

Hüttemann, Andreas: "Naturgesetze", in: *Wissenschaftstheorie. Texte zur Einführung*, hrsg. von Andreas Bartels und Manfred Stöckler, Paderborn: Mentis 2007, S. 135-153.

KAPITEL 6

Naturgesetze

Andreas Hüttemann

1. Einleitung

Auch wenn in jüngerer Zeit gelegentlich bezweifelt wird, ob es überhaupt Naturgesetze gibt (vgl. van Fraassen (1989); Giere (1999); Mumford (2004)), oder ob sie in allen Disziplinen die gleiche Bedeutung haben wie in der Physik¹, wird man nicht bestreiten können, dass es sich beim Naturgesetzbegriff nicht nur historisch, sondern auch aktuell um einen der zentralen wissenschaftstheoretischen Begriffe handelt.

Weshalb aber ist der Naturgesetzbegriff ein zentraler Begriff für die Analyse von Naturwissenschaft? Zunächst einmal haben spätestens seit dem 17. Jahrhundert die Naturforscher selbst diesen Begriff verwandt, um ihr eigenes Tun zu kennzeichnen. So bemerkt Newton vermutlich im Blick auf Descartes², dass die scholastischen Begriffe, die zuvor zur Charakterisierung der Natur verwendet wurden, ersetzt worden sind. Zu Beginn seiner *Principia* heißt es, dass

[...] die Neueren, nachdem sie die substantiellen Formen und die verborgenen Eigenschaften aufgegeben haben, es unternommen haben, die Naturerscheinungen auf mathematische Gesetze zurückzuführen [...]. (Newton (1988), S. 9)

Auch im 20. Jahrhundert ist es für Physiker selbstverständlich ihr Tun mittels des Naturgesetzbegriffs zu kennzeichnen. So gibt Richard Feynman im Jahre 1965 einem Buch, das dem Leser einen Überblick über verschiedene charakteristische Bereiche der Physik geben soll, den Titel *The Character of Physical Law* und Steven Weinbergs *Dreams of a Final Theory* aus dem Jahr 1993 trägt den Untertitel *The Search for the Fundamental Laws of Nature*.

Es ist also nicht verwunderlich, dass in der philosophischen Analyse der Naturwissenschaften dieser Begriff eine wichtige Rolle spielt. Hinzu kommt, dass andere wichtige wissenschaftstheoretische Begriffe wie „Vorhersage“, „Erklärung“, „Kausalität“ und „Determinismus“ häufig durch den Naturgesetzbegriff erläutert werden.

¹ Zur Rolle von Naturgesetzen in der Biologie siehe z.B.: Symposium: Are There Laws of Biology? In: *Philosophy of Science* 64, 1997, S. 432–479.

² Zur Geschichte des Naturgesetzbegriffs und zur Rolle von Descartes siehe: Zilsel (1942), Ruby (1995), Hüttemann (2006), Schütte (2006).

2. Naturgesetze im 17. Jahrhundert

Offensichtlich ist der Naturgesetzbegriff für das Selbstverständnis der Physiker und das Verständnis der Physik von zentraler Bedeutung. Was aber ist ein Naturgesetz? Diese Frage wurde in der Philosophiegeschichte mehrmals gestellt. Worauf die Frage genau abzielt, hängt dabei auch von den jeweiligen zeitgenössischen Hintergrundannahmen ab. In diesem Abschnitt möchte ich kurz eine Frage vorstellen, die im 17. Jahrhundert von Bedeutung war, um dann in den folgenden Abschnitten die Diskussion seit der Mitte des 20. Jahrhunderts nachzuzeichnen.

Wesentlich für ein Verständnis der Naturgesetzdebatte im 17. Jahrhundert ist der Umstand, dass Descartes einen neuen Materiebegriff als Grundlage der Naturphilosophie einführte. Danach ist Materie allein durch solche Eigenschaften (wie Ausdehnung, Form und Beweglichkeit) gekennzeichnet, die sich durch eine geometrische Physik beschreiben lassen. Der Preis für die somit möglich gewordene vollständige Mathematisierung der körperlichen Welt war zunächst einmal, dass unklar blieb, wie man auf der Basis eines solchen Materiebegriffs die uns bekannte Natur beschreiben und erklären kann. Obwohl die Materie beweglich gedacht wird und Descartes zufolge von Gott einen anfänglichen Bewegungsimpuls erhalten hat, ist nicht zu sehen, weshalb sich Körper wie z. B. die Planeten *regelmäßig* verhalten. Descartes' Lösung für das Problem, die von uns beobachtete Ordnung und Regelmäßigkeit in einem Universum, das mit passiver Materie gefüllt ist, zu erklären, besteht darin, Naturgesetze einzuführen.

Materiebegriff

Mathematisierung

Denn Gott hat diese Gesetze so wunderbar eingerichtet und obgleich wir annehmen, dass er nicht mehr schafft, als ich gesagt habe und sogar weder Ordnung noch Maß hineinbringt, sondern das verwirrteste und unklarste Chaos bildet, das Dichter beschreiben könnten: reichen sie [die Naturgesetze] aus, um zu bewirken, dass die Teile dieses Chaos sich von selbst entwirren und in eine so gute Ordnung bringen, dass sie die Form einer höchst vollkommenen Welt besitzen werden, in der man nicht nur Licht wird sehen können, sondern auch all die anderen Dinge, allgemeine wie besondere, die in der wirklichen Welt erscheinen (Descartes (1989), S. 43).

Es sind die Naturgesetze, dank derer sich aus dem Chaos die uns bekannte Welt ergibt. Naturgesetze sind diejenigen Dinge, die dafür sorgen, dass in einer Welt, die aus passiver Materie besteht, diejenige Ordnung und Regelmäßigkeit entsteht, die wir beobachten.

Da die von Descartes eingeführten Bewegungs- und Stossgesetze sowie ihre verbesserten Nachfolger eine zentrale Rolle innerhalb der mechanistischen Naturphilosophie spielten, setzte bald eine Diskussion über den Naturgesetzbegriff ein. Dabei stand die Frage im Mittelpunkt, wie Gott es einrichten kann, dass passive Materie Gesetzen gehorchen kann und sich *regelmäßig* verhält. Viele Autoren waren sich darin einig, dass die Rede davon, dass Gott diese Gesetze *erlässt*, wenig erklärt, solange nicht gesagt wird, wie man sich das vorzustellen hat. Ralph Cudworth, einer der so genannten Cambridger Platoniker, erwägt drei Möglichkeiten, Ordnung und Regelmäßigkeit zu erklären: Erstens, die okkasionalistische

Auffassung, wonach Gott die Handlungen in der Natur selbst ausführt. Dann wären die Naturgesetze Regelmäßigkeiten, die das Handeln Gottes betreffen. Die zweite Möglichkeit besteht darin, dass sich die Regelmäßigkeiten zufällig ergeben, und er erwähnt, drittens, seinen eigenen Vorschlag, demzufolge untergeordnete Geister die Materie nach Gottes Regeln bewegen (vgl. Cudworth (1678), S. 147). Bezeichnenderweise bleibt die gänzliche Passivität der Materie unhinterfragt. Die Möglichkeit, dass Materie Kräfte oder Fähigkeiten besitzt, dank derer die Gesetze ausgeführt werden, wird nicht einmal als Möglichkeit erwogen. Die Debatte des 17. Jahrhunderts ist nur vor dem Hintergrund eines passiven Materiebegriffs verständlich.

Im Laufe des 18. Jahrhunderts setzte sich dann im Anschluss an Newton ein Materiebegriff durch, der sich von dem Cartesischen deutlich unterschied. Kräfte galten nun als konstitutiv für Materie.³ Die Naturgesetzk Diskussionen des 17. Jahrhunderts haben in diesem neuen Kontext keinen Sinn mehr. Materie ist nicht länger passiv. Gesetze sind nun wesentlich Kraftgesetze. Entsprechend heißt es dann – viel später – bei Helmholtz:

Kräfte

Unsere Forderung, die Naturerscheinungen zu begreifen, das heißt ihre Gesetze zu finden, nimmt so eine andere Form des Ausdrucks an, die nämlich, dass wir die Kräfte aufzusuchen haben, welche die Ursachen der Erscheinungen sind. (Helmholtz (1896), S. 376f.)

Durch die Integration von Kräften in die Materie wurde die Frage, wie die Gesetze eigentlich ausgeführt werden, obsolet. Die Materie führt gewissermaßen ihre eigenen Gesetze aus. Damit gerieten auch die theologischen Konnotationen des Gesetzesbegriffs in den Hintergrund, denn es bedurfte keines Gottes mehr, der Gesetze entweder selbst ausführt oder ausführen lässt.

Die für das 18./19. Jahrhundert charakteristische Auffassung, wonach es den Gegenständen innewohnende Kräfte gibt, die den Naturgesetzen zugrunde liegen, wurde jedoch seit dem ausgehenden 19. Jahrhundert mit Skepsis betrachtet.⁴

³ So bemerkt ein Rezensent von Kants *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*: „So hat sich die Denkungsart in der Philosophie geändert. Wie Newton allererst das Wort Anziehung hören ließ, glaubte man, sie könnte mit dem Wesen der Materie nicht zusammenstehen. Alles sollte mechanisch durch einen Stoß erklärt werden. Nun kann sogar die Materie nicht ohne Anziehung gedacht werden. Jetzt wird auch wohl diese Meinung die Mehrheit der Stimmen, so wie der Gründe für sich haben.“ (Landau (1991), S. 513).

⁴ Vgl. z. B. Gustav Kirchhoff: „Man pflegt die Mechanik als die Wissenschaft von den Kräften zu definieren, und die Kräfte als die Ursachen, welche Bewegungen hervorbringen oder hervorzubringen streben. Gewiss ist diese Definition bei der Entwicklung der Mechanik von dem größten Nutzen gewesen, und sie ist es auch noch bei dem Erlernen dieser Wissenschaft, wenn sie durch Beispiele von Kräften, die der gewöhnlichen Erfahrung entnommen sind, erläutert wird. Aber ihr haftet die Unklarheit an, von der sich der Begriff der Ursache und des Strebens nicht befreien lassen. [...] Aus diesem Grunde stelle ich es als die Aufgabe der Mechanik hin, die in der Natur vor sich gehenden Bewegungen zu beschreiben, und zwar vollständig und auf die einfachste Weise zu beschreiben. Ich will damit sagen, daß es sich nur darum handeln soll, anzugeben, welches die Erscheinungen sind,

Vor dem Hintergrund dieser Skepsis entwickelte sich die moderne Debatte über Naturgesetze, der ich mich nun zuwenden werde.

3. Beispiele und charakteristische Merkmale von Naturgesetzen

Bevor ich nun die Naturgesetzkandidaten des 20. Jahrhunderts darstelle, möchte ich zunächst einige Beispiele für Naturgesetze vorstellen, auf die in der weiteren Diskussion Bezug genommen werden wird.⁵

- Galileis Fallgesetz: Für den zurückgelegten Fallweg $s(t)$ eines frei fallenden Körpers gilt: $s(t) = \frac{1}{2}gt^2$, vorausgesetzt die Anfangsgeschwindigkeit war $v_0 = 0$. g ist eine Konstante, t die Zeit.
- Newtons erstes Gesetz: „Jeder Körper verharrt in seinem Zustand der Ruhe oder der gleichförmig-geradlinigen Bewegung, sofern er nicht durch eingedrückte Kräfte zur Änderung seines Zustands gezwungen wird.“
- Newtons zweites Gesetz: „Die Bewegungsänderung ist der eingedrückten Bewegungskraft proportional und geschieht in der Richtung der geraden Linie, in der jene Kraft eindrückt.“ Dieses Gesetz wird heute meistens in der Form $F=ma$ geschrieben. Hier ist F die Kraft, a die Beschleunigung und m als Masse der Proportionalitätsfaktor.
- Newtons Gravitationsgesetz: Die Kraft, die zwischen zwei Körpern wirkt, ist proportional zu ihren jeweiligen Massen (m_1 und m_2) und umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstandes der Körper (r^2): $F = -Gm_1m_2/r^2$. G ist hier die Gravitationskonstante.
- Das Boyle-Mariottesche Gesetz: Ideale Gase verhalten sich gemäß der Gleichung $pV = Nk_B T$. Hier steht p für den Druck des Gases, V für das Volumen, k_B ist die Boltzmannkonstante, N die Molekülzahl, T die Temperatur.

Theorien der Naturgesetze versuchen zu erklären, weshalb und in welchem Sinne die oben genannten und andere Naturgesetze Merkmale besitzen, die für Naturgesetze charakteristisch sind. Typische Merkmale, die man mit Naturgesetzen verbindet sind: Wahrheit, Objektivität, Kontingenzt, Notwendigkeit, Universalität, Begründung kontrafaktischer Konditionalaussagen, ihre Rolle in den Wissenschaften, d.h. ihre Fähigkeit zu erklären, Vorhersagen zu ermöglichen u.ä. Da aber nicht in allen Fällen klar ist, was mit diesen Merkmalen von Naturgesetzen genau gemeint ist, werde ich sie im Folgenden kurz diskutieren.

Zuvor möchte ich noch kurz auf eine terminologische Ambiguität in Bezug auf den Naturgesetzbegriff hinweisen. Teils wird in der einschlägigen Literatur nämlich unterstellt, es handele sich bei Naturgesetzen um *Aussagen*, teils wird aber auch

die stattfinden, nicht aber darum, ihre Ursachen zu ermitteln.“ (Kirchhoff (1876), Vorrede)

⁵ Für eine ausführlichere Liste von Naturgesetzkandidaten siehe Vollmer (2000).

zwischen Naturgesetzaussagen auf der einen Seite und den Naturgesetzen selbst, die durch die Naturgesetzaussagen bloß beschrieben oder zum Ausdruck gebracht werden, auf der anderen Seite unterschieden. (Auf diese Unterscheidung komme ich im Folgenden noch zu sprechen.)

Nun also zu den Merkmalen.⁶

Wahrheit. Als erstes Merkmal ist die Wahrheit der Naturgesetzaussagen zu erwähnen. Etwas kann nur dann ein Naturgesetz sein, wenn es eine wahre Aussage ist oder durch eine wahre Aussage beschrieben werden kann (je nach dem, ob Naturgesetze als Aussagen aufgefasst werden). Die Aussage „Schwere Körper fliegen vom Erdmittelpunkt fort, wenn sie frei sind“ kann kein Naturgesetz beschreiben, weil sie falsch ist. Das leuchtet ein, bringt uns aber mit Blick auf die von uns gewählten Beispiele ein wenig in Bedrängnis, denn alle genannten Beispiele sind in diesem Sinne keine Naturgesetze. Das ideale Gasgesetz wurde zunächst durch das van der Waals Gesetz und später durch die Deiterici-Gleichung ersetzt. Das Galileische Fallgesetz ist bestenfalls ein Grenzfall der Newtonschen Gravitationstheorie, die wiederum durch die Allgemeine Relativitätstheorie ersetzt wurde. Dieser Punkt soll hier nur kurz erwähnt werden. Im Folgenden werde ich der Einfachheit und leichteren Verständlichkeit halber mit den oben genannten Beispielen operieren und nicht mit den Einstein-Gleichungen oder der Deiterici-Gleichung.

Wahrheit

Objektivität. Von Naturgesetzen wird angenommen, sie seien objektiv. Damit ist gemeint, dass sie nicht von unseren Meinungen, Interessen usw. abhängen. Naturgesetze werden entdeckt. Es gibt möglicherweise Naturgesetze, von denen die Menschheit gar nichts weiß.

Objektivität

Kontingenz. Naturgesetze oder Naturgesetzaussagen sind kontingent. Die Verneinung eines Naturgesetzes, z.B. des Galileischen Fallgesetzes oder der Newtonschen Gesetze führt nicht – wie im Falle der Verneinung der Aussage „Alle Junggesellen sind unverheiratet“ – auf einen Widerspruch.

Kontingenz

Notwendigkeit. Obwohl Naturgesetze *logisch* kontingent sind, sind sie doch in einem gewissen Sinne notwendig. Denn die Planetengesetze, die sich aus dem Newtonschen Gravitationsgesetz ergeben, beschreiben ja nicht nur, wie sich die Planeten faktisch verhalten. Sie beschreiben wie sich die Planeten verhalten *müssen*. Dieser Zwang wird oft als physische Notwendigkeit bezeichnet.

Notwendigkeit

Universalität. Naturgesetze sind allgemein oder universell. Dieses Merkmal ist vermutlich das am häufigsten zitierte Merkmal von Naturgesetzen. Allerdings lässt sich ganz Unterschiedliches darunter verstehen. Ich werde vier verschiedene Lesarten der Universalität von Gesetzen unterscheiden.

Universalität

Universalität I: Gesetze gelten überall und zu allen Zeiten. Es gibt keine Gesetze, die nur dienstags vormittags oder in Vororten von Münster gelten. So

⁶ Eine ähnliche Aufstellung bei van Fraassen (1989), S. 25–29.

einleuchtend diese Forderung sein mag, verbergen sich hier doch auch Schwierigkeiten. Wenn man z. B. fordert, dass in den Naturgesetzaussagen keine Namen von bestimmten Orten oder Zeiten vorkommen dürfen, dann scheiden einerseits die Keplerschen Gesetze als Naturgesetze aus, da sie auf unser Sonnensystem und die Sonne bezogen sind. Andererseits lassen sich immer Reformulierungen finden, die eine explizite Erwähnung einzelner Gegenstände vermeiden. Statt von der Erde zu reden, könnte man eine Aussage über alle Planeten, die genau einen Mond besitzen, einen bestimmten Durchmesser und weitere Eigenschaften spezifizieren, die die Erde eindeutig auszeichnen. Gleichwohl ist von Ausnahmen abgesehen die Forderung, dass Naturgesetze zu allen Orten und Zeiten gelten sollten, ziemlich unbestritten und wird durch unsere Beispiele erfüllt.

Universalität II: Naturgesetze gelten für *alle* Gegenstände bzw. Systeme. Als Beispiel eines Naturgesetzes findet man häufig: Alle Raben sind schwarz. Eine weit verbreitete Formalisierung lautet: $\forall x (Rx \rightarrow Sx)$ Für alle x gilt, wenn etwas ein Rabe ist, dann ist es schwarz. Hier wird über alle nur denkbaren Gegenstände x eine Aussage getroffen. Auch unsere eingangs genannten Beispiele lassen sich entsprechend reformulieren: Für alle Gegenstände gilt, wenn etwas ein frei fallender Gegenstand ist, dann verhält er sich gemäß der Gleichung: $s(t) = \frac{1}{2}gt^2$. Allerdings verdankt sich die Universalität II vieler Naturgesetze allein der erwähnten Formalisierung. Denn zunächst einmal haben wir es in dem einen Fall mit einer Aussage über Raben zu tun und in dem anderen Fall mit einer Aussage über fallende Körper (und über sonst nichts).

Gleichwohl gibt es unabhängig von der genannten Formalisierung Beispiele von Gesetzen, die alle Gegenstände betreffen, so z. B. das oben erwähnte zweite Newtonsche Gesetz. Auch das Gravitationsgesetz zusammen mit dem zweiten Newtonschen Gesetz betrifft alle Gegenstände schlechthin. Es erlaubt zum Beispiel die Bahnen der Planeten und der Kometen, aber auch die Flugbahn geworfener Gegenstände zu berechnen wie auch die zurückgelegte Strecke von Fallobst. Einige paradigmatische Gesetze der Physik sind also universell in dem Sinne, dass sie alle Gegenstände schlechthin betreffen, andere hingegen nicht.

Universalität III: Naturgesetze gelten *unter allen Umständen*. Das gilt für Galileis Fallgesetz nicht, denn es gilt nur im Vakuum. Es gilt auch nicht für Newtons Gravitationsgesetz, jedenfalls dann nicht, wenn man es als die Behauptung liest, dass das Verhalten zweier massiver Körper durch das Gravitationsgesetz vollständig beschrieben wird. Es trifft nur dann zu, wenn man annimmt, weitere Kräfte, wie z. B. elektromagnetische Kräfte, seien nicht im Spiel. Die beiden genannten Gesetze gelten also nur unter bestimmten Umständen. Und auch das erste Newtonsche Gesetz macht eine Aussage über das Verhalten von Gegenständen unter bestimmten Bedingungen, die in dem Gesetz selbst explizit genannt werden („... sofern er nicht durch eingedrückte Kräfte zur Änderung seines Zustands gezwungen wird.“) Man nennt derartige Gesetze, die nur unter bestimmten Bedingungen gelten *Ceteris-paribus*-Gesetze (*ceteris paribus* (lat.): alles andere gleich). Newtons zweites Gesetz ist dagegen kein *Ceteris-paribus*-Gesetz.

Ceteris-paribus-
Gesetze

Es gilt *unter allen Umständen*. Unter allen Umständen ist es der Fall, dass die Bewegungsänderung der eingedrückten gesamten Bewegungskraft proportional ist.

Universalität IV: Ein vierter Sinn von Universalität wird häufig übersehen, da sich viele Autoren an Aussagen der Form „Alle Raben sind schwarz“ und an der Formalisierung $\forall x (Rx \rightarrow Sx)$ orientieren. Wesentlich für physikalische Gesetze ist aber ihre quantitative Natur und das damit verknüpfte Vorkommen von Variablen in den Gleichungen, die das Verhalten der Systeme beschreiben. Im Sinne der vierten Lesart sind Naturgesetze universell oder allgemein insofern sie *für alle Werte der Variablen* gelten. In diesem Sinne ist Galileis Fallgesetz universell. Es gilt für alle Werte der Variablen s und t (zumindest war es so gemeint, auch wenn sich, wie bereits erwähnt, herausgestellt hat, dass das Gesetz falsch bzw. nur näherungsweise richtig ist). Das gleiche gilt für das Gravitationsgesetz. Es macht eine Aussage über alle Massenwerte und alle Abstände. Auch das Gasgesetz macht eine Aussage über alle Werte für Druck, Volumen und Temperatur. (Auch wenn es für manche Werte vielleicht grob falsch ist (vgl. Scheibe 1991).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die als Beispiele genannten Gesetze in zweierlei Hinsicht universell sind: Sie gelten erstens immer und überall (Universalität I) und sie gelten zweitens für alle Werte der in den Gleichungen auftretenden Variablen (Universalität IV). Dagegen trifft nur auf manche Gesetze zu, dass sie alle Gegenstände betreffen (Universalität II) und unter allen Umständen gelten (Universalität III).

Begründung kontrafaktischer Konditionalaussagen. Auf der Grundlage von Naturgesetzen bewerten wir, ob bestimmte kontrafaktische Konditionalaussagen wahr oder falsch sind. Ein Beispiel für eine kontrafaktische Konditionalaussage ist die Behauptung „Wenn der Druck dieses Gases ansteigen würde, dann auch die Temperatur“. Aufgrund des idealen Gasgesetzes wissen wir nicht nur, dass die Größen p , V und T eines ganz bestimmten Gases in dem durch das Gesetz beschriebenen Zusammenhang stehen. Wir wissen auch, wie hoch die Temperatur *wäre*, wenn der Druck bei konstantem Volumen höher ausgefallen *wäre*. Wir wissen dank des Gravitationsgesetzes nicht nur, welche Kräfte zwischen bestimmten Himmelskörpern zu einem bestimmten Zeitpunkt wirken, wir wissen auch welche *wirkten*, wenn ihr Abstand zueinander ein anderer *wäre*.

kontrafaktische
Konditionalaussagen

Rolle in den Wissenschaften: Erklären, Vorhersagen usw. Der Umstand, dass Naturgesetze kontrafaktische Konditionalaussagen stützen, ist der Hauptgrund dafür, dass wir mit Hilfe von Naturgesetzen vorhersagen, erklären und in den Lauf der Natur eingreifen können. Wir können vorhersagen, wie sich ein System verhält, wenn es manipuliert wird: Wir können – auf der Basis des galileischen Fallgesetzes vorhersagen, wie sich ein Wurfgeschoss bewegt, wenn es unter bestimmten Bedingungen abgefeuert wird. D. h. also wir stützen uns auf Naturgesetze, wenn wir in den Lauf der Dinge eingreifen. Wenn wir den Druck des Gases um δp erhöhen und das Volumen nicht verändern, dann wird sich die Temperatur um den Wert $\delta p V / \nu R$ erhöhen.

Erklären, Vorhersagen

Wir können mithilfe der Gesetze erklären, weshalb bestimmte Ereignisse eintreten: Warum ist das Gas nun $x^\circ\text{C}$ warm? Die Temperatur des Gases beträgt $x^\circ\text{C}$, weil der Druck um y Pascal erhöht wurde und nicht etwa um y^* , denn dann hätte die Temperatur $x^{**}\circ\text{C}$ betragen.

4. Theorien der Naturgesetze

Wir haben nun einige Kandidaten für Naturgesetze kennen gelernt und eine Reihe von Merkmalen, die sie auszeichnen. Es ist deshalb nahe liegend zu behaupten, Naturgesetze seien diejenigen Dinge, die die oben genannten Merkmale (oder zumindest die meisten von ihnen) besitzen. Wozu benötigen wir nun noch eine Theorie der Naturgesetze? Welche Frage wird durch eine solche beantwortet? Den Hintergrund des Bedürfnisses nach einer Theorie von Naturgesetzen bilden bestimmte ontologische Annahmen, die für die Wissenschaftstheorie lange Zeit charakteristisch waren.

Wesentliche Voraussetzung für die Naturgesetzdiskussionen im 20. Jahrhundert ist ein Anknüpfen an Überlegungen Humes. Hume hatte bestritten, dass wir im Falle von Kausalzusammenhängen die unterstellte notwendige Verknüpfung von Ursache und Wirkung beobachten können. Alles, was wir beobachten können, sind Abfolgen von einzelnen Ereignissen, die in raumzeitlichen Verhältnissen zueinander stehen. Wir können nicht beobachten, dass Kräfte zwischen Gegenständen wirken, oder dass ein Ereignis oder eine Eigenschaft ein anderes Ereignis oder eine andere Eigenschaft erzwingt oder notwendig macht.

Logischer Empirismus An diese Überlegungen anschließend war es eine die Wissenschaftstheorie des 20. Jahrhunderts prägende Grundüberzeugung der logischen Empiristen, dass man alles wissenschaftliche Wissen auf Ereignisse, Gegenstände und Eigenschaften zurückführen können muss, die zumindest im Prinzip beobachtbar sind. Kräfte, Dispositionen, notwendige Verknüpfungen zwischen Ereignissen (modale Tatsachen) galten dagegen als suspekt.⁷

Die zeitgenössische Naturgesetzdebatte betrifft nun die Frage, ob sich der Naturgesetzbegriff vor dem Hintergrund dieser empiristischen Vorgabe explizieren lässt, d.h. insbesondere ob man die oben genannten Merkmale von Naturgesetzen unter den soeben skizzierten empiristischen Voraussetzungen erläutern kann – oder ob man über das empiristisch zulässige ontologische Inventar hinausgehen und etwas zusätzliches in der Natur annehmen muss, um Naturgesetze und ihre Rolle in der wissenschaftlichen Praxis verständlich zu machen.

⁷ So spricht John Earman von der „*central empiricist intuition that laws are parasitic on occurrent facts*“ (Earman (1986), S. 85). Diese Position der ‚Humeschen‘ Metaphysik wird auch oft folgendermaßen charakterisiert: Ereignisse und Gegenstände haben nur kategoriale oder okkurrente Eigenschaften, aber keine dispositionalen.

4.1 Die einfache Regularitätstheorie

Von einer Theorie der Naturgesetze ist zu erwarten, dass sie paradigmatische Beispiele von Naturgesetzen als solche klassifiziert und dass sie erklärt, weshalb diese die oben genannten Merkmale (oder zumindest die meisten von ihnen) besitzen, oder warum es so scheint als besäßen sie diese Merkmale. Eine empiristische Naturgesetzkonzeption sollte darüber hinaus den soeben skizzierten Vorgaben gerecht werden und Naturgesetze auf nichtmodale Tatsachen zurückführen.

Die im Folgenden vorgestellten empiristischen Auffassungen sind der Tradition des logischen Empirismus und des *linguistic turn* verpflichtet. Der *linguistic turn* lässt sich durch die Auffassung charakterisieren, philosophische Probleme seien durch eine Analyse der jeweils verwendeten Sprache zu lösen. Vor diesem Hintergrund werden in dieser Tradition Naturgesetze als *Aussagen* verstanden. Naturgesetze sind demnach Aussagen, die bestimmten Bedingungen genügen.

Ein erster Versuch, den empiristischen Vorgaben gerecht zu werden, ist die einfache Regularitätstheorie. Nach dieser Auffassung sind Naturgesetze nichts anderes als Aussagen über empirische Regelmäßigkeiten, die sich in der Natur beobachten lassen. So heißt es bei Carnap:

Unsere alltäglichen Beobachtungen wie auch die systematischeren Beobachtungen der Wissenschaftler führen uns zu gewissen Wiederholungen und Regelmäßigkeiten in der Welt. Dem Tag folgt stets die Nacht; die Jahreszeiten wiederholen sich in der gleichen Ordnung; Feuer fühlt sich immer heiß an; Gegenstände, die wir los lassen, fallen abwärts; usw. Die Naturgesetze sind nichts anderes als Aussagen, welche diese Regelmäßigkeiten so genau wie möglich ausdrücken. (Carnap (1986), S. 11)

Ein Gesetz ist nichts anderes als eine Beschreibung von Vorkommnissen, nicht aber zusätzlich die Beschreibung von einem Sachverhalt in der Natur, der dafür sorgt, dass die eine Art von Vorkommnis (Nacht) auf die andere Art von Vorkommnis (Tag) folgen muss. Weil ein solcher Sachverhalt nicht unterstellt wird, genügt eine solche Konzeption, wie sie Carnap skizziert, den empiristischen Vorgaben.

Etwas formaler kann man die „naive“ Regularitätstheorie wie folgt charakterisieren (vgl. dazu Armstrong (1983), S. 12; Earman (1986), S. 83f.):

Eine Aussage p ist ein(e) Naturgesetz(aussage) genau dann wenn gilt:

- (1) p ist von der Form $\forall x (Rx \rightarrow Sx)$,
- (2) p ist immer und überall wahr,
- (3) p ist kontingent,
- (4) p enthält nur solche Prädikate, die nicht auf bestimmte Personen, Orte oder Zeiten Bezug nehmen und darüber hinaus logische Zeichen wie Junktoren und Quantoren.

Die Bedingungen (1) und (2) stellen sicher, dass Naturgesetze wahr, objektiv und universell im ersten (immer und überall) und im zweiten (alle Systeme betreffend) Sinne sind. (4) dient dazu *zufällige* Regularitäten, die die Bedingungen (1) bis (3)

erfüllen, auszuschließen: Die Aussage „Alle Fahrräder in meinem Münsteraner Hinterhof sind ziemlich verrostet.“ erfüllt die Bedingungen (1) bis (3). Gleichwohl würde man diese Aussage über eine Regelmäßigkeit nicht als Naturgesetz bezeichnen wollen. Bedingung (4) schließt dieses Beispiel aus.

John Earman bezeichnet diese Auffassung als „naiv“, weil angenommen wird, Naturgesetze ließen sich allein durch semantische und syntaktische Charakterisierungen (wie die Bedingungen (1) bis (4)) identifizieren. Dass dies nicht möglich ist, zeigt die Gegenüberstellung der beiden folgenden Aussagen:

(A) Alle Kugeln aus Gold haben einen Durchmesser von weniger als 2 km.

(B) Alle Kugeln aus angereichertem Uran haben einen Durchmesser von weniger als 2 km.

Beide Aussagen erfüllen in gleicher Weise Bedingungen (1) bis (4). Dennoch wird man (A) weder für eine Naturgesetzaussage noch für einen aus Naturgesetzaussagen abgeleiteten Satz halten, während letzteres auf (B) durchaus zutrifft. Das wird daran deutlich, dass wir im Falle von (B) glauben, dass der Versuch aus angereichertem Uran eine entsprechende Kugel herzustellen, scheitern müsste – selbst dann, wenn wir genügend entsprechendes Material beisammen hätten. Dagegen glauben wir sehr wohl, dass es (zumindest prinzipiell) möglich ist (A) durch die Konstruktion einer entsprechenden Kugel zu falsifizieren.

Das erste Problem der naiven Regularitätstheorie besteht darin, dass mit (1) bis (4) zufällige Regelmäßigkeiten wie (A) nicht ausgeschlossen werden können.

Ein zweites Problem lässt sich anhand von Newtons erstem Gesetz erläutern. Es beschreibt, wie sich ein Körper verhält, auf den keine Kräfte ausgeübt werden. Solche Körper gibt es aber nicht. Es handelt sich um ein Gesetz, zu dem es keine Instanzen gibt, d. h. zu dem es keine Ereignisse oder Gegenstände gibt, die es erfüllen, da es keine Gegenstände gibt, auf die keine Kräfte einwirken (mit Ausnahme des Universums als Ganzem). In diesem Sinne haben wir es also mit einem Gesetz zu tun, das keine Regelmäßigkeit beschreibt. Das widerspricht dem Geist der Regularitätstheorie, wonach Naturgesetze Regelmäßigkeiten in der Natur beschreiben. Hier gibt es keine Regelmäßigkeit, die beschrieben wird.

Formal betrachtet ist die Schwierigkeit aber eine andere. Denn dank der gewöhnlichen Formalisierung erfüllt das erste Newtonsche Gesetz alle Bedingungen der naiven Regularitätstheorie, insbesondere auch (2). Denn wenn es keine Fs gibt, dann ist $\forall x (Fx \rightarrow Gx)$ wahr – ganz gleich wofür G steht. Das erste Newtonsche Gesetz selbst stellt also zunächst kein Problem für die naive Regularitätsauffassung dar, weil Regularitäten ohne irgendwelche Instanzen die Bedingungen (1) bis (4) erfüllen. Allerdings gilt für *beliebige* Aussagen $\forall x (Fx \rightarrow Gx)$, dass sie wahr und also Gesetze sind, wenn es keine Fs gibt (vorausgesetzt sie erfüllen auch (3) und (4)). Auch die folgende Aussage wäre demnach ein Gesetz: „Jeder Körper *dreht sich im Kreise*, sofern er nicht durch eingedrückte Kräfte zur Änderung seines Zustands gezwungen wird.“

Die naive Regularitätstheorie muss also beliebige instanzfreie Aussagen, die (1) bis (4) erfüllen, zulassen, selbst solche, die anderen widersprechen.

Die naive Regularitätstheorie kann also erstens zufällige Regularitäten nicht von Gesetzen unterscheiden und sie muss zweitens zahllose nicht-instantiierte Gesetze zulassen, selbst wenn diese sich widersprechen.

Da Naturgesetze nach dieser Konzeption Aussagen bloß über tatsächliche (regelmäßige) Vorkommnisse sind und sonst nichts, ist nicht zu sehen, wie sie etwas für die Beschreibung kontrafaktischer Situationen austragen können. Wie wir aber gesehen haben, ist die Unterstützung kontrafaktischer Konditionalausagen wesentlich für Vorhersagen und Eingriffe in die Natur.⁸

4.2 *Naturgesetze als Aussagen, die in Theorien integriert sind. (Mill, Ramsey, Lewis)*

Die zentrale empiristische Auffassung, nach der es in der Natur keine Kräfte, Dispositionen oder notwendigen Verknüpfungen, also keine modalen Fakten gibt, kann trotz der oben genannten Schwierigkeiten verteidigt werden. Eine Möglichkeit, diese Position zu verteidigen knüpft an die Beobachtung an, dass Naturgesetze typischerweise in Theorien integriert sind.⁹ Die These lautet dann, dass Naturgesetze diejenigen Regelmäßigkeiten sind (oder beschreiben), die nicht nur die Bedingungen (1) bis (4) erfüllen, sondern darüber hinaus in Theorien integriert sind. Sie sind also deshalb Naturgesetze, *weil* sie in Theorien integriert sind. Die Aussage (B) über angereichertes Uran ist tatsächlich in unsere Theorien integriert. Aus diesem Grund ist es – nach dieser Auffassung – ein Naturgesetz. Dagegen ist (A) nicht Teil einer Theorie und beschreibt daher eine bloß zufällige Regularität. Der Unterschied zwischen (A) und (B) besteht also nicht darin, dass im Falle der angereicherten Urankugeln ein Sachverhalt in der Natur vorliegt, etwa eine Beziehung zwischen angereichertem Uran und dem größtmöglichen Durchmesser einer Kugel aus diesem Material, die im Falle der Goldkugeln und ihrem Durchmesser nicht vorliegt. Der Unterschied besteht allein darin, dass die Aussage B Teil einer Theorie ist, die Aussage A dagegen nicht. Ist diese Auffassung plausibel?

Was spricht für diese Auffassung? Zunächst einmal eine ganze Menge; denn sie kann erklären, weshalb Naturgesetze viele der oben eingangs genannten Merkmale besitzen. Wie im Falle der naiven Regularitätstheorie sind Naturgesetze in diesem Sinne wahr sowie universell im ersten und zweiten Sinne, denn sie erfüllen die Bedingungen (1) bis (4). Die Forderung, dass die fraglichen Aussagen in Theorien integriert sein müssen, führt weiterhin dazu, dass zufällige Regularitäten wie (A) und unerwünschte nicht-instantiierte Gesetze wie das verfälschte erste Newtonsche Gesetz nicht länger als Naturgesetze klassifiziert werden.

⁸ Ausführliche Kritik in Armstrong (1983), Kap. 2–4.

⁹ Richard Braithwaite hat diese Auffassung vertreten (vgl. Braithwaite (1968)).

Wie sieht es nun mit der Stützung kontrafaktischer Konditionalaussagen aus? Kann die Integration von (B) in eine Theorie verständlich machen, weshalb wir die kontrafaktische Konditionalaussage „Selbst wenn es genügend angereichertes Uran 235 gäbe, würde eine Kugel vom Durchmesser 2 km zerbersten“ für wahr halten?

Das scheint plausibel. Denn wir würden in diesem Fall auf die Gesetze der Quantenmechanik und an die besonderen Bedingungen, die in einem Uran 235 Kern herrschen, verweisen. Wir würden auf jene Aussagen verweisen, aus denen (B) abgeleitet wurde. Es ist also der Umstand, dass (B) als abgeleitete Aussage in eine Theorie integriert ist, die verständlich macht, weshalb wir glauben, dass eine solche Kugel zerbersten würde, die also die Unterstützung kontrafaktischer Aussagen verständlich macht.

Es lässt sich auch erklären, weshalb wir den Eindruck haben, dank der Naturgesetze gebe es so etwas wie physische Notwendigkeit. Dieses Merkmal der Naturgesetze rührt nach dieser Auffassung daher, dass – gegeben die höheren Gesetze, aus denen das fragliche abgeleitet wird, sowie bestimmte Anfangsbedingungen – das Gesetz selbst gar nicht anders ausfallen kann.

Wenn wir uns nun fragen, ob so aufgefasste Naturgesetze ihre Instanzen erklären, so lässt sich auch dies plausibel machen. Vielleicht erklärt das Galileische Fallgesetz selbst nicht die einzelnen freien Fälle, denn man könnte einwenden, das Gesetz sei ja bloß eine Beschreibung dieser freien Fälle. Aber im Rekurs auf die Theorie, in die das Galileische Fallgesetz eingebettet ist, wird verständlich, weshalb Gesetze erklären, denn die übergeordneten Theorien machen verständlich, weshalb das Gesetz (und die Instanzen des Gesetzes) so und nicht anders beschaffen sind. Zumindest für aus Axiomen oder fundamentalen Gesetzen abgeleitete Gesetze gilt also, dass der hier vorgestellte Ansatz verständlich macht, weshalb Naturgesetze kontrafaktische Konditionalaussagen unterstützen und weshalb sie ihre Instanzen zu erklären vermögen.

Es spricht also recht viel für diesen Ansatz, allerdings sind die so aufgefassten Naturgesetze nicht objektiv, denn Theorien werden verworfen und andere an ihre Stelle gesetzt. So kann es geschehen, dass Aussagen, die den Kriterien (1) bis (4) genügen, zu einem Zeitpunkt in eine Theorie integriert sind, zu einem späteren aber nicht. Aussagen wären demnach für eine bestimmte Zeit Naturgesetze und nach einem Theorienwechsel bloß zufällige Regelmäßigkeiten. Ob etwas ein Naturgesetz ist, hängt demnach von unseren Meinungen (bzw. den für wahr gehaltenen Theorien) ab. Das Merkmal der Objektivität von Gesetzen kann also nicht erklärt werden.

Diese Schwierigkeit lässt sich beheben, indem man postuliert, dass die Zugehörigkeit zu irgendeiner irgendwann einmal für wahr gehaltenen Theorie nicht ausreiche. Es gebe vielmehr eine ideale Theorie. Entscheidend für den Gesetzescharakter ist die Integration in diese ideale Theorie. David Lewis hat im Anschluss an John Stuart Mill und Frank Ramsey eine solche Konzeption folgendermaßen beschrieben:

[A] contingent generalization is a law of nature if and only if it appears as a theorem (or axiom) in each of the true deductive systems that achieves a best combination of simplicity and strength. (Lewis (1973b), S. 73)

Mit der Forderung nach „Stärke“ oder „Informationsstärke“ meint Lewis, dass eine Theorie möglichst viele Regularitäten beschreiben sollte und diese auch möglichst präzise. Von einer guten Theorie ist aber weiterhin zu erwarten, dass sie nicht bloß eine Ansammlung solcher Aussagen ist, sondern dass diese auf der Basis möglichst weniger Annahmen systematisiert werden sollten und die Theorie in diesem Sinne einfach sein sollte.¹⁰

Wenn diese Charakteristika einer idealen Theorie sich unabhängig von den spezifischen Interessen und Meinungen der Menschen formulieren lassen, wenn sich also Einfachheit, Informationsstärke und Ausgewogenheit objektiv spezifizieren lassen, dann sind Naturgesetze, so wie Lewis sie versteht, objektiv. Es hängt dann nicht von den Interessen oder Meinungen der Menschen ab, ob eine Aussage eine zufällige Verallgemeinerung oder aber ein Gesetz ist. Eine Aussage ist Teil der idealen Theorie selbst dann, wenn niemand das je bemerken sollte.

Die Naturgesetzskonzeption von Lewis hat all jene Vorzüge, die auch die nicht-objektive Schwesterkonzeption besitzt. Sie kann über die Forderung, dass Naturgesetze in Theorien integriert sein müssen, z.B. die Unterstützung kontrafaktischer Konditionale und die Erklärungsleistung von Naturgesetzen verständlich machen.

Die Kritik, die an diesem Ansatz geübt wird, betrifft vor allem die Frage, ob die Kriterien, die Lewis für eine ideale Theorie nennt, tatsächlich objektiv sind. Kriterien für Einfachheit objektiv festzulegen ist nicht ganz einfach. Selbst die Forderung, die Theorie müsse, um als einfach zu gelten, möglichst wenige Axiome besitzen, die eine einfache logische Form aufweisen, hilft nur begrenzt weiter, da man durch die Definition geeigneter Prädikate jede Theorie auf wenige Axiome oder ein einziges Axiom zurückführen kann.¹¹

Einfachheit

Darüber hinaus gibt es ein Problem mit der *besten Kombination* von Einfachheit und Stärke. Was als beste Kombination gilt, muss nach bestimmten objektiven Kriterien abgewogen werden. Die sind aber nicht in Sicht (vgl. Armstrong (1983), S. 67; van Fraassen (1989), S. 41 f.).

Viel grundlegender als die Kritik an der Objektivität der idealen Theorie scheint mir aber die Frage zu sein, wie überzeugend die Grundidee des Ansatzes ist, dass Naturgesetze ihre Naturgesetzlichkeit deshalb besitzen, weil sie in Theorien (und sei es die ideale) integriert sind. Der Ausgangspunkt war ja die Beobachtung, dass Naturgesetze fast immer in Theorien integriert sind. Aber diese Beobach-

¹⁰ Wie probabilistische Gesetze in diese Konzeption zu integrieren sind, diskutiert Lewis in Lewis (1986, S. 121–131). Dort modifiziert Lewis auch die Forderung, dass in dem Fall, in dem es mehr als eine beste Theorie gibt, nur solche Aussagen als Gesetze gelten, die in allen besten Theorien vorkommen. Neben Lewis wird diese Position auch von John Earman (Earman (1986)) vertreten.

¹¹ vgl. Lewis (1999), S. 42; van Fraassen (1989), Kap. 3.

tung lässt sich auch zwanglos durch die Annahme verständlich machen, dass es ein Ziel unserer Theorien ist, Naturgesetze zu systematisieren. Dann wäre es nicht so, dass Aussagen *dank* ihrer Zugehörigkeit zu Theorien den Gesetzescharakter erwerben, vielmehr wäre es so, dass wir eine Theorie nur dann als eine gute Theorie akzeptieren, wenn sie möglichst viele Aussagen, die unabhängig von ihrer Theoriezugehörigkeit schon als Naturgesetze gelten, integrieren kann. Der Gesetzescharakter wäre dann etwas, was die Gesetze unabhängig von ihrer Theoriezugehörigkeit besitzen. Es steht z.B. außer Frage, dass der Gesetzescharakter des Galileischen Fallgesetzes und der Keplerschen Gesetze schon vor ihrer Integration in die Newtonsche Gravitationstheorie akzeptiert war. Im Falle des Fallgesetzes wird dies z.B. daran deutlich, dass Leibniz in seinen Beweisen bzw. Gedankenexperimenten zur Stützung seiner Sätze über die Erhaltung der Kraft (z.B. Met. Abh. § 17, 1686) auf das Fallgesetz Bezug nimmt, um kontrafaktische Szenarien zu beschreiben, bevor Newton 1687 seine *Principia* veröffentlichte und damit die Integration des Fallgesetzes in die Gravitationstheorie vollzog.

Wir akzeptieren Naturgesetze als solche auch dann, wenn sie nicht in Theorien integriert sind. Zwar ist es erstrebenswert, dass eine ideale Theorie sie integriert. Aber der Gesetzescharakter geht der Integration in Theorien voraus.

Wenn nun ein Vertreter des Lewis'schen Ansatzes einwenden wollte, dass es ihnen ja nicht um die Integration in *irgendeine* von uns für wahr gehaltene Theorie gehe, sondern um die Integration in die *ideale* Theorie und dass mein Argument gegen diese Behauptung nichts ausrichte, so ist darauf zu erwidern: Bei den uns bekannten Theorien scheint die Naturgesetzlichkeit der Integration in diese Theorien voranzugehen. Welches spezifische Merkmal idealer Theorien ist dafür verantwortlich, dass es sich bei idealen Theorien anders verhält? Warum sollte, so muss man fragen, die These plausibel sein, dass die Zugehörigkeit zu einer idealen Theorie Aussagen ihren Gesetzescharakter verleiht, wenn dies bei den uns bekannten Theorien nicht der Fall ist?

4.3 *Naturgesetze als Beziehungen zwischen Universalien (Dretske, Tooley, Armstrong)*

Seit den späten Siebziger Jahren haben sich angesichts der Schwierigkeiten, denen empiristische Ansätze ausgesetzt sind, alternative Auffassungen entwickelt. Ein erster solcher Ansatz verdankt sich den Arbeiten von Michael Tooley (1977), Fred Dretske (1977) und David Armstrong (1983). Erstens unterscheiden diese Autoren zwischen Naturgesetzaussagen einerseits und den Naturgesetzen, die durch diese Aussagen beschrieben werden. Zweitens gehen diese Auffassungen über die Vorgaben einer empiristischen Ontologie hinaus. Charakteristisch für die Position, die in den vergangenen Abschnitten beschrieben wurde, ist, dass die Aussagen, die als Naturgesetze bezeichnet wurden, Regularitäten in der Natur beschreiben – und sonst nichts. Sie beschreiben, dass der Tag stets auf die Nacht folgt und dass die Erde die Sonne stets auf einer Ellipsenbahn umläuft. Grundlegend für die nun

zu diskutierende Vorstellung ist dagegen die Intuition, dass Naturgesetzaussagen nicht bloß beschreiben, welche Regelmäßigkeiten es in der Natur gibt, sondern darüber hinaus einen Zwang, eine physische Notwendigkeit. Die Newtonschen Gesetze (bzw. Gesetzaussagen) der Himmelsmechanik beschreiben nicht nur, wie sich die Planeten faktisch verhalten, sie beschreiben, wie sie sich verhalten *müssen*. Die Planeten können gar nicht anders, als die Bahnen einzuschlagen, die sie dann tatsächlich einschlagen. Während in der empiristischen Tradition dieser Zwang nicht einer ist, dem die Planeten selbst unterliegen, sondern nur als solcher erscheint, weil die entsprechende Aussage aus einer deduktiv organisierten Theorie folgt, postuliert die hier zu diskutierende Alternative einen modalen Sachverhalt in der Natur. Dretske, Tooley und Armstrong fassen ihn als eine Erzwingungsrelation zwischen Eigenschaften auf.

Notwendigkeit

Wesentlich ist, dass in zwei Hinsichten über empiristische Vorgaben hinausgegangen wird. Naturgesetzaussagen setzen erstens die Existenz von Eigenschaften in einem starken Sinne voraus und zweitens, dass zwischen so verstandenen Eigenschaften eine Erzwingungsbeziehung besteht. Zunächst zu den Eigenschaften. In der empiristischen Tradition wird typischerweise angenommen, dass es einzelne Dinge gibt, die rot oder gelb sind. Mit dem Ausdruck „rot“ können wir all diese roten Dinge (und mögliche rote Dinge) zusammenfassen. Das, was die Menge dieser roten Dinge eint, ist der Umstand, dass sie durch unseren Ausdruck „rot“ zusammengefasst werden (Nominalismus). Die Alternative besteht darin, zu behaupten, dass es eine Eigenschaft, nämlich die Röte gibt, die in all diesen Dingen in irgendeinem Sinne entweder vorhanden ist oder an der die Dinge „teilhaben“, wie es in der an Platon anknüpfenden Tradition heißt. Mit dem Ausdruck „rot“ nehmen wir auf diese Eigenschaft Bezug. Die einzelnen roten Dinge sind dann Instantiierungen der Eigenschaft Röte. Eigenschaften sind Universalien, weil es von ihnen – anders als bei Einzeldingen – mehr als ein Vorkommnis, mehr als eine Instantiierung geben kann.

Erzwingungsrelation

Um Naturgesetze zu erklären, wird nun eine Beziehung zwischen derart aufgefassten Eigenschaften postuliert, die für die charakteristischen Merkmale von Naturgesetzen verantwortlich ist.¹² Grundlegend ist die Annahme, dass es etwas in der Natur gibt, das die Einzelvorkommnisse einer Regelmäßigkeit vereint oder zusammenbindet, so dass es eine gesetzmäßige Regelmäßigkeit ist. Dies geschieht, indem die Eigenschaften der Dinge verknüpft bzw. zusammengebunden sind.

Universalien

Betrachten wir ein Beispiel: Kupferstücke sind gute elektrische Leiter. Nach der hier diskutierten Auffassung haben wir es mit zwei Eigenschaften zu tun, der Eigenschaft, kupfern zu sein, und der Eigenschaft, ein guter elektrischer Leiter zu

¹² Da es von dieser Beziehung ebenfalls mehrere Vorkommnisse oder Instantiierungen geben kann, handelt es sich auch um ein Universale, ein Universale zweiter Ordnung (weil sie Eigenschaften – Universalien erster Ordnung – miteinander verknüpft). Es handelt sich um ein relationales Universale (vgl. Armstrong (1983), S. 91).

sein. Zwischen diesen Eigenschaften gibt es nun eine Beziehung, derart, dass das Kupfersein die Eigenschaft, ein guter elektrischer Leiter zu sein, *erzwingt*.

Dass eine Regularität der Form $\forall x (Fx \rightarrow Gx)$ ein Naturgesetz ist, heißt nach diesem Ansatz (und in der Formulierung von Armstrong), dass zwischen der Eigenschaft F und der Eigenschaft G eine Erzwingungsrelation N (*necessitation relation*) $N(F,G)$ besteht. In einem solchen Fall ist es nicht bloßer Zufall, dass alle Fs auch Gs sind, es *muss* dank der Erzwingungsrelation $N(F,G)$ auch so sein.

Was leistet diese Theorie der Naturgesetze? Der Unterschied zwischen zufälligen Regularitäten und Naturgesetzen lässt sich problemlos verständlich machen. Im Falle zufälliger Regularitäten liegt demnach zwar eine Regularität aber keine Erzwingungsrelation zwischen den fraglichen Eigenschaften vor. Des Weiteren sind die Gesetze im Sinne dieses Ansatzes objektiv, denn ob eine solche Relation vorliegt oder nicht, ist unabhängig von unseren Meinungen und Interessen. Die Erzwingungsrelation erklärt auch, weshalb Naturgesetze kontrafaktische Konditionalaussagen unterstützen: Wenn etwas ein F wäre, dann wäre es – dank der Relation $N(F,G)$ auch ein G. Es wird darüber hinaus verständlich, weshalb Naturgesetze ihren Gesetzescharakter nicht erst durch die Integration in eine Theorie gewinnen. Ob eine Erzwingungsrelation vorliegt, hängt nämlich nicht davon ab, ob eine Naturgesetzaussage Teil einer Theorie ist. Wenn wir eine Erzwingungsrelation unterstellen, dann ist auch nicht überraschend, dass Naturgesetze auf eine bestimmte Weise notwendig sind, denn so wurde die Erzwingungsrelation konzipiert.

Wichtig ist, dass die Erzwingungsrelation nicht mit der Beziehung der logischen Notwendigkeit gleichzusetzen ist (dann wäre es ein logischer Widerspruch, wenn jemand ein Naturgesetz verneinte). Es soll sich vielmehr um eine so genannte natürliche Notwendigkeit handeln, die zwar einen Zwang beschreibt, aber dennoch logisch kontingent ist.

Nach der Aufzählung der Erklärungsleistungen dieser Naturgesetze stellt sich die Frage, was denn die Erzwingungsrelation genau ist, und wie wir wissen können, ob es eine solche Relation überhaupt gibt. Zu der zweiten Frage schreibt Armstrong, dass wir es in Analogie zu den Schlüssen in den Naturwissenschaften mit einem Schluss auf die beste Erklärung zu tun haben. In der Physik wird z.B. die Existenz von Elektronen postuliert, weil wir auf der Basis dieser Annahme die beste Erklärung für zahlreiche Phänomene erhalten.

The inference to a connection between universals is a case of an inference to the best explanation. A series of states of affairs is observed, each a case of an F being a G. No Fs which are not Gs are observed. The postulation of the single state of affairs $N(F,G)$, gives a unified account of what is otherwise a mere series. (Armstrong 1983, 104).

Man kann allerdings fragen, ob die Analogie zu dem Schluss auf die beste Erklärung in den Naturwissenschaften wirklich überzeugt. Wenn wir die Existenz von Elektronen annehmen, dann können wir zahlreiche Phänomene aus unterschiedlichen Bereichen der Physik vereinheitlichend erklären und wir können auf

der Basis dieser Annahme neue Experimente durchführen. Die Erzwingungsrelation wird dagegen, so scheint es, zur Lösung eines spezifischen Problems postuliert.

Hinzu kommt, dass unklar ist, wie die Erzwingungsrelation einerseits kontingent sein kann, andererseits aber dafür verantwortlich sein soll, dass alle Fs Gs sind. Im Falle einer logisch notwendigen Beziehung oder im Falle einer semantisch notwendigen Beziehung, wie z. B. derjenigen, dass Junggesellen unverheiratet sind, folgt, dass auch tatsächlich alle Junggesellen unverheiratet sind. Aber wieso folgt aus dem Vorliegen der kontingenten Erzwingungsrelation $N(F,G)$ dass alle Fs Gs sind? Dass $N(F,G)$ kontingent ist, heißt ja gerade, dass es logisch nicht ausgeschlossen ist, dass es Fs gibt, die keine Gs sind. Wie bewerkstelligt $N(F,G)$, dass dies nicht vorkommt? Der Umstand, dass die fragliche Relation den Namen „Erzwingungsrelation“ erhalten hat, darf nicht mit einer Erklärung dieses Sachverhalts verwechselt werden (vgl. Lewis (1999), S. 39–45; van Fraassen (1989), Kap. 3).

4.4 Naturgesetz und Disposition

In den letzten Jahren haben mehrere Autoren eine Theorie von Naturgesetzen entwickelt deren zentrale Idee darin besteht, Naturgesetzaussagen als Aussagen über Dispositionen von Gegenständen aufzufassen (vgl. Bartels (2000); Bird (2007); Cartwright (1989), Kap. 5; Hüttemann (1998); Hüttemann (2007); Mumford (2004)).

Dispositionen sind uns aus dem Alltag vertraut. Die Löslichkeit eines Stückes Zucker in Wasser und die Tapferkeit einer Person sind Beispiele für dispositionale Eigenschaften. Tapferkeit manifestiert sich nicht unter allen Umständen, sondern nur dann, wenn es eine entsprechende Herausforderung gibt. Die Löslichkeit des Zuckers wird nur dann manifest, wenn das fragliche Stück Zucker in Wasser gegeben wurde. Eigenschaften, die nur unter bestimmten Bedingungen manifest sind, heißen im philosophischen Sprachgebrauch „Dispositionen“ – im Gegensatz zu kategorialen Eigenschaften, die immer manifest sind. (Als Beispiel für eine kategoriale Eigenschaft könnte man die Gestalt eines Gegenstandes anführen.)

Dispositionen

Wie kommt man nun dazu, Naturgesetzaussagen als Aussagen über Dispositionen von Gegenständen aufzufassen? Folgendes Beispiel aus Galileis *Unterredungen* mag dies verdeutlichen:

Wir sahen, dass die Differenz der Geschwindigkeiten verschiedener Körper von verschiedenem (spezifischen) Gewicht im allgemeinen größer war in den stärker widerstehenden Medien: aber im Quecksilber sinkt Gold nicht nur schneller als Blei, sondern Gold allein sinkt überhaupt, während alle anderen Metalle und Steine emporsteigen und schwimmen; andererseits aber fallen Gold, Blei, Kupfer, Porphyry und andere schwere Körper mit fast unmerklicher Verschiedenheit in der Luft; Gold von 100 Ellen Höhe kaum 4 Fingerbreit früher als Kupfer: angesichts dessen glaube ich, dass, wenn man den Widerstand der Luft ganz aufhobe, alle Körper ganz gleich schnell fallen würden. (Galilei (1987), S. 344)

Salviati, der hier für Galilei spricht, ist daran interessiert, etwas über das Verhalten von Gegenständen unter ganz bestimmten Umständen herauszufinden: Wie schnell fallen Gegenstände im Vakuum – wenn also kein störendes Medium vorhanden ist? Das Verhalten, das Galileis Fallgesetz beschreibt, wird nur unter diesen spezifischen Umständen manifest. Es handelt sich demnach nicht um eine kategoriale Eigenschaft, die dem Gegenstand durch das Fallgesetz zugeschrieben wird, sondern um eine dispositionale.

Dass Naturgesetzaussagen Gegenständen ein Verhalten zuschreiben, das diesen nur unter bestimmten Bedingungen zukommt, gilt nun nach dieser Konzeption ganz allgemein. Newtons erstes Gesetz beschreibt das Verhalten eines Systems, falls keine Kräfte wirken. Diesen Sachverhalt hatten wir oben bereits anlässlich der Explikation des Begriffs der Universalität III diskutiert. Naturgesetze sind typischerweise *Ceteris-paribus*-Gesetze. Sie beschreiben das Verhalten von Gegenständen unter spezifischen Umständen. Anders ausgedrückt: Sie schreiben ihnen Dispositionen zu.

Wie verhält sich diese Auffassung nun zu den bisher diskutierten und was kann sie erklären?

Was die zuvor diskutierten Naturgesetztheorien eint, ist der Umstand, dass sie Naturgesetze als von kategorialen Eigenschaften handelnd auffassen. Demgegenüber werden hier dispositionale Eigenschaften eingeführt. Eine Disposition wird als ein Universale aufgefasst. Im Unterschied zum Ansatz von Armstrong u. a. ist das Universale aber keine Relation zwischen zwei Eigenschaften, es ist vielmehr selbst eine Eigenschaft (eine dispositionale).

Die Annahme, dass Naturgesetzaussagen Systemen ein Universale zuschreiben, erlaubt nun, einige Merkmale von Naturgesetzen auf ganz ähnliche Weise zu erklären wie der Ansatz von Tooley, Dretske und Armstrong. Naturgesetze unterscheiden sich von zufälligen Regularitäten dadurch, dass im Naturgesetzfall die Gegenstände eine solche Disposition tatsächlich besitzen. Die Gesetze im Sinne dieses Ansatzes sind objektiv, denn ob eine solche Disposition vorliegt oder nicht, ist unabhängig von unseren Meinungen und Interessen. Das Vorliegen einer Disposition erklärt auch, weshalb Naturgesetze bestimmte kontrafaktische Konditionalaussagen unterstützen: Wenn ein Gegenstand die Disposition hat, unter bestimmten Umständen ein Verhalten zu zeigen, dann heißt das: Der Gegenstand würde sich so verhalten, wenn diese Umstände einträten. Es wird darüber hinaus verständlich, weshalb Naturgesetze ihren Gesetzescharakter nicht erst durch die Integration in eine Theorie gewinnen. Ob eine Disposition vorliegt, hängt nämlich nicht davon ab, ob eine Naturgesetzaussage Teil einer Theorie ist.

Was aber unklar bleibt, ist, wie im Falle der Theorie von Armstrong, wie sich die spezifische Notwendigkeit von Naturgesetzen erklären lässt. Wenn bestimmte Umstände vorliegen, dann zeigen Gegenstände nicht nur ein bestimmtes Verhalten, sie können gar nicht anders. Da es sich nicht um eine logische oder semantische Notwendigkeit handeln soll, stellt sich die Frage, was es heißt, dass das Verhalten (unter den gegebenen Umständen) mit natürlicher Notwendigkeit manifest wird.

5. Fazit

Eine restlos überzeugende Theorie der Naturgesetze gibt es nicht. Das Hauptproblem der verschiedenen Naturgesetze-theorien besteht darin, den naturgesetzlichen Zwang, dem die Naturgesetze zu unterliegen scheinen, verständlich zu machen. Diesen Zwang auf die Integration der Gesetze in eine Theorie zurückführen zu wollen überzeugt nicht, da der Gesetzescharakter der Integration in eine Theorie voran zu gehen scheint. Diejenigen Ansätze, die über die Vorgaben einer empiristisch motivierten Metaphysik hinausgehen, scheinen dagegen einen solchen Zwang einfach zu postulieren, ohne hinreichend zu belegen, weshalb ein solches Postulat plausibel ist.

Literaturhinweise

Einschlägige Arbeiten zur Geschichte des Naturgesetzbegriffs sind Zilsel (1942) und Ruby (1995). Neuere und weiterführende Literatur findet sich in dem Sammelband Hartbecke & Schütte (2006). Die These, dass Naturgesetze ihren Gesetzescharakter der Integration in Theorien verdanken, wird u. a. von Braithewaite (1968), Lewis (1973, 1986, 1999) sowie Earman (1986) vertreten. Einschlägig für die Auffassung, Naturgesetze seien Relationen zwischen Universalien, ist vor allem Armstrong (1983). Carrol (1994) ist eine Darstellung etwas jüngeren Datums. Eine ausführliche und hilfreiche Diskussion dieser beiden Positionen bietet van Fraassen (1989). Die These, dass Naturgesetzaussagen Gegenständen Dispositionen zuschreiben, wurde zuletzt in Bartels (2000), Hüttemann (2007) und besonders detailliert in Mumford (2004) vertreten. Weiterführende Arbeiten und Überblicke finden sich in den Sammelbänden Weinert (1995) und Hampe (2005).