleich und ähnlich sind. Hierin liegt die eigentliche Wurzel des geometrischen Kongruenzbegriffs und seine Differenz von dem der logischen Identität. Während Kant diese These „philosophisch" gegenüber der „Schulmetaphysik" vertreten hat, bekommt das Problem der Kongruenz eine rein mathematisch-physikalische Wendung durch Hermann von Helmholtz' erste erkenntnistheoretische Arbeiten über den Ursprung und die Bedeutung der geometrischen Axiome.[25] Denn hier wurde klar, dass in der euklidischen Geometrie und in allen ihren Beweisen für die Kongruenzsätze eine bestimmte Voraussetzung notwendig ist. Für den Beweis muss angenommen werden, dass die beiden Gebilde, die man als kongruent erklärt, zueinander hin bewegt werden und dass sie bei dieser Bewegung ihre Gestalt und Maße nicht ändern. So führt Helmholtz aus:

Die Grundlage aller Beweise in der euklidischen Methode ist der Nachweis der Congruenz der betreffenden Linien, Winkel, ebenen Figuren, Körper usw. Um die Congruenz anschaulich zu machen, stellt man sich vor, dass die betreffenden geometrischen Gebilde zu einander hinbewegt werden, natürlich ohne ihre Form und Dimensionen zu verändern. […] Wenn wir aber Denknothwendigkeiten auf diese Annahme freier Beweglichkeit fester Raumgebilde mit unveränderter Form nach jeder Stelle des Raumes hin bauen wollen, so müssen wir die Frage aufwerfen, ob diese Annahme keine logisch unerwiesene Voraussetzung einschliesst (Helmholtz, 1903, II, 7).

Die Beweise der euklidischen Geometrie beruhen also auf dem Kongruenzbegriff. Um die Kongruenzverhältnisse zu ermöglichen, muss man voraussetzen, dass es Körper gibt, die ihre Form und Größe nicht ändern, wenn sie von einem Ort zu einem beliebig anderen im Raum transportiert werden.[26] Das bedeutet aber, dass „die Congruenz zweier Raumgebilde […] nicht von ihrer Lage abhängig" sein muss (HGS I.2.2, 624), so dass alle an einem Ort im Raum konstruierten Figuren an jeden anderen Ort in vollkommen kongruenter Form und mit vollkommener Gleichheit übertragen werden können. Denn kongruente Raumgebilde müssen zu jeder Zeit und an jedem Ort immer wieder dieselben Verhältnisse zeigen wie zuvor. Das hat eine besonders wichtige Konsequenz:

alle Theile des Raumes sind, wenn von ihrer Begrenzung abgesehen wird, unter einander congruent, wie alle Stücke derselben Kugelfläche, von ihrer Begrenzung abgesehen, der Flächenwölbung nach einander congruent sind (HGS I.2.2, 624).

Damit ist wieder die Voraussetzung gewonnen, von der wir ausgegangen waren: Die Identität der Raumteile hängt nur von ihrer wechselseitigen Stellung im Raum ab. Gerade dies war die Eigenschaft des Raumes, für welche Kant einen „logischen" Ausdruck im Anschauungsbegriff gefunden hatte. Nur eine solche Struktur des Raumes erlaubt es, entfernte Raumgebilde zu vergleichen und sie als kongruent zu definieren. Die neuere Geometrie ist aber den umgekehrten Weg gegangen: Sie hat bestimmte Sätze über die Bewegung an den Anfang gestellt und gezeigt, wie sich aufgrund derselben der Aufbau des geometrischen Raumes vollzieht.

Hier wird aber gleichzeitig klar, dass, wenn man die freie Beweglichkeit fester Körper annimmt, man nicht nur die Möglichkeit der euklidischen Geometrie begründen kann, sondern alle nichteuklidischen Geometrien, bei denen der Raum eine konstante Krümmung besitzt, wie die sphärische und die pseudosphärische (hyperbolische) Geometrie, in denen es möglich ist, einen Körper ohne Verformung zu bewegen und damit Raummessungen durchzuführen.[27] Ein Dreieck, das am Äquator einer Kugel konstruiert wird, ist gleich und ähnlich, d. h. kongruent, zu dem am Pol der Kugel. Wenn man aber versuchen würde, an verschiedenen

Stellen der Oberfläche eines eiförmigen Körpers kongruente Dreiecke zu konstruieren, würde die Winkelsumme des am spitzeren Ende des Eies gezeichneten Dreiecks mehr von 180 Grad abweichen, als wenn ein Dreieck mit denselben Seitenlängen am stumpferen Ende gezeichnet würde. Daraus geht hervor, dass sich auf einer solchen Fläche nicht einmal ein einfaches Raumgebilde wie ein Dreieck ohne Änderung seiner Form von einem Ort zu einem beliebigen anderen bewegen ließe. Die freie Beweglichkeit fester Körper setzt also die konstante Krümmung des Raumes voraus, wobei nichts über das Maß dieser Krümmung ausgesagt ist:

> Wenn nun dieses Krümmungsmaass des Raumes überall den Werth Null hat, entspricht ein solcher Raum überall den Axiomen Euklids [...] Ist das Krümmungsmaass positiv, so erhalten wir den sphärischen Raum [...] Ein negatives konstantes Krummungsmaas dagegen giebt den pseudosphärischen Raum (Helmholtz, 1903, II, 18).

Mit dem Übergang von der Ebene zur krummen Fläche ist also dieselbe Ausdehnung der Geometrie erreicht, die in jener Ablehnung des Parallelaxioms vorliegt, durch welche man „nach der synthetischen Methode des Euklid“ (Helmholtz, 1903, II, 14) zuerst logisch konsequente nichteuklidische Geometrien entwickelt hat. Man kann behaupten, dass es zu einer Gerade durch einen gegebenen Punkt eine Parallele (euklidischer Raum), mehrere Parallelen (pseudosphärischer Raum) oder keine Parallele (sphärischer Raum) gibt. Vom Helmholtz'schen Standpunkt aus wird es aber unter anderem auch viel einfacher, die kantische Auffassung des Raumes mit jener zu vergleichen, die nach der Entdeckung solcher Geometrien entstanden ist. Wie sich später noch deutlicher zeigen wird, steht hier statt des axiomatischen Standpunkts, ein viel geeigneterer Mittelbegriff des Vergleichs, nämlich der Kongruenzbegriff, zur Verfügung.

Einerseits nach der Einführung der nichteuklidischen Geometrien schien für Helmholtz Kants Auffassung des Raumes als eine „Form der Anschauung“ (Helmholtz, 1903, II, 223) unhaltbar geworden zu sein. Kant habe „für diese *a priori* gegebene Form nicht nur den Charakter eines rein formalen und an sich inhaltsleeren Schema in Anspruch“ genommen, „in welches jeder beliebige Inhalt der Erfahrung passen würde“ (Helmholtz, 1903, II, 4), sondern auch versucht, „die Axiome [als] durch transzendentale Anschauung gegebene Sätze“ zu betrachten (Helmholtz, 1903, II, 394).

Zur selben Zeit glaubte Helmholtz aber, dass durch die Idee der „freien Beweglichkeit fester Körper“ die kantische Konzeption des Raumes als „Form der Anschauung“ in ihrer wahren Bedeutung verstanden werden könne. Die „Form“ hat nicht das Ziel, die „Axiome“ der euklidischen Geometrie zu beinhalten; sie ist vielmehr Ausdruck der völligen Gleichwertigkeit der Orte gegenüber ihrem Inhalt: „Die Frage […] ob die Axiome der Geometrie transcendentale oder Erfahrungssätze“ sind, ist daher „ganz zu trennen […] von der erst besprochenen, ob der Raum überhaupt eine transcendentale Anschauungsform sei oder nicht“ (Helmholtz, 1903, II, 229).

Der berühmte Satz Helmholtz', „der Raum kann transcendental sein, ohne dass es die Axiome sind“ (Helmholtz, 1903, II, 391), kann also wirkungsvoll ausdrücken, dass das Problem Kants nicht darin bestand, die Axiome der euklidischen Geometrie *a priori* „anschaulich“ zu machen, sondern vielmehr festzustellen, wie der Raum sein müsse, damit in ihm Dinge verschieden sein können, die ihrer inneren Bestimmungen nach gleich und ähnlich sind. Nur unter dieser Voraussetzung ist der Grundbegriff der Geometrie, der Kongruenzbegriff, möglich. Der Raum als Form der Anschauung ist also die Voraussetzung, um zwei Figuren zu denken, die nur durch ihre Position unterschieden werden können:

> Kants Lehre von der *a priori* gegebenen Form der Anschauung ist ein sehr glücklicher und klarer Ausdruck des Sachverhältnisses; aber diese Formen müssen inhaltsleer und frei genug sein, um jeden Inhalt, der überhaupt in die betreffende Form der Wahrnehmung eintreten kann, aufzunehmen. Die Axiome der Geometrie aber beschränken die Anschauungsform des Raumes so, dass nicht mehr jeder denkbare Inhalt darin aufgenommen werden kann, wenn überhaupt Geometrie auf die wirkliche Welt anwendbar sein soll. Lassen wir sie fallen, so ist die Lehre von der Trancendentalität der Anschauungsform des Raumes ohne allen Anstoss (Helmholtz, 1903, II, 406).

Helmholtz wies damit darauf hin, dass die beiden Teile der kantischen Lehre völlig getrennt werden sollten: Die euklidische Geometrie ist nur möglich unter der Voraussetzung eines homogenen Raumes, der starre Bewegungen erlaubt; es gibt aber andere Geometrien, die die Bedingung der Gleichberechtigung aller Punkte und aller Richtungen erfüllen, die aber den Axiomen der euklidischen widersprechen.

Einerseits zeigte Helmholtz damit, dass der Raum so beschaffen sein müsse, dass er die Existenz von Dingen ermöglicht, die trotz Verschiebung identisch sind, was die Voraussetzung des geometrischen Kongruenzbegriffes ist. Andererseits aber stellte er eine neue Frage, die den

Horizont der kantischen Problemstellung völlig übersteigt: Wie können wir unter den möglichen Geometrien wählen, die einen Raum, der diese Forderung erfüllt, voraussetzen? Welche ist die „echte" Geometrie unserer Welt? Wenn die Konstanz der Krümmung *a priori* festgestellt wird, sonst wäre die Geometrie unmöglich, muss dagegen das Krümmungsmaß *a posteriori* gewählt werden, aus einem stetigen Spektrum von Möglichkeiten, von positiver zu negativer Krümmung.

Helmholtz knüpfte an das an, was „Gauss in seiner berühmten Abhandlung über die Krümmung der Flächen"[28] nachgewiesen hat, nämlich dass sich die Form einer gekrümmten Fläche durch die Geometrie innerhalb der Fläche charakterisieren lässt. Würde man auf der Kugel „praktische Geometrie" betreiben, so würde man sehr bald erkennen, dass man sich auf einer gekrümmten Fläche befindet. Der Satz von Pythagoras z.B. versagt bei Flächen dieser Art; auf einer Kugel wird ein rechtwinkliges Dreieck schief und das Quadrat über der dem rechten Winkel gegenüberliegenden Seite ist nicht gleich der Summe der Quadrate über den anderen beiden Seiten, sondern kleiner, auf einer sattelförmigen Fläche dagegen größer. Der Unterschied ist umso größer, je größer das rechtwinklige Dreieck ist, während man sich dem euklidischen Fall umso mehr annähert, je kleiner das Dreieck ist.

Der pythagoreische Lehrsatz ist also streng genommen nur im unendlich Kleinen gültig, also nur, wenn man einen unendlich kleinen Abstand ds betrachtet (das so genannte Linienelement der treffenden Fläche), zwischen" x_1, x_2, den „Abmessungen irgend welcher Art, welche die Lage eines Punktes bestimmen", und $x_1 + dx_1$, $x_2 + dx_2$ „d[enen] eines benachbarten" (HGS I.2.2, 612). Abstände können durch den Satz des Pythagoras ausgerechnet werden. Verwendet man endliche Differenzen auf einer gekrümmten Fläche, erhält man einen falschen Abstand. An Stelle endlicher Abstände werden Differentielle herangezogen, aus denen die Längen durch Integrationen hervorgehen. Um den korrekten Abstand zu erhalten, genügt es aber nicht, allein Koordinatendifferenzen zu betrachten, wie es die einfache euklidische Formel vorgibt $ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2$. Die Formel für die Entfernung ist eine Verallgemeinerung der Formel des Pythagoras, die Gauss in seiner *Disquisitiones generales circa superficies curvas* (Gauss, 1827) führte; sie gibt das Quadrat der Entfernung ausgedrückt durch die Quadrate der Differenzen zwischen den Koordinaten und durch das Produkt dieser Differenzen: das ist die sogenannte (erste) Fundamentalform für das Linienelement, die in (modernerer) Schreibweise lautet: $ds^2 = g_{11}\,dx_1^{\,2} + g_{22}\,dx_2^{\,2} + 2g_{12}\,dx_1\,dx_2$. Quadrate und Produkte der Koordinatendifferenzen werden hier multipliziert für bestimmte „Koeffizienten", die Konstanten oder Funktionen von sind und die sich in einer Matrix einordnen lassen: $g = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix}$ (wobei $g_{12} = g_{21}$). Die Wahl solcher Koeffizienten bestimmt die Geometrie der Fläche. Befindet man sich z.B. auf einer Oberfläche mit negativer Krümmung, könnte die Formel von ds z.B. so geschrieben werden:

$$ds^2 = \frac{dx_1^2\, dx_2^2}{x_2^2}.$$

Damit wird ausgedrückt, wie die Kongruenz durch das Koinzidenzverhalten transportierter Maßstäbe festgelegt wird. In diesem Fall ist z.B. eine zur x-Achse parallele Linie $dx_1 = 2$ an der Stelle $x_2 = 2$ zu einer Linie $dx_1 = 2$ an der Stelle $x_2 = 1$ kongruent. Im euklidischen Fall dagegen wäre selbstverständlich das Verhältnis zwischen diesen zwei Linien 2:1.[29]. Ein rechtwinkliges Koordinatennetz erkennt man also an $g = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ (also $ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2$, der einfache Pythagoras); im Fall der eben besprochenen Oberfläche konstanter negativer Krümmung dagegen

$$g = \begin{bmatrix} \frac{1}{x_2^2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{x_2^2} \end{bmatrix} \; \left(also \;\; s^2 = \frac{1}{x_2^2} dx_1^2 + \frac{1}{x_2^2} dx_2^2 = \frac{dx_1^2 + dx_2^2}{x_2^2}\right).$$

Helmholtz beweist damit „auf rein analytischem Wege",[30] „dass wenn wir den Grad von Festigkeit und von Beweglichkeit der Naturkörper, der unserem Raume zukommt, in einem Raume von übrigens unbekannten Eigenschaften zu finden verlangen, das Quadrat des Linienelementes ds eine homogene Function zweiten Grades der unendlich kleinen Incremente der willkürlich gewählten Coordinaten" x_1, x_2, x_3 „sein müsse". Dieser Satz ist dort als die allgemeinste Form des Pythagoräischen Lehrsatzes bezeichnet" (HGS, I.2.2, 617).

4. Die Riemann'sche Auffassung des Raumes

Um die Implikationen dieses Ergebnisses Helmholtz' zu verstehen, ist es nötig einen Schritt zurück zu machen. Es ist bekannt, dass Helmholtz „schon eine solche Untersuchung begonnen und auch der Hauptsache nach schon fertig gemacht“ hatte, „als die Habilitationsvorlesung von Riemann ‚*Über die Hypothesen, die der Geometrie zum Grunde liegen*‘ veröffentlicht wurde“ (HGS, I.2.2, 611). Denn Helmholtz gibt zu, dass seine „eigene Untersuchung mit ihren Resultaten […] grössentheils implicite in der von Riemann schon enthalten“ (HGS, I.2.2, 613) ist. Nur im Argumentationsgang scheinen die zwei Darstellungen zunächst verschieden zu sein. Während Helmholtz von der „Annahme freier Beweglichkeit fester Raumgebilde mit unveränderter Form nach jeder Stelle des Raumes“ (Helmholtz, 1903, II, 7) ausgeht und nachweist, dass der pythagoreische Lehrsatz nur im Unendlichkleinen gilt, folgt Riemann vielmehr „den allgemeinsten Grundfragen der analytischen Geometrie“, (Helmholtz, 1903, II, 19)[31] nämlich der Voraussetzung, dass es einen homogenen Ausdruck zweiten Grades gibt, und fügt später erst die Bedingung der freien Beweglichkeit hinzu:

> Man kann nun also auch von dieser Seite des Raumbegriffs ausgehen, wonach die Lage jedes Punktes, in Bezug auf irgend welches als fest angesehenes Raumgebilde (Coordinatensystem), durch Messungen irgend welcher Grössen bestimmt werden kann, und dann zusehen, welche besonderen Bestimmungen unserem Raume, wie er bei den thatsächlich auszuführenden Messungen sich darstellt, zukommen, und ob solche da sind, durch welche er sich von ähnlich mannigfaltig ausgedehnten Grössen unterscheidet. Diesen Weg hat zuerst der der Wissenschaft leider zu früh entrissene B. Riemann in Göttingen eingeschlagen (Helmholtz, 1903, II, 16).

An die Stelle geometrischer Überlegungen tritt bei Riemann das Berechnen von Funktionen, durch welche alle Eigenschaften der Geometrie, die im Begriff der Krümmung des Raumes enthalten sind, analytisch betrachtet werden können. Er beginnt seine Darstellung mit einer ganz abstrakten Definition des Raumes als eine „*n*fach ausgedehnte Mannigfaltigkeit“, in der die „Lage eines Punktes […] durch n veränderliche Grössen und so fort bis ausgedrückt“ (RGMW, 309s) wird. Das einzelne zur Mannigfaltigkeit gehörige Element, z. B. der einzelne Punkt, kann durch die Angabe der Zahlenwerte von n Größen (etwa den Koordinaten) festgelegt werden. Die Aufgabe ist dann für die Länge der Linie darauf hinauszukommen „einen Mathematischen Ausdruck aufzustellen, zu welchem Zwecke die Grössen x als Functionen einer Veränderlichen gegeben werden“ (RGMW, 309).

Wie schon Helmholtz sah,[32] ist der Begriff der „Mannigfaltigkeit“ zuerst ganz im Allgemeinen zu betrachten: Das System der Farben etwa bildet eine dreifache Mannigfaltigkeit, insofern jede Farbe als die Mischung dreier Grundfarben dargestellt werden kann; jenes der einfachen Töne lässt sich als Mannigfaltigkeit in zwei Dimensionen betrachten, wenn wir sie nur nach Tonhöhe und Tonstärke differenzieren, usw. Somit ist also der Raum, in dem wir leben, eine dreifach ausgedehnte Mannigfaltigkeit von Punkten, eine Fläche eine zweifache, eine Linie eine einfache und die Zeit ebenso eine einfache. Man muss also feststellen, wodurch sich der Raum von anderen Mannigfaltigkeiten dreier Dimensionen unterscheidet.

Zunächst ist zu bemerken, dass, während man den Abstand zweier übereinander gelegener Punkte im Raum mit dem horizontalen Abstand zweier Punkte etwa des Fußbodens vergleichen kann, man aber nicht den Abstand zweier Töne von gleicher Höhe und verschiedener Intensität mit dem zweier Töne von gleicher Intensität und verschiedener Höhe vergleichen kann (vgl. Helmholtz, 1903, II, 17). Die Maßbestimmungen im Raum müssen also der Bedingung gehorchen, dass „jede Linie durch jede messbar“ (RGMW, 309) sein muss; die Bestimmung der Abstände durch den pythagoreischen Lehrsatz gewährleistet eine solche Unabhängigkeit der Größe vom Ort. Riemann zeigte damit, dass die wesentliche Grundlage jeder Geometrie der Ausdruck sei, durch welchen die Entfernung zweier in beliebiger Richtung zueinander liegenden Punkte, und zwar zunächst zweier unendlich gering voneinander entfernten, bestimmt werde. Die Grundtatsache der euklidischen Geometrie ist, dass das Quadrat einer Entfernung eine quadratische Form der relativen Koordinaten der beiden Punkte ist. Sehen wir aber dieses Gesetz als streng gültig an, wenn die beiden Punkte unendlich nah beieinander liegen, so kommen wir zur riemannschen Geometrie.

Riemann übernimmt damit als Anfangshypothese, das was in helmholtzscher Untersuchung das Resultat war, dass das Quadrat des Abstandes *ds* zweier unendlich naher Punkte eine homogene Funktion zweiten Grades der Differentiale ihrer Koordinaten ist: „*ds* [ist die] Quadratwurzel aus einer immer positiven ganzen homogenen Function zweiten Grades der Größen *ds*, in welcher die Coeffizienten stetige Functionen der Grösse *x* sind.“ (RGMW, 310).

Die Mannigfaltigkeiten, in welchen sich das Linienelement auf die einfache Form $\sqrt{\Sigma dx^2}$ bringen lässt, d.h. in der die Lage der Punkte durch rechtwinklige Koordinaten ausgedrückt wird, bilden daher nur einen besonderen Fall der hier zu untersuchenden Mannigfaltigkeiten; Riemann nennt diese Mannigfaltigkeiten „*eben*" (RGMW, 140f.; meine Hervorhebung). Im allgemeinsten Fall enthält dagegen der Ausdruck

$$„\frac{n(n+1)}{2}$$

Coeffcienten, welche willkürliche Functionen der unabhängigen Veränderlichen sind" (RMGW, 310). Riemann selbst hat damit Gauß' Resultat auf eine beliebige Zahl von Koordinaten verallgemeinert: $ds_2 = g_{11}\,dx_1^2 + g_{22}dx_2^2 + \ldots + 2g_{12}\,dx_1\,dx_2 + \ldots$. Man kann die Werte der Koordinaten in eine Matrix einordnen, z. B. im dreidimensionalen Fall:

$$\begin{matrix} \boldsymbol{dx_1\,dx_1} & \boldsymbol{dx_1\,dx_2} & \boldsymbol{dx_1\,dx_3} \\ \boldsymbol{dx_2\,dx_1} & \boldsymbol{dx_2\,dx_2} & \boldsymbol{dx_2\,dx_3} \\ \boldsymbol{dx_3\,dx_1} & dx_3\,dx_2 & dx_3\,dx_3 \end{matrix}$$

Ähnlich dazu die Funktionen g_{ik}:

$$\begin{matrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} \end{matrix}$$

Die sind hierbei so zu wählen, dass $g_{ik} = g_{ki}$, ist; die Summation ist also über alle Werte von i und k zu erstrecken (wobei $i, k=1, 2, \ldots, n$), so dass die Summe aus $n \times n$ Summanden besteht, von denen aber $n(n\text{-}1)$ paarweise gleich sind. Riemann zeigt damit, dass der allgemeine Fall von n Dimensionen durch eine sehr kompakte Formel zusammengefasst werden kann:

$$ds^2 = \sum_{ik} g_{ik}\,dx_i\,dx_k\,,$$[33]

die eben eine homogene quadratische Funktion der $dx_1, dx_2, dx_3, \ldots, dx_n$ ist. Bei gewöhnlicher zweidimensionalen Flächen braucht man 3 Koeffizienten, für 4 Dimensionen 10 Koeffizienten usw. (RGMW 280f., 310f.).[34] Jede Wahl von solchen Funktionen g_{ik} bestimmt eine allgemeine in jedem Punkt verschiedene Art von Geometrie d. h. stellt die Abweichung der Mannigfaltigkeit von der Ebenheit dar. Da eine solche Wahl für jede Stelle des räumlichen Kontinuums eine eigene, im allgemeinen verschiedene Maßbestimmungen erfordert, kann die Krümmung von Punkt zu Punkt variabel sein, so dass nur von einer *Ebenheit im kleinsten Teil* gesprochen werden kann.

Wenn man aber voraussetzt, „dass sich die Figuren" von endlicher Größe „ohne Dehnung bewegen lassen", bekommen wir als Sonderfall Geometrien mit konstanter Krümmung, „denn offenbar würden die Figuren […] nicht beliebig verschiebbar und drehbar sein können, wenn nicht in jedem Punkte in allen Richtungen das Krümmungsmass dasselbe wäre“ (RGMW, 314). Ein solcher Raum ist notwendig euklidisch, sphärisch oder pseudosphärisch. Eine ähnliche Bewegung wäre auf einer Oberfläche mit variabler Krümmung (d.h. einer Fläche, deren Krümmung nicht an jeder Stelle denselben Wert hat) unmöglich. Es sind dagegen „um einen Punkt nach allen Richtungen die Massverhältnisse genau dieselben, wie um einen andern, und also von ihm aus dieselben Constructionen ausführbar“, folglich kann „in den Mannigfaltigkeiten mit constantem Krümmungsmass den Figuren jede beliebige Lage gegeben werden“ (RGMW, 314).

Dadurch ist der Ausgangspunkt der Untersuchung Helmholtz’ wiedergewonnen. Seine Perspektive unterscheidet sich aber von der Riemanns dadurch, dass Helmholtz

den Einfluss dieser zuletzt eingeführten Beschränkung, die den wirklichen Raum von anderen mehrfach ausgedehnten Mannigfaltigkeiten unterscheidet, auf der Begründung des den der ganzen Untersuchung bildenden Satzes, wonach das Quadrat des Linienelementes eine homogene Funktion zweiten Grades von der Differentialen der Koordinaten ist, näher untersucht habe (HGS, I.2.2, 620f.).

Riemanns Ausgangsvoraussetzung, d.h. die Geltung des (verallgemeinerten) „Pythagoreischen Lehrsatzes“, kann nach Helmholtz als Konsequenz der Forderung „einer unbedingt freien Beweglichkeit in sich fester Figuren ohne Formveränderung in allen Theilen des Raumes“ (HGS, I.2.2, 621) gesehen werden. Wo Riemann von einer *Hypothese* ausgeht, „indem er das Längenelement der Linie gleich setzt der Quadratwurzel aus einer homogenen Function zweites Grades von Differentialien der Coordinaten“ und nicht zum Beispiel „eine vierte Wurzel aus einem homogenen Ausdruck viertem Grades oder andere noch complicirtere Ausdrücke“ verwendet (HGS, I.2.2, 620), beginnt Helmholtz mit einer *Tatsache*, nämlich der freien Beweglichkeit fester Körper, und gewinnt damit Riemanns Hypothese:

Während dieser [Riemann] von dem oben erwähnten algebraïschen Ausdrucke, welcher die Entfernung zweier einander unendlich naher Punkte in allgemeinster Form darstellt, als seiner Grundannahme ausgeht, und daraus die Sätze über Beweglichkeit fester Raumgebilde herleitet, bin ich andererseits von der Thatsache der Beobachtung ausgegangen, dass in unserem Raume die Bewegung fester Raumgebilde mit demjenigen Grade von Freiheit möglich ist, den wir kennen, und habe aus dieser Thatsache die Nothwendigkeit jenes algebraïschen Ausdrucks hergeleitet, den Riemann als Axiom hinstellt (Helmholtz 1786, 39).

Die Perspektiven Helmholtz' und Riemanns sind aber nicht nur in Bezug auf die formale Struktur des Argumentationsgangs verschieden; die unterschiedliche Problemstellung hat vielmehr inhaltliche Konsequenzen. Helmholtz setzt nämlich voraus, dass der Raum, als „Gebiet messbarer Grössen betrachtet", keineswegs dem allgemeinsten Begriff einer Mannigfaltigkeit von *n* Dimensionen entspricht, sondern noch besondere Bestimmungen erhält, welche durch die vollkommen freie Beweglichkeit der festen Körper mit unveränderter Form nach allen Orten hin und bei allen möglichen Richtungsänderungen bedingt sind. Die ganze Menge von Geometrien, die der Riemann'sche algebraische Ausdruck, der die Entfernung zweier einander unendlich naher Punkte in allgemeinster Form darstellt, umfasst, werden also von Helmholtz' Standpunkt aus von vornherein ausgeschlossen. So führt Riemann aus:

> Setzt man voraus, dass die Körper unabhängig vom Ort existiren, so ist das Krümmungsmass überall constant […] Wenn aber eine solche Unabhängigkeit der Körper vom Ort nicht stattfindet, so kann […] dann in jedem Punkte das Krümmungsmass in drei Richtungen einen beliebigen Werth haben (RGMW, 317).

Wenn man also wieder den Kongruenzbegriff als Mittel des Vergleichs verwendet, kann man Folgendes festhalten: Riemann behauptet, dass „die Möglichkeit der Congruenz zwischen verschiedenen Theilen des Raumes […] nur auf unendlich kleine Raumelemente angewendet" werden könne, da bei beliebig krummen Flächen, nur „unendlich kleine Elemente im allgemeinen einander, von der Begrenzung abgesehen, congruent sind". Dagegen fordert Helmholtz „die Congruenz endlicher Theile des Raumes unabhängig von der Begrenzung" (HGS, I.2.2, 637), und damit die Konstanz der Krümmung; die Teile einer Kugelfläche sind zwar kongruent, nicht aber jene der Oberfläche eines Eis.

Der neue Gedanke Riemanns, der seine Thesen von denen Helmholtz' unterscheidet, ist aber nicht einfach die Existenz von Räumen mit variabler Krümmung, die eigentlich schon von Gauß' Flächentheorie vorausgesetzt wird. Die neue Leistung von Riemann besteht vielmehr darin, dass der Grund der Maßverhältnisse nicht schon „innerhalb" der Raumstruktur enthalten ist, sondern dass er vielmehr „außerhalb" in „darauf wirkende[n] bindende[n] Kräfte[n] gesucht werden" muss (RGMW, 318)[35]. Der Raum ist nicht mehr notwendigerweise der indifferente Hintergrund, auf dem sich die Weltereignisse abspielen; er wird vielmehr vom erfüllenden materiellen Gehalt gestaltet und steht mit ihm in konstanter Wechselwirkung.[36] Hier scheint die Unterscheidung zwischen Form und Materie zu fallen; erst damit und nicht einfach durch die Existenz von nichteuklidischer Geometrie wird gegen die kantische Auffassung ein radikaler Einwand erhoben.

5. Hermann Weyls Auffassung des Kant-Helmholtz-Riemann'schen Verhältnisses

Man kann versuchen, alle Elemente der bisherigen historischen Untersuchung in ihren systematischen Verhältnissen darzustellen, indem man, wenn auch nur kurz, die maßgebende Position Hermann Weyls in Betracht zieht. Denn Weyl hat sehr klar ausgesprochen, was die Auseinandersetzung Helmholtz' mit Kant geleistet hat. Dass der Raum „Form der Anschauung" sei, bedeutet nach Weyl, dass im Raum Dinge verschieden sein können, die ihrer inneren Eigenschaften nach gleich sind: „In der Wirklichkeit unterscheiden wir mit Kant", schreibt er, „den qualitativen Inhalt von seiner Form, der räumlich-zeitlichen Ausbreitung, welche erst die Existenz eines Verschiedenerlei von Qualitativem ermöglicht. Ein Körper kann, ohne seine inhaltliche Beschaffenheit zu ändern, statt *hier* auch in einem beliebigen andern Ort im Raum sich befinden" (WGA, II, 212; 328). Jedes Raumgebilde kann ohne Änderung seiner Winkel, Längen, Flächen, Volumina wie ein starrer Körper beliebig verschoben und gedreht werden. Das, was sich an einem Ort im Raum als kongruent erwiesen hat, muss an jedem beliebigen Ort kongruent sein: „Dieser Raum ist Form der Außenwelt: das will sagen: jedes körperliche Ding kann, ohne irgendwie inhaltlich ein anderes zu sein als es ist, ebensogut an jeder anderen Raumstelle sein als gerade an dieser. Damit ist zugleich die Homogenität des Raumes gegeben, hier liegt die eigentliche Wurzel des Kongruenzbegriffs." (Weyl, 1919, 5).

Wenn „der Raum" als „Form der Erscheinung und, sofern er das ist, notwendig homogen" (Weyl, 1919, 86) ist, bedeutet es aber, dass „jeder individuelle [Raum]Punkt [...] nur durch individuelle Ausweisung gegeben werden [kann]. Es gibt keine gründende Eigenschaft, welche einem [Raum]Punkt zukäme, einem anderen aber nicht" (Weyl, 1919, 5). Die

Teile des Raumes sind also einander gleichwertig und können nur durch ihre wechselseitige Position unterschieden werden. Die Grundbedeutung der kantischen Auffassung des Raumes wird also von Weyl am klarsten zusammengefasst:

Da das bloße Hier nichts für sich ist, das ich von irgendeinem anderen Hier unterscheide, ist der Raum *principium individuationis*; er ermöglicht die Existenz numerisch verschiedener Dinge, die ihrem Wesen, und ihrer Beschaffenheit nach einander gleich sind. Darum wird von Kant der Materie der Erscheinungen, dem ‚was der Empfindung korrespondiert', die Form der Erscheinung gegenüberstellt; und eben hier liegt die Wurzel des Kongruenz-Begriffs (Weyl, 1990, 168).

Wir haben versucht nachzuweisen, dass eine solche aus systematischen Voraussetzungen abgeleitete „Kantinterpretation" tatsächlich eine Bestätigung in den Texten Kants finden kann. Wir haben aber auch gezeigt, dass es möglich ist, die Kongruenz zur Grundrelation der Geometrie zu erheben und sodann die Geometrie aus diesem einen Begriff heraus zu entwickeln: „Erst Helmholtz", um nochmals die Worte Weyls zu benutzen, hat „mit überraschendem Erfolg dieses Programm in seiner Schrift ‚Über die Tatsachen, die der Geometrie zugrunde liegen' durchgeführt." (Weyl, 1990, 108). Nach Weyl charakterisiert Helmholtz damit „die Raumstruktur allein und vollständig durch ihre Homogenität"; er „fordert, kurz gesagt, vom Raum die volle Homogenität des euklidischen; er verlangt dass *ein starrer Körper in ihm diejenige freie Beweglichkeit besitzt, welche ihm im euklidischen Raume zukommt*" (Weyl, 1977, 30; vgl. WGA, II, 221). Der Raum als homogene „Form" der Erscheinungen muss nämlich „Bewegungen" in sich gestatten, bei denen nicht nur alle Punkte gleichberechtigt sind, sondern alle Linien- und alle Flächenrichtungen ebenso.

Man hat aber damit zur selben Zeit nachgewiesen, dass nicht nur die euklidische Geometrie die „Helmholtzsche Homogenitätsforderung" (Weyl, 1977, 30) erfüllt, sondern alle Geometrien konstanter Krümmung, „die euklidische, die sphärische und die bolyai-lobatschefskysche" (Weyl, 1905, 98): „Helmholtz zeigt, dass die beiden Teile der Kantischen Lehre vom Raum: 1. der Raum ist reine Form der Anschauung, 2. die Wissenschaft vom Raum, die euklidische Geometrie gilt *a priori*, nicht so eng miteinander verbunden sind, dass 2. aus 1. folgt." (Weyl, 1990, 170). Die Helmholtz'sche Auffassung des Raumes als Gebiet messbarer Größen, indem sie nicht vom Parallelaxiom, sondern vom Kongruenzbegriff ausgeht, erleichtert das Verständnis der Verhältnisse zwischen *a priori* und *a posteriori*. Die Leistung von Helmholtz' Begründung der Geometrie kann nämlich so ausgedrückt werden: „In den Beziehungen der Kongruenz gibt sich eine gewisse Struktur des Raumes kund, die metrische Struktur, welche [...] dem Raum selber ein für allemal fest zukommt, unabhängig davon, was für einzelne materielle Geschehene in ihm sich abspielen." (WGA, II, 212). Die „Homogenität des metrischen Feldes" ist also „der Kern der Helmholtzschen Axiomatik" (WGA, II, 224); das bedeutet, dass für Helmholtz „die metrische Struktur des Raumes etwas *a priori* fest gegebenes ist" (WGA, II, 223). Nicht die „Apriorität" der euklidischen Geometrie, sondern die „Apriorität" der Homogenität der Metrik macht demzufolge den Raum zu einer „Form der Anschauung": „Der Raum besitzt gemäß der Geometrie eine besondere innere Struktur [i. e. die metrische Struktur] unabhängig von dem materiellen Gehalt, der ihn erfüllt; darum können wir an einem Körper die räumliche Konfiguration (Gestalt, Größe) unterscheiden von seiner materiellen Beschaffenheit." (WGA, II, 130).

Riemann, wie wir kurz gesehen haben, „deutete schon eine andere Möglichkeit an" (WGA, II, 223): „An die Stelle der von Helmholtz geforderten Homogenität des metrischen Feldes ist die Möglichkeit getreten [...] *das metrische Feld beliebigen virtuellen Veränderungen zu unterwerfen*." (Weyl, 1977, 46). Vom Riemann'schen Standpunkt aus ist „*die metrische Struktur nicht apriori fest gegeben* [...], *sondern ein Zustandsfeld von physikalischer Realität, das in kausaler Abhängigkeit steht vom Zustand der Materie*." (Weyl, 1977, 44). Unter diesen Umständen ist natürlich das „metrische Feld" inhomogen, wie es auch die Raumerfüllung ist. Verlangt man dagegen „die metrische Homogenität des Raumes – und der Raum als Form der Erscheinungen ist notwendig homogen –, so fällt man von dem von dem Riemannschen sofort auf den klassischen Raumbegriff zurück, zu dem die Helmholtzschen Postulate über die Bewegungsgruppe führen." (Weyl, 1990, 116).

Man muss also behaupten „daß von diesem neuen Standpunkt aus sich das Raumproblem ganz anders formulieren muß; ruht doch seine Lösung durch Helmholtz gerade auf dem Gundprinzip der alten Theorie, der metrischen Homogenität" (Weyl, 1977, 45). Durch Riemann wird die Metrik, deren Konstanz gemäß dem Kant-Helmholtz'schen Standpunkt *a priori* ist, *a posteriori* gegeben. Riemann nahm an, „dass das metrische Feld nicht ein für allemal starr gegeben ist", sondern „in kausaler Abhängigkeit von der Materie steht und mit ihr sich verändert"; es gehört für ihn nicht zur „ruhenden homogenen Form der Erscheinung, sondern zum wechselvollen materiellen Geschehen" (Weyl, 1977, 45).[37]

Weyl betont aber, dass damit nicht schlechthin geleugnet wird, „dass Etwas an dem extensiven Medium der Aussenwelt in diesem Sinne *a priori* ist [...] nur die Grenze von *a priori* und *a posteriori* wird an eine andere Stelle verschoben" (Helmholtz, 1999, 172).[38] Ist für eine Riemann'sche Mannigfaltigkeit auch die gegenseitige *Orientierung der Metriken* völlig willkürlich (Weyl, 1905, 122; 1977, 45; 1990, 172), so ist aber doch die *Natur der Metrik* etwas ganz Bestimmtes, da es eine mathematische Tatsache ist, dass für alle infinitesimalen Linienelemente der pythagoreische Lehrsatz gilt, d.h. dass die Mannigfaltigkeit in dem kleinsten Teil eben sein muss; so „darf man nach wie vor erwarten, dass die *Natur* der Metrik an jeder Stelle die gleiche ist, so dass eine Beschreibung derselben, die auf einen Punkt passt, ebenso gut auf jeden anderen passt" (WGA, II, 223).[39] Die unveränderliche „Pythagoreische Natur" (vgl. WGA II, 263–296) der Metrik spricht also das apriorische Wesen des Raumes aus. Wenn auch die Metrik des Raumes völlig willkürlich von der Materieverteilung bestimmt wird, bleibt die Forderung der „Ebenheit in den kleinsten Teilen" ein für allemal definiert.[40]

Es ist selbstverständlich schwierig zu beantworten, ob Weyls Auffassung des *a priori*s als eine Vertiefung der kantischen Konzeption oder vielmehr als eine von Edmund Husserl geprägte Perspektive angesehen werden muss, die mit der rigiden Struktur des kantischen Idealismus nicht übereinstimmen kann (vgl. WGA, IV, 637–642). Von dem hier entwickelten Standpunkt aus ist vor allem wichtig, dass Weyl deutlich zeigte, wie Kant und Helmholtz vom „Kongruenzbegriff" ausgehen. Hier besitzt man also jenes *tertium comparationis*, das uns erlaubt, die kantische Raumlehre mit der späteren Entwicklung der Geometrie zu vergleichen und damit über den geeigneten Maßstab zu verfügen, um die Verhältnisse zwischen *a priori* und *a posteriori* zu bestimmen. Die Apriorität des Raumes scheint nämlich nur in der Forderung zu bestehen, dass der Raum als die Gesamtheit der Lagerungsmöglichkeiten von Körpern stets als Ganzes vorhanden sein muss, wenn die Erkenntnis über eine bloße Beschreibung des Realen hinausgehen will. In diesem Vorrang des *Möglichen* über das *Wirkliche* besteht nämlich für Weyl die Überlegenheit der mathematischen Naturwissenschaft über die bloße deskriptive Beobachtung. Es geht letztlich nicht um eine Klassifizierung von real existierenden Beispielen, sondern um die Erzeugung eines Feldes von Möglichkeiten, unter denen das Wirkliche nur als Spezialfall enthalten ist. „Hier wird das Seiende projiziert auf den Hintergrund des Möglichen“ (Weyl, 1990, S. 55), die „Erfahrung“ wird auf die „Möglichkeit der Erfahrung“ zurückgeführt.

Anmerkungen

1 Vgl. Torretti, 1978, 138f. und Coffa, 1991, 135f.
2 Über die Auseinandersetzung Helmholtz’ mit Kant vgl. Hörz, 1997, 254–262 und Fullwinder, 1990. Vgl. auch Heidelberger, 1994. In Bezug auf die Geometrie: Wahsner, 1994; Bienvenu, 2002; Disalle, 2006.
3 Vgl. dazu z.B. Vuillemin, 1967, 338; 346.
4 Über die Verbindung zwischen „reiner Anschauung“ und „Form der Anschauung“ vgl. z.B. Akademie-Ausgabe IV, 28f. und XX, 266.
5 Die Unterscheidung zwischen „Begriff“ und „Anschauung“ wurde besonders in der anglo-amerikanischen Debatte diskutiert. Vgl. dazu vor allem Hintikka, 1969; Parsons, 1983, 112; Howell, 1973. Die Grundpositionen in dieser Debatte sind in Smit, 2000, 237f. gut zusammengefasst.
6 „Die innern Bestimmungen eines Dinges sind Qualitas und Quantitas“ (Akademie-Ausgabe XVIII, 569). Vgl. auch die Definition Christian Wolffs: „Omnis determinatio intrinseca vel in quantitatum vel in quantitatum numero est“ (Wolff, 1730, § 454).
7 „Aehnlichkeit ist Uebereinstimmung der Qualitaet, Gleichheit die Identitaet der Quantitaet, haben Dinge beydes zusammen, sind congruentia“ (Akademie-Ausgabe XXVIII, 414). Der Kongruenzbegriff wurde schon von Euklid mit dem Hendiadyoin “aequalia et similia” ausgedrückt (vgl. z.B. Elementa, Liber XI, Def. 10). Dieselben Definitionen finden sich bei Leibniz: „Aequalia sunt ejusdem quantitatis […] Similia sunt ejusdem qualitatis“ (GP, VII, 19); „Omnia similia et aequalia sunt congrua“ (G.W. Leibniz, Sämtliche Schriften und Briefe [Akademie-Ausgabe], Bd. VI.4a, S. 1987), Der Satz der Identität des Ununterscheidbaren besagt bekanntlich, dass die in der Geometrie geltende Kongruenzbeziehung in der Wirklichkeit versagt. In der abstrakten Welt der Geometrie gilt: „Congrua itaque sunt, quorum qualitas et quantitas eadem est, et quae tamen positione discernuntur“ (LA VI.4a, 565); in der konkreten Realität aber sind zwei nur durch die Lage zu unterscheidende Figuren unmöglich: „Hinc fieri nequit in natura ut duo corpora sint perfecte simul aequalia et similia. Etiam quae loco differunt“ (GP II, 250). Die Quelle für Kant scheint die deutsche Schulmetaphysik des 17. Jahrhunderts zu sein. So Baumgarten: „Qua qualitatem eadem sunt SIMILIA, qua quantitatem, AEQUALIA, qua utramque, CONGRUENTIA“ (Baumgarten 1963, §70). Ähnlich schreibt Christian Wolff: „Consistit adeo congruentia in identitate & quantitatum & qualitatum“ (Wolff, 1730, § 465); „Quoniam in rebus non distinguimus nisi quantitates und qualitates, in congruentibus autem & quantitates, & qualitates eadem sunt“ (A.a.O., § 467).

8 „Die Verschiedenheit der [Dinge] Örter macht keine Verschiedenheit der Dinge selbst aus, sondern setzt sie voraus (XVII, 407, R. 4081); „Die Verschiedenheit der Örter beweiset die Verschiedenheit der Dinge." (XVII, 642 R. 4673)

9 Das Beispiel wurde zuerst in der vorkritischen Schrift *Von dem ersten Grunde des Unterschiedes der Gegenden im Raume* (1768) formuliert, um die Realität des absoluten Raumes nachzuweisen. Später, in der *Dissertatio de mundis sesibilis atque inteligibilis forma et principiis* (1770; vgl. Akademie-Ausgabe II, 403), in den *Prolegomena* (1783; vgl. Akademie-Ausgabe, IV 286) und in *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft* (1786, Akademie-Ausgabe IV, 484f.) wurde es nochmals formuliert, um die „anschauliche" Natur des Raumes festzustellen. An dieser Stelle soll es jedoch nicht um die Details des berühmten kantischen Arguments gehen; vgl. dazu vor allem (Van Cleve & Frederick, 1991). Nützlich sind außerdem der Anhang *Das Paradoxon symmetrischer Gegenstände* (In: Vaihinger, 1970, 518–532), und der Aufsatz Scaravelli, 1952.

10 Die Formulierung dieses Kriteriums ist bekanntlich auf Leibniz zurückzuführen: „Eadem sunt quorum unum potest substitui alteri salva veritate" (GP VII, 228). Mit „Eadem" meint Leibniz aber nicht eine vollkommene Übereinstimmung, sondern eine bloße Gleichwertigkeit in dieser oder jener Hinsicht. Vgl. vor allem Frege, 1977, S. 78f.; Angelelli, 1967.

11 Wolff, 1730, § 181.

12 A.a.O. § 467.

13 Adrien-Marie Legendre, der Euklid des 19. Jahrhunderts, unterscheidet in seiner *Eléments de géométrie* die „Gleichheit durch Symmetrie" von der „Gleichheit durch Deckung" gerade dadurch, dass zwei spiegelsymmetrische körperliche Figuren nicht superponiert werden können (Legendre, 1833, 114); vgl. dazu Hon & Goldstein, 2005. Später hat Ferdinand Möbius die Paradoxie dadurch erklärt, dass es keine vierte Dimension gibt, in der eine körperliche Figur gedreht werden kann (Möbius, 1885–1887, 171).

14 „wenn man bloß *auf eine* derselben allein sieht" (Akademie-Ausgabe II, 382; meine Hervorhebung)

15 „Nun sind hier keine *innre* Unterschiede, die irgend ein Verstand nur denken könnte; und dennoch sind die Unterschiede *innerlich*, so weit die Sinne lehren, denn die linke Hand kann mit der rechten unerachtet aller beiderseitigen Gleichheit und Ähnlichkeit doch nicht zwischen denselben Grenzen eingeschlossen sein (sie können nicht congruiren); der Handschuh der einen Hand kann nicht auf der anderen gebraucht werden." (Akademie-Ausgabe IV, 286; meine Hervorhebungen). An anderer Stelle benutzt aber Kant „inner" und „innerlich" gerade mit der umgekehrten Bedeutung: „und hier ist denn doch eine *innere* Verschiedenheit beider Triangel, die kein Verstand als *innerlich* angeben kann, und die sich nur durch das äußere Verhältniß im Raume offenbart." (Ebenda; meine Hervorhebung). Vgl. dazu Deleuze, 1968, 40.

16 Dieses Problem erläutert Carl Friedrich Gauß am deutlichsten: „Der Unterschied zwischen Rechts und Links läßt sich aber nicht *definieren*, sondern nur *vorzeigen*, so daß es damit eine ähnliche Bewandtnis hat, wie

mit Süß und Bitter.“ Zwei Individuen „können sich über Rechts und Links nicht anders unmittelbar verständigen, als indem ein und dasselbe materielle *individuelle* Ding eine Brücke zwischen ihnen schlägt“ (Gauß, 1973, VIII, 247; meine Hervorhebung). An anderer Stelle schreibt Gauß: „Dieser Unterschied zwischen rechts und links ist […] in sich völlig bestimmt, wenn wir gleich unsere *Anschauung* dieses Unterschiedes ändern nur durch Nachweisung an wirklich vorhandenen materiellen Dingen mittheilen können.“ (Ebenda; meine Hervorhebung). Diese Bemerkungen sind interessanterweise von Gauß als Polemik gegen Kant formuliert (vgl. a.a.O., Bd. II, S. 177). Wichtig in vorliegendem Zusammenhang ist aber, dass Gauß ausdrücklich erkennt, dass der Unterschied zwischen rechts und links nicht auf Begriffe zurückgeführt werden kann: „Diesen Unterschied […] kann man aber nicht auf *Begriffe* bringen, sondern nur aus dem Anhalten an *wirklich vorhandene räumliche* Dinge vorzeigen.“ (a.a.O., VII, 248; meine Hervorhebung). Vgl. dazu Timerding, 1923.

17 Vgl. die Schrift: *Versuch den Begriff der negativen Größen in die Weltweisheit einzuführen* (1763; Ak. II, 65–204).

18 „Quae iaceant in spatio dato unam plagam versus, quae in oppositam vergant, discursive describi s. ad notas intellectuales revocari nulla mentis acie possunt.“ (Akademie-Ausgabe II, 403).

19 „Die innern Merkmale eines Dinges heißen die, welche seine Qualität und Quantität betreffen, die äußeren die, welche seine Stelle im Raum und Zeit bezeichnen“; „Also können Dinge, die an sich betrachtet vollkommen einerley sind, bloss in Ansehung ihrer Stelle im Raum und in der Zeit verschieden sein“ (Schultz, 1790, 29). Vgl. dagegen Salomon Maimon, der dagegen die Position der „Leibnitianer“ verteidigte: „Ich würde aber hierauf statt Leibnitz erwiedern, daß […] die Verschiedenheit der äußeren Verhältnisse in Zeit und Raum in der Verschiedenheit der innern Beschaffenheit gegründet seyn muß. Diesem zufolge kann es in der That keine zwei ähnliche und gleiche Dinge geben, die in verschiedenen Orten seyn sollten. Zwei Tropfen Wasser würden nicht in zwei Orten erscheinen wenn sie nicht ihrer innern Beschaffenheit nach verschieden wären, und es ist de Unvollständigkeit unserer Begriffe von denselben beizumessen, wenn wir diese Verschiedenheit nicht einsehen können. Diesem zufolge ist Leibnitzens Satz allgemein (selbst von Erscheinungen) wahr.“ (Maimon, 1794, 193).

20 Euler, 1750, 330.

21 Vgl. auch Leibniz’ Definition: „Car tous les points du monde ont de la congruité entre eux, c’est à dire l’un se peut tousjours mettre à la place de l’autre. Or tous les points du monde sont dans un même espace“ (GM II, 23; Leibniz an Huygens 8. September 1879) vgl. auch GM V, 144.

22 „Man kann kein einziges Buch aufzeigen, so wie man etwa einen Euklid vorzeigt, und sagen: das ist Metaphysik, hier findet ihr den vornehmsten Zweck dieser Wissenschaft, das Erkenntniß eines höchsten Wesens und einer künftigen Welt, bewiesen aus Principien der reinen Vernunft.“ (Akademie-Ausgabe IV, 271). Die euklidische Geometrie ist also ein „Faktum“, wie die newtonsche Wissenschaft: „da sie *wirklich* gegeben sind, läßt sich nun wohl geziemend fragen: wie sie *möglich* sind“ (B20; meine Hervor-

hebung) Von diesem Standpunkt aus scheint es wenigstens unpräzis zu behaupten, dass für Kant die euklidische Geometrie *a priori* sei. Dass die euklidische Geometrie nicht aus der Erfahrung stammt, sondern ein vollkommen rationales Gebäude ist, scheint schwierig zu widerlegen. Man darf aber nicht vergessen, „daß nicht eine jede Erkenntniß *a priori* [...] transscendental (d.i. die Möglichkeit der Erkenntniß oder der Gebrauch derselben *a priori*) heißen müsse" (B80). Die euklidische Geometrie ist nicht *a priori* im transzendentalen Sinn, als ob ohne die euklidische Geometrie unsere Erkenntnis unmöglich wäre. Kant scheint vielmehr zu behaupten, dass wenn die euklidische als wissenschaftliche Form der Geometrie gegeben ist, die transzendentale Frage darin besteht, wie der Raum sein muss, um sie zu ermöglichen. „Geometrie ist eine Wissenschaft, welche die Eigenschaften des Raums synthetisch und doch *a priori* bestimmt. Was muß die Vorstellung des Raumes denn sein, damit eine solche Erkenntniß von ihm möglich sei?" (B40). Die Antwort lautet, wie man weiß: der Raum muss eine „reine Anschauung" und kein „allgemeiner Begriff" sein.

23 Es ist ein Verdienst Jakko Hintikkas, gezeigt zu haben, dass sich Kant bei der Bestimmung der mathematischen Erkenntnis als „Konstruktion der Begriffe" am geometrischen Beweisverfahren Euklids orientiert (vgl. Hintikka 1969; dazu vgl. auch Brittan, 1987, 51. Vgl. aber schon Beth, 1956). Wenn Kant behauptet, dass die Geometrie nicht „aus Begriffen", sondern „aus der Construction der Begriffe" (B741) entsteht, scheint er einfach auf das Konstruktionsverfahren von Euklid zu verweisen: „The formation of generic concepts", liest man in einer modernen Darstellung, „consists, then, in selecting from the plurality of objects only similar properties, while neglecting the rest [...] By contrast, Euclid's proofs focuses exactly on the features that the formation of generic concepts excludes. In Euclid's proofs, geometrical Figures are considered in their particularity [...] Therefore, a geometrical figure is not viewed from the perspective of its essential attributes, but from the perspective of the relations that it attains by being part of a certain spatial configuration" (vgl. Harari, 2003, 14). Man kann also vermuten, dass Kant dieses Verfahren im Kopf hatte, als er behauptete, dass die euklidische Geometrie nicht analytisch, sondern synthetisch ist. Das ist nämlich, für die heutige wissenschaftshistorische Forschung, die Bedeutung der Konstruktionen bei Euklid: The „employment of constructions serves as a means of developing content; that is to say, it enables one to go beyond the content, which is given in the setting out stage, by placing the elementary geometrical figures (i.e., lines) in different spatial relations" (A.a.O. 21). Kant betont damit die Grenzen der aristotelischen Logik, ihre Unfähigkeit das Verfahren der euklidischen Geometrie zu rechtfertigen. Die traditionelle Logik befasst sich nämlich nur mit einstelligen Prädikaten. In der Geometrie aber haben wir es mit Beziehungen zwischen vielen Elementen zu tun. Insbesondere können wir die Kongruenz zwischen zwei Strecken als zweistellige Relation betrachten. Sie kann daher nicht mit der logischen Identität der aristotelischen Logik verwechselt werden (vgl. dazu Meerbote, 1981, 203).

24 Friedman spricht von einer „infinity iterability of our process of construc-

tion“, durch welche „we are allowed to iterate operations […] any number of times“ (Friedman, 1992, S. 61). Vgl. auch Friedman, 2002, S. 210; Friedman, 1999, 83.

25 Der Vergleich zwischen Kant und Helmholtz wurde schon von Friedman vorgeschlagen: „This structure then grounds the formal procedure of geometrical basic operations of drawing straight lines and describing circles (in modern terms, as orbits of the group of motions). From this point of view, therefore, Kant's own conception of spatial intuition is not so far from that developed in the nineteenth century by Hermann von Helmholtz.“ (Friedman, 2002, 200). Vgl. dazu auch Boi, 1996.

26 In Wirklichkeit wird die Bewegung bei Euklid ausgeschlossen. Im 4. Postulat, „Alle rechten Winkel sind einander gleich“ benutzt er die Kongruenz von rechten Winkeln und nicht von Strecken. Damit kann er die Homogenität des Raumes voraussetzen, ohne den Bewegungsbegriff zu verwenden, der nach platonischer Auffassung dem Bereich der Materie angehört und in der idealen Geometrie unzulässig ist. Setzt man den Begriff der Bewegung von Figuren voraus, wird aber das 4. Postulat zu einem ableitbaren Satz (Vgl. Mainzer, 1980, 44; Gray, 1979, 29). Euklid verwendet aber nicht völlig konsequent die Definition der Kongruenz als Deckungsmöglichkeit, die mathematisch nur gerechtfertigt ist, wenn die Existenz von Bewegungen vorausgesetzt wird, welche geometrische Figuren in andere überführen, ohne ihre Form und Größe zu verändern (Mainzer, 1980, 29).

27 Vgl. im Gegensatz dazu Dingler, 1935 und Dingler, 1934.

28 A.a.O. 21; gemeint ist Gauß, 1827.

29 Für dieses Beispiel vgl. Grünbaum, 1973, 18.

30 Für den Mangel des Helmholtz'schen Beweises vgl. Scholz, 1979, 119.

31 Vgl. dazu Scholz, 1979, 115.

32 Vgl. a.a.O., 1979, 115–117.

33 Diese heute üblich gewordene, aber von Riemann in seiner Habilitationsschrift nicht verwendeten mathematische Formulierung wurde in der folgenden Abhandlung Riemanns entwickelt: Commentatio mathematica, qua respondere tentatur quaestioni ab Illma Academia Parisiensi propositae: „Trouver quel doit être l'état calorifique d'un corps solide homogène indéfini pour qu'un système de courbes isothermes, à un instant donné, restent isothermes après un temps quelconque, de telle sorte que la température d'un point puisse s'exprimer en fonction du temps et de deux autres variables indépendantes“ (RGMW, 391–404). Vgl. dazu: Struik, 1933, 175 f.

34 Vgl. z.B. E. Scholz, 1979, 38 f.; Reich, 1994, 26ff.; Laugwitz, 1996, 234.

35 Vgl. auch Grünbaum, 1981, 9 f.

36 Vgl. auch Clifford, 1886, insbesondere Kap. 4 (On the Bending of Space).

37 Es ist fast überflüssig zu erwähnen, dass diese These den Grundgedanken der Einstein'schen Gravitationstheorie, d.h. der allgemeinen Relativitätstheorie darstellt. So z.B. Max von Laue: „Riemann [tat] 1864 den später für die allgemeine Relativitätstheorie grundlegend wichtig gewordenen Schritt eine homogene quadratische Funktion der dx_n mit beliebigen Funktionen x_n der als Koeffizienten“ $ds^2 = \sum_{ik} g_{ik} dx_i dx_k$ „als Quadrat des Linienelementes anzusetzen.“ (Laue, 1965, II, 29). Mit Einsteins eigenen Worten kann man

sagen, „daß die Größen g_{ik} vom physikalischen Standpunkte aus als diejenigen Größen anzusehen sind, welche das Gravitationsfeld in bezug auf das gewählte Bezugssystem beschreiben." Die Gravitation spielt also gemäß der allgemeinen Relativitätstheorie „eine Ausnahmerolle gegenüber den übrigen, insbesondere den elektromagnetischen Kräften, indem die das Gravitationsfeld darstellenden 10 Funktionen zugleich die metrischen Eigenschaften des vierdimensionalen Meßraumes bestimmen." (Einstein, 1916, 779). Weyls Versuch, diese Ausnahmerolle der Gravitation zu beheben, durch die Entfernung des letzten Restes, der bei Riemann noch vorhandenen „Ferngeometrie", kann hier nicht weiter diskutiert werden (Vgl. dazu vor allem Hermann Weyl, *Reine Infinitesimalgeometrie*, in WGA, II, 1–27). Eine reine Infinitesimalgeometrie hätte die Möglichkeit des „Fernvergleichs" vollkommen fallen lassen sollen (nur Strecken, die sich an der gleichen Stelle befinden, lassen sich aneinander messen). Es wäre damit möglich gewesen, nicht nur das Gravitationsfeld, sondern auch das elektromagnetische Feld zu geometrisieren: „Nach dieser Theorie ist alles Wirkliche, das in der Welt vorhanden ist, Manifestation der Weltmetrik; die physikalischen Begriffe sind keine andern als die geometrischen." (WGA, II, 2).

38 Ebenda. Vgl. dazu auch Petitot, 1992.

39 Vgl. Ryckman, 2005, 159f.

40 Vgl. dazu Scheibe, 1988, 78, und Scheibe, 2006, 202ff. Für eine Kritik an Weyl vgl. Coffa, 1979.

Abkürzungen

Ak.: Immanuel Kant. Kants gesammelte Schriften (Akademie Ausgabe), wie üblich wird mit B die zweite Auflage der *Kritik der reinen Vernunft* bezeichnet.

HGS: Hermann von Helmholtz. Gesammelte Schriften. Hrsg. von Fabian Bernhard. 7 Bd. Hildesheim: Olms, 2003.

WGA: Hermann Weyl. Gesammelte Abhandlungen. Hrsg. von Chandrasekharan, Hrsg., 4 Bd., Berlin: Springer, 1968.

RGMW: Bernhard Riemann. Gesammelte mathematische Werke, Wissenschaftlicher Nachlass und Nachtragen. Nach der Ausgabe von Heinrich Weber und Richard Dedekind; neu herausgegeben von Raghavan Narasimhan. Berlin: Springer; Leipzig: Teubner, 1990.

LA: Gottfried Wilhelm Leibniz. Sämtliche Schriften und Briefe (Akademie-Ausgabe).

GP: Gottfried Wilhelm Leibniz. Die philosophischen Schriften. Hrsg. von Carl Immanuel Gerhardt, 7 Bd., Berlin 1875–90 (Hildesheim 1996).

Literatur

Angelelli, Ignacio, 1967: „On Identity and Interchangeability in Leibnitz and Frege". In: *Notre Dame Journal of Formal Logic* 8 (1–2), S. 94–100.

Beth, Evert Willem, 1956–7: „Über Lockes ‚allgemeines Dreieck'". In: *Kant-Studien* 48, S. 361.

Bienvenu, Alexis, 2002: „Helmholtz, Critique de la géométrie kantienne". In: *Revue de Métaphysique et de Morale* 3, S. 391–410.

Boi, Luciano, 1996: „Les géométries non euclidiennes, le problème philosophique de l'espace et la conception transcendentale. Helmholtz et Kant, les néo-kantiens, Einstein, Poincaré et Mach". In: *Kant-Studien* 87, S. 257–289.

Brittan, Gordon G., Jr., 1987: *Kant's Theory of Science*. Princeton: Princeton University Press.

Clifford, William Kingdom, 1886: *The Common Sense of the Exact Sciences*. London: Kegan Paul, Trench, & Co.

Coffa, Alberto J., 1979: „Elective Affinities: Weyl and Reichenbach". In: Salmon, Wesley C. (Hrsg.): *Hans Reichenbach: Logical Empirist*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer.

–, 1991: *The Semantic Tradition from Kant to Carnap: To the Vienna Station*. Hrsg. von Wessels, L. Cambridge: Cambridge University Press.

Cohen, Hermann, 1885: „Kants Theorie der Erfahrung". In: Holzhey, Helmut (Hrsg.): *Werke*. Hildesheim, New York, Zürich: Olms.

Deleuze, Gilles, 1968: *Différence et répétition*. Paris: P.U.F.

Dingler, Hugo, 1934: „H. Helmholtz und die Grundlagen der Geometrie". In: *Zeitschrift für Physik* 90, S. 348–354.

–, 1935: „Nochmals H. Helmholtz und die Grundlagen der Geometrie". In: *Zeitschrift für Physik* 94, S. 674–676.

Disalle, Robert, 2006: „Kant, Helmholtz, and the Meaning of Empiricism". In: Friedman, Michael; Nordmann, Alfred (Hrsg.): *The Kantian Legacy in Nineteenth-Century Science*. Cambridge (Ma.)/London: The MIT Press.

Einstein, Albert, 1916: „Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie". In: *Annalen der Physik* 49 (7), S. 769–822.

Euler, Leonard (1750), „Reflexions sur l'espace et le tems", *Mémoires de l'Académie de Berlin*, 324–333.

Frege, Gottlob, 1977: *Die Grundlagen der Arithmetik. Eine logisch-*

mathematische Untersuchung über den Begriff der Zahl. Hildesheim: Olms.

Friedman, Michael, 1992: *Kant and the Exact Sciences*. Cambridge, Massachusetts Harvard University Press.

–, 1999: *Reconsidering Logical Positivism*. Cambridge: Cambridge University Press.

–, 2002: „Geometry, Construction, and Intuition in Kant and His Successors". In: Sher, Gila; Tieszen, Richard (Hrsg.): *Between logic and intuition: essays in honor of Charles Parsons*. Cambridge: Cambridge University Press.

Fullwinder, S. P., 1990: Hermann von Helmholtz. The Problem of Kantian Influence. In: *Studies in History and Philosophy of Science* 21 S. 41–55.

Gauß, Carl Friedrich, 1827: *Disquisitiones generales circa superficies curvas*. Gottingae.

–, 1973: *Werke*. Hrsg. von Göttingen, Königl. Ges. d. Wiss. zu 12 Bd. Hildesheim, New York: Olms.

Gray, Jeremy, 1979: *Ideas of space*. Oxford: Clarendon Press.

Grünbaum, Adolf, 1973: *Philosophical Problems of Space and Time*. Dordrecht, Boston, London: Reidel.

Guarducci, Alfredo, 1900: „Della congruenza o del movimento". In: Amaldi, Ugo; Enriques, Federigo (Hrsg.): *Questioni riguardanti la geometria elementare*. Bologna: Zanichelli.

Harari, Orna, 2003: „The Concept of Existence and the Role of Constructions in Euclid's Elements". In: *Archive for History of Exact Sciences* 57 (1), S. 1–23.

Heidelberger, Michael, 1994: „Helmholtz' Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie im Kontext der Philosophie und Naturwissenschaft des 19. Jahrhunderts". In: Krüger, Lorenz (Hrsg.): *Universalgenie Helmholtz. Rückblick nach 100 Jahren*. Berlin: Akademie Verlag, S. 168–185.

Helmholtz, Hermann, 1876: *Populäre Wissenschaftliche Vorträge von H. Helmholtz*. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg.

–, 1903: *Vorträge und Reden*. Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg.

–, 1921: *Schriften zur Erkenntnistheorie*. Hrsg. von Schlick, Moritz; Hertz, Paul. Berlin: Springer.

Hintikka, Jaakko, 1969: „On Kant's Notion of Intuition (Anschauung)". In: Macintosh, T. Penelhum und J. J. (Hrsg.): *Logic, Language-Games* *and Information: Kantian Themes in the Philosophy of Logic*. Belmont, California: Wadsworth, S. 38–53.

Hon, Giora; Goldstein, Bernard R., 2005: „Kant vs. Legendre on Symmetry. Mirror Images in Philosophy and Mathematics". In: *Centaurus* 47 (4), S. 283–297.

Hörz, Herbert 1997: *Brückenschlag zwischen zwei Kulturen. Helmholtz in der Korrespondenz mit Geisteswissenschaftlern und Künstler*. Marburg: Basilisken-Presse.

Howell, Robert, 1973: „Intuition, Synthesis, and Individuation in the Critique of Pure Reason". In: *Noûs* 7 (3), S. 207–232.

Laue, Max von, 1965: *Die Relativitätstheorie 2 Bd*. Braunschweig, Wiesbaden: 1965.

Laugwitz, Detlef, 1996: *Bernhard Riemann 1826–1866, Wendepunkte in der Auffassung der Mathematik*. Berlin: Birkhäuser.

Legendre, Adrien-Marie, 1833: *Éléments de Geometrie*. Bruxelles: Société Belge de Librairie.

Mainzer, Klaus, 1980: *Geschichte der Geometrie*. Mannheim, Wien, Zürich: Bibliographisches Institut.

Meerbote, Ralf, 1981: „Kant on Intuitivity". In: *Synthese* 47 (2), S. 203–228.

Möbius, August Ferdinand, 1885–1887: „Der Barycentrische Calcul. Ein neues Hülfsmittel zur analytischen Behandlung der Geometrie". In: Baltzer, Richard; Klein, Felix; Scheibner, Wilhelm (Hrsg.): *Gesammelte Werke*. Leipzig: Hirzel.

Parsons, Charles, 1983: *Kant's Philosophy of Arithmetic Mathematics in Philosophy: Selected Essays*. London: Cornell University Press.

Petitot, Jean, 1992: „Actuality of Transcendental Aesthetics for Modern Physics". In: Boi, Luciano; Flament, Dominique; Salanskis, Jean-Michel (Hrsg.): *1830–1930: A Century of Geometry. Epistemology, History and Mathematics*. New York, Berlin: 1992, S. 273–304.

Reich, Karin, 1994: *Die Entwicklung des Tensorkalküls: vom absoluten Differentialkalkül zur Relativitätstheorie*. Berlin: Birkhäuser.

Reichenbach, Hans, 1977: „Die Philosophie der Raum-Zeit-Lehre". In: Kamlah, Andreas; Reichenbach, Maria (Hrsg.) *Gesammelte Werke in 9 Bänden*. Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg.

Riehl, Alois, 1904: „Helmholtz in seinem Verhältnis zu Kant". In: *Kant-Studien* 9, S. 261–285.

Ryckman, Thomas, 2005: *The Reign of Relativity. Philosophy in Physics 1915–1925*. Oxford, New York Oxford University Press.

Scheibe, Erhard, 1988: „Hermann Weyl and the Nature of Space-Time". In: Deppert, Wolfgang (Hrsg.): *Exact Sciences and their Philosophical Foundations*. Frankfurt am Main: Lang, S. 61–82.

–, 2006: *Die Philosophie der Physiker*. München: C.H. Beck.

Schlick, Moritz, 1922: „Helmholtz als Erkenntnistheoretiker". In: E. Warburg, M. Rubner, M. Schlick (Hrsg.): *Helmholtz als Physiker, Physiologe und Philosoph. Drei Vorträge*. Karlsruhe: Müllersche Hofbuchhandlung.

Scholz, Erhard, 1979: *Geschichte des Mannigfaltigkeitsbegriffs von Riemann bis Poincaré*. Boston, Basel, Stuttgart: Birkhäuser.

Smit, Houston, 2000: „Kant on Marks and the Immediacy of Intuition". In: *The Philosophical Review* 109 (2), S. 235–266.

Struik, Dirk Jan, 1933: „Outline of a History of Differential Geometry (II)". In: *Isis* 20 (1), S. 161–191.

Timerding, Heinrich Emil, 1923: „Kant und Gauß". In: *Kant-Studien* 28, S. 34–37.

Torretti, Roberto, 1978: *Philosophy of Geometry from Riemann to Poincaré.* Dordrecht, Boston, London: Reidel Verlag.

Vaihinger, Hans, 1970: *Kommentar zu Kants Kritik der reinen Vernunft*. Aalen: Scientia Verlag.

Van Cleve, James; Frederick, Robert E., 1991: *The Philosophy of Right and Left: Incongruent Counterparts and the Nature of Space*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer.

Vuillemin, Jules, 1967: „La théorie kantienne de l'espace à la lumière de la théorie des groupes des transformations". In: *The Monist* 51/3 S. 332–351.

Wahsner, Renate, 1994: „Apriorische Funktion und aposteriorische Herkunft: Hermann von Helmholtz' Untersuchungen zum Erfahrungsstatus der Geometrie". In: Krüger, Lorenz (Hrsg.): *Universalgenie Helmholtz. Rückblick nach 100 Jahren*. Berlin: Akademie Verlag, S. 245–259.

Wolff, Christian, 1962–: „Philosophia prima sive Ontologia (1730)". In: Ecole, Jean (Hrsg.): *Gesammelte Werke*. Hildesheim: Olms.

Martin Gorke

Seltene Erde

Zu den astronomischen Randbedingungen unserer Existenz aus umweltethischer Perspektive

Zusammenfassung

In einer Schrift des Philosophen Hans Jonas wird die Frage aufgeworfen, ob die Kunde von anderem intelligenten Leben im Universum etwas an unserer Verantwortung hier auf Erden ändern würde. Die kosmische Evolution hätte dann ja außer unserem Planeten gewissermaßen noch weitere Eisen im Feuer. Jonas sah sich von dieser Frage in den 1980er Jahren herausgefordert, als viele Astronomen davon überzeugt waren, dass technische Zivilisationen in unserer Galaxis weit verbreitet sind. Inzwischen sehen die meisten Astrobiologen dies differenzierter: Einzelliges Leben wird im Kosmos zwar nach wie vor für häufig gehalten, komplexeres Leben oder gar Intelligenz dagegen für selten.

Der Aufsatz stellt zunächst die empirischen Befunde dar, die für diese zweigeteilte These sprechen. Sie zeigen, dass sich unsere Biosphäre mit ihrer Evolution von Pflanzen und Tieren bis hin zur Ausbildung von Bewusstsein und Intelligenz einer Aneinanderreihung sehr vieler glücklicher Zufälle verdankt. Es ist nicht anzunehmen, dass sich Ähnliches in unserer Galaxis oft ereignet hat. Daraufhin untersuche ich, ob die vermutete Seltenheit der Erde unsere moralische Verpflichtung erhöht, ihre evolutionären Hervorbringungen zu bewahren. Hierzu werden die materiellen und immateriellen Werte erörtert, auf die sich diese Verpflichtung im Rahmen einer anthropozentrischen und einer holistischen Umweltethik bezieht.

In keiner der beiden ethischen Paradigmen erweist sich die Seltenheit der Erde als direkt ethisch relevant. Gleichwohl bringt sie die Kostbarkeit des Planeten zu Bewusstsein. Die Einsicht in die außergewöhnlichen Randbedingungen unserer Existenz könnte so dazu beitragen, mit der Biosphäre und ihren Hervorbringungen sorgsamer umzugehen.

Abstract

In one of Hans Jonas' texts the question arises as to whether discovering extraterrestrial intelligence would alter anything with respect to our responsibility toward Earth. If there were extraterrestrial intelligence, cosmic evolution would have another poker in the fire, so to speak, in addition to our planet. Jonas was challenged by this question in the 1980s, when many astronomers believed that technical civilizations were widespread in our Galaxy. Since then most astrobiologists see things more circumspectly. Unicellular life is still estimated to be frequent in the universe, but more complex or intelligent life forms are thought to be rare.

In this paper I shall first review empirical results that support this twofold thesis. They demonstrate that our biosphere with its evolution of plants and animals, embracing even the emergence of consciousness and intelligence, is due to a sequence of numerous fortunate strokes of luck. One cannot assume that similar things have happened often in our Galaxy. After that I examine the question of whether the supposed rarity of Earth enhances our moral obligation to preserve its evolutionary products. For this purpose I shall discuss the material and immaterial values associated with such an obligation in the context of both an anthropocentric and a holistic ethics of the environment.

In neither of the two ethical paradigms can the rarity of the planet Earth be shown to be of direct moral relevance. Nevertheless, awareness of rarity brings the preciousness of our planet more clearly into view. In turn, greater awareness of the exceptional contingencies of our existence may contribute to dealing more carefully with the biosphere and the things evolution has brought forth.

1. Fragestellung und Thesen

Vermutlich jeder geistig rege Mensch, der in einer sternklaren Nacht einmal das Band der Milchstraße betrachtet hat, wird sich die Frage gestellt haben, ob vielleicht auf einem der Milliarden Himmelskörper dort draußen Leben existiert. Hat die kosmische Evolution auch auf anderen Planeten Intelligenz und Zivilisationen hervorgebracht, oder sind wir allein im Universum? Nach Ansicht der Nationalen Akademie der Wissenschaften in Washington hätte „keine Entdeckung (…) größere Auswirkungen auf unsere Sicht unserer Stellung im Kosmos und wäre inspirierender als die Entdeckung einer fremden Lebensform und sei sie noch so primitiv“.[1] Während die Bedeutung der Frage nach außerirdischem Leben für Biologie und philosophische Anthropologie also kaum überschätzt werden kann, erscheint ihre Relevanz für die *Umweltethik* auf den ersten Blick gering. Zum einen wäre fremdes Leben wegen der riesigen Entfernungen zwischen den Sternen auf absehbare Zeit außerhalb menschlicher Reichweite, sieht man einmal von der Möglichkeit ab, dass in unserem Sonnensystem doch noch Mikroorganismen entdeckt werden. Zum anderen sollte man meinen, dass wir mit den irdischen Problemen, etwa dem Klimawandel und dem Artensterben, derzeit wahrlich genug zu tun haben. Muss es da nicht als „weltfremd“ erscheinen, wenn sich ein Umweltethiker mit der exotischen Frage nach der Wahrscheinlichkeit außerirdischen Lebens beschäftigt?

Entgegen dieser Einschätzung möchte ich im Folgenden zeigen, dass es gerade angesichts der globalen Dimension unserer Umweltprobleme durchaus lohnenswert ist, eine umfassendere Perspektive in die Debatte zu bringen. Führt man sich die astronomischen und geophysikalischen Randbedingungen unserer Existenz hier auf Erden vor Augen, wird man in ihrer extremen Unwahrscheinlichkeit ein zusätzliches Motiv sehen, mit der Biosphäre und ihrer Vielfalt verantwortlich umzugehen.

Dass die Frage nach der Häufigkeit extraterrestrischen Lebens im Weltall umweltethische Relevanz haben könnte, ist keine neue Idee von mir. Der Philosoph Hans Jonas (1988, 69) hat diesen Aspekt in seiner Schrift *Materie, Geist und Schöpfung* schon vor 20 Jahren in die Diskussion gebracht, allerdings mit negativem Ergebnis: „[W]ürde (…) die Kunde von anderem intelligenten Leben im Universum einen *moralischen* Unterschied machen?“ fragte er. „Würde sie etwas an unserer Verantwortung ändern? Können wir uns dann vielleicht dessen getrösten, dass, wenn wir die große Sache hier verspielen, sie anderswo in besseren Händen doch fortgeführt wird? Sie also nicht an uns allein hängt? Wir also doch etwas mehr mit unserem Teil davon wagen dürfen?“ Seine Antwort: „Aber nein! Für das Geschick des Geistes hier, wo wir walten, dem alleinigen Revier unserer Macht, sind wir allein verantwortlich – wie jene hypothetischen Intelligenzen, wenn es sie gibt, in ihrem.“

Um zu verstehen, warum Jonas die Frage glaubte stellen zu müssen, obwohl die Antwort doch so klar auf der Hand liegt, muss man die damalige Einschätzung zum Thema Außerirdische kennen. Nicht nur Science-Fiction-Anhänger, sondern auch viele Astronomen und Wissenschaftspublizisten waren Anfang der 1980er Jahre davon überzeugt, „dass es im Weltall von Lebensansätzen wimmelt“ (von Ditfurth 1982, 280). Der renomierte Astronom Carl Sagan etwa (zit. in Ward/Brownlee 2001, 313) ging von nicht weniger als einer Million Zivilisationen allein in unserer Galaxis aus. Heute scheint die Einschätzung der Wissenschaftler vorsichtiger und differenzierter zu sein. Soweit ich die Debatte in der Astrobiologie überblicke, wird einzelliges Leben im Kosmos inzwischen für weit verbreitet gehalten, komplexeres Leben oder gar Intelligenz hingegen mehr und mehr für sehr selten.

Bevor ich untersuchen kann, welche umweltethischen Schlussfolgerungen sich hieraus ergeben, ist es notwendig, sich zunächst die wissenschaftlichen Befunde vor Augen zu führen, die diese zweigeteilte These stützen.

2. Argumente für die Häufigkeit einzelligen Lebens im Weltall

Wenn es um die Häufigkeit *einzelligen* Lebens im Weltall geht, muss vorausgeschickt werden, dass bis heute nirgendwo außerhalb der Erde eine einzige Mikrobe nachgewiesen wurde. Gleichwohl sind die meisten Astrobiologen optimistisch, im Laufe der nächsten Jahrzehnte in unserem Sonnensystem einzelliges Leben zu finden (Jakosky 2001). Als aussichtsreichste Orte gelten: die Gesteinsschichten des Mars, der eisbedeckte Wasserozean des Jupitermondes Europa und die kürzlich entdeckten Kryovulkane[2] des Saturnmondes Titan.

Wenn dort irgendwann Mikroorganismen gefunden werden würden, gäbe es für ihre Entstehung zwei Erklärungsmöglichkeiten: Entweder sie sind extraterrestrischen Ursprungs oder sie stammen von der Erde. Letzteres erscheint auf den ersten Blick als recht phantastisch. Doch haben nicht nur wiederholte Funde von Marsgestein in der Antarktis und der Sahara gezeigt, dass gewaltige Meteoriteneinschläge seit Jahrmillionen immer wieder Gesteinsbrocken von einem Planeten zum anderen katapultieren. Man weiß inzwischen auch, dass manche Mikroben so robust sind, dass sie in einem Gesteinsstück eingeschlossen die äußerst langwierige und ungemütliche Reise zum Mars oder gar Titan inklusive Start und Landung unbeschadet überstehen könnten (Cull 2007, 36f.). Die Bakterienart *Deinococcus radiodurans* etwa übersteht ionisierende Strahlung genauso gut wie extreme Hitze, Kälte, Wassermangel, mechanische Stöße und Säureeinwirkung. Das Feuerlappenbakterium *Pyrolobus fumari*, das in so genannten Schwarzen Rauchern am Meeresgrund lebt, *benötigt* sogar eine Hitze von 105° C, um sich optimal vermehren zu können. Bei Temperaturen unter plus 90° stellt es sein Wachstum ein (Stetter 2007, 36).[3]

Solch erstaunliche Resistenzen bestimmter Bakterienarten gegenüber extremen Umweltbedingungen sowie ihr zahlreiches Vorkommen in den entlegensten Winkeln der Erde ist der *erste* Grund, warum Astrobiologen einzelliges Leben im Universum für weit verbreitet halten. Der *zweite* ist die Entdeckung, dass diese *Extremophilen*, wie sie heute genannt werden, nicht etwa „verrückte Spezialisten“ sind, die es im Laufe einer langen Evolution irgendwie geschafft haben, sich an absonderliche ökologische Nischen anzupassen. Vielmehr scheinen sie sehr ursprüngliche Organismen zu sein, die nach genetischen Analysen dicht an der Wurzel des Evolutionsstammbaumes stehen (Reich der *Archaea*). Vieles deutet darauf hin, dass die frühesten Mikroorganismen *alle* hitzeliebend (hyperthermophil) waren und heutige Extremophile somit „Überbleibsel der turbulenten Epoche [sind, in der] das Leben noch darum rang, sich auf einem heißen und gefährlichen Planeten festzusetzen“ (Davies 2000, 189).

Diese neue Sicht der Evolutions- und Mikrobiologie passt gut zum *dritten* Befund, der dafür spricht, dass mikroorganismisches Leben im Weltall weit verbreitet ist: Auf der Erde entstand Leben so früh, wie es überhaupt möglich war. Man weiß heute, dass die Erde in der ersten Zeit nach ihrer Entstehung vor 4,5 Milliarden Jahren schwerstem Beschuss durch Kometen und Asteroiden ausgesetzt war und dass dieses Bombardement, das die Erde zeitweilig in einen einzigen Schmelzofen verwandelte, vor 3,8 Milliarden Jahren endete. Genau dies ist der Zeitpunkt, aus dem die ältesten Fossilfunde des Lebens überliefert sind. Das heißt, Leben hat sich sofort entwickelt, nachdem die Folgen des letzten sterilisierenden Einschlages vorüber und die Bedingungen an der Oberfläche auch nur halbwegs erträglich waren (Davies 2000, 171).

Nun könnte dieses zeitliche Zusammentreffen natürlich Zufall sein. Aus der *einen* Entstehung des Lebens hier lassen sich schwerlich verallgemeinerbare Schlüsse ziehen. Nach Ansicht vieler Biologen rechtfertigt es aber ein *vierter* Gesichtspunkt, die rasante Entwicklung des Lebens auf unserem Planeten nicht als extremen Sonderfall, sondern als eine Art kosmische Zwangsläufigkeit zu verstehen: das Phänomen der *Selbstorganisation*. Damit ist die erstaunliche Fähigkeit der Materie gemeint, spontan räumliche Muster und Strukturen zu erzeugen (Davies 1993, 106). So wie etwa Kristalle und Galaxien sich in spontaner „Selbstmontage“ aus einem ungeordneten Anfangszustand zu strukturierter Gestalt „emporentwickeln“, so, glauben viele Biologen, könnte dies analog auch das Leben getan haben. Experimente wie der „Ursuppenversuch“ von Urey & Miller sowie die Theorie des Hyperzyklus von Manfred Eigen (1978, 259f.) deuten auch in diese Richtung. Indes ist es von der

Bildung von Aminosäuren bis hin zur Entstehung auch nur der einfachsten Lebensform ein weiter und äußerst komplizierter Weg. Noch ist es niemandem gelungen, im Labor aus Molekülgruppen lebendige Zellen herzustellen (Kippenhahn 2007, 72).

3. Astronomische Voraussetzungen für die Evolution komplexen Lebens

a) Bewohnbare Zonen

Für wie wahrscheinlich man eine spontane Lebensentstehung im Universum auch immer halten mag, klar ist, dass sie bestimmte Mindestbedingungen voraussetzt. In der Astrobiologie hat sich dafür das *Konzept der bewohnbaren Zone* eingebürgert. Definiert ist diese Zone als „derjenige Bereich, in dem die Aufheizung durch den zentralen Stern für eine Oberflächentemperatur des Planeten sorgt, bei der Wasser weder (vollständig) gefriert noch verdampft" (Ward/Brownlee 2001, 34, 35). Fordert man, dass nicht nur Mikroorganismen, sondern auch komplexere Organismen auf einem Planeten existieren können, sollte die globale Temperatur 50° C nicht überschreiten. Diese Temperatur scheint die Obergrenze für Tiere und Pflanzen zu sein, zumindest hier auf der Erde.

Gegen diese Definition der bewohnbaren Zone um einen Stern ließe sich einwenden, dass sie zu sehr an unseren Erfahrungen mit irdischem Leben und seiner engen Bindung an Wasser orientiert sei. Könnte es im Weltall nicht auch Lebensformen geben, die auf einer ganz andersartigen Chemie, etwa mit Silizium als Basiselement, gründen? Auch wenn diese Möglichkeit nicht auszuschließen ist, so gibt es nach Ansicht der meisten Biochemiker doch gute Gründe davon auszugehen, dass das Leben auf unserer Erde „typisch" ist und andere Lebensformen zumindest auf ähnlichen biochemischen Grundlagen, also einer Kohlenstoffchemie, basieren: „Wasser und organische Verbindungen bestehen nicht nur aus denjenigen Elementen, die im Kosmos am häufigsten sind; sie können auch eine Vielfalt von Funktionen und Strukturen hervorbringen, die alle chemischen Alternativen um ein Vielfaches übertreffen" (Quirrenbach 2006, 788).

Wie breit oder besser gesagt schmal ist nun im Falle unserer Sonne die Zone, die für komplexes Leben bewohnbar ist? Verschiedene Berechnungen kommen zu dem Schluss, dass eine Ausweitung des Erdbahnradiuses um 15 % vermutlich eine nicht mehr umkehrbare Vereisung der Erde zur Folge hätte, eine Verkleinerung um nur 5 % dagegen einen ausufernden Treibhauseffekt. Was geschehen würde, wenn die Erde mit ihrer Umlaufbahn diese Grenzwerte deutlich überschreiten würde, zeigen unsere Nachbarplaneten Mars und Venus. Mars, der 50 % weiter von der Sonne entfernt ist als die Erde, ist ein Eiskeller mit Sommertemperaturen bis unter -100° C; Venus, die 30 % näher um die Sonne kreist, ist ein Glutofen von über 400° C.

Wir haben mit der Position unseres Planeten im Sonnensystem also ziemliches Glück. Wie viele Planeten mag es in unserer Milchstraße geben, die zufällig auf einer ebenso günstigen Umlaufbahn um ihr Zentralgestirn kreisen? Nun ist die Anzahl an Sternen in der Galaxis dermaßen groß – mehr als 100 Milliarden –, dass man geneigt ist, sehr hohe Zahlen anzunehmen. Indes haben die stellaren Analysen der Astronomen in den letzten Jahrzehnten gezeigt, dass der überwiegende Teil dieser Sterne als Kandidaten für ein Sonnensystem, das Leben beherbergen kann, von vornherein ausscheidet.

b) Räumliche und materielle Einschränkungen

Ein Stern mit einem Gesteinsplaneten, auf dem komplexes Leben gedeihen soll, darf zum Beispiel nicht

- ein *variabler Stern* sein – also kein Stern, der aufgrund zyklischer Volumenänderungen bzw. Helligkeitsschwankungen seinen Planeten abwechselnd röstet und dann wieder ausgefrieren lässt.
- Er darf nicht – wie immerhin zwei Drittel der sonnenähnlichen Sterne in unserer Nachbarschaft – *Mitglied eines Doppel- oder Multisternsystemes* sein, da solche Systeme entweder keine stabilen oder nur stark eliptische Planetenumlaufbahnen erlauben (Ward/Brownlee 2001, 42).
- Er darf kein *sehr massereicher Stern* sein, da diese so genannten Blauen Riesen sehr viel UV-Strahlung abstrahlen, was zum raschen Abbau einer Atmosphäre führen würde. Des Weiteren blähen sich Sterne ab 1,5facher Sonnenmasse in der Regel schon nach etwa zwei Milliarden Jahren zu Roten Riesen auf und würden eine biologische Evolution damit relativ früh wieder beenden.
- Er darf nicht – wie die allermeisten Sterne unserer Galaxis – *deutlich masseärmer* sein als unsere Sonne. Massearme Sterne neigen zum einen zum „Flackern“, das heißt sie stoßen in unregelmäßiger Folge starke Röntgenstrahlung aus. Zum anderen liegt ihre bewohnbare Zone so

dicht am Stern, dass dies meistens eine so genannte gebundene Rotation des betreffenden Planeten zur Folge hätte. Er würde seiner Sonne (genauso wie unser Mond der Erde) immer dieselbe Seite zuwenden, was mit einem Ausfrieren der Atmosphäre auf der sonnenabgewandten Seite und entsprechend extremen Wetterverhältnissen einherginge.

- Ein Stern, der komplexes Leben ermöglichen soll, sollte auch nicht in einem *offenen Sternhaufen* und schon gar nicht in einem *Kugelsternhaufen* liegen. In beiden Gebilden gibt es wegen der geringen Sternabstände zu viele Möglichkeiten für Änderungen der Gavitationskräfte, die einen Planeten aus ihrer Bahn werfen könnten. Zudem ist die Wahrscheinlichkeit zu groß, dass hochenergetische Prozesse (wie Novaexplosionen und Gammastrahlenblitze) in der unmittelbaren Umgebung zumindest mehrzelliges Leben immer wieder auslöschen.
- Aus denselben Gründen darf der Zentralstern nicht *zu nahe am Zentrum einer Galaxie* sitzen. Angesichts der hohen Sternendichte ist dort das Risiko sehr hoch, von stark strahlenden Nachbarn (z.B. Neutronensternen) oder katastrophalen Ereignissen (Supernovaexplosionen) in Mitleidenschaft gezogen zu werden. Sternexplosionen sind in einem Umkreis von 10.000 Lichtjahren um das galaktische Zentrum vergleichsweise häufig und können mit ihrer Röntgenstrahlung alles Leben bis zu einer Entfernung von einem Lichtjahr (ca. zehn Billionen Kilometern) auslöschen.
- Ein Stern, der Leben ermöglichen soll, darf allerdings auch nicht *zu weit im Außenbereich einer Galaxie* liegen. In dieser Region gibt es nämlich zu wenige Metalle,[4] weil dort die Sternbildungsrate niedrig ist. Für die Ausbildung eines terrestrischen Planeten, der ein Magnetfeld und damit Schutz vor Weltraumstrahlung bietet, ist aber ein teilweise flüssiger Metallkern notwendig. Soll auf dem Planeten ebenso Plattentektonik möglich sein, was für die Evolution komplexen Lebens ein Schlüsselprozess zu sein scheint, bedarf es im Planeteninnern zudem ausreichend schwerer Elemente wie Uran, Kalium und Thorium, um durch radioaktiven Zerfall die dafür notwendige Hitze zu erzeugen. Ich komme hierauf in Kapitel 4 noch zurück.
- Schließlich sollte der Stern nicht *in elliptischen oder irregulären Galaxien* liegen. In diesen ist vermutlich sowohl das Störungsrisiko durch vorbeiziehende Sterne zu groß als auch der Metallgehalt für die Bildung terrestrischer Planeten zu klein.

Wie diese Ausschlusskriterien deutlich machen, haben wir mit unserer

Sonne ziemliches Glück. Entgegen einer weitverbreiteten Meinung ist sie kein gewöhnlicher Stern. Unsere Sonne hat mehr Masse als 95 % der anderen Sterne, aber nicht zu viel; sie besitzt einen überdurchschnittlich hohen Metallgehalt; sie liegt mit einem Abstand von 25.000 Lichtjahren nicht zu nah und nicht zu weit vom Zentrum der Galaxis entfernt; sie bewohnt eine Galaxie, deren Spiralstruktur diesen Abstand weitgehend konstant hält, und in einem Arm, dessen Sterndichte vergleichsweise gering und damit störungsarm ist. Dabei „passt" bei der Sonne nicht nur in räumlicher und materieller Hinsicht alles, auch mit den zeitlichen Randbedingungen, ihrer Entstehung, ihrer Lebensdauer und ihrer Leuchtkraftentwicklung, hat die Erde es „genau richtig" getroffen:

c) Zeitliche Einschränkungen

– Wäre die Sonne *sehr viel früher* entstanden, hätte sich auf keinem ihrer Planeten Leben entwickeln können. Die 26 Elemente, die für komplexes Leben (wie wir es kennen) notwendig sind (u. a. C, O, N, P, K, Na, Fe, Cu) gab es in den ersten zwei Milliarden Jahren des Universums noch nicht; ebensowenig die schweren radioaktiven Elemente (U und T), die indirekt für das Leben notwendig sind, indem sie tief in der Erde Hitze erzeugen. All diese Elemente standen erst in der zweiten Sternengeneration zur Verfügung, nachdem die massereichen Sterne der ersten sie in Supernovaexplosionen erzeugt hatten.
– Würde die Sonne sich *heute* bilden, stünden ihr und ihren inneren Planeten nach den aktuellen Spektralanalysen deutlich weniger Radioisotope zur Verfügung als bei ihrer Entstehung vor 4,6 Milliarden Jahren – vermutlich zu wenige, um plattentektonische Prozesse in Gang zu setzen, die (wie wir noch sehen werden) für die Stabilisierung der Oberflächentemperatur eines Planeten wichtig sind.
– Hätte die Evolution des Lebens auf der Erde *sehr viel später* begonnen, wäre sie von der Leuchtkraftsteigerung unserer Sonne eingeholt worden, lange bevor Pflanzen und Tiere sich hätten entwickeln können. Heute strahlt unser Zentralgestirn bereits 30 % heller als in der Frühzeit des Planeten und wird den komplexen Lebensformen durch ihre Fortentwicklung zum Roten Riesen spätestens in 800 Millionen Jahren den Hitzetod bescheren (Bounama et al. 2007, 88).

Wie all diese Befunde zeigen, sind die bewohnbaren Zonen und Zeiten im Universum weitaus kleiner als gemeinhin angenommen. Als entsprechend selten muss eine lebensfreundliche Nische, wie sie unsere Sonne derzeit bietet, trotz der großen Zahl an Sternen in unserer Milchstraße, gelten. Indes genügt es für einen Planeten mit komplexem Leben nicht, eine nahezu ideale Sonne zu haben, im richtigen Abstand um sie zu kreisen und an einem nicht zu gefährlichen Ort in einer Spiralgalaxie zu sitzen. Auch *der Planet selber* und seine nähere Umgebung müssen Voraussetzungen erfüllen, die offenbar sehr selten sind. Konkreter: Eine Evolution unserer Biosphäre bis zu ihrer heutigen Vielfalt hätte sich nicht ohne die folgenden Eigenschaften des Planeten Erde einstellen können:

4. Die besonderen Randbedingungen des Planeten Erde

– Die Erde hat bei der Entstehung des Sonnensystems eine *ausreichend große Masse* mitbekommen, um durch Gravitation eine dichte Atmosphäre festzuhalten. Dass dies nicht selbstverständlich ist, zeigt der nur halb so große Mars, dessen Atmosphäre nur noch ein Hundertstel des Drucks auf der Erdoberfläche beträgt und der in den letzten drei Milliarden Jahren mangels Masse wahrscheinlich 80 % seines Wassers in den Weltraum verloren hat (Stoyan 2003, 16, 25).
– Neben der Masse hat sich auch die *chemische Zusammensetzung* der Erde als überaus günstig erwiesen. Der Gehalt an *Kohlenstoff* ist mit 0,05 % gerade groß genug für organismisches Leben, aber nicht so groß, dass sich daraus ein ausufernder Treibhauseffekt ergeben würde. *Wasser* ist mit 0,1 % gerade so viel da, dass sich zwar Ozeane bilden konnten, aber auch noch genug Land herausragt. Ein teilweise flüssiger *Eisen- und Nickelkern* sorgt für ein Magnetfeld, ohne das der Sonnenwind die Atmosphäre – wie auf dem Mars geschehen – langsam zerstören würde. Ein ausreichendes Inventar an *radioaktiven Metallen* schließlich produziert dauerhaft innere Wärme, was Gebirgsbildung und Plattentektonik ermöglicht.
– Von allen acht Planeten und über 160 Monden unseres Sonnensystems besitzt vermutlich nur die Erde *Plattentektonik.* Dieses Phänomen – die Bewegung der Planetenkruste auf der Oberfläche des Planeten – scheint gleich in viererlei Hinsicht der Schlüssel für die Evolution und Langlebigkeit der komplexen Mehrzeller zu sein. Erstens trägt die Plattentektonik zum *Erhalt des Magnetfeldes* bei, indem sie die dafür notwendigen Konvektionszellen im Erdinneren aufrechterhält. Zweitens hat sie die *Kontinente* geschaffen, auf denen der überwiegende Teil

der Biodiversität zu Hause ist. Ohne Plattentektonik wäre die Erde ein Wasserplanet geblieben oder würde jedenfalls durch Erosion sehr bald wieder zu einem solchen werden. Drittens sorgt die Plattentektonik für *Lebensvielfalt*, indem sie Anzahl und Art der Lebensräume erweitert und durch geographische Isolation die Artbildung vorantreibt. Viertens wirkt sie über den so genannten Karbonat-Silikat-Zyklus und dessen Regulation des Treibhausgases CO_2 wie ein *globaler Thermostat*. Diesem ist es letztlich zu verdanken, dass sich die Durchschnittstemperatur des Planeten im gemäßigten Bereich (um 15° C) hält und er sich sein flüssiges Wasser über nunmehr vier Milliarden Jahre hinweg bewahren konnte.

– Neben der Plattentektonik ist der *Mond* für die Existenz komplexen Lebens der wichtigste Faktor, denn er stabilisiert die Erdachse. Ohne einen großen Mond würde ihr Neigungswinkel als Reaktion auf die Gravitationskräfte von Sonne und Jupiter vermutlich um mehr als 90 Grad schwanken, was verheerende Konsequenzen auf die Ökosysteme und das höhere Leben hätte. Am Äquator würden sich plötzlich klimatische Verhältnisse wie an den Polen einstellen und umgekehrt. Tatsächlich hatten alle anderen Gesteinsplaneten in ihrer Vergangenheit solch chaotische Achskippungen, da keiner von ihnen einen vergleichbar großen Mond besitzt.
– Die Bedingungen für *Mondbildung* sind bei den inneren Planeten generell ungünstig. Dass die Erde dennoch zu einem Mond kam, der ein Drittel so groß ist wie sie selbst, ist einem extremen Zufall zu verdanken. Nach dem derzeit dominierenden Erklärungsmodell entstand der Mond vor rund 4,5 Milliarden Jahren bei einer Kollision der jungen Erde mit einem etwa marsgroßen Himmelskörper (Cameron 1997; Ward/Brownlee 2001, 263 f.). Damit sich aus den ausgeworfenen Trümmerstücken ein so großer Mond bilden konnte, mussten mehrere Zufälligkeiten zusammenkommen: Der einschlagende Körper musste mindestens *Marsgröße* (ein Zehntel der Erdmasse) haben; aber nicht sehr viel mehr, sonst hätte er die junge Erde zerstört. Er musste die Erde *richtig* treffen, durfte sie also nicht nur schrammen. Er durfte *keinen Umlauf entgegen der Rotationsrichtung der Erde* bewirken, da der Mond sonst wieder zerfallen wäre. Auch hinsichtlich des Zeitpunktes war kein Spielraum: Hätte der fremde Himmelskörper die Erde in einer *früheren Phase* ihrer Entstehung getroffen, wäre der Mond viel kleiner geworden; eine masseärmere Erde hätte einen Großteil der

Trümmer nicht festhalten können. Hätte der fremde Körper die Erde in einer *späteren Phase* getroffen, wäre zu wenig Material ausgeworfen worden, um einen so großen Mond zu bilden. Hätte der Körper die Erde *gar nicht* getroffen, hätte die Erde viel mehr Kohlenstoff, Stickstoff und Wasser behalten. Ein ausufernder Treibhauseffekt wäre die Folge gewesen.

– Neben dem Mond hat vermutlich ein zweiter Himmelskörper eine entscheidende Bedeutung für die Evolution komplexen Lebens auf der Erde: der Gasplanet *Jupiter.* Obwohl 800 Millionen Kilometer von der Erde entfernt, übt dieser Planet mit seiner 318-fachen Erdmasse eine enorme Anziehungskraft auf das innere Sonnensystem aus. Wie eine Art Staubsauger „reinigt“ er dieses von verirrten Asteroiden und Meteoriten. Ohne Jupiter würde nach Berechnungen von Wetherill (1994) nicht wie derzeit alle 100 Millionen Jahre ein Objekt der 10-Kilometer-Klasse auf der Erde einschlagen, sondern alle 10 000 Jahre. Komplexes Leben hätte sich unter diesen Umständen nicht bilden können.[5] Dabei ist die Entstehung des Jupiter gerade in dieser nicht zu großen, aber auch nicht zu kleinen Entfernung von der Erde reines Glück, ebenso dass er und Saturn stabile Bahnen haben, dass sie nicht größer sind und dass sie nicht näher beieinander liegen. In all diesen Fällen wäre ein so genanntes orbitales Chaos die Folge, bei dem die Erde über kurz oder lang in die Sonne getrieben oder aber aus dem Sonnensystem hinauskatapultiert werden würde.
– Trotz des effektiven Schutzes durch Jupiter ist es keinesfalls selbstverständlich, dass die Erde bis heute von einem *tödlichen Meteoriteneinschlag* verschont geblieben ist. Wäre der letzte große Einschlag vor 65 Millionen Jahren von einem Körper erfolgt, der nur doppelt so groß gewesen wäre – statt 10 km Durchmesser also 20 km oder gar 40 km –, so wären damals vermutlich alle komplexen Organismen eliminiert worden. Nach den Berechnungen von David Raup (1990) ist die komplette Auslöschung der Biosphäre statistisch alle zwei Milliarden Jahre zu erwarten. Sie ist so betrachtet schon „überfällig“. Wir haben mit unserem Planeten bisher großes Glück gehabt.

Die astronomischen und geophysikalischen Randbedingungen, denen auch wir letztlich unsere Existenz verdanken, machen es somit klar: Glück oder (neutraler formuliert) Zufall ist für die Evolution des Lebens ein viel entscheidenderer Faktor, als gemeinhin angenommen wird.[6]

5. Die Zufallsabhängigkeit der Evolution des Lebens

Es muss deshalb als eine der verbreitetsten Fehlinterpretationen des Evolutionsgeschehens gelten, die Entwicklung vom Einzeller über eukaryotische Mehrzeller bis hin zur Herausbildung von Intelligenz im Falle des Menschen sei ein zwangsläufiger, deterministischer Prozess. Aus moderner darwinistischer Sicht wohnt der Evolution keine „Leiter des Fortschritts“ oder ein *systematischer* Trend in Richtung Komplexität inne (Mayr 1984, 427; Davies 1998, 92, 95; 2000, 286f.).[7] Biologische Evolution verläuft ziellos und opportunistisch, was heißt, dass Komplexität und Intelligenz *nur dann* entstehen können und auch erhalten werden, wenn sie einen *aktuellen* Selektionsvorteil haben. Dass sie einen solchen beileibe nicht immer haben, wird deutlich, wenn man sich die lange Geschichte des Lebens genauer anschaut:

a) Mehrzelligkeit

Oft wird bei Diskussionen über die Wahrscheinlichkeit „höheren“ Lebens im Universum vergessen, dass auf unserer Erde drei Milliarden Jahre lang *nur Einzeller* lebten. Mehrzellige Tiere entstanden erst vor 700 Millionen Jahren, also im letzten Viertel der Existenzzeit des Planeten. Verkürzt man diese Existenzzeit bildhaft auf ein Jahr mit dem 1. Januar als Beginn, entwickelten sich die ersten Einzeller schon am 27. Februar. Neun Monate lang tat sich dann so gut wie nichts, bevor Mitte November plötzlich mehr als 50 Tierstämme auftauchten (vgl. Mayr 1991, 90). Welche Ursachen für deren Heraufkunft auch immer vermutet werden, klar ist, dass sie nach erdgeschichtlichem Maßstab nicht allmählich entstanden sind, sondern sprunghaft; nicht von ungefähr sprechen die Paläontologen von der „Kambrischen Explosion“. Aus all dem lässt sich schlussfolgern, dass die Entstehung komplexeren Lebens viel schwieriger ist und viel mehr Zeit beansprucht als die Bildung einfachen Lebens. Komplexität ist riskant. Da Mehrzeller gegenüber Temperaturänderungen normalerweise weit weniger tolerant sind als Einzeller, setzt ihr Überleben eine freundliche Atmosphäre bei gleichbleibenden Umweltbedingungen über riesige Zeiträume voraus. Wie wenig wahrscheinlich dies angesichts all der Störmöglichkeiten der astronomischen und geophysikalischen Randbedingungen ist, haben wir gesehen.

b) Intelligenz

So wenig die Evolution also automatisch Komplexität begünstigt, so wenig marschiert sie zielstrebig in Richtung Intelligenz. Wie der Biologe Ernst Mayr (1991, 92) betont, brachte von den ursprünglich über 50 Tierstämmen des Kambriums lediglich *ein einziger*, nämlich die Chordaten, intelligentes Leben hervor – und das dauerte immerhin 500 Millionen Jahre. Auch als sich dann aus den Chordaten die Klasse der Säugetiere entwickelt hatte, kam es dort zwar mehrfach zu gewissen Intelligenzleistungen, aber nur *eine einzige* Art konnte diese schließlich zu jener überlegenen Intelligenz ausbauen, wie sie sich beim Menschen in Schrift, Kunst, Wissenschaft und Technik manifestiert. Dafür waren freilich nicht nur erneut viele Millionen Jahre erforderlich, sondern auch eine ganze Reihe unglaublicher Zufälle. Der spektakulärste war dabei zweifellos der schon erwähnte Meteoriteneinschlag am Ende der Kreidezeit. Hätte er nicht die Saurier ausgelöscht, hätten sich nach Ansicht vieler Paläontologen die Säugetiere kaum zu ihrer heutigen Blüte entwickeln können; immerhin hatten sie Millionen von Jahren lang neben den Sauriern nur eine Randposition inne.[8] Eine Entwicklung hin zum Menschen hätte es ohne den Meteoriteneinschlag also nicht gegeben und damit vermutlich überhaupt keine hochentwickelte Intelligenz auf Erden. Ernst Mayr (1991, 94) hält die Entwicklung technischer Intelligenz ohnehin für generell unwahrscheinlich. Während zum Beispiel das Auge in der Geschichte des Lebens mindestens *vierzigmal* unabhängig voneinander erfunden worden sei, habe es mit der Herausbildung hochentwickelter Intelligenz lediglich *ein einziges Mal* geklappt, ein einziges Mal im Laufe von vielleicht 50 Milliarden Artenentstehungen!

Wenn es vor diesem Hintergrund nicht unwahrscheinlich zu sein scheint, dass unsere technische Zivilisation die einzige in unserer *Milchstraße* ist, sieht die Sache anders aus, wenn man das gesamte *Universum* in Betracht zieht. Die Gesamtzahl an Galaxien in dessen beobachtbarem Teil wird heute auf rund 100 Milliarden geschätzt, wobei jede dieser Galaxien im Schnitt wiederum 100 Milliarden Sonnen beherbergt. Diese Zahlen sind dermaßen immens, dass es selbst unter Berücksichtigung der hier dargestellten Einschränkungen der bewohnbaren Zonen verwunderlich wäre, wenn sich technische Intelligenz nicht wenigstens ein paarmal im Weltall entwickelt hätte. Indes stellt sich hier die Frage nach einer weiteren Randbedingung komplexen Lebens, die insbesondere jene Astronomen umtreibt, die das Weltall nach Radiosignalen fremder Zivilisationen absuchen: Ist technische Intelligenz ein „evolutionäres Erfolgsrezept“ oder muss sie im Gegenteil als „Sackgasse“ gelten, weil technische Zivilisationen sich selbst und komplexes Leben über kurz oder lang auslöschen? Die Antwort liegt nicht auf der Hand, wenn man sich die derzeitige Situation der Menschheit auf unserem Planeten anschaut:

– Die Menschheit hat mit Hilfe ihrer technischen Intelligenz ein Arsenal von Atomwaffen angehäuft, mit dem sie sich gleich ein paar Dutzendmal in die Luft sprengen könnte.
– Sie ist mit ihrer ungehemmten Freisetzung von Treibhausgasen gerade dabei, massiv in das selbsteguliere nde Klimasystem des Planeten einzugreifen (Lemke 2007).
– Sie rottet durch die Umgestaltung, Übernutzung und Zerstörung von Lebensräumen Tier- und Pflanzenarten in einem Umfang und mit einer Geschwindigkeit aus, die den größten Massensterben der Erdgeschichte gleichkommen (Gorke 1999).

Mit dieser beunruhigenden Bilanz schließt sich der Kreis unseres Ganges durch die Welt der Astronomie zurück zur Umweltethik und zu der eingangs formulierten Frage von Hans Jonas: ob dies alles moralisch anders zu bewerten wäre, wenn wir wüssten, dass es außer uns noch andere bewohnte Planeten im Weltall gebe.

6. Ist die Seltenheit der Biosphäre ethisch relevant?

Zwei der renomiertesten Vertreter der These von der Seltenheit der Erde, der Astronom Brownlee und der Geologe Ward sehen dies offenbar so, wenn sie in ihrem Buch *Rare Earth* schreiben: „Die Möglichkeit, dass höheres Leben im Universum sehr selten sein könnte, vergrößert (…) die Tragödie des gegenwärtigen Artensterbens. (…) Eliminieren wir diese Arten vielleicht nicht nur von unserem Planeten, sondern gleichzeitig auch aus einem Quadranten der Galaxis?“ (Ward/Brownlee 2001, 326). Vermutlich jeder, der die hier vorgetragenen potenziellen Bedrohungen und zahlreichen Zufälle in der langen Geschichte des Lebens nachvollzogen hat, wird die Einschätzung der beiden Wissenschaftler intuitiv teilen. Doch gilt es für die philosophische Analyse hier nachzuhaken: Hieße dies nicht im Umkehrschluss, dass das derzeitige Artensterben „weniger schlimm“ wäre, wenn wir wüssten, dass höheres Leben im Weltall häufig ist? Es ist klar, dass dies nicht der Fall sein kann, wenn man allein an den *materiellen* Schaden denkt, den die derzeitige Vernichtung globaler Biodiversität den späteren Generationen zufügt. Diese werden sich über den Verlust *ihrer* Biodiversität wohl kaum damit hinwegtrösten lassen, dass man ihnen versichert, dass es *anderswo* in unserer Galaxis ja noch genug Lebensvielfalt gäbe.

Ward und Brownlee müssen bei ihrer Äußerung also an etwas anderes gedacht haben als an die ökologische und ökonomische Bedeutung von Biodiversität für spätere Generationen, an so etwas wie einen *immateriellen Wert.* Was könnte das in der Sprache der Ethik bedeuten? In der modernen Umweltethik gibt es zwei Paradigmen, innerhalb derer sich die Intuition eines immateriellen Wertes der Erde und ihrer Lebensvielfalt rational rekonstruieren lassen: die anthropozentrische und die holistische Ethik.

– In einer *anthropozentrischen Ethik* sind die Ökosysteme, Arten und nichtmenschlichen Individuen insoweit von immateriellem Wert, als Menschen sie ästhetisch und intellektuell wertschätzen. Dabei scheint es ein empirisches Faktum zu sein, dass der Reiz interessanter Naturobjekte – ähnlich wie die Anziehungskraft menschlicher Kunstwerke und Kulturgüter – in der Regel umso größer ausfällt, je seltener sie sind. Seltenheit ist zwar kein Wert an sich, wirkt aber als Verstärker von Werten (Gunn 1980, 30). So reisen etwa Hobbyornithologen hunderte von Kilometern, um den seltenen Weißbürzelstrandläufer zu sehen, obwohl dieser Vogel kaum anders oder gar hübscher aussieht als der häufigere Sichelstrandläufer. Allein das Bewusstsein von seiner regionalen Seltenheit ist für den Kenner hier entscheidend. Auch im Falle der Erde darf man eine solche Wirkung der Seltenheit auf das menschliche Bewusstsein in Rechnung stellen (Cockell 2006, 303). Wenn die Lebensvielfalt des Planeten schon von sich aus Bewunderung und Wertschätzung hervorrufen muss, dann erst recht, wenn sich herausstellte, dass komplexes Leben sehr selten ist.
– In einer *holistischen Ethik* ist dieser psychologische Zusammenhang gleichfalls wirksam, doch kommt hier zum ästhetisch-intellektuellen Wert der Erde und ihrer Vielfalt noch ein weiterer immaterieller Wert hinzu: ihr *Eigenwert* (Gorke 2007). Unser Planet und seine Hervorbringungen verdienen Wertschätzung, nicht nur weil und insofern sie ökonomische, ökologische und ästhetische Bedürfnisse des Menschen befriedigen, sondern primär *um ihrer selbst willen.* Das Gesamtsystem Erde, seine Teilsysteme, Arten und Individuen sind als Selbstzwecke

zu achten, was bedeutet, sie so wenig und schonend wie möglich zu instrumentalisieren. Dabei dürfte einleuchten, dass die Stärke *dieser* Verpflichtung nicht davon abhängen kann, ob komplexes Leben im Weltall häufig oder selten ist. Isländer sind im Vergleich mit Chinesen ja auch ziemlich selten, ohne dass die Pflicht, sie um ihrer selbst willen rücksichtsvoll zu behandeln, deshalb größer ausfiele als gegenüber jenen. Seltenheit ist keine Eigenschaft eines Gegenstandes, die ihm ein besonderes „Verdienst" verleiht, sondern Resultat eines zufälligen Kontextes. Nicht zuletzt hängt sie davon ab, welche Eigenschaften eines Gegenstandes der Betrachter als für ihn relevant wahrnimmt und welche Klassifikation er daraus ableitet. Schaut er nur genau genug hin, erweisen sich ja *alle* (nichtatomaren) Gegenstände in irgendeiner Hinsicht als von anderen verschieden und insofern als „selten". Lediglich pragmatische Überlegungen erlauben oder besser gesagt erzwingen es von uns, von dieser prinzipiellen Einzigartigkeit alles Seienden abzusehen.

Hans Jonas (1988, 69) hat vor diesem Hintergrund also Recht, wenn er die Frage verneint, ob die Entdeckung extraterrestrischen Lebens etwas an unserer Verantwortung hier auf Erden ändern würde. Die augenscheinliche Seltenheit des Planeten ist nicht von *direkter* moralischer Relevanz. Umso mehr muss dann allerdings verwundern, dass Jonas (1988, 70) sein Buch mit dem folgenden Satz beschließt: „Sorgen wir uns [um die Erde], als ob wir in der Tat einzig im All wären". Wie ist das zu deuten? Warum macht Jonas dieses Zugeständnis an die Seltenheit, nachdem er vorher doch gezeigt hat, dass Seltenheit für die *direkte* Verantwortung des Menschen gegenüber der Natur irrelevant ist?

Der Philosoph Robert Spaemann (1990, 224) hat eine Hypothese formuliert, die erklärt, warum wir Seltenes intuitiv stets mehr wertschätzen als Häufiges, auch dann wenn wir wissen, dass bei Zuschreibung eines Eigenwerts eine solche Differenzierung nicht gerechtfertigt ist. Spaemanns Erklärung macht es meines Erachtens lohnenswert, den psychologischen Zusammenhang zwischen Seltenheit und Wertschätzung auch in einer holistischen Umweltethik zu berücksichtigen. Nach Spaemann lässt uns „Knappheit […] erst die Kostbarkeit des Wirklichen zu Bewusstsein kommen". Die Endlichkeit des menschlichen Bewusstseins bringe es mit sich, dass Häufigkeit das Gefühl für Kostbarkeit mindert und Überfluss es gar erstickt. Aufgrund der begrenzten Zuwendungskapazität des menschlichen Bewusstseins sei diesem „alles, wovon es sehr viel gibt, im einzelnen weniger wichtig und das leicht zu Erlangende weniger wirklich". Umgekehrt formuliert: Je seltener etwas ist, desto eher wird uns gewahr, dass es von Menschenhand oder von Natur nicht so ohne weiteres reproduziert werden kann. Dies lässt es uns als besonders kostbar erscheinen.

Warum die Erde und insbesondere ihre Ökosysteme und Arten grundsätzlich nicht reproduzierbar sind, ist nach den vorangegangenen Ausführungen leicht zu erkennen. Damit diese zu dem wurden, was sie heute sind, bedurfte es neben den Naturgesetzen unzähliger Randbedingungen, aufeinander aufbauender Zufallsereignisse und eines sehr großen Zeitraumes. Informationstheoretiker sprechen angesichts der Unwahrscheinlichkeit all dieser Voraussetzungen von *logischer Tiefe* (Bennett 1987, 216). Dieser Begriff steht für die Zahl der Entwicklungsschritte, die zur Entstehung eines Systems notwendig sind. Systeme wie Eis oder eine Kerzenflamme, die in wenigen Schritten entstehen und sich deshalb auch leicht reproduzieren lassen, sind logisch flach; Systeme wie eine Eulenart oder ein Hochmoor, die vieler und nicht zuletzt zufälliger Evolutions- und Entwicklungsschritte bedürfen, sind logisch tief. Weil bei letzteren ein zweites unabhängiges Entstehen extrem unwahrscheinlich ist, erscheinen sie unter sonst gleichen Bedingungen als besonders wertvoll (Vollmer 2000, 227, 228). Systeme mit großer logischer Tiefe sind die, die wir intuitiv am liebsten erhalten möchten.

Ist dieser psychologische Befund richtig, sollten Umweltethik und Umweltpädagogik ihn nutzen. Sie sollten das Wissen von den astronomischen Randbedingungen unserer Existenz vermehrt „unter die Leute bringen". Mit diesem Plädoyer möchte ich nicht unterstellen, die Einsicht in die logische Tiefe unseres Planeten und seiner Lebensvielfalt sei nun der „umweltpädagogische Königsweg". Die astronomische Perspektive kann weder die anderen Natur- und Artenschutzargumente ersetzen, noch schmälert sie die Bedeutung der Politik und der unmittelbaren Begegnung mit Natur für besseres Umwelthandeln. Sie kann aber, ähnlich wie das berühmte Foto der Erde vom Mond, den Blick weiten und das Bewusstsein von der Verbundenheit des Menschen mit allen Lebensformen vertiefen: Wir und die anderen Arten hatten über Milliarden von Jahren hinweg unwahrscheinliches Glück. Da darf es einfach nicht wahr sein, dass ausgerechnet die Art, die sich den Speziesnamen Homo *sapiens* („der Weise") beigeordnet hat, dieses Glück innerhalb weniger Jahrzehnte verspielt.

7. Anhang: Gleichung der Seltenen Erde

In Anlehnung an die berühmte Gleichung des Astronomen Frank Drake zur Abschätzung der Wahrscheinlichkeit außerirdischer Zivilisationen („Drake-Gleichung“) haben Ward und Brownlee (2001, 317, 318) eine „Gleichung der Seltenen Erde“ vorgeschlagen. Die *Anzahl an Planeten mit komplexem Leben (N)* in der Galaxis hängt dabei mindestens von den folgenden elf Faktoren ab:

$$N = N^* \times fp \times fpm \times ne \times ng \times fi \times fc \times fl \times fm \times fj \times fme$$

Hierbei bedeuten:

N* Sterne in der Galaxis
fp Anteil der Sterne mit Planeten
fpm Anteil der metallreichen Planeten
ne Planeten in der bewohnbaren Zone eines Sterns
ng Sterne in der bewohnbaren Zone einer Galaxis
fi Anteil der bewohnbaren Planeten, auf denen Leben entsteht
fc Anteil der Planeten mit Leben, auf denen komplexe Metazoen entstehen
fl Prozentsatz der Lebenszeit eines Planeten, der durch die Anwesenheit komplexer Metazoen gekennzeichnet ist
fm Anteil der Planeten mit einem großen Mond
fj Anteil der Sonnensysteme mit einem Planeten von der Größe Jupiters
fme Anteil der Planeten mit einer ausreichend niedrigen Zahl von Ereignissen des Massensterbens

Viele der Größen sind nur schemenhaft bekannt. Doch folgt aus ihrer Multiplikation: Wenn sich ein einziger Faktor dem Wert null nähert, dann liegt auch das Ergebnis nahe null.

Anmerkungen

1 National Academy of Sciences (2007): The Limits of organic life in planetary systems. Executive summary. www.na.edu/catalog/11919.html
2 Bei diesen Vulkanen gelangt gefrorenes Wasser an die Oberfläche. Einige Forscher vermuten, dass die Temperaturen dabei hoch genug sind, um das Wassereis auch zu verflüssigen (Cull 2006, 43).

3 Andererseits übersteht dieses Bakterium auch eine sechsmonatige Lagerung bei Raumtemperatur (Stetter 2007, 36).

4 Astronomen bezeichnen alle Elemente, die schwerer sind als Helium, als „Metalle".

5 Nicht alle Planetenforscher teilen diese Auffassung. Einige Computersimulationen kommen zu dem Schluss, dass Jupiter in etwa genauso viele Asteroiden und Kometen ins innere Sonnensystem hineinlenkt, wie er daraus entfernt. Wie bei all den hier zusammengetragenen Befunden gilt es also, den aktuellen Forschungsstand im Auge zu behalten. Da die Hypothese von der „seltenen Erde" sich auf eine Vielzahl astronomischer, geologischer und evolutionsbiologischer Randbedingungen stützt, scheint sie mir durch solche Einzelkorrekturen nicht ernsthaft gefährdet werden zu können.

6 Angesichts der großen Häufung von Zufällen mag die Versuchung groß sein, sie als *göttliche Lenkung* zu deuten. Von dieser Interpretation wird hier bewusst abgesehen und zwar aus methodischen, ethischen und theologischen Gründen. *Methodisch* ist es für das Selbstverständnis sowohl der Naturwissenschaften als auch der *philosophischen* Ethik konstitutiv, Gott grundsätzlich aus dem Spiel zu lassen („methodischer Atheismus"). Es wäre ihr Ende, wenn sie immer dann, wenn sie etwas nicht erklären oder schlüssig begründen können, den „Willen Gottes" bemühen dürften. *Ethisch* ist die Annahme einer göttlichen Lenkung in der Vergangenheit des Planeten äußerst zweischneidig, denn sie legt nahe, dass Gott auch *in Zukunft* dafür sorgt, dass „alles gut geht". Damit läuft diese Annahme Gefahr, nicht nur den besonderen Ernst der gegenwärtigen Weltlage zu verkennen, sondern darüber hinaus auch das Verantwortungsbewusstsein der Menschen zu untergraben. *Theologisch* ist die Vorstellung einer Lenkung des Weltgeschehens schließlich unbefriedigend, weil sie sich unweigerlich in das alte „Theodizeeproblem" verstrickt: Wie kann ein *gütiger* Gott, der jederzeit die Macht hätte, korrigierend in das Weltgeschehen einzugreifen, Übel wie Erdbeben, Sturmfluten, Epidemien und nicht zuletzt die Schandtaten des Menschen zulassen?

7 Damit soll nicht bestritten werden, dass es im Laufe der Evolution einen *statistischen* Trend zu höherer Komplexität gegeben hat. Dieser wird von den Biologen heute freilich durchweg als „zufallsbedingte Entwicklung weg von einem einfachen Anfangszustand erklärt und ist daher nicht als gesetzmäßige Zielrichtung zu betrachten" (Davies 2000, 286f.). Der Mittelwert der Komplexität *musste* sich erhöhen, da das Leben mit einfachen Mikroben begonnen hatte und es von da aus nur in Richtung größerer Komplexität gehen konnte.

8 Unter Evolutionsbiologen ist freilich immer noch umstritten, wann genau die Säugetiere entstanden sind. Der älteste Fossilfund eines Plazentatieres ist 65 Millionen Jahre alt, doch legen aus der Molekularbiologie gewonnene Stammbäume einen Ursprung der Säuger in der Zeit vor 100 Millionen Jahren nahe – also 40 Millionen Jahre vor dem Aussterben der Saurier (Anhäuser 2007).

Literatur

Anhäuser, M., 2007: „Knochen oder Moleküle: Fossilienfunde und Genanalysen liefern zwei Versionen der Säugetierentstehung“. In: *Süddeutsche Zeitung* 9.11.07

Bennett, C. H., 1987: „Dissipation, information, computational complexity and the definition of organization“. In: Pines, D. (ed.): *Emerging syntheses in science.* New York: Addison-Wesley, S. 215–233.

Bounama, C./von Bloh, W./Franck, S., 2007: „Das Ende des Raumschiffs Erde“. In: *Spektrum der Wissenschaft*, Spezial 2/07, Raumschiff Erde, S. 83–90.

Cockell, C. S., 2006: „The ethical relevance of earth-like extrasolar planets“. In: *Environmental Ethics* 28(2), S. 303–314.

Cameron, A. G. W., 1997: „The origin of the moon and the single impact hypothesis“. In: *Icarus* 126, S. 126–137.

Cull, S., 2007: „Per Anhalter durchs Sonnensystem“. In: *Astronomie heute* 6/07, S. 36–43.

Davies, P., 1993: *Prinzip Chaos: Die neue Ordnung des Kosmos*. München: Goldmann.

–, 1998: *Sind wir allein im Universum? Über die Wahrscheinlichkeit außerirdischen Lebens*. München: Scherz.

–, 2000: *Das fünfte Wunder: Die Suche nach dem Ursprung des Lebens*. München: Scherz.

Eigen, M./Winkler, R., 1978: *Das Spiel: Naturgesetze steuern den Zufall*. München: Piper.

Ditfurth, H. von, 1982: *Wir sind nicht nur von dieser Welt: Naturwissenschaft, Religion und die Zukunft des Menschen*. Hamburg: Hoffmann & Campe.

Gorke, M., 1999: *Artensterben: Von der ökologischen Theorie zum Eigenwert der Natur*. Stuttgart: Klett-Cotta.

–, 2007: *Eigenwert der Natur: Ethische Begründung und Konsequenzen*. Habilitationsschrift an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Greifswald.

Gunn, A. S., 1980: „Why should we care about rare species?“ In: *Environmental Ethics* 2, S. 17–37.

Jakosky, B. M., 2001: „Die Suche nach Leben in unserem Sonnensystem“. In: *Spektrum der Wissenschaft*, Dossier 1/01, Planeten, Sterne und Weltraum, S. 40–45.

Jonas, H., 1988: *Materie, Geist und Schöpfung: Kosmologischer Befund und kosmogonische Vermutung*. Frankfurt/M.: Suhrkamp.

Kippenhahn, R., 2007: „Sind wir allein im Weltall?" In: *Spektrum der Wissenschaft*, Spezial 2/07, Raumschiff Erde, S. 70–77.

Lemke, P., 2007: „Die irdische Wetter- und Klimamaschine". In: *Spektrum der Wissenschaft*, Spezial 2/07, Raumschiff Erde, S. 24–31.

Mayr, E., 1984: *Die Entwicklung der biologischen Gedankenwelt: Vielfalt, Evolution und Vererbung*. Berlin: Springer.

–, 1991: „Wie wahrscheinlich ist intelligentes extraterrestrisches Leben?" In: Mayr, E.: *Eine neue Philosophie der Biologie*. München: Piper, S. 87–97.

Raup, D., 1990: *Extinction: Bad genes or bad luck?* New York: W. W. Norton.

Spaemann, R., 1990: *Glück und Wohlwollen: Versuch über Ethik*. Stuttgart: Klett-Cotta.

Stetter, K. O., 2007: „Leben in siedendem Wasser". In: *Spektrum der Wissenschaft*, Spezial 2/07, Raumschiff Erde, S. 32–37.

Stoyan, R., 2003: *Mars: Unser Wissen vom Roten Planeten*. Erlangen: Oculum.

Quirrenbach. A., 2006: „Unsere Heimat im Weltall". In: *Sterne und Weltraum*, Special 1/06, „Unsere kosmische Heimat: Das neue Bild der Milchstraße", S. 76–84.

Vollmer, G., 2000: „Was sind und warum gelten Naturgesetze?" In: *Philosophia naturalis* 37(2), S. 205–239.

Ward, P. D./Brownlee, D., 2001: *Unsere einsame Erde: Warum komplexes Leben im Universum unwahrscheinlich ist*. Berlin: Springer.

Wetherill, G. W., 1994: „Possible consequences of absence of Jupiter in planetary systems". In: *Astrophysics and Space Science* 212, S. 23–32.

Ich danke Jürgen Bolik, Patricia Nevers und Peter Tenhaef für ihre Verbesserungsvorschläge zu früheren Fassungen dieses Beitrages.

Verzeichnis der Autoren

Prof. Dr. Erik C. Banks
384 Millett Hall
Wright State University
3640 Colonel Glen Hwy.
Dayton, OH 45435
USA
erik.banks@wright.edu

Prof. Dr. Thomas Bartelborth
Institut für Philosophie
Abteilung Logik und Wissenschaftstheorie
Universität Leipzig
Beethovenstraße 15
04107 Leipzig
bartelbo@uni-leipzig.de

Dr. Ralf Busse
Institut für Philosophie
Universität Regensburg
93040 Regensburg
ralf.busse@psk.uni-regensburg.de

Dr. Marco Giovanelli
Piazza S. Giulia, 2
10124 Torino
Italien
Marco.giovanelli@unito.it

PD Dr. Dr. Martin Gorke
Universität Greifswald
Botanisches Institut /
Umweltethik
Grimmer Straße 88
17487 Greifswald
gorke@uni-greifswald.de

PHILOSOPHIA NATURALIS

Eingereichte Beiträge dürfen weder schon veröffentlicht worden sein noch gleichzeitig einem anderen Organ angeboten werden. Mit der Annahme des Manuskriptes zur Veröffentlichung in der *Philosophia naturalis* räumt der Autor dem Verlag Vittorio Klostermann das zeitlich und inhaltlich unbeschränkte Nutzungsrecht im Rahmen der Print- und Online-Ausgabe der Zeitschrift ein. Dieses beinhaltet das Recht der Nutzung und Wiedergabe im In- und Ausland in körperlicher und unkörperlicher Form sowie die Befugnis, Dritten die Wiedergabe und Speicherung des Werkes zu gestatten. Der Autor behält jedoch das Recht, nach Ablauf eines Jahres anderen Verlagen eine einfache Abdruckgenehmigung zu erteilen.

Richtlinien zur Manuskriptgestaltung

Bitte jeden Beitrag mit *Titelblatt* abgeben, das folgende Angaben enthält: Name und Vorname des Autors / der Autorin (mit akad. Titel), Titel des Beitrags, vollständige Adresse (inkl. Telefon-Nummer), nähere Bezeichnung der Arbeitsstätte.

Die *Manuskripte* sollten 3-fach und als WORD-File auf Diskette oder CD eingereicht werden. Das Manuskript sollte einen breiten Rand haben.

Der *Umfang* (einschließlich Anmerkungen und Bibliografie) soll bei den Aufsätzen nicht mehr als 30 maschinengeschriebene Seiten (ca. 2.000 Anschläge, 2-zeilig) betragen.

Für *Abbildungen* im Text bitte die Originalvorlage einreichen. Abbildungen müssen numeriert und mit Autorennamen versehen sein.

Zitate im Text sollten vom Haupttext durch eine Leerzeile abgehoben werden. Nach dem zitierten Text stehen Name des zitierten Verfassers, Erscheinungsjahr und Seitenangaben in Klammern, z.B.: (Elkana 1974, S. 34). Bei mehreren Autoren werden die jeweiligen Namen durch Schrägstriche getrennt, z.B.: Krantz/Luce/Suppes/Tversky 1971, S. 8). Wird auf mehrere Publikationen desselben Autors im selben Erscheinungsjahr verwiesen, so sollen sie numeriert werden: (Ludwig 1970 a) bzw. (Ludwig 1970 b).

Die *Anmerkungen* sind im Manuskript fortlaufend zu numerieren; sie stehen am Schluss des Beitrags in numerischer Reihenfolge.

Für das anschließende *Literaturverzeichnis* in alphabetischer und chronologischer Reihenfolge gilt folgendes Muster:

Elkana, Y., 1974: *The Discovery of the Conservation of Energy*. London: Huchinson.

Clausius, R., 1850: Über die bewegende Kraft der Wärme. In: *Annalen der Physik und Chemie*, 79, S. 500–524.

Klein, M.J., 1978: The Early Papers of J. Willard Gibbs: A Transformation of Thermodynamics. In: E.G. Forbes (Hg.): *Human Implications of Scientific Advance*. Edinburgh: University Press, S. 330–341.

Korrekturen: Die Autoren erhalten vom Verlag die Fahnen ihres Beitrags mit der Bitte, die korrigierten Fahnen *innerhalb von zwei Wochen* an den Herausgeber zu schicken. In den Fahnen sollen nur noch Satzfehler berichtigt werden.

Nach Erscheinen des Heftes erhalten die Autoren 3 Belegexemplare des jeweiligen Heftes.

Located at the crossroads between natural philosophy, the theory and history of science, and the philosophy of technology, *philosophia naturalis* Journal for the Philosophy of Nature has represented for many decades – not only in the German speaking countries but internationally – a broad range of topics not addressed by any other periodical.
The journal has a highly interdisciplinary focus. Articles with systematic as well as historical approaches are published in German and English. Their quality is assured by a strict peer review policy.

Inhaltlich an der Schnittstelle zwischen Naturphilosophie, Wissenschaftstheorie, Wissenschaftsgeschichte und Technik-Philosophie angesiedelt, vertritt die Zeitschrift *philosophia naturalis* Journal for the Philosophy of Nature seit mehreren Jahrzehnten nicht nur im deutschen Sprachraum, sondern auch im internationalen Vergleich, einen weiten Themenbereich, der von keinem anderen Publikationsorgan vertreten wird.
Die Zeitschrift ist ausgesprochen interdisziplinär ausgerichtet. Sie veröffentlicht Aufsätze in deutscher und englischer Sprache, die sowohl systematisch als auch historisch orientiert sind. Deren Qualität wird durch ein besonders strenges Begutachtungsverfahren gesichert.

ISSN 0031-8027 www.klostermann.de