

## 19. Ceteris-paribus-Gesetze in der Physik

**Andreas Hüttemann**

### 19.1 Einleitung

Naturgesetzexplikationen orientieren sich gewöhnlich an paradigmatischen Fällen. Die wohl einflussreichsten Fälle dieser Art sind die Newtonschen Gesetze, insbesondere das zweite Newtonsche Gesetz:

„Die Bewegungsänderung ist der eingedrückten Bewegungskraft proportional und geschieht in der Richtung der geraden Line, in der jene Kraft eindrückt.“ (Newton 1988, S. 53)

Charakteristisch für das zweite Newtonsche Gesetz ist, dass es erstens das Verhalten *jedes* physikalischen Systems und nicht nur das spezifischer Systeme, wie zum Beispiel idealer Gase oder Pendel beschreibt. Zweitens ist charakteristisch, dass das Gesetz *unter allen Umständen* das Verhalten der Systeme beschreibt – es gibt keine Ausnahmen, die sich etwa dem Auftreten irgendwelcher Störfaktoren verdanken. Auch wenn die Newtonsche Physik durch andere Theorien ersetzt wurde, finden sich in den Nachfolgetheorien Gesetze mit denselben Merkmalen. Die Schrödinger-Gleichung beispielsweise wird im Allgemeinen ebenfalls so aufgefasst, dass sie *alle* physikalischen Systeme beschreibt und dies *unter allen Umständen*. Beide Charakteristika werden gewöhnlich mit den Ausdrücken „Universalität“ oder „Allgemeinheit“ der Naturgesetze bezeichnet (vgl. Hüttemann 2007 für eine ausführliche Diskussion des Universalitätsbegriffs bezogen auf Naturgesetze).

Die Universalität oder Allgemeinheit (in beiderlei Hinsicht) ist dasjenige Merkmal der Naturgesetze, das in der Philosophiegeschichte die größte Aufmerksamkeit bekommen hat. Für Kant deutet die Universalität auf den apriorischen Charakter zumindest einiger fundamentaler Gesetze hin, und sie hat ihn motiviert, nach der Möglichkeit von Naturwissenschaft zu fragen (Kant 1787, 4). Auch im 20. Jahrhundert, etwa bei den syntaktischen Versuchen, Naturgesetze zu charakterisieren (zum Beispiel Hempel und Oppenheim 1948, S. 264ff.), wurde die Universalität der Naturgesetze als deren Hauptmerkmal diskutiert.

Nun sind aber nicht alle Gesetze, auf die in Erklärungen physikalischer Phänomene zurückgegriffen wird, in den beiden genannten Hinsichten universell. Manche Gesetze beschreiben *spezifische* physikalische Gesetze zum Beispiel für ideale Gase oder Wasserstoffatome. Gesetze die spezifische Systeme beschreiben werden auch als „Systemgesetze“ bezeichnet (Schurz 2002, S. 367)

Darüber hinaus gelten nicht alle Gesetze unter allen Umständen oder Bedingungen. Das

Galileische Fallgesetz gilt zum Beispiel nur im Vakuum, nicht aber in Medien. Die Schrödinger-Gleichung mit dem Coulombpotential ist nur dann eine angemessene Beschreibung des Wasserstoffatoms, wenn es keine externen Felder gibt. Newtons erstes Gesetz führt sogar explizit die Bedingungen an, unter denen es das Verhalten physikalischer Systeme nicht beschreibt:

„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.“ (Newton 1988, S. 53).

Gesetze, die das Verhalten von Systemen unter der Voraussetzung, dass bestimmte Bedingungen erfüllt sind, beschreiben, nennt man „*ceteris-paribus*-Gesetze“. Solche Gesetze wurden zunächst im Kontext der Ökonomie diskutiert (vgl. dazu Hüttemann, Reutlinger und Schurz 2011). Die Rolle solcher Gesetze in der Biologie, der Psychologie, den Sozialwissenschaften etc. wurde in den beiden letzten Jahrzehnten ausführlich diskutiert (vgl. unter anderem Bartelborth und Scholz 1997, Beatty 1995, Carrier 1999, Fodor 1991). Aber auch in der Physik gibt es *ceteris-paribus*-Gesetze, wie wir gerade gesehen haben.

In diesem Aufsatz möchte ich zeigen, dass sich die Probleme, die gewöhnlich im Zusammenhang mit *ceteris-paribus*-Gesetzen diskutiert werden, im Falle physikalischer *ceteris-paribus*-Gesetze lösen lassen. Im nächsten Abschnitt werde ich einige Unterscheidungen einführen, um dann die hauptsächlichen Probleme, mit denen *ceteris-paribus*-Gesetze konfrontiert werden, vorzustellen (19.3 bis 19.5). Anschließend (19.6 und 19.7) werde ich einen dispositionalen Ansatz von *ceteris-paribus*-Gesetzen verteidigen. Schließlich werde ich zeigen, wie man solche Gesetze überprüfen kann.

## 19.2 Unterscheidungen

Schurz (2002) unterscheidet zwischen *komparativen* und *exklusiven* *ceteris-paribus*-Gesetzen. Im Falle exklusiver *ceteris-paribus*-Gesetze wird behauptet, dass sich Systeme auf eine bestimmte Art verhalten, wenn es *keine* Störfaktoren gibt. Die Störfaktoren müssen also abwesend sein. Das erste Newtonsche Gesetz ist ein Beispiel für ein exklusives *ceteris-paribus*-Gesetz. Dagegen wird bei anderen *ceteris-paribus*-Gesetzen verlangt, dass bestimmte Faktoren ihren Wert *nicht verändern*. Wenn zum Beispiel behauptet wird, dass bei einer erhöhten Nachfrage nach einem Produkt die Preise steigen, dann wird unter anderem vorausgesetzt, dass das Angebot konstant bleibt. *Ceteris-paribus*-Gesetze können auch sowohl exklusiv als auch komparativ sein. Im eben genannten Beispiel wird zum Beispiel ebenfalls unterstellt, dass nicht von außen in den Markt eingegriffen wird, etwa durch eine Intervention, mittels derer staatliche Institutionen die Preise festsetzen. Im weiteren Verlauf werde ich nur exklusive *ceteris-paribus*-Gesetze diskutieren, denn Gesetze in der Physik beschreiben häufig isolierte Systeme, das heißt solche, auf die keine Störfaktoren

einwirken.

Im Blick auf exklusive *ceteris-paribus*-Gesetze unterscheidet Schurz zwischen definiten und indefiniten Gesetzen. Ein *ceteris-paribus*-Gesetz ist definit, wenn eine endliche Liste von Störfaktoren explizit angegeben werden kann, so dass das *ceteris-paribus*-Gesetz zu einem strikten (universellen) Gesetz vervollständigt werden kann. Ein definites *ceteris-paribus*-Gesetz hat demnach die folgende Form (wobei die  $I_i$  Störfaktoren sind): Für alle  $x$  gilt:  $((A \ \& \ \text{non-}I_1x \ \& \ \text{non-}I_2x \ \dots \ \& \ \text{non-}I_nx) \rightarrow Bx)$ . Wenn ein Gesetz nicht auf diese Weise vervollständigt werden kann, dann ist es indefinit (Schurz 2002, S. 359)<sup>101</sup>

Für den weiteren Verlauf der Argumentation ist es wichtig, dass Newtons erstes Gesetz ein genuines, das heißt indefinites *ceteris-paribus* Gesetz ist. In Newtons erstem Gesetz werden die Bedingungen, unter denen die Verhaltenszuschreibung auf die fraglichen Systeme zutrifft, zwar charakterisiert (Abwesenheit von eingedrückten Kräften), aber die denkbaren Störfaktoren (die einzelnen eindrückenden Kräfte, die auftreten könnten) lassen sich nicht einzeln explizit anführen. Newtons erstes Gesetz ist also ein indefinites *ceteris-paribus*-Gesetz. Insbesondere ist es ein Gesetz, das mit dem folgenden Problem konfrontiert ist, das die Grundlage für alle Kritik an *ceteris-paribus*-Gesetzen bildet.

### 19.3 Das Hempel-Lange-Dilemma

Die Rolle indefiniter exklusiver *ceteris-paribus*-Gesetze ist umstritten, weil sie mit einem Dilemma konfrontiert zu sein scheinen. Für viele Gesetze, wie zum Beispiel das Galileische Fallgesetz gilt, dass sie falsch sind, wenn man sie als strikte (universelle) Generalisierung versteht.

Die Behauptung „Immer dann, wenn ein Gegenstand fällt, genügt er der Gleichung  $s = \frac{1}{2} gt^2$ “ ist falsch, denn in Wasser und anderen Medien beschreibt die Gleichung das Verhalten fallender Körper nicht angemessen (erstes Horn des Dilemmas). Wenn man diesem Problem aber nun dadurch begegnet, dass man einen *ceteris-paribus*-Vorbehalt hinzufügt, scheint es, als seien diese Gesetze empirisch nicht zu widerlegen und insofern trivial (zweites Horn des Dilemmas):

„Immer dann, wenn ein Gegenstand fällt, genügt er der Gleichung  $s = \frac{1}{2} gt^2$ , es sei denn, es gibt einen Störfaktor.“

Ein solches Gesetz ist zumindest dann trivial, wenn schon das bloße nicht-Auftreten des durch die Gleichung beschriebenen Verhaltens als Hinweis auf die Existenz eines Störfaktors gewertet werden darf. Die *ceteris-paribus*-Gesetze ließen sich dann nicht falsifizieren (vgl. dazu Lange 1993, S. 235).

Wenn der bloße Umstand, dass die von Newtons erstem Gesetz postulierte gleichförmig

<sup>101</sup>Earman, Roberts und Smith (2002, 283f.) unterscheiden ganz ähnlich zwischen *ceteris-paribus*-Gesetzen, die faul („lazy“) sind, und solchen, die nicht-faul („non-lazy“) sind. Faule *ceteris-paribus*-Gesetze sind solche, bei denen sich die Bedingungen unter denen eine Verhaltenszuschreibung gilt, im Prinzip angeben ließe, so dass das *ceteris-paribus*-Gesetz in ein striktes Gesetz verwandelt werden könnte (man ist eben nur zu faul, dies auch zu tun).

geradlinige Bewegung nicht auftritt, als hinreichende Evidenz für die Existenz eines Störfaktors („eingedrückte Kraft“) betrachtet werden darf, dann ist Newtons erstes Gesetz nicht falsifizierbar.

#### 19.4 Der Ansatz von Pietroski und Rey

Wie andere Autoren auch, haben Paul Pietroski and Georges Rey (1995) für die These argumentiert, dass ceteris-paribus-Gesetze nicht zwingend trivial sind (Earman und Roberts 1999 geben eine Übersicht über verschiedene Ansätze, ceteris-paribus-Gesetze zu verstehen). Ich stelle hier den Ansatz von Pietroski und Rey vor, weil ich daran später anknüpfen werde. Ihre zentrale These lautet: Ceteris-paribus-Gesetze sind unter folgender Bedingung nicht-trivial: Für den Fall, dass das Antezedens realisiert ist, aber das Konsequens ausbleibt, kann dieses Ausbleiben durch einen unabhängig bestätigbaren Faktor erklärt werden. Eine etwas genauere Formulierung ihrer Bedingung lautet:

Ein ceteris-paribus-Gesetz  $ceteris-paribus(A \rightarrow B)$  ist nicht-trivialerweise wahr genau dann, wenn gilt:

- (1) ‘A’ und ‘B’ sind nomologische Prädikate
- (2) Für alle  $x$ , wenn  $Ax$ , dann (entweder  $Bx$  oder es gibt einen unabhängig bestätigten Faktor, der erklärt, weshalb  $\neg Bx$ ), und
- (3)  $ceteris-paribus(A \rightarrow B)$  erklärt zumindest irgend etwas.

Pietroski und Rey spezifizieren die Wahrheitsbedingungen für ceteris-paribus-Gesetze durch Bedingungen, welche die epistemische Akzeptibilität betreffen. Bedingung (1) soll sicherstellen, dass sich die Prädikate auf „natürliche“ Eigenschaften beziehen, „grue“-artige Prädikate sollen ausgeschlossen sein. Bedingung (3) soll ceteris-paribus-Gesetze ausschließen, die immer mit Störfaktoren konfrontiert sind. Es sollte wenigstens eine Instanziierung des Gesetzes geben.

Wesentlich für Pietroskis und Reys Ansatz ist die Bedingung (2). Hier wird ausbuchstabiert, unter welchen Bedingungen es legitim ist, einen Störfaktor anzugeben. Es wird erstens verlangt, dass der fragliche Störfaktor *unabhängig* bestätigbar sein muss, das heißt das bloße Ausbleiben des Konsequens reicht als Beleg für die Existenz eines Störfaktors nicht aus. Zweitens soll der Störfaktor *erklären*, weshalb das Konsequens ausbleibt. Wenn wir das Beispiel des Galileischen Fallgesetzes noch einmal betrachten, so ziehen wir hier als Erklärung für das Ausbleiben des Konsequens (also des Fallens gemäß der Gleichung  $s = \frac{1}{2}gt^2$ ) das Medium heran, zum Beispiel das Wasser. Für die Existenz dieses Störfaktors haben wir Belege, die unabhängig vom Ausbleiben des Konsequens sind. Darüber hinaus können wir unter Rekurs auf das Wasser erklären, weshalb

ein Gegenstand, zum Beispiel ein Stein, langsamer als erwartet fällt.

Der Vorschlag von Pietroski und Rey, wonach ein Störfaktor erstens unabhängig bestätigbar sein muss, und zweitens das Ausbleiben des Konsequens erklären muss, ist hilfreich, allerdings nicht hinreichend. Das wird durch einige Gegenbeispiele deutlich:

James Woodward (2002) hat den folgenden Vorschlag für eine ganze Klasse von ceteris-paribus-Gesetzen diskutiert:

„Alle geladenen Gegenstände beschleunigen mit  $n \text{ m/sec}^2$ “

Dieses Gesetz erfüllt für beliebiges  $n$  die Bedingungen von Pietroski und Rey. Warum? Nehmen wir den Fall „Alle geladenen Gegenstände beschleunigen mit  $10 \text{ m/sec}^2$ .“ Die Prädikate sind nomologisch oder natürlich (Bedingung 1), Das Gesetz trifft auf einige Gegenstände sicherlich zu (Bedingung 3). Für alle Fälle, in denen es nicht zutrifft – zum Beispiel wenn ein Gegenstand mit  $20 \text{ m/sec}^2$  beschleunigt wird – kann erklärt werden, warum dies so ist. Es wird irgendwelche Felder geben, die für die Beschleunigung verantwortlich sind. Es lässt sich dann ein (unabhängig bestätigbarer) Faktor, nämlich das Feld, angeben, der das Ausbleiben des Konsequens erklärt.

Auf diese Weise bekämen wir für jedes beliebige  $n$  ein ceteris-paribus-Gesetz. Das ist offensichtlich unplausibel.

Earman und Roberts (1999, S. 453) diskutieren ein anderes Gegenbeispiel:

„Wenn etwas rund ist, ist es ein guter elektrischer Leiter.“

Auch hier gilt, dass im Falle von runden Gegenständen, die keine guten elektrischen Leiter sind, sich immer ein unabhängig bestätigbarer Faktor angeben lässt, nämlich die molekulare Struktur des fraglichen Gegenstandes, der das Nicht-Eintreten des Konsequens erklärt.

Das Problem, das sich in beiden Fällen zeigt, ist das folgende: Die Bedingungen, die Pietroski und Rey aufgestellt haben, garantieren nicht, dass das Antezedens auf eine relevante Weise mit dem Konsequens zusammenhängt. Rundheit hat mit guter elektrischer Leitfähigkeit nichts zu tun und der Umstand, dass ein Gegenstand elektrisch geladen ist, hängt zwar mit seiner Beschleunigung zusammen, nicht aber mit einem festen Wert dieser Beschleunigung.

## 19.5 Die Herausforderung

Ich habe nur einen einzigen Versuch, ceteris-paribus-Gesetze zu verstehen, vorgestellt – vor allem im Hinblick darauf, dass ich an diesen Vorschlag später anknüpfen werde. Es gibt nun zahlreiche weitere Versuche, dem Hempel-Lange-Dilemma zu entgehen, die ich hier nicht diskutieren kann (vgl. dazu Earman und Roberts 1999). Es ist unstrittig, dass sie alle mit Problemen zu kämpfen

haben. John Earman und John Roberts haben vor diesem Hintergrund ein wenig optimistisches Resümee gezogen:

„[...] there is no persuasive analysis of the truth conditions of such laws; nor is there any persuasive account of how they are saved from vacuity; and, most distressing of all, there is no persuasive account of how they meld with standard scientific methodology, how, for example, they can be confirmed or disconfirmed. In sum, a royal mess.“ (Earman, Roberts 1999, S. 470f.).

Earman und Roberts identifizieren zwei Hauptprobleme, die eine Theorie von *ceteris-paribus*-Gesetzen lösen sollte:

- a) Das *semantische* Problem: Was sind die Wahrheitsbedingungen von *ceteris-paribus*-Gesetzen?
- b) Das *epistemische* Problem: Wie überprüft man *ceteris-paribus*-Gesetze?

Im Folgenden werde ich zeigen, dass sich diese Problem für *ceteris-paribus*-Gesetze in der Physik lösen lassen.

## 19.6 Zur Semantik von *ceteris-paribus*-Gesetzen

Als erstes möchte ich die Frage nach den Wahrheitsbedingungen beantworten. Dabei werde ich, wie andere Autoren auch (zum Beispiel Cartwright 1989, Bird 2007), auf einen alten Vorschlag von John Stuart Mill zurückgreifen. Wie sich zeigen wird, ist damit – zumindest in der gewöhnlichen Formulierung dieses Vorschlags – zunächst wenig für die Beantwortung der zweiten Frage gewonnen. Der Vorschlag von Mill muss deshalb einerseits präzisiert und andererseits ergänzt werden (siehe Abschnitt 7).

Mill hatte sich mit dem Problem beschäftigt, ob Naturgesetze Ausnahmen haben können:

“With regard to *exceptions*; in any tolerably advanced science there is properly no such thing as an exception. What is thought to be an exception to a principle is always some other and distinct principle cutting into the former: some other force which impinges against the first force, and deflects it from its direction. There are not a *law* and an *exception* to that law – the law acting in ninety-nine cases, and the exception in one. There are two laws, each possibly acting in the whole hundred cases, and bringing about a common effect by their conjunct operation. [...] Thus if it were stated to be a law of nature, that all heavy bodies fall to the ground, it would probably be said that the resistance of the atmosphere, which prevents a balloon from falling, constitutes the balloon as an exception to that pretended law of nature. But the real law is that all heavy bodies *tend* to fall [...]”. (Mill 1836 zitiert in Mill 2000, S. 56.)

Mill schlägt hier also vor, nicht von Ausnahmen der Naturgesetze zu reden, sondern Naturgesetze als Aussagen über Tendenzen oder Dispositionen, die Gegenständen zukommen, aufzufassen.

Für eine solche These gibt es gute Gründe, die ich nun vorstellen möchte. Ich möchte als erstes

zeigen, dass es unabhängig von der Debatte um *ceteris-paribus*-Gesetze gute Gründe gibt, anzunehmen, dass Naturgesetze physikalischen Systemen Dispositionen zuschreiben. Teil-Ganzes-Erklärung in der Physik lassen sich am besten unter der Annahme verstehen, dass Naturgesetze Systemen Dispositionen zuschreiben. Dies wird ein erster Schritt sein, die Frage nach der Semantik und der Überprüfung von *ceteris-paribus*-Gesetzen zu beantworten.

## A Teil-Ganzes-Erklärungen

### *Ein Beispiel*

Die Erklärung des Energiespektrums von Kohlenstoffmonoxid ist ein Beispiel für eine Teil-Ganzes-Erklärung. Kohlenstoffmonoxidmoleküle bestehen aus zwei Atomen mit den Massen  $m_1$  und  $m_2$ , die sich in einem Abstand  $x$  voneinander befinden. Abgesehen von Schwingungen entlang der  $x$ -Achse können sie Rotationen im dreidimensionalen Raum durchführen. Das System lässt sich daher als rotierender Oszillator beschreiben. Das Verhalten des zusammengesetzten Systems wird durch das Verhalten der Teile (Oszillator und Rotator) erklärt. (Es handelt sich hier nicht um räumliche Teile, sondern um verschiedene Freiheitsgrade.) Der Physiker Arno Bohm, der dieses Beispiel in seinem Lehrbuch der Quantenmechanik behandelt, beschreibt das Vorgehen im Falle einer solchen Erklärung wie folgt:

„We shall therefore first study the rigid-rotator model by itself. This will provide us with a description of the CO states that are characterised by the quantum number  $n=0$ , and will also approximately describe each set of states with a given vibrational quantum number  $n$ . Then we shall see how these two models [Der harmonische Oszillator wurde schon in einem früheren Kapitel diskutiert. A.H.] are combined to form the vibrating rotator or the rotating vibrator“ (A. Bohm 1986, S. 128)

In einem ersten Schritt wird das Gesamtsystem (das CO-Molekül) in Teilsysteme aufgeteilt (Rotator und Oszillator). Diese werden nun im zweiten Schritt betrachtet, als seien sie jeweils isoliert. In Bezug auf den isolierten Rotator gilt das folgende Gesetz:

- (1) Rotatoren werden durch die Schrödinger-Gleichung mit dem folgenden Hamiltonoperator beschrieben:  $\mathbf{H}_{\text{rot}} = \mathbf{L}^2/2I$ , mit  $\mathbf{L}$  als Drehmomentoperator und  $I$  als Trägheitstensor.

In Bezug auf den Oszillator gilt das Gesetz:

- (2) Oszillatoren werden durch die Schrödinger-Gleichung mit dem folgenden Hamiltonoperator beschrieben:  $\mathbf{H}_{\text{osc}} = \mathbf{P}^2/2\mu + \mu\omega^2\mathbf{Q}^2/2$ , mit  $\mathbf{P}$  als Impulsoperator,  $\mathbf{Q}$  als Ortsoperator,  $\omega$  als Frequenz des oszillierenden Gegenstandes und  $\mu$  als reduzierter Masse.

Diese Gesetze, die sich auf die als isoliert gedachten Subsysteme beziehen – also auf kontrafaktische Situationen, bringen wir nun – in einem dritten Schritt – zur Anwendung auf das

zusammengesetzte System und konstruieren einen Hamiltonoperator für das CO-Molekül als Ganzes und somit das folgende Gesetz:

(3) Oszillierende Rotatoren werden durch die Schrödinger-Gleichung mit dem folgenden Hamiltonoperator beschrieben:  $\mathbf{H} = \mathbf{H}_{\text{rot}} \otimes \mathbf{I} + \mathbf{I} \otimes \mathbf{H}_{\text{osc}}$ , mit  $\mathbf{I}$  als Identitätsoperator.

Dabei stützen wir uns auf ein Gesetz, das beschreibt, wie man Teilsysteme zusammenfügt:

„Let one physical system be described by an algebra of operators,  $A_1$ , in the space  $R_1$ , and the other physical system by an algebra  $A_2$  in  $R_2$ . The direct-product space  $R_1 \otimes R_2$  is then the space of physical states of the physical combinations of these two systems, and its observables are operators in the direct-product space. The particular observables of the first system alone are given by  $A_1 \otimes \mathbf{I}$ , and the observables of the second system alone are given by  $\mathbf{I} \otimes A_2$  ( $\mathbf{I}$  = identity operator).“ (A. Bohm 1986, S. 147)

Dieses Zusammensetzungsgesetz erlaubt uns das Verhalten des zusammengesetzten Systems durch (3) zu beschreiben und mithin durch (1) und (2) zu erklären.

Ein anderes Beispiel für eine solche Teil-Ganzes-Erklärung betrifft das Verhalten des Sonnensystems. In die Beschreibung des dynamischen Verhaltens des Sonnensystems gehen die Terme für die kinetische Energie der Planeten und der Sonne ein (diese Terme beschreiben, wie sich die jeweiligen Teilsysteme in Isolation verhielten). Aufgrund eines Zusammensetzungsgesetzes können wir diese Terme in eine einzige Hamiltonfunktion zusammenführen. (Der einzige Unterschied zu dem zuvor beschriebenen Fall besteht darin, dass hier auch Wechselwirkungsterme berücksichtigt werden.)

#### *Allgemeines Schema von Teil-Ganzes-Erklärungen*

Eine Teil-Ganzes-Erklärung des Verhaltens eines zusammengesetzten Systems liegt dann vor, wenn es sich auf der Basis

- (1) des Verhaltens der isolierten Teilsysteme
  - (2) allgemeiner Gesetze der Zusammensetzung von Systemen und
  - (3) allgemeiner Wechselwirkungsgesetze
- erklären bzw. ableiten lässt (vgl. dazu Hüttemann 2005).

### **B Dispositionen**

Im nächsten Schritt möchte ich nun zeigen, dass wir Dispositionen benötigen, um uns Teil-Ganzes-Erklärungen verständlich zu machen. Kategorische und dispositionale Eigenschaften unterscheidet ich folgendermaßen: Eine dispositionale Eigenschaft ist eine Eigenschaft, die, wenn sie von einem Gegenstand instantiiert wird, nur unter *ganz bestimmten* Bedingungen manifest ist. Eine kategorische Eigenschaft dagegen ist, wenn sie von einem Gegenstand instantiiert wird, unter

*allen* Umständen manifest. Auch wenn dies nicht die orthodoxe Art und Weise ist, diese Unterscheidung einzuführen, sieht man leicht, dass die üblicherweise diskutierten klaren Fälle auf die richtigen Seiten dieser Unterscheidungen fallen. Zerbrechlichkeit oder Löslichkeit, sind, wenn sie ein Gegenstand besitzt oder instantiiert, nur unter bestimmten Bedingungen manifest. Die Masse oder Struktur eines Gegenstandes sind Kandidaten für kategorische Eigenschaften. (Letztlich bin ich aber nicht auf die These festgelegt, dass es überhaupt kategorische Eigenschaften gibt.)

Warum müssen wir physikalischen Systemen Dispositionen unterstellen? Wesentlich für Teil-Ganzes-Erklärungen ist die Bezugnahme auf das Verhalten der Teilsysteme. Das Verhalten dieser Teilsysteme ist aber gar nicht manifest, solange die Teilsysteme das zusammengesetzte System konstituieren. Das Beispiel des Kohlenstoffmonoxids illustriert diese These. Die Teilsysteme Rotator und Oszillator tragen zum Gesamtverhalten zum Beispiel zur Gesamtenergie bei. Aber das Verhalten der Teilsysteme, auf die Bezug genommen wird, ist nicht manifest. Wäre das Verhalten des Oszillators oder des Rotators manifest, dann müsste es sich messen lassen. Gemessen werden kann aber lediglich das Energiespektrum des Gesamtsystems, es sei denn, man zerstört dasselbe.

Die Teil-Ganzes-Erklärung nimmt also Bezug darauf, wie sich das Teilsystem Oszillator verhalten würde, wenn der Rotator nicht vorhanden wäre. Rotator und Oszillator tragen einerseits gemeinsam zum Gesamtverhalten bei, andererseits hindern sie sich wechselseitig, ihr je eigenes Verhalten zu manifestieren. Sie sind gewissermaßen wechselseitig Störfaktoren (*antidotes*), welche die (vollständige) Manifestation verhindern. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Verhalten, das die Gesetze (1) und (2) den Teilsystemen zuschreiben, nicht manifest ist. Das heißt, dass die Gesetze den Systemen zuschreiben, ein Verhalten unter ganz bestimmten Bedingungen zu manifestieren, nämlich wenn sie isoliert sind – mit anderen Worten: die Gesetze schreiben den Systemen Dispositionen zu.

Viele Naturgesetze schreiben Systemen ein Verhalten zu, dass diese nur dann manifestieren, wenn ganz bestimmte Bedingungen erfüllt sind, insbesondere, wenn keine Störfaktoren vorhanden sind. Naturgesetze schreiben physikalischen Systemen typischerweise Dispositionen zu. Newtons erstes Gesetz ist ein gutes Beispiel dafür, dass Naturgesetze das Verhalten von physikalischen Systemen unter ganz bestimmten Bedingungen beschreiben, nämlich der Abwesenheit von Störfaktoren („sofern er nicht durch eingedrückte Kräfte zur Änderung seines Zustands gezwungen wird“).

Eine solche Bezugnahme auf Manifestations- oder Auslösebedingungen wird selten explizit, meistens implizit gemacht. Wenn behauptet wird, Wasserstoffatome verhielten sich gemäß der Schrödinger-Gleichung mit dem Coulombpotential, dann gilt das nur für den Fall, dass keine Störfaktoren vorhanden sind. Das Galileische Fallgesetz, wonach die beim Fall zurückgelegte Strecke sich proportional zum Quadrat der Fallzeit verhält, unterstellt ebenfalls die Abwesenheit von Störfaktoren. Auch für diese beiden Gesetze gilt, dass sie Systemen ein Verhalten

zuschreiben, das diese nur unter bestimmten Bedingungen manifestieren. Sie schreiben den Systemen folglich Dispositionen zu.

### **C Dispositionen und ceteris-paribus-Gesetze**

Wenn man voraussetzt, dass Naturgesetze Systemen Dispositionen zuschreiben, hat dies hinsichtlich der oben erwähnten Probleme, die im Zusammenhang mit ceteris-paribus-Gesetzen diskutiert werden, zumindest auf den ersten Blick große Vorteile. Denn nach dieser Lesart schreiben Naturgesetze physikalischen Systemen (Körpern, Pendeln etc.) Dispositionen zu, die sie unter allen Umständen besitzen. Aus ceteris-paribus-Gesetzen werden strikte Gesetze. So haben alle Körper nach dem ersten Newtonschen Gesetz unter allen Umständen die Disposition, sich gleichförmig geradlinig zu bewegen. Das ist ein striktes Gesetz. Es bezieht sich auf das Haben der Disposition, nicht auf das Verhalten, zu dem das fragliche System disponiert ist. Dass die fraglichen Systeme die zugeschriebenen Dispositionen haben, soll – wie bei Mill – ausnahmslos gelten. Ein ceteris-paribus-Vorbehalt ist dann nicht mehr nötig. Das Hempel-Lange Dilemma tritt gar nicht auf. Kurzum: Der Vorschlag für die Semantik von ceteris-paribus-Gesetzen lautet: Ceteris-paribus-Gesetze in der Physik schreiben Systemen Dispositionen zu, sich bei Abwesenheit von Störfaktoren auf eine bestimmte Art und Weise zu verhalten.

## **19.7 Einwände und Erwiderungen**

Der Dispositionsansatz vermag zwar eine Semantik für ceteris-paribus-Gesetze anzugeben, also anzugeben, wovon diese Gesetze handeln. Allerdings bleibt zunächst unklar, unter welchen Bedingungen welche spezifische Disposition zugeschrieben werden darf und wie solche Zuschreibungsbehauptungen zu überprüfen sind.

Vor allem zwei Probleme sind gegen den Dispositionsansatz vorgebracht worden (vgl. dazu Schrenk 2007):

1. Der Vorwurf, eine solche Zuschreibung erkläre nichts, weil sich aus dem Vorliegen der Disposition, das zu erklärende Verhalten nicht erschließe: Dispositionen können präsent sein, ohne (vollständig) manifest zu sein:

„Thus if what one wants explained is the *actual* pattern, how does citing a tendency – which for all we know may or may not be dominant and, thus, by itself may or may not produce something like the actually observed pattern – serve to explain this pattern?“ (Earman und Roberts 1999, S. 451f.)

Es mag ja sein, so lautet dieses Argument, dass Ausnahmen als das Zusammenspiel zweier Gesetze oder Dispositionen zu verstehen ist, wie schon Mill meinte. Das hilft uns bei der Erklärung oder Vorhersage von Phänomenen aber nicht weiter, solange wir nicht wissen, wie dieses Zusammenspiel genau aussieht.

Dieser Einwand lässt sich relativ einfach entkräften, denn er übersieht die Rolle der Zusammensetzungsgesetze. Oben haben wir gesehen, wie in der Physik mit Hilfe von Dispositionen das Verhalten zusammengesetzter Systeme erklärt werden kann, auch wenn die fraglichen Dispositionen nicht (vollständig) manifest sind. Das Zusammensetzungsgesetz beschreibt quantitativ genau, was die einzelnen Dispositionen zum Gesamtverhalten beitragen. Dank der Zusammensetzungsgesetze in der Physik lässt sich quantitativ exakt bestimmen, in welchem Maße Dispositionen zu einem Phänomen beitragen, auch dann wenn sie nicht dominant sind, bzw. von einer anderen Disposition „gestört“ werden.

2. Der Trivialitätsvorwurf: Die Dispositionstheorie vermeidet zwar das Hempel-Lange-Dilemma, gleichwohl scheint sie dem Trivialitätsvorwurf nicht zu entgehen:

Die Dispositionstheorie interpretiert „ceteris-paribus(Alle As sind Bs)“ als: „Alle As haben die Disposition Bs zu sein.“ Das ist nur dann eine informative und empirisch überprüfbare Aussage, wenn man die Manifestationsbedingungen der Disposition angeben kann. Denn die nicht explizit ausbuchstabierbaren ceteris-paribus-Bedingungen, die für das zweite Horn des Hempel-Lange-Dilemmas verantwortlich sind, werden durch den Dispositionsansatz gewissermaßen in Manifestations- oder Auslösebedingungen verwandelt. Folglich erfordert der Dispositionsansatz, die ceteris-paribus-Bedingungen auszubuchstabieren (Lipton 1999). Im Falle von exklusiven ceteris-paribus-Gesetzen, die wir hier untersuchen, heißt das: Die fraglichen Dispositionen sind dann manifest, wenn keine Störfaktoren vorliegen, das heißt wenn die Systeme isoliert sind. Um die Manifestationsbedingungen zu explizieren, scheinen wir wieder auf den Begriff des Störfaktors angewiesen zu sein. Der Trivialitätsvorwurf, den wir eingangs schon kennen gelernt haben, nimmt dann folgende Form an: Wenn die ausbleibende Manifestation des durch das Gesetz beschriebenen Verhaltens als Hinweis auf die Existenz eines Störfaktors gewertet werden dürfte (dessen Abwesenheit nun als Manifestationsbedingung klassifiziert wird), ließen sich ceteris-paribus-Gesetze (die hier als Dispositionszuschreibung aufgefasst werden) nicht falsifizieren. Wir scheinen also keinen Schritt weiter zu sein.

Um diesen Einwand zu erwidern müssen zwei Arten, wie man die Manifestationsbedingungen für die fraglichen Dispositionen ausbuchstabieren kann, unterschieden werden. Nach der ersten Lesart wird die Disposition B zu sein manifest, wenn es keine *Störfaktoren* gibt (so habe ich bisher gesprochen). Nach der zweiten Lesart wird B manifest, wenn es keine anderen Faktoren gibt – gleichgültig ob störend oder nichtstörend. Nach der zweiten Lesart, wird die Manifestation B zu sein nur in Welten manifest, in denen es abgesehen von dem System mit der fraglichen Disposition nichts gibt. Die erste Lesart ist deshalb problematisch, weil spezifiziert werden muss, was mit Störfaktor gemeint ist, um die Disposition zu anzugeben. Solange aber nur gesagt werden kann, dass als Störfaktor alles zählt, was die Manifestation der Disposition verhindert, ist die Zuschreibung einer solchen Manifestation analytisch wahr und somit trivial. Die zweite Lesart hat

dieses Problem nicht, da von Störfaktoren nicht die Rede ist. Allerdings handelt sich die Lesart ein anderes Problem ein, das aber – wie ich zeigen möchte – lösbar ist. Das Problem ist das folgende: B wird nur dann manifest, wenn das fragliche System gewissermaßen die ganze Welt ist – wenn es sonst nichts gibt. Warum ist das relevant für die Beschreibung unserer Welt? Wie können Gesetzesaussagen, die solche Dispositionen zuschreiben, etwas erklären? Wie können sie überprüft werden? Nun, die erste Frage haben wir schon beantwortet. Dispositionen können Phänomene erklären, auch wenn neben der fraglichen Disposition weitere Faktoren anwesend sind, da sie Zusammensetzungsgesetzen genügen. Die zweite Frage betrifft weniger das semantische Problem für *ceteris-paribus* Gesetze sondern das epistemische und soll im folgenden Abschnitt diskutiert werden.

### **19.8 Die Überprüfung von *ceteris-paribus*-Gesetzen**

Das folgende epistemische Problem wurde in Abschnitt 5 vorgestellt: Wie können *ceteris-paribus*-Gesetze empirisch überprüft werden? Pietroski und Rey hatten verlangt, dass für ein exklusives *ceteris-paribus*-Gesetz im Falle des Ausbleibens des Konsequens ein unabhängig bestätigbarer Störfaktor angegeben werden muss, der dieses Ausbleiben erklärt. Wir hatten gesehen, dass dieser Vorschlag mit einigen Gegenbeispielen konfrontiert wurde. Im Folgenden möchte ich zeigen, dass sich das epistemische Problem lösen lässt, wenn man Pietroskis und Reys Vorschlag ergänzt. Genauer: Ob etwas ein epistemisch legitimes *ceteris-paribus*-Gesetz ist, hängt auch von der Einbettung in eine experimentelle und theoretische Methodologie ab, die es erlaubt den Einfluss von (Stör)faktoren zu bestimmen. Meine These ist, dass der Rekurs auf einen Störfaktor nicht allein das Ausbleiben des Konsequens erklären muss, sondern darüber hinaus muss dieser Störfaktor experimentell oder theoretisch so variiert werden können, dass erschließbar ist, wie sich das fragliche System bei Abwesenheit der Störung verhalten hätte.

#### **A Ein Beispiel**

Zur Illustration möchte ich das erste Newtonsche Gesetz mit einer Alternative kontrastieren. Zur Erinnerung:

„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.“ (N)

Wenn wir den Kritikern von *ceteris-paribus*-Gesetzen folgten, sollten wir dieses Gesetz für trivial und nicht überprüfbar halten. Insbesondere sollte das Hempel-Lange-Dilemma gelten: Ohne die Bedingung „sofern er nicht durch eingedrückte Kräfte zur Änderung seines Zustands gezwungen wird“ ist die Aussage falsch. Mit der Bedingung scheint sie trivial zu sein, denn immer dann, wenn

ein Körper sich nicht geradlinig gleichförmig bewegt, können wir dies zum Anlass nehmen eine Kraft zu postulieren. Die Bedingung scheint nicht mehr zu sagen als „es sei denn es trifft nicht zu“. Also scheint das Gesetz nicht überprüfbar zu sein.

Das trifft aber nicht zu. Wir können es sehr wohl überprüfen, wie ein Vergleich mit der folgenden Behauptung deutlich macht:

„Jeder Körper bewegt sich im Kreise, sofern er nicht durch eingedrückte Kräfte daran gehindert wird.“ (N\*)

Beide Gesetzesaussagen haben manches gemein. In beiden Fällen wird – wenn wir den bisherigen Überlegungen folgen – eine Disposition zugeschrieben. Beide Aussagen enthalten explizite *ceteris-paribus*-Vorbehalte. In beiden Fällen ist es unwahrscheinlich, dass die Manifestationsbedingungen je erfüllt sind – wir werden keinen Manifestationen dieser Dispositionen begegnen. Sind deshalb beide Zuschreibungen gleichermaßen trivial, weil nicht überprüfbar?

Der entscheidende Grund, weshalb wir (N) und nicht (N\*) als epistemisch legitimes *ceteris-paribus*-Gesetz akzeptieren, ist der Folgende: Wir besitzen eine Methodologie, dank derer wir bestimmen können, was passieren würde, wenn die Störfaktoren abwesend wären. Es kann plausibel gemacht werden, wie sich der Störfaktor *quantitativ* auf das Verhalten des Systems auswirkt, so dass insbesondere klar wird, wie sich das System im Grenzfall verhielte, wenn der Störfaktor abwesend wäre. Diese Variation der Störfaktoren erlaubt uns zu erschließen, ob der behauptete nomologische Zusammenhang in (N) oder (N\*) tatsächlich besteht.

Eine solche Überprüfung des quantitativen Einflusses von Störfaktoren kann entweder experimentell oder theoretisch durchgeführt werden. Experimentell kann zum Beispiel das Verhalten eines Elektrons in einem magnetischen Feld (das wäre dann der Störfaktor) überprüft werden. Die *experimentelle Variation* des Feldes zeigt: Je geringer die Kraft, die auf das Elektron wirkt, desto mehr nähert sich das Verhalten des Elektrons dem im ersten Newtonschen Gesetz beschriebenen Verhalten an. Beliebige Verringerungen der Kraft, die auf das Elektron wirkt, zeigen dagegen keine Annäherung an das in N\* beschriebene Verhalten.

Neben der experimentellen Variation stehen auch theoretische Mittel zur Verfügung, um den Einfluss von Störfaktoren quantitativ zu bestimmen. Wenn sich zum Beispiel ein Komet im Schwerfeld der Sonne bewegt, erlaubt mir die Gravitationstheorie zu berechnen, wie sich der Komet verhielte, wenn die Masse der Sonne geringer wäre, bzw. verschwände. Es ergibt sich, dass der Komet sich bei Abwesenheit der Sonne gemäß (N), nicht aber gemäß (N\*) verhielte.

An dieser Stelle ist wieder die Teil-Ganzes-Erklärung von Bedeutung: Wenn die vollständige Manifestation einer Disposition eines Systems (zum Beispiel des Kometen) durch einen Störfaktor

(zum Beispiel die Sonne) verhindert wird, können wir den Störfaktor zusammen mit dem ursprünglichen System als zusammengesetztes System betrachten. Das Verhalten des zusammengesetzten Systems lässt sich im Rahmen einer Teil-Ganzes-Erklärung verständlich machen. Innerhalb der theoretischen Beschreibung des Gesamtsystems können wir verschiedene Faktoren/Teilsysteme variieren und betrachten, was im Grenzfall eines verschwindenden Faktors (Störung) passieren würde (vgl. den Beitrag von Egg Abs. 9.2 und 9.3 zur Bedeutung der Variation im Experiment).

### **B Epistemische Akzeptabilität**

Auf der Basis der vorangegangenen Überlegungen möchte ich die These vertreten, dass exklusive *ceteris-paribus*-Gesetze ( $cp(A \rightarrow B)$ ) genau dann epistemisch akzeptable Gesetze sind (und dem Trivialitätsvorwurf entgehen), wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

1.) Für den Fall des nicht-Eintretens der Manifestation muss (*post factum*) ein *externer* Störfaktor, der das nicht-Eintreten der Manifestation erklärt, angegeben werden können (vgl. Pietroski und Rey).

Diese Bedingung allein ist aber nicht hinreichend, wie wir gesehen haben. Es wird daher weiter gefordert:

2.) Es muss Evidenz dafür geben, dass in Abwesenheit von Störfaktoren A nomologisch hinreichend für B ist, das heißt dass gilt:  $A \rightarrow B$ . Dafür muss bestimmt werden können, wie sich Störfaktoren *quantitativ* auf das Verhalten eines Systems auswirken, so dass insbesondere klar wird, wie sich das System im Grenzfall verhielte, wenn der Störfaktor abwesend wäre. Der störungsfreie Fall ist nämlich gerade jener, in dem die Manifestationsbedingung für die zugeschriebene Disposition erfüllt ist. Eine solche Variation kann entweder experimentell oder theoretisch geschehen.

Darüber hinaus gilt natürlich, dass *ceteris-paribus*-Gesetze auch jenen epistemischen Bedingungen genügen müssen, die wir von strikten Naturgesetze erwarten.

## **19.9 Zurückweisung der Gegenbeispiele**

In diesem Abschnitt möchte ich zeigen, dass die Gegenbeispiele von Woodward sowie Earman und Roberts die von mir genannten Bedingungen nicht erfüllen. Die Bedingungen reichen also hin, um zumindest diese Gegenbeispiele zu entkräften.

### **A Woodwards Gegenbeispiel**

Woodward hatte eine ganze Klasse von Behauptungen als Kandidaten für *ceteris-paribus*-Gesetze ins Spiel gebracht: „Alle geladenen Gegenstände beschleunigen mit  $n \text{ m/sec}^2$ “ ist für jedes  $n$  ein epistemisch akzeptables *ceteris-paribus*-Gesetz, weil für alle Abweichungen irgendwelche Felder oder Ähnliches zur Erklärung angeführt werden können. Für jedes  $n$  sind die Bedingungen von Pietroski und Rey erfüllt.

Trifft dieses Gegenbeispiel auch die ergänzte Bedingung für epistemische Akzeptabilität? Hier ist es zunächst einmal wichtig klar zu definieren, was das System ist, dem eine Disposition zugeschrieben wird, und anzugeben, was die Störfaktoren sind. Teil des Problems ist, dass die Formulierung Woodwards unklar ist und mehrere Deutungen zulässt. So wie Woodward sein Beispiel formuliert, ist es naheliegend die Felder als Störfaktoren aufzufassen. Das System, von dem die Gesetze handeln, ist der geladene Gegenstand im felderfreien Raum. Wenn wir das Beispiel auf diese Weise lesen, ergibt sich, dass allein die Behauptung „Geladene Gegenstände beschleunigen mit  $0 \text{ m/sec}^2$ “ ein epistemisch akzeptables exklusives *ceteris-paribus*-Gesetz ist. Für jedes andere  $n$  ist die Behauptung falsch. Denn die theoretische und experimentelle Variation von Feldern ergibt, dass sich im Falle der Abwesenheit von Störfaktoren der fragliche Gegenstand unbeschleunigt bewegt – es handelt sich dann einfach um einen Spezialfall des ersten Newtonschen Gesetzes.

Alternativ könnte das System, dessen Verhalten charakterisiert werden soll, ein geladener Gegenstand in einem bestimmten Feld  $F$  sein. Die Störfaktoren wären in diesem Fall *zusätzliche* Felder. Aber auch wenn wir diese Lesart des Einwandes unterstellen, ergäbe sich nach unseren Bedingungen genau *ein* *ceteris-paribus*-Gesetz und nicht eine ganze Klasse. Wenn wir die externen Störfaktoren (das heißt die zusätzlichen Felder) theoretisch oder experimentell variieren, dann ergibt sich für das Verhalten des geladenen Gegenstandes im Feld  $F$  ein ganz bestimmter Wert für die Beschleunigung, bzw. eine Funktion in Abhängigkeit vom Feld  $F$ .

Was hier deutlich und im Umgang mit dem Einwand von Earman und Roberts von Bedeutung sein wird, ist das Folgende: Wir müssen zwei Aspekte des Überprüfens eines *ceteris-paribus*-Gesetzes unterscheiden. Erstens müssen wir in der Lage sein, experimentell oder theoretisch Störfaktoren zu variieren, so dass wir überhaupt Aussagen darüber, was passieren würde, wenn keine Störfaktoren anwesend wären, treffen können. Wenn diese Voraussetzungen erfüllt sind, dann ist noch zu überprüfen, wie der gesetzliche Zusammenhang, der postuliert wird, genau aussieht. Im Falle des geladenen Gegenstandes im Feld  $F$  bedeutet das: Wir müssen erstens sicherstellen, dass wir gesicherte Aussagen darüber treffen können, wie sich das System verhielte, wenn keine Störfaktoren anwesend wären, entweder experimentell (durch das Ausschalten oder Abschirmen externer Felder) oder theoretisch, indem wir die entsprechenden Beiträge herausrechnen. Zweitens müssen wir dann auf dieser Basis bestimmen, wie sich geladene Gegenstände in einem Feld  $F$  verhalten. Dazu müssen wir zum Beispiel die Ladung des Gegenstandes variieren oder das Feld  $F$ .

Aber diese Variation betrifft nun die System-internen Faktoren, nicht die äußeren Störfaktoren.

Der zweite Schritt, die Variation der System-internen Faktoren, das heißt derjenigen Faktoren, deren funktionale Abhängigkeit im Gesetz beschrieben wird, tritt bei der Überprüfung *jedes* Gesetzes auf – völlig gleichgültig ob es sich um ein striktes Gesetz oder ein ceteris-paribus-Gesetz handelt. Entscheidend für das spezifische Überprüfungsproblem der ceteris-paribus-Gesetze ist allein der erste Schritt: die Möglichkeit die Störfaktoren experimentell oder theoretisch zu variieren. Nur dann ist nämlich der zweite Schritt, die Überprüfung des nomologischen Zusammenhangs, im Falle von ceteris-paribus-Gesetzen überhaupt möglich.

### **B Der Einwand Earmans und Roberts**

Earman und Roberts hatten den folgenden Kandidaten für ceteris-paribus-Gesetze ins Spiel gebracht. „Wenn etwas rund ist, ist es ein guter elektrischer Leiter.“ Im Falle von runden Gegenständen, die keine guten elektrischen Leiter sind, lässt sich immer ein unabhängiger Faktor, nämlich die molekulare Struktur des fraglichen Gegenstandes, finden, der das Nicht-Eintreten des Konsequens erklärt. Insofern genügt das Beispiel den Anforderungen von Pietroski und Rey. Aber es scheint gleichwohl kein akzeptables ceteris-paribus-Gesetz zu sein.

Auch hier müssen wir zuerst definieren, welches System betrachtet wird, und was die Störfaktoren sind. Wenn man das genannte Beispiel als ein *exklusives* ceteris-paribus-Gesetz auffasst, dann heißt das, dass runden Systemen die Disposition zugeschrieben wird, ein guter elektrischer Leiter zu sein. Der Störfaktor wäre in diesem Fall die molekulare Struktur. Damit das ceteris-paribus-Gesetz epistemisch akzeptabel ist, müssen die oben genannten Bedingungen für epistemische Akzeptabilität erfüllt sein. Das heißt insbesondere, dass es möglich sein muss, den vorgeschlagenen Störfaktor experimentell oder theoretisch zu variieren, um festzustellen, ob die eigentliche Gesetzesaussage für den Fall der Abwesenheit von Störfaktoren bestätigen lässt. Eine solche Bestätigung ist aber nicht möglich. Die Gestalt von Gegenständen superveniert über ihrer molekularen Struktur. Ohne molekulare Struktur haben die fraglichen Systeme keine Gestalt. Es zeigt sich, dass für die epistemische Akzeptabilität gelten muss, dass System und Störfaktor unabhängig voneinander existieren müssen. Das ist in diesem Fall nicht gegeben. Der Gesetzeskandidat von Earman und Roberts ist folglich epistemisch nicht akzeptabel.<sup>102</sup>

### **19.10 Fazit**

Der Herausforderung von Earman und Roberts, die darin besteht, zu zeigen, dass man für exklusive ceteris-paribus-Gesetze eine Semantik angeben und darüber hinaus zeigen kann, wie sich solche Gesetze überprüfen lassen, kann zumindest für den Bereich der Physik begegnet

---

<sup>102</sup>Interessanterweise hatten Pietroski und Rey in der informellen Präsentation ihres Ansatzes gefordert, dass es sich bei den Störfaktoren um „independently existing factors“ handeln müsse (Pietroski und Rey 1995, S. 89).

werden. Exklusive ceteris-paribus-Gesetze sind wahr, wenn die Systeme, von denen die Gesetze handeln, die zugeschriebenen Dispositionen tatsächlich besitzen. Ob die Systeme solche Dispositionen besitzen, lässt sich überprüfen, wenn es experimentelle oder theoretische Methoden gibt, die es erlauben auf den störungsfreien Fall, das heißt den Fall, in dem die zugeschriebene Disposition manifest ist, zu schließen. In der Physik sind diese Voraussetzungen erfüllt.

### **Danksagung**

Ich danke den Mitgliedern der Forschergruppe „Kausalität, Dispositionen, Gesetze und Erklärungen an der Schnittstelle von Metaphysik und Wissenschaft“ für hilfreiche Diskussionen und Kommentare.