

Andreas Hüttemann

Natur und Labor

Über die Grenzen der Gültigkeit von Naturgesetzen

1. Einleitung

Auf den ersten Blick haben eine Forschungseinrichtung, in der – sagen wir – das Tieftemperaturverhalten von Metallen untersucht wird, und Wald und Heide wenig miteinander gemein. Es ist daher auch nicht verwunderlich, daß zwischen Labor und Natur nicht nur unterschieden wird, sondern vielmehr auch die Frage gestellt wird, ob das Wissen, das im Labor gewonnen wird, an die kontingenten Umstände der Laborsituation gebunden ist.

Überlegungen dieser Art finden sich bei Autorinnen und Autoren ganz unterschiedlicher Provenienz. Knorr-Cetina behauptet, die Ergebnisse der Naturwissenschaft seien kontextspezifisch.¹ Bei Cartwright heißt es in bezug auf Elementarteilchen:

...we have virtually no inductive reason for counting these laws as true of fundamental particles outside the laboratory-setting.²

Tetens schreibt:

Letztlich können die Physiker nur Gesetze aufstellen für künstlich erzeugte, für sozusagen „reine“ Laborfälle.³

Das Problem, um das es hier geht, ist das folgende: Haben wir Grund zu der Annahme, daß Gegenstände sich in der freien Natur derart anders verhalten als unter Laborbedingungen, daß die Gültigkeit der Gesetze, die das Verhalten der Gegenstände beschreiben, auf Laborsituationen eingeschränkt sind?⁴

Als erstes sollte ich ein Wort dazu sagen, was ein Labor ist. Da sich explizite Definitionen selten finden, ist es am einfachsten, Charakterisierungen des Labors aus den Argumenten, die in unserem Diskussionszusammenhang verwendet werden, abzulesen. Gemeinsam ist diesen impliziten Charakterisierungen, daß das Labor als Forschungseinrichtung

gekennzeichnet wird, in der durch menschliche Handlungen in die Natur eingegriffen wird. Ein Labor ist also eine Forschungseinrichtung, in der Experimente ausgeführt werden, bei denen die Handlungen derjenigen, die am Experiment beteiligt sind, eine konstitutive Rolle spielen.⁵

An eine solche Charakterisierung schließt sich unmittelbar die Frage an, welche Merkmale von Handlungen dafür verantwortlich sind, daß der Gültigkeitsbereich von Naturgesetzen auf Laborsituationen eingeschränkt wird. Ich werde im folgenden vier mögliche Begründungen diskutieren:

(1) Die Gültigkeit von Naturgesetzen ist auf Laborsituationen eingeschränkt, weil die Untersuchungsgegenstände durch Handlungen *kausal isoliert* werden, was sie in der freien Natur nicht sind. Naturgesetze betreffen daher Isolationssituationen, wie sie außerhalb des Labors gar nicht vorkommen. Weil ich mich im folgenden hauptsächlich mit diesem Einwand beschäftigen werde, soll er einen eigenen Namen erhalten: der *Isolationseinwand* gegen die Gültigkeit von Naturgesetzen außerhalb des Labors.

(2) Die Gültigkeit von Naturgesetzen ist auf Laborsituationen eingeschränkt, weil die Untersuchungsgegenstände durch Handlungen *hergestellt* werden. Bei den physikalischen Systemen handelt es sich um *Artefakte* und keineswegs um natürliche Gegenstände. Die Gesetze gelten also für kategorial von natürlichen Gegenständen unterschiedene Gegenstände und dürfen nicht übertragen werden.

(3) Die Gültigkeit von Naturgesetzen ist auf Laborsituationen eingeschränkt, weil die Handlungen *theoriengeladen* bzw. *theoriengeleitet* sind

(4) Die Gültigkeit von Naturgesetzen ist auf Laborsituationen eingeschränkt, weil die Handlungen das Verhalten der physikalischen Systeme *verändern*. Physikalische Systeme verhalten sich daher im Labor anders als in der freien Natur.

Ich werde mich zunächst hauptsächlich mit Punkt (1) beschäftigen. Wenn dieser Einwand gegen die Gültigkeit von Naturgesetzen außerhalb des Labors ausgeräumt ist, dann lassen sich auch die restlichen Einwände ausräumen. Darüber hinaus werde ich im letzten Abschnitt ein positives Argument für die universelle Gültigkeit von Naturgesetzen präsentieren.

2. Der Isolationseinwand

Als erstes gilt es den Haupteinwand, der sich auf den Gegensatz von Isolation im Labor und Komplexität außerhalb bezieht, zu präzisieren. Das *Phänomen*, das den Ausgangspunkt der Überlegungen bildet, ist unkontrovers und wurde von McMullin treffend so charakterisiert:

The move from the complexity of Nature to the specially contrived order of the experiment is a form of idealization. The diversity of causes found in Nature is reduced and made manageable. The influence of impediments, *i.e.* causal factors which affect the process under study in ways not at present of interest, is eliminated or lessened sufficiently that it may be ignored.⁶

Tetens möchte aus dem Umstand, daß wir kausal isolieren, schlußfolgern, daß außerhalb solcher kausalen Isolationsarrangements Naturgesetze nicht angewendet werden können.

Durch Isolation und Begradigung gelingt es den Physikern, Verläufe zu realisieren, die besonders einfachen (genauer: einfach zu formulierenden) Gesetzmäßigkeiten genügen. Allerdings kosten Isolation und Begradigung ihren Preis. Letztlich können die Physiker nur Gesetze aufstellen für künstlich erzeugte, für sozusagen „reine“ Laborfälle.⁷

Der Ausdruck „können“ in diesem Zitat läßt sich unterschiedlich interpretieren. Tetens kann entweder eine pragmatische Begrenzung im Auge haben oder eine prinzipielle. Gegen eine pragmatische Lesart, derzufolge die Anwendung von Naturgesetzen in komplexen Situationen mit großen Schwierigkeiten verbunden ist, habe ich hier nichts einzuwenden, und davon werde ich im folgenden auch gar nicht reden. Eine prinzipielle Begrenzung der Erforschbarkeit hingegen hätte zur Folge, daß wir nicht behaupten könnten, die Naturgesetze seien auch außerhalb des Labors gültig.

Cartwright spricht davon, daß Naturgesetze auf *nomologische Maschinen* eingeschränkt sind. Diese definiert sie als die spezifischen Bedingungen, die eine Regelmäßigkeit ermöglichen:

It is a fixed (enough) arrangement of components, or factors, with stable (enough) capacities that in the right sort of stable (enough) environment will, with repeated operation, give rise to the kind of regular behaviour that we represent in our scientific laws.⁸

Ob diese Umstände durch Handlungen realisiert werden, ist für Cartwright unerheblich. Derart spezifische Umstände finden wir sowohl im

Labor als auch – zuweilen – in der freien Natur. Unser Planetensystem ist ein solches stabiles Arrangement außerhalb eines Labors. Allerdings gibt es nur wenige Beispiele für nomologische Maschinen abgesehen von den speziell präparierten Situationen:

But nomological machines have very special structures. They require the conditions to be just right for a system to exercise its capacities in a repeatable way and the empirical indications suggest that these kinds of conditions are rare.⁹

Dementsprechend selten haben wir es mit dem regelmäßigen Verhalten zu tun, das in Naturgesetzen beschrieben wird. Dies, so Cartwright, markiert eine Grenze der Wissenschaft.¹⁰

3. Der Beschreibungsbereich von Naturgesetzen

Naturgesetze besitzen einen Beschreibungsbereich und einen Anwendungsbereich. Für die Beurteilung der Frage nach der Gültigkeit von Naturgesetzen ist entscheidend, mit welchem dieser beiden Bereiche die Gültigkeit der Naturgesetze verknüpft wird. Als erstes werde ich den Beschreibungsbereich von Naturgesetzen vorstellen.

Naturgesetze beschreiben, auf welche Weise sich physikalische oder andere Systeme verhalten. Eine notwendige und hinreichende Bedingung für die Zugehörigkeit eines Systems zum Beschreibungsbereich eines Naturgesetzes ist, daß das fragliche System das entsprechende Verhalten zeigt. Zum Beschreibungsbereich des Boyle-Mariotteschen Gesetzes gehören alle idealen Gase, weil alle idealen Gase sich gemäß der Gleichung $pV = RT$ verhalten. Wasserstoffatome fallen in den Beschreibungsbereich der Schrödingergleichung mit dem Coulombpotential, weil diese Atome sich entsprechend verhalten. Eine notwendige Bedingung dafür, daß ein System in den Beschreibungsbereich eines Naturgesetzes fällt, ist das Vorliegen einer Instanz der in der Gesetzesaussage behaupteten Verhaltensregularität. Wenn man nun den Gültigkeitsbereich von Naturgesetzen mit dem Beschreibungsbereich derselben identifiziert, dann wird aus der genannten Bedingung eine *Instantiierungsbedingung* für die Gültigkeit von Naturgesetzen.

Wenn Gültigkeit Instantiierung oder Zugehörigkeit zum Beschreibungsbereich des Naturgesetzes voraussetzt, besitzt der Isolationseinwand gegen die Gültigkeit von Naturgesetzen außerhalb von Laborsitua-

tionen eine gewisse Plausibilität. Wenn nämlich außerhalb des Labors alle möglichen Faktoren Einfluß auf das Verhalten des uns interessierenden Gegenstandes nehmen, dann zeigt dieser Gegenstand ein anderes Verhalten, als er dies unter Isolationsbedingungen zeigte. Naturgesetze beschreiben nun aber das Verhalten von Gegenständen unter Isolationsbedingungen. Von Störfaktoren ist in Naturgesetzen nicht die Rede. Daraus ergibt sich, daß unser Gegenstand außerhalb des Labors oder außerhalb von nomologischen Maschinen das Verhalten, von dem im Naturgesetz geredet wird, nicht instantiiert. Somit ist die Instantiierungsbedingung für die Gültigkeit von Naturgesetzen in solchen Fällen nicht erfüllt. Es zeigt sich also, daß auf der Grundlage einer Identifikation von Gültigkeitsbereich und Beschreibungsbereich eines Naturgesetzes oder unter Voraussetzung der Instantiierungsbedingung als Gültigkeitsbedingung, der Isolationseinwand stichhaltig ist.

4. Mikroerklärung

Im vorangegangenen Abschnitt hatte ich gezeigt, daß die Identifikation von Beschreibungsbereich und Gültigkeitsbereich bzw. die Instantiierungsbedingung für die Gültigkeit von Naturgesetzen den Isolationseinwand gegen die Gültigkeit von Naturgesetzen außerhalb von Laboratorien begünstigt.

In diesem Abschnitt geht es mir darum, den Isolationseinwand zurückzuweisen, indem ich die Instantiierungsbedingung für die Gültigkeit von Naturgesetzen in Frage stelle. Mein Argument ist dabei von der folgenden Art: Wenn man diese Bedingung für die Gültigkeit von Naturgesetzen ernst nähme, dann wären Naturgesetze nicht nur außerhalb von Laboratorien ungültig, sondern auch innerhalb. Der Gültigkeitsbereich von Naturgesetzen müßte so eng gezogen werden, daß große Teile dessen, was wir als ganz normale Physik zu akzeptieren gewohnt sind, zurückgewiesen werden müßte. Das kann niemand wollen. Aus diesem Grund ist die Instantiierungsbedingung und damit der Isolationseinwand zurückzuweisen. Statt mit dem Beschreibungsbereich sollte der Gültigkeitsbereich von Naturgesetzen mit dem *Anwendungsbereich* ineins gesetzt werden. Unter dem Anwendungsbereich eines Naturgesetzes verstehe ich hier die Menge derjenigen Systeme, für die das fragliche Naturgesetz erklärungsrelevant ist.

Im folgenden stelle ich eine Methode vor, die – wie mir scheint – in der neuzeitlichen Physik fest verankert ist, aber mit der Instantiierungsbedingung bzw. der Identifikation von Beschreibungsbereich und Gültigkeitsbereich nicht zu vereinbaren ist.

Der Wissenschafts- und Philosophiehistoriker Amos Funkenstein hat es als ein Kennzeichen der neuzeitlichen Naturwissenschaft gegenüber der antiken und der mittelalterlichen bezeichnet, daß *kontrafaktische* Situationen, wie der freie Fall im Vakuum kommensurabel werden, d. h. daß sie Teil dessen werden, von dem Naturwissenschaft handelt. Darüber hinaus behauptet Funkenstein, daß diese kontrafaktischen Zustände – die häufig kausale Isolationszustände sind – die *Grundlage* dessen sind, womit das faktische Verhalten von Gegenständen erklärt wird.¹¹ Das Fallgesetz, das Galilei fand, beschreibt die *kontrafaktische* Situation eines vollkommenen Vakuums. Dennoch wird dieses Fallgesetz als Grundlage für die Erklärung des Verhaltens *real* fallender Gegenstände im Medium genommen, indem berücksichtigt wird, daß das Medium einen Einfluß auf die Fallgeschwindigkeit ausübt. Die faktische Situation wird als eine Zusammensetzung oder Überlagerung der Vakuumssituation und des Einflusses des Mediums betrachtet.

Um zu erklären, wie sich ein fallender Körper außerhalb des Vakuums verhält, ziehen wir das Gesetz heran, das das Verhalten im Vakuum beschreibt. Obwohl also z. B. ein Tischtennisball sich im Vakuum anders verhält als im Medium der Luft, wenden wir das Gesetz auf den Fall außerhalb des Vakuums an. Obwohl also die Instantiierungsbedingung nicht erfüllt ist, obwohl der Tischtennisball in der Luft nicht in den Beschreibungsbereich des Fallgesetzes fällt, halten wir es auch im Medium für relevant, d. h. wir glauben es legitimerweise zur Anwendung bringen zu dürfen, wobei natürlich der zusätzliche Einfluß des Mediums ebenfalls berücksichtigt wird. Der Tischtennisball im Medium gehört zwar nicht in den Beschreibungsbereich des Fallgesetzes wohl aber in den Bereich derjenigen Systeme für die das Fallgesetz erklärungsrelevant ist, d. h. in den *Anwendungsbereich* des Gesetzes.

Immer dann, wenn in Erklärungen auf kontrafaktische Situationen Bezug genommen wird, ist die Instantiierungsbedingung nicht erfüllt. Auf kontrafaktische Situationen wird nun aber recht häufig Bezug genommen, nämlich immer dann, wenn das Verhalten zusammengesetzter Systeme oder das Verhalten von Systemen, die zusätzlichen Einflußfaktoren ausgesetzt sind, erklärt wird.

Im Anschluß an C. D. Broad kann man diese Erklärungsstrategie, die *Mikroerklärung*, wie folgt charakterisieren:

(ME) Das Verhalten eines zusammengesetzten Systems läßt sich – zumindest im Prinzip – auf der Basis

- (1) allgemeiner Gesetze über das Verhalten der isolierten Komponenten
- (2) allgemeiner Gesetze der Zusammensetzung von Systemen und
- (3) allgemeiner Wechselwirkungsgesetze erklären.¹²

Für unsere Belange entscheidend ist, daß in solchen Erklärungen davon Gebrauch gemacht wird, wie sich die Komponenten oder Einflußfaktoren verhielten, wenn sie isoliert wären – wie sie sich also in der kontrafaktischen Isolationssituation verhielten. Das zusammengesetzte System fällt in den Bereich derjenigen Systeme, für die die Gesetze über das Verhalten der isolierten Komponenten erklärungsrelevant sind, d. h. in den *Anwendungsbereich* dieser Gesetze. Es fällt aber nicht in den Beschreibungsbereich dieser Gesetze.

Ich möchte die Erklärungsstrategie der Mikroerklärung an einem Beispiel deutlich machen. Kohlenstoffmonoxid, bzw. die Moleküle dieses Gases, CO-Moleküle, werden üblicherweise als eine Kombination eines Oszillators und eines Rotators beschrieben. Das bedeutet, daß der Hamiltonoperator für dieses Molekül geschrieben werden kann als:

$$H = H_{osc} \otimes I + I \otimes H_{rot}$$

Dabei ist \otimes das Tensorprodukt. Wesentlich für die Konstruktion dieses Hamiltonoperators für das Molekül ist, daß wir ein allgemeines Gesetz über die Zusammensetzung von Teilsystemen besitzen, das deren Kombination beschreibt:

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 $A_1 \otimes I$, and the observables of the second system alone are given by $I \otimes A_2$ (I = identity operator).¹³

Dieses allgemeine Gesetz erlaubt uns nun, die einzelnen Beiträge zum Gesamtsystem getrennt zu berechnen. Wir gehen wie folgt vor: In einem ersten Schritt wird das Gesamtsystem (das CO-Molekül) in Subsysteme oder Faktoren aufgeteilt (Rotator und Oszillator). Diese Subsysteme oder Faktoren werden nun im zweiten Schritt betrachtet, als seien sie jeweils isoliert. In bezug auf den isolierten Rotator gilt das folgende Gesetz:

- Rotatoren werden durch die Schrödingergleichung mit dem folgenden Hamiltonoperator beschrieben: $H_{\text{rot}} = L^2/2I$, mit L als Drehmomentoperator und I als Trägheitstensor.

In bezug auf den Oszillator gilt das Gesetz:

- Oszillatoren werden durch die Schrödingergleichung mit dem folgenden Hamiltonoperator beschrieben: $H_{\text{osc}} = P^2/2\mu + \mu\omega^2 Q^2/2$, mit P als Impulsoperator, Q als Ortsoperator, ω als Frequenz des oszillierenden Gegenstandes und μ 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 den oben genannten Hamiltonoperator für das CO-Molekül und somit das folgende Gesetz:

- Oszillierenden Rotatoren werden durch die Schrödingergleichung mit dem folgenden Hamiltonoperator beschrieben: $H = H_{\text{rot}} \otimes I + I \otimes H_{\text{osc}}$, mit I als Identitätsoperator.

Das Verhalten des zusammengesetzten Systems wird auf der Basis von Gesetzen für das Verhalten der Teilsysteme und Gesetzen für die Überlagerung erklärt. Das Problem für diejenigen, die den Gültigkeitsbereich mit dem Beschreibungsbereich bzw. mit dem Erfülltsein der Instantiierungsbedingung ineins setzen, ist das folgende: Gemäß der Instantiierungsbedingung gilt das Gesetz für den Oszillator nur dann, wenn er isoliert ist, wenn also keine anderen Faktoren das Verhalten desselben stören. Es gilt also nicht im Falle des CO-Moleküls. Wir benutzen es aber sehr wohl zur Erklärung des Verhaltens des CO-Moleküls, halten es also offensichtlich für legitim, es anzuwenden.

Vertreter der Instantiierungsbedingung müssen Erklärungen wie die obige zurückweisen, weil sie behaupten müssen, die fraglichen Naturgesetze gälten in diesen Situationen nicht. Denn all diejenigen Behauptungen, die sie über das Verhalten von Systemen außerhalb von Laborsituationen oder nomologischen Maschinen aufstellen, beziehen sich in gleicher Weise auf jedes einzelne zusammengesetzte System, das gemäß

dem obigen Muster erklärt wird – unabhängig davon ob es sich innerhalb oder außerhalb von Laboratorien oder nomologischen Maschinen befindet.¹⁴

Was sich zeigt ist, daß zweierlei auseinander gehalten werden muß: Naturgesetze *beschreiben*, wie sich Systeme unter ganz bestimmten Bedingungen verhalten (Isolationsbedingungen). Der *Anwendungsbereich* von Naturgesetzen ist aber keineswegs auf die Situationen eingeschränkt, die in Naturgesetzen beschrieben werden. Der Begriff der Gültigkeit sollte an den Begriff des Anwendungsbereiches geknüpft werden und nicht an den des Beschreibungsbereiches, wenn man nicht große Teile der physikalischen Erklärungspraxis, wie die Mikroerklärung, als illegitim zurückweisen möchte.

Mit dieser Zurückweisung der Gleichsetzung von Beschreibungsbereich und Gültigkeitsbereich bzw. der Instantiierungsbedingung, ist auch der Isolationseinwand gegen die Gültigkeit von Naturgesetzen außerhalb von Laborsituationen hinfällig. Naturgesetze gelten nicht bloß, wenn die fraglichen Systeme isoliert sind, sondern immer dann, wenn die Gesetze für ein System erklärungsrelevant sind.¹⁵

5. Die übrigen Einwände

Ich komme nun zu dem zweiten Argument für die Beschränkung der Gültigkeit der Naturgesetze auf Laborsituationen. Im Labor wird mit Artefakten, mit künstlich und von der Industrie eigens zu Laborzwecken produzierten Untersuchungsgegenständen umgegangen. Beispiel: Zur Messung der spezifischen Wärme von amorphen Festkörpern wurde eine amorphe Germaniumoxidprobe verwandt, über die es in der Beschreibung des Experiments heißt, daß der Ausgangsstoff Germanium bei einer Temperatur von 1250 °C im Vakuum geschmolzen wurde und dann 18 Stunden lang bei dieser Temperatur einem Sauerstoffdruck von 1 Atm ausgesetzt war. Anschließend wurde die Temperatur schlagartig auf 600 °C heruntergekühlt und dann langsam an die Raumtemperatur herangeführt.¹⁶ Wie soll man sich verständlich machen, daß Gesetze, die für derart spezifische Gegenstände gelten, auch in Wald und Heide ihre Gültigkeit haben sollen?

Vor dem Hintergrund des oben ausgeführten ist die Herstellung der künstlichen Untersuchungsgegenstände völlig plausibel. Das kontrafak-

tische Verhalten z. B. idealer Kristalle bildet oft die Grundlage von Erklärungen des Verhaltens von weniger idealen Festkörpern. Es ist naheliegend, solche Systeme, deren Verhalten sich besonders einfach beschreiben läßt, auch in größtmöglicher Nähe zu realisieren. So wie bei der kausalen Isolation darauf geachtet wird, daß auf den Festkörper von außen keine Einflußfaktoren wirken, geht es bei der Herstellung solcher Systeme darum, daß er in seinem Inneren keine Störfaktoren besitzt. Artefakte sind keine kategorial von Naturgegenständen unterschiedene Gegenstände, sondern solche, die frei von Störfaktoren sind. Genauso wie bei den kausalen Isolationen geht es hier darum, ein möglichst genaues Wissen von den einfachen oder reinen Fällen zu gewinnen. Die Gesetze, die unter Laborbedingungen für eine fast reine Germaniumprobe gefunden wurden, sind auch für einen Festkörper in Wald und Heide, der Germanium enthält, erklärungsrelevant. Es handelt sich bei diesem zweiten Einwand also um keine gegenüber dem ersten Einwand eigenständige Überlegung.

Das dritte Argument lautete, daß die Gültigkeit von Naturgesetzen deshalb auf Laborsituationen eingeschränkt ist, weil sie theorienabhängig sind. Damit ist gemeint, daß bestimmte kausale Isolationssituationen herbeigeführt werden, weil sie sich durch einfache Gesetze beschreiben lassen. Anstatt daß die Beschreibung der Natur angepaßt wird, wird umgekehrt die Natur der Beschreibung angepaßt, zumindest handele es sich um einen Prozeß der wechselseitigen Anpassung (Tetens, Hacking oder Plickering)¹⁷. Wir hätten auch andere physikalische Systeme als Grundlage unserer Erklärungen auswählen können, andere Systeme zu Bausteinen des Verständnisses komplexer Systeme erklären können. Dagegen unterliegt die Natur außerhalb des Labors einer solchen Theoriegeladenheit nicht.

Daß die Auswahl der Isolationssituationen und damit der Gesetze für die entsprechenden physikalischen Systeme, die wir als elementare Bausteine für die Erklärung oder Beschreibung des Verhaltens zusammengesetzter Systeme benutzen, von pragmatischen Auswahlkriterien wie der Einfachheit abhängen, ist für die Frage nach der Gültigkeit der Naturgesetze außerhalb der Laborsituationen nicht relevant. Betrachten wir das Beispiel eines Naturgesetzes, das die elektrische Leitfähigkeit eines idealen Kristalls als proportional zu T^2 beschreibt. Diese Beschreibung trifft auf den Kristall, wenn er isoliert ist, zu. In anderen Situationen, wenn

weitere Faktoren wie Elektronengase vorhanden sind, dürfen wir dieses Gesetz auch verwenden, da wir Überlagerungsregeln besitzen. Nehmen wir nun einmal an, daß wir statt des Kristalls ein Metall als Grundlage und Ausgangspunkt unserer Erklärung gewählt hätten. Dann müssen wir uns das Verhalten des Kristalls als eines, das durch einen weiteren Einflußfaktor, neben dem Metall, determiniert ist, verständlich machen. Dieser Umstand ändert nichts daran, daß trotz der neuen Analyse weiterhin das T^2 -Gesetz das Verhalten des Kristalls unter Isolationsbedingungen beschreibt und ändert darüber hinaus auch nichts daran, daß wir von diesem Wissen in Überlagerungssituationen Gebrauch machen können.

Ob sich diese oder jene nach pragmatischen Kriterien ausgewählten Isolationszustände am besten dazu eignen, bestimmte Überlagerungssituationen zu erklären, ist eine Frage von Versuch und Irrtum, ist aber kein Einwand gegen die Gültigkeit von Naturgesetzen außerhalb dieser Isolationsbedingungen.

Kommen wir nun zum vierten und letzten Einwand. Im Labor greifen wir handelnd ins Naturgeschehen ein. Derartige Handlungen verändern das Verhalten der Untersuchungsgegenstände. Also verhalten sich die Gegenstände im Labor anders als in der freien Natur. Die Naturgesetze treffen nur auf Laborsituationen zu.

Daß im Labor oder im Experiment handelnd eingegriffen wird, kann nicht bestritten werden. Die Frage ist, ob die Veränderungen, die durch solche Handlungen hervorgerufen werden, als Begründung der Behauptung angeführt werden können, die Gültigkeitsgrenzen von Naturgesetzen fielen mit denen des Labors zusammen.

Zwei Bemerkungen vorab:

(i) Daß durch *Messungen* das Verhalten von Untersuchungsgegenständen verändert wird, ist ein Problem, das in unserem Zusammenhang nicht relevant ist. Dies deshalb, weil dieses Problem – wenn es denn überhaupt eines ist – innerhalb wie außerhalb von Labors auftritt: Auch diejenigen Photonen, dank derer ich die genaue Position einer Kuh auf der Wiese bestimmen kann, üben einen Rückstoß auf dieselbe aus und verändern ihr Verhalten.

(ii) Sollte mit der Behauptung, Handlungen veränderten das Verhalten der fraglichen Systeme, lediglich gemeint sein, daß der Untersuchungsgegenstand isoliert wird und sich *in diesem Sinne* anders verhält, dann gilt natürlich das schon in Abschnitt 4 ausgeführte.

Was gegenüber den bisherigen Überlegungen nach diesen Bemerkungen noch als eigenständiger Einwand übrigbleibt, ist die folgende Behauptung: Das spezifische Verhalten der isolierten Untersuchungsgegenstände wird nicht etwa durch die intrinsische Struktur des Untersuchungsgegenstandes festgelegt, sondern durch *Handlungen*. Also: *Isolierte* physikalische Systeme, die aufgrund des Eingreifens des Experimentators isoliert sind, verhalten sich anders, als sich solche *isolierten* Systeme verhalten, deren Isolation anders als durch handelnde Eingriffe zustande gekommen ist.

Wie läßt sich eine solche Behauptung stützen? Daß sie sich auf irgendwelche empirischen Befunde stützt, ist mir nicht bekannt.

Möglicherweise wird eine solche Behauptung durch die Doppeldeutigkeit des Begriffs „Folgen“ der in der von Wrightschen Handlungsanalyse eine Rolle spielt, nahegelegt. v. Wright unterscheidet zwischen Ergebnissen und Folgen von Handlungen.¹⁸ Das *Ergebnis* meiner Handlung des Fensteröffnens ist das Offenstehen des Fensters. Eine *Folge* dieser Handlung und ihres Ergebnisses ist der Luftaustausch, der stattfindet. Der Luftaustausch hätte nicht stattgefunden, wenn ich nicht zuvor das Fenster geöffnet hätte. Diese Terminologie wendet Tetens auch auf Experimente an.

Das *Ergebnis* dieses Tuns ist die dann zur Verfügung stehende Versuchsanordnung. Schaltet er die Versuchsanordnung daraufhin ein und löst einen Verlauf aus, so sind die dabei auftretenden Veränderungen die *Folge* seines vorausgegangenen Tuns.¹⁹

Mit dem Begriff des Folgens kann zweierlei gemeint sein. Einerseits kann die bloße *zeitliche* Aufeinanderfolge gemeint sein. In diesem Sinne ist das spezifische Verhalten des Untersuchungsgegenstandes ohne Frage eine *Folge* der Handlungen, die den Versuchsaufbau zum Ergebnis haben. Von dem bloß zeitlichen Folgen ist ein *determinierendes* Folgen zu unterscheiden. Die entscheidende Frage ist, ob die Handlungen, die den Versuchsaufbau realisieren, das genaue Verhalten des Systems in dem Sinne zur Folge haben, daß sie es *festlegen*. Legen die Handlungen, die bei der Messung der spezifischen Wärme als Ergebnis die angemessene Einrichtung des Kyrostaten etc. haben, fest, daß der Verlauf der spezifischen Wärme des durch den Versuchsaufbau isolierten Kristalls proportional zur dritten Potenz der Temperatur und nicht zum Quadrat derselben ist? Haben wir Grund zu der Annahme, daß ein zufälligerweise isolierter Kristall eine

spezifische Wärme besitzt, die nicht proportional zu T^3 ist, weil die Isolation nicht von Handlungen abhängt?

Das scheint mir nicht der Fall zu sein. Die Handlungen des Experimentators, zielen, wie wir gesehen haben, auf die kausale Isolation z. B. des Kristalls ab. Wenn nun aber das Ergebnis gerade darin besteht, die Systeme kausal zu isolieren, können die Handlungen gerade *wegen* dieses Ergebnisses – abgesehen von der Herstellung der kausalen Isolation – keinen Einfluß auf das Verhalten des Kristalls ausüben. Der Versuchsaufbau zielt ja gerade darauf ab, nichts als die intrinsischen Verhaltensweisen des Untersuchungsgegenstandes zur Geltung kommen zu lassen. Ein solcher Fall darf nicht mit dem Fall des Luftaustausches gleichgesetzt werden, in dem der Luftaustausch eine kausale Folge des Fensteröffnens ist und durch das Öffnen determiniert wird. Eine solche Abhängigkeit, die *Voraussetzung* jeder Einflußnahme ist, wird im Falle des Experimentators durch die Isolation des Untersuchungsgegenstandes, die durch den Versuchsaufbau realisiert wird, gerade ausgeschlossen. Aus diesem Grund wird das Verhalten physikalischer Systeme, wenn sie erst einmal isoliert sind, nicht von den Handlungen der Experimentatoren festgelegt, sondern durch die intrinsischen Vermögen (oder Dispositionen, wie ich sie im folgenden Abschnitt nennen werde) der physikalischen Systeme.

Es hat sich also gezeigt, daß keiner der Einwände, die Gültigkeit oder der Anwendungsbereich von Naturgesetze sei auf Laborsituationen eingeschränkt, überzeugt.

6. Positives Argument

Bisher habe ich Argumente untersucht, die für eine Gültigkeitsbeschränkung von Naturgesetzen auf Laborsituationen oder nomologische Maschinen ins Feld geführt wurden. Sie erwiesen sich allesamt als nicht stichhaltig. In diesem letzten Abschnitt geht es mir darum, verständlich zu machen, weshalb wir guten Grund haben zu glauben, Naturgesetze seien auch in der freien Natur gültig.

An anderer Stelle habe ich argumentiert, daß sich dieses Auseinanderfallen von Beschreibungsbereich und Gültigkeitsbereich, das z. B. im Falle der Mikroerklärung deutlich wurde, am besten verstehen läßt, wenn man annimmt, Naturgesetze schreiben physikalischen Systemen *Disposi-*

tionen zu. Ich werde im folgenden diese Auffassung kurz skizzieren und dann zeigen, wie sich die Gültigkeit von Naturgesetzen außerhalb von Laboratorien oder nomologischen Maschinen auf dieser Grundlage verständlich machen läßt.

In Abschnitt 4 wurde deutlich, daß der Anwendungsbereich und der Beschreibungsbereich von Naturgesetzen nicht zusammenfallen. Der Beschreibungsbereich umfaßt all jene Systeme, die sich so verhalten, wie das Gesetz sie beschreibt. Voraussetzung für die Zugehörigkeit zum Beschreibungsbereich ist, daß das System isoliert ist, also z. B. keinen Störfaktoren ausgesetzt ist. Darüber hinaus sind Naturgesetze – wie wir gesehen haben – für weitere Systeme erklärungsrelevant, selbst dann, wenn die Bedingungen für die Zugehörigkeit zum Beschreibungsbereich nicht erfüllt sind.

Da das Verhalten gemäß dem Gesetz (das Erfülltsein der Instantiierungsbedingung) bloß eine hinreichende aber keine notwendige Bedingung für die Zugehörigkeit eines Systems zum Anwendungsbereich eines Gesetzes ist, stellt sich die Frage, welches Kriterium statt dessen gilt. An anderer Stelle habe ich argumentiert, daß man die physikalische Erklärungspraxis am besten versteht, wenn man physikalischen Systemen Dispositionen zuschreibt, sich auf bestimmte Weise zu verhalten.²⁰ Naturgesetze beschreiben, wie sich diese Systeme verhalten, wenn ihre Dispositionen manifest sind, d. h. wenn ihre Dispositionen, sich auf bestimmte Weise zu verhalten, ungestört realisiert werden. Sind die Manifestationsbedingungen nicht realisiert, z. B. weil ein weiterer Faktor vorhanden ist, so hat dies nicht zur Folge, daß wir nichts mehr über das ursprüngliche System sagen können. Vielmehr läßt sich der Einfluß der Störfaktoren oder weiterer Systeme durch die Gesetze über die Zusammensetzung berücksichtigen. Je weniger Störfaktoren vorhanden sind, bzw. je geringer der Beitrag derselben, um so mehr ähnelt das Verhalten des Gesamtsystems dem desjenigen Teils, für den wir uns eigentlich interessieren. Wegen dieser Kontinuität handelt es sich um *kontinuierlich manifestierbare Dispositionen*, sich auf bestimmte Weise zu verhalten, die physikalischen Systemen zugeschrieben werden müssen.

Mit dieser Terminologie lassen sich nun die Bedingungen für die Zugehörigkeit zum Beschreibungsbereich als auch zum Anwendungsbereich formulieren. Ein System gehört zum Anwendungsbereich eines Naturgesetzes, wenn es die Disposition besitzt, sich dann, wenn es isoliert ist (Manifestationsbedingung), so zu verhalten, wie das Gesetz es beschreibt.

Zum Beschreibungsbereich gehört es dann, wenn diese Manifestationsbedingung realisiert ist, wenn also die Disposition manifest ist.²¹

Auf der Grundlage der Zuschreibung von Dispositionen läßt sich nun auch positiv verständlich machen, weshalb Naturgesetze auch außerhalb von Laborsituationen oder nomologischen Maschinen gelten. Cartwright, Tetens und anderen ist zuzugestehen, daß Laboratorien oder nomologische Maschinen ganz spezifische Situationen realisieren. Es handelt sich meistens um Umstände unter denen die Dispositionen physikalischer Systeme vergleichsweise klar zu Tage treten, z. B. deshalb, weil besonders einfache Arrangements realisiert wurden, oder Störfaktoren abgeschirmt wurden. Nun können wir davon Gebrauch machen, daß die Erklärungspraxis der Mikroerklärung die Zuschreibung von Dispositionen erfordert. Diese Praxis hat gezeigt, daß es auch dann sinnvoll ist, physikalischen Systemen Dispositionen zuzuschreiben, wenn diese nicht manifest sind. Physikalische Systeme verlieren ihre Dispositionen, sich auf bestimmte Weisen zu verhalten, nicht dadurch, daß andere Systeme oder Störfaktoren das Verhalten beeinflussen. Sowohl nach Tetens als auch nach Cartwright zeigt sich die relevante Differenz zwischen Labor und nomologischer Maschine auf der einen Seite und dem Rest der Natur auf der anderen gerade darin, daß eine Vielzahl weitere Faktoren ins Spiel kommt. Da für die Anwendbarkeit oder Erklärungsrelevanz eines Naturgesetzes allein das Vorhandensein (und die damit verbundene *partielle* Realisierung) der kontinuierlich manifestierbaren Disposition entscheidend ist, bilden die Grenzen von Labor und nomologischer Maschine nicht zugleich die Grenzen der Gültigkeit der Naturgesetze.

Da wir gute induktive Gründe haben, zu glauben, daß z. B. Festkörper in Wald und Heide Dispositionen besitzen, sich unter Manifestationsbedingungen, so zu verhalten, wie die Naturgesetze es beschreiben, sind diese für jene auch dann erklärungsrelevant und mithin gültig, wenn sie sich nicht im Labor, sondern in Wald und Heide befinden.

Anmerkungen

- 1 Karin Knorr-Cetina, K. *Die Fabrikation von Erkenntnis*, Frankfurt a. M. 1984, S. 25.
- 2 Nancy Cartwright *The Dappled World. A Study of the Boundaries of Science*, Cambridge 1999, S. 34.

- 3 Holm Tetens *Experimentelle Erfahrung*, Hamburg 1987, S. 32.
- 4 Unter der zusätzlichen Annahme, daß das, was physikalische Systeme konstituiert, ihr Verhalten ist, so wie es durch Naturgesetze beschrieben wird, folgt dann aus der Gültigkeitsbeschränkung der Gesetze ein Antirealismus hinsichtlich der physikalischen Systeme außerhalb des Labors.
- 5 Cartwright verwendet den Begriff der *nomologischen Maschine*, der mit dem des Labors verwandt ist. Dazu später mehr.
- 6 Ernan McMullin, „Galilean Idealization“ in: *Studies in the History and Philosophy of Science* 16 (1985) S. 247 bis 273, S. 265.
- 7 Holm Tetens *Experimentelle Erfahrung*, Hamburg 1987, S.32.
- 8 Nancy Cartwright *The Dappled World. A Study of the Boundaries of Science*, Cambridge 1999, S. 50.
- 9 Nancy Cartwright *The Dappled World. A Study of the Boundaries of Science*, Cambridge 1999, S. 73.
- 10 Das zumindest legt die Überschrift des Abschnittes nahe, dem das obige Zitat entnommen ist: „Nomological machines and the limits of science“. Siehe: Nancy Cartwright *The Dappled World. A Study of the Boundaries of Science*, Cambridge 1999, S. 73.
- 11 Amos Funkenstein *Theology and the Scientific Imagination* Princeton 1986, S. 152–179.
- 12 Dazu siehe C. D. Broad *Mind and its Place in Nature*, London 1925, insbesondere Kapitel 2; A. Hüttemann, O. Terzidis „Emergence in Physics“ in *International Studies in the Philosophy of Science*, im Erscheinen begriffen und Ansgar Beckermann „The perennial problem of the reductive explainability of phenomenal consciousness – C. D. Broad on the explanatory gap“ in: T. Metzinger (ed.) *Neural Correlates of Consciousness – Empirical and Conceptual Questions*, Cambridge MA, 1999
- 13 Bohm, A. *Quantum Mechanics: Foundations and Applications*, New York 1986, S. 147
- 14 Den Vertretern der Identifikation von Beschreibungsbereich und Gültigkeitsbereich bleibt noch als weitere Möglichkeit, neben dem Begriff der Gültigkeit den der *Legitimität* einzuführen und seinen Bereich mit dem Anwendungsbereich zu identifizieren. Dann ergeben sich die Probleme, die sich zuvor für den Begriff der Gültigkeit ergeben haben, nunmehr für den Begriff der Legitimität.
- 15 Zu den Bedingungen unter denen ein Gesetz für ein System erklärungsrelevant ist siehe Abschnitt 6.
- 16 Zeller, R.; Pohl, R. „Thermal Conductivity and Specific Heat of Noncrystalline Solids“ in: *Physical Review B* 4 (1973), S. 2029 bis 2041.
- 17 Tetens, H. *Experimentelle Erfahrung*, Hamburg 1987, S. 10; Hacking, I. „The Self-vindication of Laboratory Science“ in: A. Pickering (Hrsg.) *Science as Practice and Culture*, Chicago 1992, S. 29–64, 31, A. Pickering „Living in the Material World“ in: D. Gooding, T. Pinch, S. Schaffer (Hrsg.) *The Uses of Experiment*, Cambridge 1989, S. 275–297, 281
- 18 G. H. von Wright *Erklären und Verstehen*, Meisenheim, 1974, S. 68/9
- 19 Tetens 1987, S.19.
- 20 A. Hüttemann *Idealisierungen und das Ziel der Physik*, Berlin 1997, Kap. 3

- und A. Hüttemann „Laws and Dispositions“ *Philosophy of Science* 65 (1998) S. 121–135.
- 21 Die Dispositionen, von denen hier die Rede ist, sind meßbar und daher vom Standpunkt des Empirismus aus betrachtet unbedenklich. Siehe dazu: A. Hüttemann *Idealisierungen und das Ziel der Physik*, Berlin 1997, S. 152–153 und A. Hüttemann „Laws and Dispositions“ *Philosophy of Science* 65 (1998) S. 121–135, insbesondere S. 130–132.

