

Klaus Mecke

Zahl und Erzählung

Metaphern in Erkenntnisprozessen der Physik

Abstract: Es soll der Versuch unternommen werden, die naturwissenschaftliche Beschreibung von Phänomenen als einen metaphorischen Prozess zu begreifen, der durch Messerzählungen die Übertragbarkeit quantitativer Begriffe auf unterschiedliche physikalische Erfahrungsbereiche ermöglicht.

Naturgesetze können dann als ‚synonyme quantitative Metaphern‘ verstanden werden, ohne ontologisch auf Objekte einer realen Welt und ihre Eigenschaften Bezug nehmen zu müssen. Durch diese erkenntnistheoretische Perspektive wird nicht nur die Bedeutung von Metaphern für die naturwissenschaftliche Forschung deutlich, sondern sie ermöglicht es auch, naturwissenschaftliche Erkenntnisse, insbesondere Formeln, stilistisch als Tropen einzusetzen.

Was macht ein Physiker mit Metaphern?
(Raoul Schrott im Interview am 14. Mai 2012)¹

Albert Einsteins Formel $E = mc^2$ wurde zum Kultobjekt des zwanzigsten Jahrhunderts und zum Sinnbild der physikalischen Welterkenntnis. Interessanterweise aber formulierte Einstein die Erkenntnis, die in dieser Formel steckt, in seiner ersten Arbeit zur Äquivalenz von Energie und Masse lediglich in Worten und Sätzen, ohne eine Formel zu verwenden:

Gibt ein Körper die Energie L in Form von Strahlung ab, so verkleinert sich seine Masse um L/V^2 . [...] Die Masse eines Körpers ist ein Maß für dessen Energieinhalt; ändert sich die Energie um L , so ändert sich die Masse in demselben Sinne um $L/9 \cdot 10^{20}$, wenn die Energie in Erg und die Masse in Grammen gemessen wird.²

In dieser Arbeit verwendete er auch nicht die Zeichen E oder c , sondern er sprach über die ‚Lebendige Kraft‘ L und wählte das Symbol V für die ‚Velozität‘ des Lichtes. Erst 1912 ersetzte er L durch E für ‚Energie‘ und V durch c für ‚Lichtgeschwindigkeit‘, ohne die Bedeutung des Naturgesetzes zu verändern. Die Formel

¹ Sokratische Dialoge. Raoul Schrott im Dialog zu „Tropen“ und „Gehirn und Gedicht“. In: *Physik und Poetik. Produktionsästhetik und Werkgenese. Autoren und Autorinnen im Dialog*. Hrsg. von Aura Heydenreich und Klaus Mecke. Berlin: De Gruyter, 2015.

² Albert Einstein: Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig? In: *Annalen der Physik* 18 (1905). S. 639-641, hier S. 641.

$E = mc^2$ verwendete als erster Max Planck im Jahr 1907 – und Albert Einstein selbst wohl erst 1946.³

Was hat aber die ‚Lebendige Kraft‘ mit ‚Masse‘ oder mit der Geschwindigkeit des Lichtes zu tun? Eine metaphortheoretische Antwort liegt möglicherweise darin, dass nicht nur ‚Lebendige Kraft‘ eine physikalische Metapher ist, die ihre übertragene Bedeutung erst aus einer erläuternden Messvorschrift erhält, sondern auch die vertrauten physikalischen Eigenschaften ‚Masse‘ und ‚Geschwindigkeit‘. Einstein schreibt, „die Masse eines Körpers [sei] ein Maß für dessen Energieinhalt“, und führt ‚Masse‘ damit nicht als (konstante) Eigenschaft ein, sondern als synonymen Begriff für etwas, das er ‚Energieinhalt‘ nennt. Er verwendet die Messvorschrift der Einheit ‚Erg‘ für das, was er ‚Energie‘ nennt, sowie die Messvorschrift der Einheit ‚Gramm‘ für das, was er ‚Masse‘ nennt, und stellt eine quantitative Beziehung zwischen den jeweils gemessenen Werten fest. Offensichtlich eröffnen Messvorschriften oder Messerzählungen, die durch Handlungen zu Zahlen führen, die Möglichkeit, Begriffe als synonym zu erkennen, was durch Formeln ausdrückbar wird.

Was bedeutet es also, wenn in der Physik Zahlen und Formeln benutzt werden? Um dies genauer zu verstehen, lohnt es sich, die physikalische Naturerkenntnis zuerst als einen metaphorischen Prozess zu begreifen. Im Folgenden wird argumentiert, dass Zahlen ohne Messerzählungen keine weitere physikalische Bedeutung haben und dass Erzählungen, die zu Zahlen führen, einen neuen Typ von Metaphern erlauben: ‚synonyme quantitative Metaphern‘, die in eine mathematische Sprache als Formeln übersetzbar sind.

1 Was ist Naturerfahrung? Metaphern und Messungen

Um die epistemologische Funktion von ‚Zeichensprache‘ ausloten zu können, müssen wir zuerst einen Schritt zurücktreten und genauer betrachten, was Erfahrung ist und was dies mit Metaphern zu tun hat. „Wer vom Erlebnis zur Erfahrung will, muss über das Drahtseil des Gedankens.“⁴ Dieser Aphorismus von Thomas Lehr macht zweierlei deutlich:

³ Vgl. Gleichung (48) in Max Planck: Zur Dynamik bewegter Systeme. In: *Sitzungsberichte der Königlich-Preussischen Akademie der Wissenschaften* 29.1 (1907). S. 542–570; Albert Einstein: $E = mc^2$: the most urgent problem of our time. In: *Science Illustrated* 1 (April 1946). S. 16–17.

⁴ Thomas Lehr: *Größenwahn passt in die kleinste Hütte. Kurze Prozesse*. München: Hanser, 2012. S. 13.

- (i) *Ereignisse* sind konkret, einmalig, nicht wiederholbar,
- (ii) *Erfahrungen* sind prägend, persistent, mitteilbar.

Das Bindeglied zwischen beiden sind die Begriffe, die Bausteine des Gedankens, die aufgrund der *Persistenz* von Erfahrung möglich sind: Die Begriffe ‚Löwe‘, ‚Fluss‘ und ‚Quelle‘ werden deswegen von allen Deutsch Sprechenden verstanden, weil sie erstens jeder aus dem kollektiven Gedächtnis gelernt hat, auch wenn er noch nie einen Löwen gesehen hat, und zweitens, weil auch nach Jahrtausenden ein ‚Fluss‘ an einer ‚Quelle‘ entspringt und ins Meer fließt. Unter *Persistenz* möchte ich hier eine Wiedererkennbarkeit verstehen, die unabhängig von Zeitpunkt, Ort oder beobachtender Person ist. Wir erkennen einen Fluss als ‚Fluss‘, egal ob daneben eine Schafherde steht oder nicht, ob er durch eine Weide oder einen Wald fließt, groß oder klein ist. Natürlich sind der Löwe und der Fluss nicht immer die gleichen, sondern stets einmalige Ereignisse und sehen auch durchaus verschieden aus. Die Variation der Ereignisse überträgt sich auf eine Unschärfe des Begriffs: Was wir z. B. als ‚Fluss‘ bezeichnen, ist nicht eindeutig feststellbar, und ‚Gleichheit‘ ist nicht wirklich wohldefiniert.

Diese etwas naive Beschreibung von Begriffsbildung soll zwei Aspekte deutlich machen: Begriffe basieren auf *Persistenz*, die einen abstrakten Begriff von *Gleichheit* von Ereignissen ermöglicht, obwohl wir immer nur einmalige Ereignisse beobachten können. Beides hat zunächst nichts mit Zahlen und Mathematik zu tun, sondern ist die Grundlage jeder Art von Begriffen. Neben den Begriffen ‚Löwe‘ und ‚Fluss‘ wurde in der menschlichen Sprache aber auch der Begriff ‚Anzahl‘ hervorgebracht und mit der Mengenlehre und Algebra ein begrifflicher Rahmen für Zahlen geschaffen, in dem ‚Gleichheit‘ ein wohldefinierter Begriff ist; die *Zahl ist der Inbegriff der Gleichheit* bzw. die ‚Gleichheit‘ ist mengentheoretisch die definierende Eigenschaft von Zahlen. Ob zwei Zahlen gleich sind, ist ohne weitere Abstraktion bzw. Absehen von Unterschieden eindeutig gegeben. Um den Begriff ‚Zahl‘ auf ein Ereignis anwenden zu können, muss eine Messvorschrift angegeben werden. Beobachten wir z. B. Löwen in der Savanne, dann können wir jeden einzelnen markieren und für jede Markierung einen Strich auf einer Liste machen, auf der die natürlichen Zahlen geschrieben sind. Wird das Experiment am nächsten Tag wiederholt, dann erhalten wir eine Zahl, deren Gleichheit mit der vorherigen Zahl wir eindeutig feststellen können. Weil der Zahlbegriff eindeutig ist, hat *Persistenz* eine genaue Bedeutung gewonnen. Im Unterschied zu den Begriffen ‚Löwe‘ und ‚Fluss‘ können wir bei dem Begriff ‚Anzahl‘ exakt angeben, ob ihr Wert gleich, d. h. zeitlich unverändert geblieben ist. Wichtig ist bei diesem Beispiel, dass die ‚Anzahl‘ durch eine Erzählung gegeben ist, wie sie zu bestimmen sei. Ihr konkreter Wert entsteht dann durch eine konkrete Handlung, d. h. das Ausführen des Erzählten.

Die Zahl wird uns einen völlig neuen Typ von Metapher ermöglichen. Doch zuerst müssen wir genauer betrachten, was Metaphern sind. *Metaphorá* ist ein Wort, das den griechischen Begriff μεταφορα latinisiert und im Deutschen ‚Übertragung‘ bedeutet. Für Friedrich Nietzsche sind Begriffe aller Art immer bereits Metaphern, da sie Bedeutung auf einzelne Ereignisse in der Natur übertragen.⁵ Sie sollen hier *Metaphern 1. Art* genannt werden, um sie von dem Metaphernbegriff abzugrenzen, wie er seit Aristoteles’ Poetik in ständigen Modifikationen verstanden wird. Dieser basiert im Wesentlichen auf der Übertragung eines Begriffes auf einen anderen, weshalb ich diese klassischen Metaphern im Folgenden auch *Metaphern 2. Art* nenne.

Das kollektive Gedächtnis kennt Begriffe aus allen möglichen verschiedenen Erfahrungsbereichen, die zunächst nichts miteinander zu tun haben, die aber komplex zusammengesetzt sein können. Mit ‚Schiff‘ wird ein schwimmendes, technisches Gerät bezeichnet, mit dem Menschen und Güter auf dem Wasser transportiert werden können. Es wird aber auch eine ‚schwankende Bewegung‘ mit diesem Begriff assoziiert. Erinnerung sei etwa an ein Kamel zum Transport in der Wüste, sodass die Wortkombination ‚Wüstenschiff‘ möglich wird. Das kollektive Gedächtnis erlaubt die Bildung von Metaphern, d. h. die Übertragung von Begriffen von einem Erfahrungsbereich (Bewegung auf dem Wasser) auf einen völlig anderen (Kamelritt in der Wüste), wobei ‚etwas Ähnliches‘ – die ‚schwankende Bewegung‘ – ein Bindemittel ist, das einen Vergleich ermöglicht, das sogenannte *tertium comparationis*. Aristoteles beschreibt daher in seiner *Poetik* Metaphern im Sinne einer verkürzten Analogie:

[Metapher] ist die Übertragung eines Wortes [...] nach den Regeln der Analogie. [...] [D]as Alter verhält sich zum Leben wie der Abend zum Tag; der Dichter nennt also den Abend ‚Alter des Tages‘, oder, wie Empedokles, das Alter ‚Abend des Lebens‘ oder ‚Sonnenuntergang des Lebens‘.⁶

Das ‚Leben‘ hat keinen ‚Abend‘, aber ein Ende wie der Tag. ‚Abend‘ wird in ‚Lebensabend‘ also uneigentlich gebraucht, während seine eigentliche Bedeutung das Ende eines Tages ist. Das *tertium comparationis* von ‚Leben‘ und ‚Tag‘ ist u. a. das ‚Ende eines Zeitabschnittes‘, das es uns ermöglicht, den uneigentlichen Gebrauch des bildspendenden Begriffs ‚Abend‘ zu verwenden. Obwohl Aristoteles der Metapher eine Erkenntnisfunktion zuschrieb, wurde sie jahrhundertlang

⁵ Friedrich Nietzsche: Über Wahrheit und Lüge im außermoralischen Sinn. In: ders.: *Werke. Kritische Gesamtausgabe*. 3. Abt. Bd. 2: Nachgelassene Schriften 1870–1873. Hrsg. von Giorgio Colli und Mazzino Montinari. Berlin: De Gruyter, 1973. S. 369–384, hier S. 379–380.

⁶ Aristoteles: *Poetik*. Übers. und hrsg. von Manfred Fuhrmann. Stuttgart: Reclam, 2006. S. 67–69 (Kap. 21, 1457b).

eher als eine Trope, als rhetorisches Ausdrucksmittel verwendet. Im Folgenden soll die Metapher aber nicht als ein literarisches Stilmittel betrachtet werden, sondern nur auf ihre erkenntnistheoretische Funktion fokussiert werden. In einem ersten Schritt soll die Zuschreibung von physikalischen Eigenschaften wieder als ein metaphorischer Prozess erkennbar gemacht werden, da viele physikalische Größen wie ‚elektrischer Strom‘ oder ‚Spannung‘ nicht mehr als Metaphern wahrgenommen werden. Tote Metaphern sind solche, bei denen die Metaphorik, d. h. die Übertragung fremder Bildbereiche, nicht mehr bewusst ist oder erkannt wird. Beispiele sind ‚Handschuh‘, ‚Ohrfeige‘, aber auch ‚federleicht‘ und ‚weiße Milch‘. Andere physikalische Metaphern sind nach wie vor lebendig – so etwa ‚Schwarzes Loch‘ oder ‚grüne Quarks‘ –, da ein *tertium comparationis* zwar existiert, aber nicht offensichtlich ist. Theoriekonstitutive Metaphern zielen gerade auf das *tertium comparationis*, das Erkenntnis stiftet. Als Beispiel kann ‚grüne Quarks‘ dienen, bei denen das *tertium comparationis* dem lernenden Physiker zunächst nicht bekannt ist. Erst durch ein Studium erfährt er, dass die drei Grundfarben dreifachen Ladungen entsprechen, die zusammengenommen etwas Neutrales, Weißes ergeben. Sie sind das sinnstiftende Dritte, das es zu erkennen gilt. Erst einmal erkannt, wird die Metapher schnell zu einer physikalischen Eigenschaft. Bei der analogen Metapher ‚weißer Quark‘ wird der metaphorische Gehalt schon kaum mehr wahrgenommen.

Metaphern sind Aristoteles zufolge Übertragungen zwischen unterschiedlichen Erfahrungsbereichen, wobei eine Gleichartigkeit erkannt wird. Die Physik hat – spätestens mit Galileo Galilei – eine genuin eigene Art gefunden, verschiedene Erfahrungsbereiche miteinander zu verknüpfen und eine Gemeinsamkeit zu konstituieren: die *Messung*. Nicht mehr nur beobachten, assoziieren, vergleichen (aufgrund des tradierten Wissens) und Schlüsse ziehen ist seitdem der Kern der Naturwissenschaft, sondern die konkrete Handlungsanweisung, eine ‚Skala‘ zu bauen und diese an die Beobachtung, an die Ereignisse ‚anzulegen‘. Diese Handlungsanweisung kann man in verschiedenen Erfahrungsbereichen anwenden, und die Gleichheit oder Übereinstimmung des abgelesenen Skalenwertes ermöglicht eine Übertragbarkeit der Bedeutung von einem Erfahrungsbereich auf den anderen.

Die klassische Metapher ‚Achill ist ein Löwe‘ funktioniert, weil wir u. a. die traditionell überlieferten Eigenschaften ‚stark‘ und ‚mutig‘ des Löwen auf Achill übertragen können, obwohl ‚Löwe‘ sicherlich keine Eigenschaft von Achill ist. ‚Grün‘ ist zunächst auch keine Eigenschaft von ‚Quarks‘, sondern das Ergebnis einer quantitativen Messerzählung, die die von Farben vertrauten Phänomene auf die Wahrnehmung von ‚Quarks‘ überträgt. Die eigentliche Bedeutung von ‚grün‘ macht bei Quarks keinen Sinn. Dieser metaphorische Prozess im Kontext physikalischer Messungen ist sicherlich von Metaphern, die im literarischen Kontext

verwendet und durch Metapherntheorien u. a. von Max Black untersucht wurden, zu unterscheiden, da diese in ihrer Bedeutungsvielfalt nicht abschließbar sind. Quantitative Metaphern wie ‚grüne Quarks‘ werden dagegen durch eine physikalische Messerzählung nicht nur gestiftet, sondern in ihrer Bedeutung auch festgelegt. Sie können daher schnell zu bloßen Bezeichnungen von Eigenschaften von Dingen werden, wenn ihr Übertragungscharakter vergessen wird. ‚Eigenschaften‘ und ‚Dinge‘ sind aber ontologische Begriffe eines realistischen Weltbildes, die wir auf dieser Stufe der Reflexion des physikalischen Erkenntnisprozesses noch gar nicht benötigen, sondern erst beim metaphorischen Prozess der mathematischen Modellbildung, der durch ‚ontologische Metaphern‘ geleitet wird (Kapitel 4). Zunächst soll aber der metaphorische Prozess im Kontext physikalischer Messungen wieder aufgedeckt werden, um physikalische Größen als ‚quantitative Metaphern‘ (Kapitel 2) und Naturgesetze als ‚synonyme quantitative Metaphern‘ (Kapitel 3) verstehen zu können.

Als Michael Faraday die bis zum Beginn des neunzehnten Jahrhunderts rätselhaften magnetischen Phänomene untersuchte, konnte er auf keine gewohnten Begriffe oder Bilder für die ‚raumgreifende‘ magnetische Kraft zurückgreifen. Über Jahre rang er um eine angemessene Beschreibung der Beobachtungen, was ihn schließlich zum Bild eines ‚Feldes‘ führte, das raumfüllend wogt und wie die Ähren in einem Weizenfeld an jedem Ort in eine Richtung zeigt. Doch damit nicht genug: Er findet in seinen Beobachtungen ‚Quellen‘ und ‚Senken‘, ‚Wirbel‘ und ‚Zirkulationen‘; neue Wörter wie *Divergenzen* und *Gradienten* entstehen. Als Physiker kann Faraday sich aber nicht mit einer metaphorischen Beschreibung der neuen Phänomene begnügen, er muss für seine Bildbegriffe auch quantitative Messvorschriften finden. So streut er kleine magnetische Staubkörner auf sein ‚Feld‘ und sieht, wie sie sich daran entlang Linien und Wirbeln anordnen. Nun kann er die Anzahl dieser ‚Staublinien‘ zählen bzw. messen und gelangt zur quantitativen Metapher der ‚Feldstärke‘ bzw. des ‚magnetischen Flusses‘. Den ‚elektrischen Strom‘ von Ladungen kannte man bereits. Im Unterschied zum elektrischen Strom ‚fließen‘ beim ‚magnetischen Fluss‘ aber weder Ladungen noch irgendwelche anderen Teilchen. Hier herrscht eine metaphorische Rede, um eine kontinuierliche Durchdringung auszudrücken, deren sichtbarer Ausdruck ‚Staublinien‘ sind, wie man sie auch auf einem Bach sehen kann. Deren Dichte kann als ein Maß für den ‚magnetischen Fluss‘ verwendet werden. Seinen Zahlenwert kann Faraday mit anderen Messhandlungen von bereits bekannten quantitativen Metaphern wie ‚Kraft‘, ‚Energie‘, ‚Impuls‘ oder ‚Leistung‘ (mit ihren jeweiligen, unabhängigen Messvorschriften) vergleichen und nach zeitlich persistenten Verhältnissen suchen. Eine erstaunliche Erfahrung ist, dass dieses metaphorische, physikalische Denken tatsächlich zu persistenten Relationen führen kann. Der Grund hierfür liegt darin, dass – im Unterschied zu klassi-

schen Metaphern mit ihrem Assoziationsreichtum – bei solchen quantitativen Metaphern eine Übertragung allein durch gemessene Zahlen erfolgt: das *tertium comparationis* wird auf die Zahl festgelegt.

2 Sind Zahlen der Tod der Metapher? Quantitative Metaphern als Zahl und Erzählung

Physiker sind fasziniert von Zahlen, weil durch ihre Eindeutigkeit das Nicht-Richtige, das Nicht-Übereinstimmende zutage tritt. Was haben aber Zahlen mit Wörtern, gar mit Metaphern zu tun? Eine erste poetische Antwort deutet Miguel de Unamuno in seinem Gedicht „Wörter und Zahlen“ an:

Seele waren uns Wörter und Zahlen,
ernster Kindheit Morgenfrische;
Garten arithmetischer Sprache,
Zahl und Erzählung gaben uns Lieder.⁷

Im Folgenden wird ‚Erzählung‘ nicht als eine Bezeichnung für eine literarische Gattung verwendet, sondern als eine sprachliche Darstellung eines Geschehens, das der Reihe nach aufzählt und Handlungen mit Worten wiedergibt. ‚Zahl‘ und ‚Erzählung‘ haben den gleichen Stamm und können bei einer physikalischen Größe nicht getrennt werden. Eine *Mess Erzählung* zählt nicht nur die einzelnen Schritte auf, die für eine Messung der Reihe nach durchgeführt werden müssen, sondern ihre Durchführung führt auch definitionsgemäß zu einer *Zahl* als Messergebnis der Erzählung.

Ist ein Begriff, d. h. eine Metapher 1. Art, mit einer Handlungsanweisung definiert, die das Ablesen einer Skala beinhaltet, dann möchte ich sie eine *quantitative Metapher 1. Art* nennen. Jede physikalische Größe bezeichnet einen Erfahrungsbereich, in dem eine quantitative Metapher möglich ist. Temperatur, Farbe, Gewicht, ja selbst Abstände und Zeitdauern sind durch Messvorschriften gegebene Begriffe.

- ‚Zeit‘ ist das, was mir eine ‚Uhr‘ anzeigt. Der Herzschlag ist eine gute natürliche Uhr.
- ‚Temperatur‘ ist das, was mir ein ‚Thermometer‘ anzeigt. Die Haut ist ein natürliches Thermometer.

⁷ Miguel de Unamuno: Wörter und Zahlen. In: *Lob des Fünfecks*. Hrsg. von Alfred Schreiber. Norderstedt: Books on Demand GmbH, 2008. S. 8.

- ‚Farbe‘ ist das, was mir ein ‚Spektrometer‘ anzeigt. Das Auge ist ein natürlicher Farbmesser.
- ‚Kraft‘ ist das, was mir eine ‚Spiralfeder‘ anzeigt. Muskeln sind ein natürlicher Kraftmesser.
- ‚Masse‘ oder Gewicht sind das, was mir eine Waage anzeigt. Meine beiden Hände sind eine natürliche Waage.

‚Zeit‘, ‚Temperatur‘, ‚Kraft‘ etc. sind also Metaphern für Phänomene, die durch Erzählungen beschrieben werden, welche eine Konstruktion von Messgeräten beinhalten, die durch Begriffe wie ‚Uhr‘, ‚Thermometer‘ oder ‚Spiralfeder‘ bezeichnet werden und an denen man Zahlen ablesen kann. Wir können auch formelhaft zusammenfassen: *Physikalische Größe = Zahl und Erzählung*.

Wenn im Folgenden von ‚Kraft‘, ‚Gewicht‘ oder ‚Farbe‘ die Rede ist, dann ist der jeweilige Erfahrungsbereich gemeint, der durch eine Messvorschrift (natürlich oder technisch) mit einer Skala versehen ist, d. h. dem Zahlenwerte zugeordnet werden können. Der metaphorische Gehalt steckt dann nicht im Zahlenwert, sondern in der Erzählung, d. h. in dem Messgerät, das einer *Einheit* entspricht und eine Messvorschrift mit einer Skala umfasst. Die Messerzählung wird in der Physik oft mit einer physikalischen ‚Einheit‘ zusammenfassend bezeichnet, in der alles aufgezählt wird, was zur Messung der physikalischen Größe relevant ist. Die physikalische Größe ‚Temperatur‘ misst man z. B. in der Einheit ‚Celsius‘ oder in der Einheit ‚Fahrenheit‘, die sich in der Beschreibung darüber unterscheiden, wie das ‚Thermometer‘ zu konstruieren und seine Skala zu justieren sei. Wir können also formelhaft zusammenfassen: *Physikalische Einheit = Messerzählung*.

Physikalische Größen gewinnen im Unterschied zu einer Messerzählung (Einheit) erst durch ihre Übertragung auf ein konkretes natürliches Phänomen ihre Bedeutung, weshalb ich sie auch im Sinne Nietzsches als Metapher begreifen und sie als ‚quantitative Metapher 1. Art‘ bezeichnen möchte. Erst eine konkrete Messhandlung liefert eine Zahl für ein einzelnes Ereignis und überträgt den Begriff auf ein Ereignis. Die Messung von ‚Temperatur‘, ‚Kraft‘ oder ‚Farbe‘ hat nur in Bezug auf eine Handlung in der Natur eine Bedeutung, während es durchaus sinnvoll ist, Messerzählungen als ein rein sprachliches Phänomen zu betrachten.

Für physikalische Größen sowie für physikalische Einheiten hat die Physik *Symbole* eingeführt, die stellvertretend die Größe und deren Einheit, d. h. die Messerzählung bezeichnen sollen und die durch Konvention festgelegt werden. Bekannte Beispiele für Symbole, die physikalische Größen repräsentieren, sind:

x für ‚Ort‘	F für ‚Kraft‘	U für ‚Spannung‘
t für ‚Zeit‘	T für ‚Temperatur‘	I für ‚elektrischen Strom‘
m für ‚Masse‘	E für ‚Energie‘	R für ‚Widerstand‘

Bekannte Beispiele für Symbole, die physikalische Einheiten repräsentieren, sind:

m für ‚Meter‘	N für ‚Newton‘	V für ‚Volt‘
s für ‚Sekunde‘	°C für ‚Grad Celsius‘	A für ‚Ampere‘
kg für ‚Kilogramm‘	J für ‚Joule‘	Ω für ‚Ohm‘

Bei Phänomenen, die erst durch einen Physiker entdeckt und durch eine Messvorschrift mit einer Einheit quantitativ fassbar wurden, ist oft dessen Name als Symbol verwendet worden.

Die Einführung solcher Symbole kann allerdings eine tückische epistemologische Falle sein. Suggestieren solche Symbole doch, dass physikalische Größen objektive Eigenschaften der Dinge in der Welt seien, die durch Messungen immer präziser festgestellt werden könnten. Die Einheiten sind in dieser Sichtweise nur Definitionen von Messvorschriften bzw. von physikalischen Größen, die die physikalischen Eigenschaften der Dinge immer genauer fassen. Dieser naive Realismus würde zwar die *Persistenz* der Erfahrung wunderbar erklären, ist aber keine notwendige Voraussetzung oder Konsequenz einer objektiven Naturerkenntnis, worauf wir später noch zu sprechen kommen werden.

Die meisten Erfahrungsbereiche erlauben keine persistente (d. h. auch unabhängige) quantitative Fassung und keine quantitativen Metaphern. Zum Beispiel zieht ‚Wüstenschiff‘ zwar auch ein technisches Gerät zum Vergleich heran, allerdings keine Skala – und ist daher kein Messgerät und keine quantitative Metapher. Die Metapher ‚Temperatur‘ verwendet dagegen in ihrer Messerzählung eine Skala an einem Glasröhrchen und kann daher eine quantitative Metapher sein. Der Begriff ‚Temperatur‘ bezeichnet nichts anderes als diese Messerzählung, die ihre Bedeutung mit ihrer Übertragung in die Natur durch eine Messhandlung gewinnt. Sie ist kein Stoff, der fließt (Temperamentenlehre), und auch kein Feld, Äther oder *Noumenon*. Sie ist epistemologisch eine skalenbehaftete Metapher und unterliegt Konventionen der Erzählung, die angeben, wie sie zu messen ist. ‚Celsius‘, ‚Kelvin‘ oder ‚Fahrenheit‘ sind verschiedene Messerzählungen, sodass man konsequenterweise für die dazugehörige Größe unterschiedliche Symbole verwenden sollte, d. h.

- T_C für ‚Celsius-Temperatur‘ mit der Einheit ‚°C‘ für ‚Grad Celsius‘
- T_K für ‚Kelvin-Temperatur‘ mit der Einheit ‚°K‘ für ‚Grad Kelvin‘
- T_F für ‚Fahrenheit-Temperatur‘ mit der Einheit ‚°F‘ für ‚Grad Fahrenheit‘.

Die Zahlen, die sich aus den Messerzählungen T_C , T_K und T_F ergeben, erlauben aber einen quantitativen Vergleich. Führt man die einzelnen Messhandlungen aus, so findet man reproduzierbar, d. h. persistent und unabhängig vom Experimentator, dass die Messergebnisse proportional zueinander sind: $T_C \sim T_K \sim T_F$.

Es liegt daher nahe, nur ein Symbol, T , für ‚Temperatur‘ zu verwenden, da die gemessenen Werte der physikalischen Größen T_C , T_K und T_F durch eine lineare Umskalierung der Skalen aufeinander abgebildet werden können und im Rahmen der Messgenauigkeit wohl synonyme Messerzählungen vorliegen. Man beachte aber, dass diese Proportionalität kein rigoroses mathematisches Gesetz ist, sondern nur empirisch mit endlicher Genauigkeit und Gewissheit festgestellt wurde. Es ist nicht ausgeschlossen, dass Ereignisse gefunden werden, bei denen sie nicht auftritt. Wären diese Ereignisse persistent, d. h. wiederholbar und unabhängig von Ort, Zeit oder Beobachter, dann müssten die Messerzählungen ‚Celsius‘, ‚Kelvin‘ und ‚Fahrenheit‘ als nicht äquivalent aufgefasst werden. Dadurch entstünde ein neues Forschungsgebiet, um den Grund der Nicht-Übertragbarkeit scheinbar äquivalenter quantitativer Messungen zu verstehen, das zu neuen quantitativen Metaphern und neuen Konventionen von physikalischen Größen führen könnte.

Ein wichtiges Beispiel für äquivalente Messerzählungen sind ‚schwere Masse‘ m_s und ‚träge Masse‘ m_t . Die Masse eines Körpers kann man z. B. durch die Kraft messen, die man braucht, um den Körper im Schwerfeld der Erde zu halten. Man misst diese ‚schwere Masse‘ oder das ‚Gewicht‘ durch eine Waage, etwa durch eine geeichte Spiralfeder, an der man ihre Ausdehnung ablesen kann. Man kann die Masse eines Körpers aber auch durch die Kraft messen, die man braucht, um einen ruhenden Körper zu beschleunigen. Seit Isaac Newton stellt man fest: ‚Schwere Masse ist träge Masse‘ oder $m_s \sim m_t$ oder ‚Gewicht ist Trägheit‘. Albert Einstein hat diese Äquivalenz oder Synonymie der beiden Messerzählungen so lange umgetrieben, bis er über eine Kette von Metaphern – ‚Masse ist Energie‘, ‚Energie ist Krümmung‘, ‚Krümmung ist Trägheit‘ – eine Begründung für ‚Gewicht ist Trägheit‘ fand, die man heute Allgemeine Relativitätstheorie nennt.

‚Achill ist ein Löwe‘ ist eine klassische Metapher, deren *tertium comparationis* nicht eindeutig gegeben ist. Reduzieren wir sie aber auf den Vergleich der ‚Stärke‘, können wir versuchen, sie als eine quantitative Metapher aufzufassen. ‚Achill ist eine Giraffe‘ oder ‚Achill ist ein Kaninchen‘ schwächen die übertragene ‚Stärke‘ wohl etwas ab. Wir können uns vorstellen, dass wir die durch Menschen zugewiesene ‚Stärke‘ von Tieren vergleichen und in eine Ordnung bringen: z. B. vom Kaninchen über die Giraffe zum Löwen. So einigen wir uns etwa durch Konvention auf hundert Tiere, die wir von eins bis hundert durchnummerieren können. Nun genügt es zu sagen ‚Achill ist zehn‘ oder ‚Achill ist 84‘ auf der Tierskala. Stilistisch ist natürlich der metaphorische Wert durch diese Mathematisierung verlorengegangen, ja, die Metapher ist tot. Erkenntnistheoretisch entspräche ‚Achill ist 84‘ aber einer Metapher, die nur durch Konvention einer Skala, d. h. durch eine Messvorschrift, in eine quantitative Form gebracht wurde. Ein solches Verfahren ist prinzipiell mit sehr vielen Metaphern möglich. In der Tat ist eine solche

Tierskala kein unübliches Verfahren: So gibt es z. B. ‚Vogelstimmenuhren‘ und ‚Blumenuhren‘ oder ‚Blütenkalender‘. Selbst das ‚Wüstenschiff‘ können wir modifizieren in ‚Wüstentanker‘ oder ‚Wüstenjolle‘ oder ‚Wüstenschoner‘. Den Grad der assoziierten schaukelnden Bewegung können wir wiederum ordnen und quantifizieren.

Wie sinnvoll ist aber ein solches Verfahren? Die Antwort hängt natürlich vom spezifischen Interesse ab, wozu eine Metapher dienen soll. Ein naturwissenschaftliches Interesse ist die *Suche nach persistenten Skalen*, nach gleichbleibenden Zahlenverhältnissen, da Physiker an persistenter Naturerfahrung interessiert sind. Nach unserer Erfahrung sind Skalen, die auf der subjektiven Einschätzung von Menschen beruhen (Tierskala, Wüstenschiff), größeren Schwankungen unterworfen als Skalen, die auf unbewusster Natur aufbauen (Blüenuhr), oder gar Skalen, die auf unbelebter Materie basieren. So hat sich die Konvention, wie ‚Temperatur‘ gemessen werden soll, von der Armbeuge eines gesunden Mannes, über die Konsistenz von Butter bis zu der heute noch üblichen Ausdehnung einer dünnen Quecksilbersäule verschoben. Unverändert bei diesen verschiedenen Messerzählungen blieb die metaphorische Bedeutung der Zahl als *tertium comparationis*, die eine Übertragung überhaupt erst ermöglicht.

Unbestreitbar gründet sich moderne Naturwissenschaft auf eine operationale Definition ihrer Begriffe durch normierte Messverfahren. Physikalische Größen lassen sich aber nicht eindeutig und bedeutungserschöpfend festlegen. Es bleibt ein metaphorischer Assoziationsspielraum immanent – wie in jeder Erzählung, so auch in der Messvorschrift. Der gerade beschriebene metaphorische Prozess durch eine Messerzählung ist aber nicht subjektiv oder beliebig, sondern die Messvorschrift wird durch die Handlung stets zu einer Zahl, die durch die persistente und unabhängige Natur gesetzt wird – nicht durch den Messenden oder die Messvorschrift. Zentral für eine quantitative Metapher ist die Anbindung der Messerzählung an die Natur, an die persistenten Erfahrungen. Nur durch die Durchführung der Messvorschrift, durch die Handlung, entsteht eine Zahl, nur dadurch wird die Messerzählung quantitativ. Das Ergebnis der Messung steht nicht im Belieben des Messenden. Oft genug ist ein Messereignis ein Widerfahrnis, ein unerwartetes Ereignis, das gegen Erwartungen und Erfahrung ist. Hier zeigt sich die *Widerständigkeit der Natur*, die zu akzeptieren ein Naturwissenschaftler gelernt hat und die den Erfolg der Naturwissenschaft ausmacht, mit quantitativen Metaphern die Natur zu beschreiben.

Physikalische Größen sind sowohl Zahl als auch Erzählung, wobei die Zahl den rigorosen eindeutigen Teil darstellt. In der Messerzählung bleibt aber eine Unbestimmtheit oder eine *Unschärfe quantitativer Metaphern*, die wir von allen Sprachphänomenen kennen: Missverständnisse, Zweideutigkeiten, Unklarheiten etc. Auch kulturelle Prägungen und geschichtliche Traditionen bestimmen die

Lesart von Messerzählungen. Ein drastisches Beispiel für die Folgen solcher Unbestimmtheit war 1999 der Absturz des Mars Climate Orbiter: Amerikanische Ingenieure von Lockheed Martin verwenden traditionellerweise nicht die internationalen Standardeinheiten ‚Newton‘ und ‚Kelvin‘, sondern sind gewohnt, in ‚Pound‘ (lb) und ‚Fahrenheit‘ zu rechnen. Missverstehen sie aber Zahlen in anderen Einheiten, wird z. B. eine Marssonde nicht rechtzeitig abgebremst und verglüht in der Marsatmosphäre. Solche Missverständnisse sind in der Regel viel subtiler und geben Soziologen und Anthropologen genügend Beispiele, um über die gesellschaftliche Bedingtheit des Wissens zu forschen. Natürlich leiten kulturelle Kontexte und Paradigmen die Konstruktion von Messgeräten und die Definition von physikalischen Größen und Einheiten. Allerdings ist die Feststellung von Redundanzen, von synonymen quantitativen Metaphern, aufgrund der Zahl als Inbegriff der Gleichheit weder von der sozialen noch von der geschichtlichen Situation abhängig, sondern wird als unabhängige *Persistenz* der Natur erfahren. Die Gleichheit ist daher universell und stiftet ein objektives Naturgesetz, solange sich die Natur, die wir erleben, nicht ändert. Auch dieser metaphorische Zugang zur Naturgesetzlichkeit basiert auf der *Persistenz* von Erfahrungen, die vorausgesetzt werden muss und nicht begründbar ist.

Das intuitive Problem damit, physikalische Größen als Metaphern zu sehen, liegt wohl an zwei komplementären Gründen: Entweder werden sie durch ein (kompliziertes) technisches Gerät ermöglicht, wie ‚magnetischer Fluss‘ oder ‚Farbladung‘, und gehören damit nicht zur Alltagserfahrung von Menschen. Oder sie entsprechen zu sehr der Alltagserfahrung, wie ‚Farbe‘, ‚Temperatur‘ oder ‚Gewicht‘, als dass die Übertragung noch als solche wahrgenommen würde. Sie erscheinen damit unmittelbar als physikalische Eigenschaften von Dingen. Die Beispiele ‚Gewicht‘ und ‚Spannung‘ mögen diese Unterschiede illustrieren.

Eine Waage ist ein typisches Messgerät mit einer Skala zur Bestimmung von ‚Gewicht‘. Da dieses technische Gerät – wie auch das Schiff – bereits seit Jahrtausenden verwendet wird, ist es in den Fundus metaphorisch möglicher Rede eingegangen: Beispiele für gängige Gewichtsmetaphern reichen von ‚eine Tat wiegt schwer‘ bei Gericht über ‚er ist zu leicht befunden‘ im Bereich der moralischen Bewertung bis hin zur ‚Lebenswaage‘. Messgeräte jüngerer Datums haben es deutlich schwerer, als Metaphern anerkannt zu werden: ‚Akustischer Spektrumanalysator‘ als Metapher für Ohr ist wohl nur ein Rätsel für Physiker. ‚Spannungsmeter‘ ist da schon eingängiger.

Simon Ohm ist dadurch bekannt geworden, dass er eine neue Messerzählung für das Phänomen ‚Spannung‘ U gefunden hat, die einen elektrischen Strom I durch einen metallischen Leiter fließen lässt. Er ersetzte die bisher verwendeten ‚Volta’schen Säulen‘ zur Erzeugung elektrischer Spannung durch ‚Thermoele-

mente‘ und änderte damit die Messerzählung, d. h. die Einheit.⁸ Diese Änderung des Messaufbaus ermöglichte erst die Einführung des elektrischen Widerstandes $R = U/I$ als reproduzierbar messbare Größe, d. h. als eine Messerzählung des Widerstandes R und damit des ‚Ohm‘ Ω als Einheit des Widerstandes R . Heute sprechen wir vom Widerstand R eines elektrischen Bauelementes, als ob er eine Eigenschaft wäre. Dies ist er aber nur deswegen, weil Messerzählungen ‚Volt‘ V und ‚Ampere‘ A für U und I gefunden wurden, sodass für viele elektronische Bauelemente $U \sim I$ gefunden wurde. Die quantitative Metapher ‚Widerstand‘ mit der Einheit ‚Ohm‘ ist allein durch diese von Simon Ohm geschilderte Messerzählung möglich geworden.

Quantitative Metaphern 2. Art: Die Zahl als tertium comparationis

Physikalische Größen wie ‚Spannung‘ und ‚Strom‘ wurden, Nietzsche folgend, hier als quantitative Metaphern 1. Art bezeichnet. Die Zahlen von quantitativen Metaphern erlauben nun eine spezifische Übertragungsmöglichkeit, die literarische Metaphern in ihrer Bedeutungsvielfalt nicht haben: ‚Spannung ist Strom‘. Hier werden zwei verschiedene quantitative Metaphern 1. Art aufeinander bezogen, weil persistente Relationen zwischen ihren gemessenen Zahlenwerten beobachtet werden. Herkömmlich würde dies als ein funktionaler Zusammenhang physikalischer Eigenschaften verstanden werden. Hier möchte ich den sprachlichen Aspekt der metaphorischen Übertragung betonen, um deutlich zu machen, dass physikalische Eigenschaften zunächst als Messerzählungen gegeben sind, die unterschiedliche Erfahrungen mit einer Skala versehen. Diese Skalen erlauben erst die Rede von ‚Spannung ist Strom‘. Solche Metaphern zweiter Stufe – Vergleichsmetaphern im aristotelischen Sinn – möchte ich *quantitative Metaphern 2. Art* nennen. Begreifen wir physikalische Größen als quantitative Metaphern 1. Art, dann wird deutlich, dass der Forschungsfortschritt in der Physik viel mit metaphorischer Arbeit zu tun hat und entdeckte Naturgesetze als quantitative Metaphern 2. Art verstanden werden können.

⁸ Bringt man zwei verschiedene Metalle in Berührung, so entsteht eine Spannung zwischen ihnen, die von der Temperatur abhängig ist, und daher durch Temperaturänderungen sehr genau kontrolliert werden kann. Die Volta'schen Säulen beruhten dagegen auf chemischen Reaktionen, deren Kontrolle im neunzehnten Jahrhundert (im Gegensatz zu heutigen Batterien) nicht hinreichend gewährleistet war, sodass oft ein unkontrollierter Spannungsabfall eintrat, sobald man einen Strom ‚zog‘. Dieser Effekt ist bei Thermoelementen viel geringer, sodass die Spannung U dieser Stromquelle als unabhängig vom verwendeten Strom I angesehen werden konnte.

Michael Faraday erkannte z. B., dass sein ‚magnetisches Feld‘, genauer: die Messerzählung ‚magnetische Zirkulation‘, symbolisch: Γ_M , etwas mit dem ‚elektrischen Strom‘, symbolisch: I , zu tun hat: Die Messerzählungen führten zu ähnlichen Werten, egal auf welche konkrete elektro-magnetische Situation er sie anwandte. Eine Gleichheit konnte er aber nicht feststellen. Erst James Clerk Maxwell erkannte, dass noch eine Messerzählung fehlte, um eine Gleichheit der Zahlenwerte zu erreichen: der heute sogenannte Maxwell’sche Verschiebungsstrom, bzw. der ‚elektrische Fluss‘, symbolisch: Φ_E . Die Metapher ‚Strom‘ oder ‚Fluss‘ suggeriert, dass etwas ‚fließt‘, nur wird sie hier auf jeweils völlig verschiedene Phänomene übertragen. Die Messvorschrift ist aber in allen drei Fällen ähnlich und erlaubt einen quantitativen Vergleich der erhaltenen Zahlenwerte. Erstaunlicherweise fand Maxwell – und seitdem jeder, der die Messerzählungen wiederholte –, dass die Gleichheit $\Gamma_M = I + \Phi_E$ stets erfüllt ist – heute bekannt als *Ampere’sches Gesetz*. Dies ist eine der vier sogenannten *Maxwell’schen Gesetze*, die das Fundament der Elektrodynamik darstellen und die Grundlage nahezu jeder technischen Anwendung von Elektrizität sind. Die Gleichheit der gemessenen Zahlenwerte erlaubt die metaphorische Rede von ‚magnetischer Zirkulation ist elektrischer Strom‘, obwohl mit ‚magnetischer Zirkulation‘ und ‚elektrischem Strom‘ nach wie vor unterschiedliche Erfahrungen benannt werden und nach ihren eigentlichen Bedeutungen eine Zirkulation kein Strom ist. Auf solche quantitativen Metaphern 2. Art, die als Naturgesetze erkannt wurden, werden wir im folgenden Kapitel 3 ausführlicher eingehen und im Kapitel 4 deren Mathematisierung durch ontologische Metaphern beschreiben. Am Beginn der mathematisch-physikalischen Theorie stand aber die Metapher des ‚Fließens‘ und ihre Übertragung auf den neuen Erfahrungsbereich der magnetischen und elektrischen ‚Felder‘, die zu magnetischen und elektrischen ‚Flüssen‘ führen.

Ein völlig neues Gebiet der Naturforschung war damit geboren – ein Gebiet, das als ‚Feldtheorie‘ die Physik des zwanzigsten Jahrhunderts maßgeblich bestimmte. Weder Elektrodynamik noch Quantenmechanik und Allgemeine Relativitätstheorie sind ohne diese begriffliche Fassung des ‚Feldes‘ denkbar. Die Revolution der Physik zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts fand daher nicht erst mit Max Planck, Albert Einstein und Erwin Schrödinger statt, da deren Erkenntnisse zentral auf der quantitativen Metapher des ‚Feldes‘ aufbauten, sondern bereits 50 Jahre früher mit Michael Faraday und James Clerk Maxwell. Die Geschichte der Physik scheint eher eine schleichende Geschichte des Wandels von Metaphern zu sein, auf denen später paradigmatische Umwälzungen basierten und in denen das physikalische Wissen in mathematischen Gleichungen neu geordnet und interpretiert wurde. Die neue mathematische Fassung der Phänomene in einem revolutionären Modell erscheint somit erst als Schlusspunkt eines Metaphern-

wechsels, der viel früher und zunächst unbemerkt in Zeiten einer festgefügteten Welterzählung begann.

3 Was ist ein Naturgesetz? Synonyme quantitative Metaphern

Michael Faraday schrieb am 19. März 1849 in sein Laborbuch:

All this is a dream. Still examine it by a few experiments. Nothing is too wonderful to be true, if it be consistent with the laws of nature; and in such things as these, experiment is the best test of such consistency.⁹

Auch wenn uns Phänomene wie ein Traum vorkommen, können wir messen und erstaunliche Übereinstimmungen feststellen. In Naturgesetzen erkennen wir, dass das zunächst verschieden Erscheinende doch gleich ist. Aber alles bleibt möglich, solange das in Naturgesetzen entdeckte Gleichbleibende nicht verletzt wird. Faraday möchte diese Konsistenz in der Vielfalt der Phänomene testen, indem er die in Experimenten gefundene Übereinstimmung von quantitativen Metaphern durch wiederholte Messungen verschiedener physikalischer Größen überprüft.

Am Beispiel der Temperatur haben wir bereits ein einfaches Beispiel eines Naturgesetzes kennengelernt, das durch Übertragung von einer quantitativen Metapher auf eine andere entsteht. Die Entdeckung der ‚Übereinstimmung‘ der Temperaturbegriffe, $T_C \sim T_K \sim T_F$, ist nur durch das Vergleichen der Zahlen aus den Messhandlungen möglich. Die quantitativen Metaphern T_C , T_K , T_F wurden durch den Zahlenvergleich als ‚Synonyme‘, als ‚bedeutungsgleich‘ erkannt, d. h. als verschiedene, aber in ihren Zahlenwerten übereinstimmende Messerzählungen. Diese quantitativen Metaphern liegen allerdings so nahe, dass der metaphorische Prozess kaum sichtbar ist. Überraschend und erkenntniserweiternd sind dagegen die Übertragbarkeit so verschiedener Begriffe wie ‚Krümmung‘ auf ‚Energie‘ oder ‚Kraft‘ auf ‚Impulsstrom‘. Bevor wir uns um die Übertragungsmöglichkeit so verschiedener Erfahrungsbereiche kümmern, wollen wir ein naheliegendes Beispiel aus der Physikgeschichte etwas genauer betrachten. Gemeint ist die Entdeckung des Naturgesetzes der Energieerhaltung, die viel mit der Entdeckung synonymen Messerzählungen zu tun hat: *Was ‚ist‘ Energie?*

⁹ Zit. nach Henry Bence Jones (Hrsg.): *The Life and Letters of Faraday*. Bd. 2. London, Longmans, Green, and Co., 1870. S. 253.

Einer der im Schulunterricht schwierigsten physikalischen Begriffe ist wohl die *Energie*, da es für sie – im Unterschied zu ‚Raum‘, ‚Zeit‘, ‚Kraft‘, ‚Farbe‘ oder ‚Temperatur‘ – kein körpereigenes Messinstrument oder keine alltägliche ‚Mess-erfahrung‘ gibt. Umso geeigneter ist ein metaphorisches Verständnis, da ‚Energie‘ in der Alltagssprache noch nicht zu einer bloßen Eigenschaft von Dingen geronnen ist. Wenn wir davon reden, dass jemand ‚viel Energie hat‘, dann meinen wir damit ein hohes Potential an Handlungsfähigkeit oder Bewegungsmöglichkeit. Dies entspricht der griechischen Bedeutung, die kulturell überliefert und somit aufgrund des kulturellen Gedächtnisses metaphorisch verwendbar wird. Doch was bedeutet es, wenn in der Physik gesagt wird, dass ein Stein ‚viel Energie hat‘? Hier brauchen wir offensichtlich keine griechischen Begriffe, die uns die uneigentliche Bedeutung der Metapher vermitteln, sondern eine Messerzählung, die die Bedeutung von ‚Bewegungsmöglichkeit‘ in Zahlen fasst. Üblicherweise wird ein Kraftmeter (mit der Einheit ‚Newton‘ N) verwendet, wenn man einen Körper in eine bestimmte Höhe anhebt und gleichzeitig der zurückgelegte Weg (in der Einheit ‚Meter‘ m) gemessen wird. Diese Messerzählung nennt man *Joule* und kürzt es symbolisch mit J oder auch Nm ab. Die gleiche Einheit kann man verwenden, um ein Gas in einem Kolben zusammenzudrücken, das sich dabei erwärmt. Man kann aber auch die Messerzählung ‚Caloricum‘ bzw. *Kalorien* cal erfinden, indem man ‚Temperaturänderung‘ in ‚Celsius‘ misst und damit ein ‚Kalorimeter‘ baut, das die beim Kolbendrücken erzeugte Wärme in Form von Temperaturänderung angibt. Es war ein Meilenstein in der Physikgeschichte, als Mitte des neunzehnten Jahrhunderts durch wiederholte Messungen festgestellt wurde, dass hier *synonyme Messerzählungen* vorliegen, da ein Zahlenvergleich der verschiedenen Messungen unter bestimmten Voraussetzungen stets ergibt: *Kalorie* ‚ist‘ *Joule*.

Es wurden also nicht zwei verschiedene physikalische Größen definiert, sondern zweimal ein und dieselbe. Nur ist das nicht offensichtlich, da die Messerzählungen unterschiedlicher nicht sein können und eine Übertragungsmöglichkeit der Metaphern ‚Caloricum‘ und ‚Joule‘ allein durch die gemessenen Zahlen möglich wurde. Heute spricht man von unterschiedlichen ‚Erscheinungsformen der Energie‘, die ineinander umgewandelt werden können. Man kennt ‚Lage-Energie‘ oder ‚potentielle Energie‘, ‚Bewegungs-Energie‘ oder ‚kinetische Energie‘, ‚Wärme-Energie‘, ‚elektrische Energie‘, ‚Licht-Energie‘ – um nur einige zu nennen.¹⁰ Heute wird das ‚Joule‘ für alle diese ‚Formen der Energie‘ verwendet, egal ob mechanisch, thermisch, elektrisch oder chemisch. Eingeführt wurde es

10 ‚Lage-Energie‘ oder ‚potentielle Energie‘ wird durch ‚Joule‘ gemessen: Verschiebt man einen Körper um einen ‚Meter‘ m, indem man eine Kraft von einem ‚Newton‘ N wirken lässt, braucht man die Energie von einem ‚Joule‘ J. Das entspricht der Energie, die benötigt wird, um eine 100 Gramm schwere Tafel Schokolade vom Boden auf einen Tisch zu heben, der 1 Meter hoch ist.

durch Wilhelm Siemens in seiner Antrittsrede als Präsident der British Association for the Advancement of Science am 23. August 1882:

The unit of heat has hitherto been taken variously as the heat required to raise a pound of water at the freezing-point through 1° Fahrenheit or Centigrade, or, again, the heat necessary to raise a kilogramme of water 1° Centigrade. The inconvenience of a unit so entirely arbitrary is sufficiently apparent to justify the introduction of one based on the electro-magnetic system, viz., the heat generated in one second by the current of an Ampere flowing through the resistance of an Ohm. In absolute measure its value is 10^7 C.G.S. units, and, assuming Joule's equivalent as 42.000.000, it is the heat necessary to raise 0.238 grammes of water 1° Centigrade, or, approximately, the 1/1000th part of the arbitrary unit of a pound of water raised 1° Fahrenheit and the 1/4000th of the kilogramme of water raised 1° Centigrade. Such a heat unit, if found acceptable, might with great propriety, I think, be called the Joule, after the man who has done so much to develop the dynamical theory of heat.¹¹

Das fundamentale *Naturgesetz der Energieerhaltung* besagt nun, dass die Summe der Messungen aller Energieformen an einem (abgeschlossenen) System zu jeder Zeit die selbe Zahl ergibt. In welcher Form ‚Energie‘ auftreten kann, wird durch das Naturgesetz weder abschließend beantwortet noch auch nur nahegelegt. Der Vielfalt der Phänomene sind durch das Naturgesetz keine Grenzen gesetzt, und

Als eine Einheit gemessen an einem mechanischen System mit den Messerzählungen ‚Meter‘ m, ‚Sekunde‘ s und ‚Kilogramm‘ kg kann die Messerzählung ‚Joule‘ J auch durch die Messerzählungen $J = \text{kg m}^2/\text{s}^2$ ausgedrückt werden, da wir bereits die synonymen Messerzählungen für Kraft ‚Newton‘ $N = \text{kg m}^2/\text{s}^2$ kennen. Da m/s einer Messerzählung für Geschwindigkeit entspricht, liegt es nahe, eine andere mechanische Messerzählung für Energie zu verwenden: die ‚Bewegungs-Energie‘. ‚Bewegungs-Energie‘ oder ‚kinetische Energie‘ werden ebenfalls durch ‚Joule‘ gemessen: Misst man an einem Körper die Masse ‚ein Kilogramm‘ (1 kg) und die Geschwindigkeit ‚ein Meter pro Sekunde‘ (1 m/s), dann hat er die ‚Bewegungs-Energie‘ ‚ein Joule‘ (1 J). ‚Wärme-Energie‘, gemessen durch ‚Caloricum‘ cal, ist wiederum die Energie, die aufgebracht wird, um Wasser vom Gewicht eines Gramm g um die Temperatur von einem Grad ‚Celcius‘ zu erwärmen; man findet hier $1 J = 0,239$ Kalorie. Heute wird diese Messerzählung eigentlich nur noch in der Physiologie verwendet, um den ‚Energieinhalt‘ von Nahrungsmitteln anzugeben. In der Wissenschaft war es üblicher, die elektrische Messerzählung von ‚Wärme‘ zu verwenden: die Energie, gemessen in ‚erg‘, die durch einen Strom von ‚einem Ampere‘ während der Dauer von ‚einer Sekunde‘ an einem elektrischen Widerstand von ‚einem Ohm‘ entsteht. Man findet $1 J = 10^7$ erg. ‚Elektrische Energie‘, gemessen durch ‚Voltampere Sekunde‘, ist die Energie, die aufgewandt wird, um einen elektrischen Strom von ‚einem Ampere‘ A für ‚eine Sekunde‘ s durch einen Draht fließen zu lassen, an dem die Spannung von einem ‚Volt‘ V anliegt. In der Wissenschaft ist die Verwendung ‚Elektronenvolt‘ eV üblicher, da oft der Strom aus einzelnen Elektronen mit der Ladung e besteht, während im Haushalt aber die ‚Kilowattstunde‘ kWh gebräuchlich ist mit $1 J = 2,778 \cdot 10^{-7}$ kWh. ‚Licht-Energie‘ wird durch ‚Lumen‘ lm, ‚Lux‘ lx oder ‚Candela‘ cd gemessen.

11 Wilhelm Siemens: Address by the President. In: *Report of the Fifty-Second Meeting of the British Association for the Advancement of Science*. London: John Murray, 1883. S. 1–33, hier S. 6–7.

in der Tat entdecken Physiker z. B. in Teilchenbeschleunigern neue Formen der Energie wie die starke und schwache ‚Kernenergie‘. Das Naturgesetz ist nur Ausdruck dafür, dass bisher stets Messerzählungen für solche neuen Energieformen gefunden werden konnten, sodass die Summe ihrer Zahlenwerte konstant blieb. Um einen Grund für dieses Naturgesetz angeben zu können, benötigen wir aber nicht eine neue Messerzählung, sondern eine Modellerzählung über die Welt, was wir im folgenden Kapitel 4 beschreiben werden. Es ist dieses Erhaltungsgesetz, das zu einer bestimmten ontologischen Modellerzählung verführt, die z. B. eine Stoff-Metapher für die Energie einführt, um von ‚Phlogiston‘ oder ‚Caloricum‘ als Substanzen zu reden. Dies ist allerdings irreführend, da ‚Energie‘ – wie die zu Beginn des Kapitels 2 diskutierte ‚Temperatur‘ – eine Messerzählung voraussetzt. Sie ‚ist‘ keine Substanz, kein Stoff, der fließt, kein Phlogiston oder Caloricum, und auch kein Feld, Äther oder Noumenon. ‚Energie‘ ist eine skalenbehaftete Metapher für Bewegungsmöglichkeiten in der betrachteten Natur.

Auch ohne einen Grund für dieses Naturgesetz gelegt zu haben, ist das Vertrauen in die Synonymie der verschiedenen Messerzählungen der ‚Energie‘ bei Physikern beispielsweise so groß, dass, nachdem bei einer Messung radioaktiver Zerfälle eine scheinbare Verletzung der Energieerhaltung festgestellt wurde, Wolfgang Pauli 1930 postulierte, dass es eine neue Form von Teilchen geben müsste, die unbemerkt in irgendeiner Form ‚Energie davongetragen‘ hat. Also suchten Physiker nach neuen Messmöglichkeiten dieses sogenannten ‚Neutrino‘-Teilchens, das ihnen in der Tat 1956 im sogenannten ‚Poltergeist-Experiment‘ ins Netz ging und das Naturgesetz der Energieerhaltung beeindruckend bestätigte. Auch ohne einen Grund angeben zu können, erkennen wir im Naturgesetz der Energieerhaltung die Synonymie von quantitativen Metaphern in unseren Messerzählungen der Natur.

Entdeckung des Gleichen: Synonyme quantitative Metaphern

Der Wert der Einführung von physikalischen Größen als ‚quantitative Metaphern‘ zeigt sich in den neuen Übertragungsmöglichkeiten, die sich durch die Zahl ergeben. Es soll nun der Versuch unternommen werden, eine metaphernbasierte Erkenntnistheorie der Physik zu formulieren. Um diese zu motivieren, stellen wir uns vor, Alexander von Humboldt und Charles Darwin würden gemeinsam eine Forschungsreise in einen Urwald machen, tagsüber getrennte Wege gehen und abends einander berichten, was sie beobachtet haben. Humboldt spricht vom ‚Breitnasenaffe‘ und Darwin vom ‚monkey‘ und nach einer Weile des Vergleichens stellen sie fest, dass *Breitnasenaffe* = *New World monkey* ist. Sie haben verschiedene Bilder verglichen und Experimente gemacht, um festzustellen, dass

sie über das gleiche Phänomen sprechen, das zunächst verschieden erschien. Ein Naturgesetz scheint nichts anderes zu sein als die über verschiedene Messungen gewonnene Einsicht in die *Redundanz der Wahrnehmung*. Was zunächst als verschieden erfahren wird, erscheint nun als die Perspektiven der verschiedenen Messungen auf das gleiche Phänomen in der Natur.

Ein weiteres Gedankenspiel: Ein Blinder und ein Gelähmter sitzen gemeinsam an einem Bach. Der Blinde hält seine Hand hinein und spürt die Kraft des fließenden Wassers. Er ertastet den Fluss, die Wirbel und Stromschnellen und legt mental eine Karte zusammen über die lokale Kraftverteilung im Bach. Der Gelähmte bleibt sitzen und betrachtet die Stromlinien, die treibenden Blätter, wie sie an Felsen stoßen, sich drehen, schneller und langsamer werden. Auch er zeichnet eine Karte, aber nicht die der Kräfte, sondern die der Geschwindigkeitsänderungen bzw. ‚Beschleunigungen‘ oder ‚Impulsströme‘, wie Physiker diese Größe bei einer inkompressiblen Flüssigkeit nennen würden. Erstaunt stellen sie fest, dass ihre Karten gleich sind, d. h. dass *Karte der gespürten Kraft = Karte der gesehenen Impulsströme* ist. Wenn man das gleiche Phänomen betrachtet, aber verschiedene Wörter und Bilder verwendet, sollte man nicht verwundert sein, dass manche von ihnen, sicherlich nicht alle, redundant sind. Das Verwunderliche an den Naturgesetzen scheint also nicht die Gleichheit des Verschiedenen zu sein, sondern die Verschiedenheit der Wahrnehmung des Gleichen. Diese resultiert aber vermutlich aus den verschiedenen Sinnesorganen und der Fähigkeit des Menschen, verschiedenartige Messapparate zu bauen.

Wenn ein Naturgesetz die Entdeckung des Gleichen in verschiedenen Wahrnehmungen ist, dann muss es in allen möglichen Kontexten dieser Wahrnehmungen auffindbar sein. Ob man nun die Geschwindigkeit (Impuls) des Wassers oder eines Steins beobachtet, oder ob man die Kraft des fließenden Wassers oder die Kraft, mit der man einen Stein wirft, misst, sollte für ein Naturgesetz als Ausdruck synonymen Messerzählungen ‚Kraft‘ und ‚Impulsstrom‘ egal sein. Isaac Newton erkannte, dass die ‚Kraft‘ F (die man durch einen Muskelapparat, z. B. eine Spiralfeder, misst) und der ‚Impulsstrom‘ \dot{p} (d. h. die ‚Beschleunigung‘, die durch Galileis Messvorschrift für Geschwindigkeit und Zeit messbar wurde) stets proportional zueinander sind, egal an welchem Körper die Messungen vorgenommen wurden. Es gilt das *Newton'sche Bewegungsgesetz Kraft = Impulsstrom* bzw. $F = \dot{p}$ als universeller Ausdruck der Übereinstimmung der beiden Messerzählungen. Naturwissenschaftliche Gesetze entdecken also, dass manche der quantitativen Metaphern 2. Art eigentlich Synonyme sind, d. h. redundante Messerzählungen. Das ist der Kern dieses erkenntnistheoretischen Verständnisses der Physik als eines metaphorischen Prozesses. Solche quantitativen Metaphern 2. Art, die stets eine Übereinstimmung ausdrücken, möchte ich *synonyme quantitative Metaphern*

nennen. Bekannte Beispiele, bei denen zuvor getrennte Erfahrungsbereiche durch quantitative Messungen als Synonyme erkannt wurden, sind:

- das *Ampere'sche Gesetz des magnetischen Feldes* (Magnetische Zirkulation = Elektrischer Strom bzw. $\Gamma_M = I + \Phi_E$)
- das *Gauß'sche Gesetz des elektrischen Feldes* (Elektrischer Fluss = Elektrische Ladung bzw. $\Phi_E = Q$)
- *Einsteins Gesetz der Gravitation* (Krümmung = Energie bzw. $R_{\mu\nu} = T_{\mu\nu}$).

Es wäre eine interessante Aufgabe, alle bekannten Naturgesetze auf ihren Gehalt an quantitativen Metaphern hin zu überprüfen. Wenn dieser metaphortheoretische Zugang zur Naturgesetzlichkeit Bestand haben soll, dann müsste jedes Naturgesetz einen metaphorischen Kern haben, d. h. über synonyme quantitative Metaphern fassbar sein. Die Bezeichnung von Naturgesetzen als synonyme quantitative Metaphern lenkt den Blick darauf, dass sie weder als mathematische Formeln begründet werden noch eine ontologische Bestimmung einer Welt der Dinge sind, sondern Ausdruck redundanter Wahrnehmungen, die in quantitative Begriffe gegossen wurden. So drückt das Ampere'sche Gesetz nur aus, dass die ‚magnetische Zirkulation‘ und der ‚elektrische Strom‘ als Messerzählungen synonym sind.

Synonyme quantitative Metaphern 2. Art sind nur bei quantitativen Metaphern 1. Art möglich, da allein die Zahl die Gleichheit entdeckt und damit eine Übertragung ermöglicht. Aber nicht jede quantitative Metapher 2. Art ist auch eine synonyme quantitative Metapher. Ob eine quantitative Metapher wirklich synonym ist, ist nur empirisch feststellbar, und oft genug musste die Annahme korrigiert werden. Ein Beispiel ist das Ohm'sche Gesetz ‚Volt‘ \sim ‚Ampere‘ für die Spannung und den Strom in einem Leiter, der auf die Definition des Widerstandes $R = U/I$ des Leiters führte. Man könnte nun annehmen, dass ‚Spannung ist Strom‘ eine synonyme quantitative Metapher ist. Aber im Gegensatz zum Newton'schen Gesetz oder zum Ampere'schen Gesetz hängt das Verhältnis R von dem jeweiligen Körper ab, an dem Spannung und Strom gemessen wurde. Auch findet man durchaus kleine Abweichungen von der Proportionalität ‚Volt‘ \sim ‚Ampere‘, und es gibt sogar Leiter, bei denen sie gar nicht zu beobachten ist. Das Ohm'sche Gesetz ‚Spannung ist Strom‘ ist also eine mögliche quantitative Metapher 2. Art, aber keine synonyme quantitative Metapher. Wir müssen also zwischen wirklichen Synonymen, sogenannten Fundamentalgesetzen der Natur, und einfachen quantitativen Metaphern 2. Art unterscheiden, die nur in bestimmten Situationen und Phänomenen möglich sind. Einen einfachen Fall von synonymen quantitativen Metaphern stellen alternative Messverfahren für die gleiche physikalische Größe dar. Allerdings erscheinen diese nur deswegen als einfach, weil wir uns an ihre Synonymie gewöhnt haben. So waren die verschiedenen Messerzählungen der

‚Temperatur‘ und ‚Energie‘ im neunzehnten Jahrhundert nicht selbstverständlich, sondern ein wichtiger Erkenntnisfortschritt dahingehend, was alles als ‚Energie‘ messbar ist.

Nicht nur lineare Relationen zwischen Messgrößen können Ausdruck synonyme quantitativer Metaphern sein. Es gibt auch viele nicht-lineare Gesetzmäßigkeiten. Oft können diese aber durch eine modifizierte Messerzählung oder Skala auf eine lineare Beziehung gebracht werden. Phänomene wie der Quanten-Hall-Effekt zeigen aber auch, dass eine physikalische Messgröße konstante Werte annehmen kann, die sogar durch Naturkonstanten festgelegt sind und sich als natürliche Zahlen erweisen. Auch wenn kein linearer Zusammenhang zu einer anderen Messgröße besteht, wird hier die mögliche Redundanz einer Messerzählung offensichtlich.

Die Bezeichnung ‚synonyme quantitative Metaphern‘ scheint zunächst ein Widerspruch in sich zu sein. Echte Synonyme sind in jeder Sprache schwer zu finden. Stets machen kleine Bedeutungsunterschiede, minimale Verschiebungen der Assoziationen eine Gleichheit des Bezeichneten zu etwas nur Ähnlichem. Allein bei Übertragungen aus einer anderen Sprache – wie ‚Trottoir‘ für ‚Gehsteig‘ – scheinen echte Synonyme anzutreffen zu sein. Und natürlich in der Mathematik, wo ‚fünf Zwanziger‘ oder besser ‚fünf mal zwanzig‘ tautologisch eindeutig als ‚hundert‘ verstehbar ist. Aber natürlich gibt es auch bei den Metaphern, die in Naturgesetzen als Synonyme erkannt wurden, Bedeutungsunterschiede. ‚Kraft‘ ist nicht dasselbe wie ‚Impulsstrom‘, da die Messerzählungen unterschiedlicher nicht sein könnten. Dennoch stiftet die Zahl eine Übertragungsmöglichkeit, die stets gegeben ist, weshalb der Begriff ‚synonyme quantitative Metaphern‘ angemessen erscheint.

Synonyme quantitative Metaphern wie ‚Kraft ist Impulsstrom‘ sind aber auch keine Tautologien, da die Übertragungsmöglichkeit, d. h. die Gleichheit der Zahlenwerte, die die Metapher überhaupt erst ermöglicht, nicht aus den Messerzählungen selbst abgeleitet werden kann. Die Gleichheit der Zahlenwerte erweist sich erst in der Handlung und ist Ausdruck der *Persistenz* der Natur. Es sind *Messhandlungen*, die die quantitativen Metaphern konstituieren. Die Handlung ist die Basis, die jedes Naturgesetz in der Natur gründet. Synonyme und damit Naturgesetze sind unabhängig vom Beobachter und auch unabhängig von der Nützlichkeit des Handlungsaktes. Im Gegensatz zu einem sozialen Konstruktivismus sind synonyme quantitative Metaphern daher metapherntheoretisch als objektive Erkenntnis zu betrachten, die unabhängig vom Subjekt sind. Nur liegt die Begründung der Naturgesetze nicht mehr in einer Objektivität der Welt, sondern in der Redundanz der menschlichen Wahrnehmung. Verschiedene Messerzählungen desselben Phänomens sind wie verschiedene Sprachen mit anderen Wörtern und Grammatiken. Wie bei ‚New World monkey = Breitnasenaffe‘

werden auch verschiedene Messsprachen als synonym erkannt, wenn sie auf der Gleichheit gemessener Zahlen beruhen.

Lebendige Metaphern: Entfaltung des Vielfältigen

Durch die Tatsache, dass Naturgesetze synonyme quantitative Metaphern sind, erklärt sich vielleicht auch die *heuristische Funktion von Metaphern* für den physikalischen Erkenntnisprozess. So wie es optische Täuschungen gibt, kann man Metaphern als ‚sprachliche Täuschungen‘ begreifen: Sie sagen nicht, was sie sagen, sondern bedeuten, was sie eigentlich nicht bedeuten. Wegen dieser bewussten Täuschungsabsicht wurden Metaphern in der traditionellen Wissenschaftstheorie als legitime Methode der Erkenntnis oft ausgeschlossen. Dies hat sich geändert, vor allem aufgrund der zahlreichen Beispiele, bei denen Metaphern theorieinspirierend gewirkt haben. Bekannt sind Kekulé's Schlange, Bohrs Atom als Sonnensystem, Einsteins Gedankenexperimente zu beschleunigten Fahrstühlen, ‚Schwarze Löcher‘ und der Urknall in der Astrophysik oder der ‚genetische Code‘ in der Biologie. Metaphern haben zumindest die Funktion eines ‚Katalysators‘, der Gedanken anstößt, auch wenn er am Gedankengang selbst nicht teilnimmt.

Neue Metaphern für neue Phänomene zu finden, war oft die Grundlage von Erkenntnis, auch wenn sie zunächst nur als rhetorisches Mittel, als Argumentationshilfe eingesetzt wurden, wie bereits Aristoteles feststellte:

Es ist aber bei weitem das Wichtigste, daß man Metaphern zu finden weiß. Denn dies ist das Einzige, das man nicht von einem anderen erlernen kann, und ein Zeichen von Begabung. Denn gute Metaphern zu bilden bedeutet, daß man Ähnlichkeiten zu erkennen vermag.¹²

Gute quantitative Metaphern zu bilden, ist besonders wichtig, da manche von ihnen nicht nur Ähnlichkeiten, sondern sogar Synonyme erkennen lassen und die Entdeckung von Naturgesetzen durch Messung von Zahlen ermöglichen.

Naturwissenschaft scheint mir vor allem zwei faszinierende komplementäre Aspekte zu haben: die *Entdeckung der Vielfalt* an möglichen Ereignissen und die *Ordnung der Erfahrungen*. Die Entdeckung von Naturgesetzlichkeiten, die die Vielfalt der Phänomene ordnen und Redundanzen aufdecken, ist nur der zweite faszinierende Aspekt von Naturwissenschaft.

Ersteres geschieht durch einen Forschungsreisenden, der zu unbekanntem Gewässern oder Kontinenten aufbricht, in den Urwald geht und neue Arten entdeckt; oder durch einen Optiker, der ein Teleskop erfindet und plötzlich Gala-

¹² Aristoteles: *Poetik*, S. 75–77 (Kap. 22, 1459a).

xien sieht; oder durch einen Physiker, der einen Teilchenbeschleuniger baut und Quarks entdeckt. Die Erweiterung der menschlichen Erfahrung ist ein faszinierender Aspekt von Naturwissenschaft: Durch technische Errungenschaften werden Sterne und Galaxien, Atome und Quarks zu beobachtbaren Ereignissen. Da diese neuen Phänomene auch bezeichnet sein wollen, werden durch physikalische Forschung und durch technische Erfindungen eine Reihe von schönen Metaphern möglich, etwa ‚Wüstenschiff‘ oder ‚Spiralfeder‘. Manche von diesen neuen Begriffen können zu tragfähigen quantitativen Metaphern werden. Begriffe erhalten dadurch plötzlich doppelte Bedeutungen: z. B. ‚Strom‘ sowohl für den elektrischen Strom als auch für den großen fließenden Bach, ‚Feld‘ für die magnetische Kraft und das im Wind sich wiegende Getreide. Diese Vielfalt der Phänomene führt zu neuen ontologischen Metaphern, die Phänomene als neue Dinge in der Welt bezeichnen und um die wir uns im folgenden Kapitel 4 genauer kümmern müssen, da sie eine Mathematisierung der Welt leiten.

4 Was ist der Zustand der Welt? Mathematisch-ontologische Metaphern

1960 schrieb der Physiker Eugene Wigner:

We have seen that there are regularities in the events in the world around us which can be formulated in terms of mathematical concepts with an uncanny accuracy. There are, on the other hand, aspects of the world concerning which we do not believe in the existence of any accurate regularities. We call these initial conditions.¹³

Zahlen sind ein Weg, um quantitative Metaphern zu ermöglichen, und öffnen damit einen spezifisch naturwissenschaftlichen Weg, die Natur zu entschlüsseln und neue Welten zu erschließen. Natürlich helfen Naturgesetze, die Vielfalt der Erscheinungen zu ordnen. Wir verstehen z. B. die Bewegung eines geworfenen Steins, weil wir in Newtons Gesetz die Übereinstimmung von Impulsströmen erkennen. Wir können den Unterschied von Sonne und Erde verstehen, weil wir durch Einsteins Gesetz $E = mc^2$ die Übereinstimmung von Masse und Energie sehen. Wir können elektrische Motoren und Generatoren bauen, weil wir durch Maxwells Gesetze um die Übereinstimmung von elektrischen und magnetischen Flüssen und Zirkulationen wissen.

¹³ Eugene Wigner: The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences. In: *Communications in Pure and Applied Mathematics* 13 (1960). S. 1–14, hier S. 11.

Wir können naturwissenschaftlich aber nicht erklären, warum ein Stein geworfen wurde. Wir können nicht die Existenz unseres so wundersam gestalteten Sonnensystems verstehen und auch nicht, warum ein Ölfleck sich in einem Wasserglas befindet oder warum sich die Französische Revolution 1789 Jahre nach der Geburt von Jesus Christus ereignete. Alle diese Phänomene bleiben für uns einmalige Ereignisse, weil die Physik zwar das Gleichbleibende an Ereignissen verstanden hat, nicht aber die Ereignisse selbst. Ebendies nannte Eugene Wigner die „initial conditions“. Dabei hat er bereits eine mathematische Modellbildung im Kopf, die die Vielfalt der Phänomene ontologisch auf einen Zustand der Welt reduziert. Um diese Ontologisierung soll es nun gehen, da sie eine Mathematisierung der Naturerfahrung leitet, die Messgrößen auf Zustandsgrößen und Naturgesetze auf Bewegungsgleichungen von Zustandsgrößen reduziert. Einem Mythos nicht unähnlich, bietet eine mathematisch-physikalische Modellerzählung zudem einen Grund dafür an, warum die in den Synonymen erkannten Redundanzen auftreten, d. h. warum diese Naturgesetze gelten.

Ontologische Metaphern: Das ‚Dinghafte‘ der Natur

Ein zentrales Phänomen in der Natur ist, dass uns ‚Dinge‘ begegnen: Wir erleben Körper, Teilchen, Objekte als Dinge in der Welt. Primär erleben wir durch unsere Sinnesorgane vermittelte Eigenschaften, z. B. Festes, Flüssiges, Flüchtliges. Diese Phänomene – zusammen mit der durch Erinnerung konstituierten Identität – lassen uns ‚Dinge‘ erleben:

- Festes als Körper, Steine, Teilchen ... ,
- Fluide als flüssige Substanzen, Ströme, Meer ... ,
- Flüchtliges als alles durchdringende Luft, Äther, Felder ...

‚Stein‘, ‚Wasser‘, ‚Luft‘ können noch als gelernte und vertraute Begriffe gelten, mit denen wir das bezeichnen, was uns in der Natur begegnet, die Dinge der Welt. ‚Körper‘, ‚Teilchen‘, ‚Felder‘ sind bereits abstrahierte Begriffe, die ganze Klassen von Dingen umfassen, aber aus der Alltagssprache noch vertraut sind. ‚Quarks‘ und ‚Quanten‘, ‚Deltadistributionen‘ und ‚Zustandsvektoren‘ sind allerdings Begriffe, mit denen viele nicht mehr viel anfangen können, obwohl sie wie ‚Stein‘ und ‚Teilchen‘ nur Dinge in der Welt bzw. ihre vom Einzelnen abstrahierte Klasse bezeichnen. Diese Begriffe möchte ich im Folgenden *ontologische Metaphern 1. Art* nennen, weil sie keine messbaren Eigenschaften bezeichnen, keine Messgrößen oder quantitativen Metaphern sind, sondern ‚Entitäten‘ bezeichnen, die durch mehr oder weniger Eigenschaften mehr oder weniger eindeutig charakterisiert werden. Ein ‚Stein‘ ist räumlich ausgedehnt, fest, hat ein bestimmtes Gewicht,

eine bestimmte Textur etc. Wie bei den quantitativen Metaphern 1. Art müssen wir erzählen, was ein Stein ist, und diese Erzählung auf ein Phänomen übertragen. Dies ist aber keine Messerzählung, die zu einer Zahl führt, sondern eine *Modell-erzählung*, die eine *Welt der Dinge* schafft. Wir können aber die in der Erzählung verwendeten quantitativen Metaphern 1. Art auf ontologische Metaphern 1. Art übertragen: ‚Die Milch ist weiß‘, ‚der Stein ist 1 kg schwer‘. Üblicherweise wird dies als die Zuschreibung von Eigenschaften zu Dingen verstanden. Es ist aber ein metaphorischer Prozess, der uns lediglich zu vertraut geworden ist, um noch als solcher aufzufallen. ‚Das Quark ist grün‘ überträgt die Messerzählung von der chromodynamischen ‚Farbladung‘ ‚grün‘ auf ein Konstituent des Protons, das sich als punktiert in Streuexperimenten gezeigt hat und noch durch eine Reihe anderer Messerzählungen charakterisiert wird, z. B. durch ‚Ladung‘, ‚Spin‘ und ‚Masse‘. So wie ‚Stein‘ ist ‚Quark‘ in der Alltagssprache erst einmal eine ontologische Metapher für eine Sammlung von feststellbaren Messgrößen.

Was ‚ist‘ Licht?

Den metaphorischen Prozess der Verdinglichung durch Übertragung von ontologischen Metaphern erkennt man gut daran, dass solche Ideen oder Konzepte auch wieder fallen gelassen und vergessen wurden, weil die ontologischen Metaphern gestorben waren. Nachdem z. B. im siebzehnten Jahrhundert Wellenphänomene beim Licht beobachtet wurden, übertrug man die Ontologie des ‚Feldes‘ bzw. des ‚Fluidums‘ auf Licht: Wie die Wellen des Wassers ‚ist‘ Licht die Schwingung eines ‚Äthers‘, eine Metapher aus dem griechischen Wort αἴθηρ, das im Deutschen mit ‚blauer Himmel‘ übersetzt werden könnte. 1704 resignierte Isaac Newton in seinem großartigen Buch *Opticks* angesichts der ontologischen Fassung des Lichtes: „Denn was der Äther ist, weiß ich nicht.“¹⁴ 200 Jahre später beendete Albert Einstein in seiner berühmten Arbeit „Zur Elektrodynamik bewegter Körper“ jede ontologische Spekulation über einen Äther:

Die Einführung eines „Lichtäthers“ wird sich insofern als überflüssig erweisen, als nach der zu entwickelnden Auffassung weder ein mit besonderen Eigenschaften ausgestatteter „absolut ruhender Raum“ eingeführt, noch einem Punkte des leeren Raumes, in welchem elektromagnetische Prozesse stattfinden, ein Geschwindigkeitsvektor zugeordnet wird.¹⁵

¹⁴ Isaac Newton: *Optik oder Abhandlung über Spiegelungen, Brechungen, Beugungen und Farben des Lichts*. Übers. und hrsg. von William Abendroth. Thun, Frankfurt a. M.: Harri Deutsch, 1996 [Reprint der Ausgabe Leipzig 1898]. S. 109.

¹⁵ Albert Einstein: Zur Elektrodynamik bewegter Körper. In: *Annalen der Physik* 17 (1905). S. 891–921, hier S. 892.

Erst zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts begriff man mit Einsteins Relativitätstheorie, dass eine solch substantielle Sicht in Konflikt mit anderen messbaren Phänomenen steht. Eine substantielle Fassung als ‚Fluidum‘ ist auch gar nicht notwendig, um das messbare Phänomen ‚Licht‘ ontologisch zu beschreiben. Mit Faradays Metapher eines ‚Feldes‘ ist bereits eine hinreichende ontologische Fassung erfolgt, die die Ordnung der Lichtphänomene und eine Mathematisierung in einem Objekt erlaubt. Lichtphänomene bedürfen keines weiteren Mediums zur ‚Realisierung‘, sondern können mit der mathematisch-ontologischen Metapher ‚Licht ist ein elektromagnetisches Feld‘ gefasst und mathematisiert werden. Dies machte den Weg frei für das ‚elektromagnetische Feld‘ als eigenständige mathematisch-ontologische Metapher, die keinen weiteren ‚substantiellen Träger‘ benötigt. Die ungeheure Produktivität dieser Metapher wurde 20 Jahre später deutlich, als Erwin Schrödinger mit seiner ‚Wellenfunktion‘ eine weitere, noch abstraktere mathematisch-ontologische Metapher schuf, die sich wie das ‚elektromagnetische Feld‘ eigenständig im Raum bewegt und den Zustand von Teilchen darstellt. In diesen metaphorischen Prozessen, die sich sowohl auf ‚Welle‘ als auch auf ‚Teilchen‘ bezogen, liegt der Grund für das heutige Verständnis von Licht und Materie als ‚Quantenfeld‘, das beide Phänomene gemeinsam umfasst.

Diese Geschichte der Physik des Lichtes zeigt schön, wie sinnvoll es ist, quantitative Metaphern von ontologischen Metaphern zu trennen, d. h. aufeinander übertragbare Messerzählungen von den Modellerzählungen über die Dinge der Welt. Naturgesetze des Lichtes sind vor allem die Gesetze der Brechung und Reflexion an lichtdurchlässigen Grenzflächen. Die Messungen von quantitativen Metaphern wie den ‚Winkeln‘ bzw. ‚Richtungen‘ und von ‚Farben‘ oder ‚Lichtintensitäten‘ sowie deren quantitative Beziehungen zueinander waren unstrittig. Dissens gab es darüber, wie diese Phänomene und Naturgesetze zu erklären seien, d. h. durch ontologische Ordnung zu begründen seien. Hier seien nur fünf klassische, sich widerstreitende ontologische Metaphern angeführt.

- *Licht ist Druck in Kugelpackungen*: Metaphorisch ist der ‚Äther‘ eigentlich bereits bei René Descartes geboren worden, als er 1637 Licht als Bewegung dicht gepackter, kugelförmiger Teilchen verbildlichte und es ihm mit dieser mathematischen Modellbildung gelang, die 1621 von Willebrord van Roijen Snell aufgestellten Brechungsgesetze zu begründen. Das *tertium comparationis* der ontologischen Metapher ist der (statische) Druck. Übt man einen Druck auf das Auge aus, sieht man Lichteffekte. Die quantitative Metapher ‚Druck‘ kann man an Grenzflächen vermessen und stellt fest, dass die quantitativen Beziehungen der Druckausbreitung bei der Lichtbrechung die gleichen sind wie bei den mechanischen Systemen der Kugelpackungen.
- *Licht ist Puls im Kontinuumsmedium*: Eine andere ontologische Fassung von ‚Licht‘ geht auf Robert Hooke zurück, der 1665 das Konzept von Wasserwellen

auf eine homogene Substanz übertrug, in der ‚Pulse‘ als Licht erscheinen. Das *tertium comparationis* ist der ‚Impuls‘, ein Bewegungszustand, der als Licht weitergegeben wird und in verschiedenen Medien verschiedene Geschwindigkeiten hat. Metaphorisch sind zwei Aspekte entscheidend anders als bei Descartes: Erstens ist der Äther kein (diskretes) Korpuskelmedium mehr, sondern ein homogenes Kontinuum; zweitens ist mit ‚Impuls‘ eine Bewegung assoziiert und kein statischer Zustand mehr wie beim Druck. Das Brechungsgesetz des Lichtes bleibt das gleiche, nur seine ontologische Interpretation ist eine andere, da die ontologischen Metaphern für Licht verschieden sind. Hooke vergleicht ‚Impulse‘, Descartes aber ‚Drücke‘; für beides findet man aber das gleiche Brechungsgesetz.

- *Licht ist Welle im Äther*: Um 1680 griff Christiaan Huygens die Wellen-Metapher auf und fasste das ‚Kontinuumsmedium‘ als einen alles durchdringenden ‚Äther‘, der den leeren Raum ausfüllt. Das *tertium comparationis* ist die ‚Schwingung‘. Da er damit alle quantitativen Metaphern, alle Naturgesetze der Reflexion und Brechung, natürlich begründen konnte, blieb der Äther bis zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts die vorherrschende ontologische Metapher des Lichts.
- *Licht ist Fluss von Teilchen*: Folgt man der Ontologie der Newton’schen Mechanik und fasst Licht als ein Gas von ‚Licht-Teilchen‘ mit Orten und Geschwindigkeiten, dann kann man zwar das Brechungsgesetz natürlich erklären, hat aber mit den zahlreichen Beugungsphänomenen einige Schwierigkeiten.
- *Licht ist Welle des elektromagnetischen Feldes*: Dies ist die ontologische Metapher, die auch heute noch für die klassischen Eigenschaften des Lichtes gelehrt wird. Erst mit der Entdeckung von Quanteneffekten des Lichts und mit der Begründung des Photoeffekts durch Lichtquanten fasst man ontologisch ‚Licht als ein Quantenfeld‘.

Ein anderes Beispiel dafür, wie versucht wurde, Phänomene dinglich zu ordnen, die sich später als so nicht reduzierbar erwiesen, ist das *Phlogiston* oder *Caloricum*, das im siebzehnten Jahrhundert eingeführt wurde, um Wärmephänomene stofflich zu beschreiben. Die ontologische Metapher ‚Wärme ist Caloricum‘ fasst Wärme als Substanz auf. Das *tertium comparationis* ist das ‚Entweichen‘. So wie ein Gas aus einem Behälter flieht, verliert ein Körper seine Wärme. Diese ontologische Metaphorik begründet eine Reihe von beobachtbaren Phänomenen und ordnet diese, so z. B. die Phänomene der Verbrennung: Ein brennbarer Körper enthält Phlogiston, der bei der Verbrennung entweicht. Da die Luft in einem abgeschlossenen Behälter nur eine bestimmte maximale Menge an Phlogiston aufnehmen kann, verlöscht eine Kerze nach einiger Zeit. Antoine Lavoisier änderte aber diese Meinung aufgrund anderer beobachtbarer Phänomene, die durch die ontologi-

sche Metapher ‚Wärme ist Caloricum‘ nicht mehr eingeordnet werden konnten, und stellte fest, dass Wärme nicht als Stoff gefasst werden kann. 1798 zeigte dann Benjamin Thompson, dass die ontologische Metapher ‚Wärme ist Caloricum‘ eine wichtige Assoziation nicht erfüllt: Als Stoff müsste die Wärmemenge in einem Körper begrenzt sein. Die Stoff-Metapher der Wärme ist unvereinbar mit der Vorstellung, dass sie unbegrenzt entstehen oder einfach aus der Welt verschwinden kann. Die Metapher bricht, wenn mit der quantitativen Metapher ‚Menge‘ gezeigt werden kann, dass Wärme entsteht und vergeht. Genau dies hat Thompson durch das Bohren von Kanonenrohrlöchern quantitativ gezeigt. Heute verwendet man daher keine ontologische Metapher für Wärme, sondern die quantitative Metapher ‚Wärme ist eine Energieübertragungsform‘, die sie als Messgröße eines Arbeitsprozesses charakterisiert.

Modellerzählungen: Die Mathematisierung der Naturerfahrung

Im normalen Sprachgebrauch verstehen wir, was mit der ontologischen Metapher ‚Stein‘ gemeint ist. Was ist aber ein ‚Punktteilchen‘? Ein Punkt im Raum, ein Stückchen Kuchen? Ein Punkt, der sich wie ein Körper verhält? Oder ein Körper, der sich wie ein Punkt verhält?

Physiker verstehen unter der Metapher ‚Punktteilchen‘ eine reellwertige, vektorartige Funktion $\vec{r}(t)$, die ein mathematisches Modell eines sich bewegenden Steines im Raum darstellen soll. ‚Der Stein ist ein Punktteilchen‘ ist wie ‚Achill ist ein Löwe‘ eine Metapher, die in der eigentlichen Bedeutung keinen Sinn macht, sondern nur in einer übertragenen. Das *tertium comparationis* ist wie bei den quantitativen Metaphern wiederum die Zahl; diesmal allerdings zwischen einem mathematischen Objekt in einer formalen Sprache und messbaren Phänomenen in der Natur. Modellerzählungen mit solchen ontologischen Metaphern, die als mathematisches Objekt verstehbar sind, leiten die Mathematisierung der Naturerfahrung ein.

Wieso funktioniert die Metapher ‚Der Stein ist ein Punktteilchen‘? Der Schlüssel sind wieder die quantitativen Metaphern 1. Art, die durch Messerzählungen mit Zahlen ein Verbindungsband zwischen Sprache und Natur knüpfen. Weil wir durch Messhandlungen einem Stein Messwerte zuordnen, diese aber auch als Konkretisierungen mathematischer Objekte verstehen können, ist eine Übertragung der ontologischen Metapher ‚Punktteilchen‘ auf einen Stein möglich.

Die Metapher 2. Art ‚Ein Stein ist ein Punktteilchen‘ überträgt die beiden Aspekte ‚Ausdehnungslosigkeit‘ und ‚sich bewegend‘ der mathematisch-ontologischen Metapher ‚Punktteilchen‘ auf die ontologische Metapher ‚Stein‘, wobei das *tertium comparationis* die Zahlen der quantitativen Metaphern ‚Ausdehnung‘,

‚Ort‘, ‚Geschwindigkeit‘ etc. sind. Andere quantitative Metaphern, die zwar auf einen Stein, nicht aber auf ein ‚Punktteilchen‘ übertragen werden können, werden dabei ausgeblendet – so z. B. Farbe, Härte, Geschmack. Zu betonen ist, dass das *tertium comparationis* nur aufgrund von quantitativen Metaphern funktioniert, da die Übertragung von ‚Ausdehnung‘, ‚Ort‘, ‚Geschwindigkeit‘ nur durch die Zahlen der jeweiligen Messvorschriften möglich ist. Wie soll man auch sonst die ‚Geschwindigkeit eines Steines‘ und die ‚Geschwindigkeit einer Funktion $r(t)$ ‘ zueinander in Beziehung setzen können?

So wie wir ‚weiß‘ als einen normalen Begriff auffassen können oder aber als quantitative Metapher 1. Art, die durch eine Messerzählung zu Zahlen führt, können wir auch manch ontologische Begriffe als *mathematisch-ontologische Metaphern 1. Art* verstehen, die durch eine Modellerzählung zu *mathematischen Objekten* in einer mathematischen Sprachwelt führen. Beispiele sind

- *Punktteilchen*: wie ein Punkt im Raum wird ein ‚Punktteilchen‘ durch eine reelle Funktion $r(t)$ dargestellt, die seine Bahn in der Zeit angibt;
- *Feld*: eine kontinuierlich sich verändernde Entität, die als Funktion $\phi(r, t)$ beschrieben wird, wobei der Zielraum Skalare, Vektoren oder Tensoren sein können;
- *Mannigfaltigkeit*: geometrische Menge M von Punkten, deren lokale Umgebung wie ein euklidischer Raum aussieht – anschaulich eine beliebig gebogene Fläche;
- *Quantenzustand*: ein Vektor $|\psi\rangle$ in einem Hilbertraum H – anschaulich eine ‚Wellenfunktion‘ im Raum.

Oft wird der mathematische Charakter der mathematisch-ontologischen Metaphern durch Zusätze deutlich, die präzisieren, was man mathematisch unter ‚Teilchen‘, ‚Feld‘ oder ‚Quantenzustand‘ versteht: Man spricht dann von ‚Punktteilchen‘ für eine Abbildung $r(t)$ oder von ‚Vektor-Feld‘ für eine Abbildung $\vec{F}(r, t)$. Tatsächlich sind diese Modellerzählungen noch viel ausführlicher, um alle Aspekte des mathematisch-physikalischen Modells der Dinge zu schildern. In unserem Kontext ist es nun wichtig, dass diese Erzählungen metaphorisch gebraucht werden, d. h. dass ‚Die Milch ist ein Feld‘, ‚Der Stein ist ein Punktteilchen‘ nicht im eigentlichen, sondern im übertragenen Sinne verstanden werden. Dieser metaphorische Prozess stellt eine *Mathematisierung der Naturerfahrung* dar und führt zur mathematischen Modellbildung in der Physik. Die dazu notwendigen Geschichten sind Modellerzählungen im Unterschied zu den Messerzählungen der quantitativen Metapher.

Offensichtlich gibt es ontologische Metaphern, die eine Bedeutung in der mathematischen Sprache haben, wie ‚Punktteilchen‘ oder ‚Feld‘, und solche, die nur

in der Alltagssprache Verwendung finden, wie ‚Stein‘ oder auch ‚Quark‘.¹⁶ Ob eine ontologische Metapher eine Mathematisierung erlaubt, ist zunächst nicht ersichtlich. Es gab zahlreiche Versuche, dinghafte Objekte in die Beschreibung der Natur einzuführen, bei denen es allerdings nicht gelungen ist, erstens Eigenschaften so zuzuschreiben, dass zweitens eine mathematische Modellbildung möglich ist, die quantitative Metaphern konsistent beschreibt. Es gibt daher auch ontologische Metaphern, die wieder abgeschafft oder vergessen wurden: ‚Caloricum‘, ‚Äther‘, ‚N-Strahlen‘, ‚Partonen‘, ‚Strings‘.¹⁷

Mathematisch-ontologische Metaphern konstituieren eine neue Welt in einer neuen Sprache: das mathematisch-physikalische Modell. Durch ihre Übertragung auf mathematische Objekte bilden sie eine Bühne, auf der ein mathematisches Stück aufgeführt werden kann. Der metaphorische Charakter von physikalischen Eigenschaften wird nun besonders deutlich, wenn z. B. von der ‚Geschwindigkeit eines Punktteilchens‘ gesprochen wird. Die ‚Geschwindigkeit‘ eines Steines haben wir verstanden als eine quantitative Metapher, die eine Messerzählung auf das anwendet, was als ‚Stein‘ in der Natur bezeichnet wird. ‚Geschwindigkeit‘ ist eben keine Eigenschaft des Objektes ‚Stein‘, sondern eine sprachliche Beziehung einer Messerzählung auf eine ontologische Metapher, die durch Handlung zu einer Zahl wird. Als solches ist es egal, ob die Beziehung auf eine alltagsprachliche Bezeichnung eines natürlichen Objektes oder auf eine formalsprachliche Bezeichnung eines mathematischen Objektes bezogen wird. Die ‚Geschwindigkeit eines Punktteilchens‘ hat eigentlich keine Bedeutung, nur im übertragenen Sinne, wenn die Messerzählung ‚Geschwindigkeit‘ auf die mathematisch-ontologische Metapher ‚Punktteilchen‘ angewandt wird.

Ontologische Metaphern (wie ‚Stein‘) und mathematisch-ontologische Metaphern (wie ‚Punktteilchen‘) sind zu unterscheiden, da sie in verschiedenen Sprachwelten leben. Quantitative Metaphern stiften aber eine Übertragungsmöglichkeit, da ihre Messerzählungen auf beide Sprache angewandt werden können. Durch die Modellerzählung kann die Messerzählung in die mathe-

16 Diese Unterscheidung ist uns bereits bei den Metaphern begegnet, die Eigenschaften beschreiben: ‚Temperatur‘ kann durch eine Messerzählung den quantitativen Charakter einer Zahl annehmen; bei ‚liebervoll‘ oder ‚herbstlich‘ ist das eher nicht der Fall.

17 Ontologische Metaphern wie ‚Atome‘ und ‚Moleküle‘ leiten die Mathematisierung der Wahrnehmung. Man mag einwenden, dass Atome und Moleküle doch existieren. Wir können sie doch mittlerweile sehen! Doch ist die Art, wie wir sie ‚sehen‘, mit der Wahrnehmung des Blinden am Flussbett vergleichbar, der seine Hand in den Strom hält und die Kraftverteilung misst. Wir haben Messgeräte entwickelt, die fein genug sind, um die Kraftverteilung zu messen, wenn wir eine Hand (*Cantilever*) an ein Atom (‚Elektronenflüssigkeit‘) legen. Davon fertigen wir räumliche Karten an. Wir haben also keine ‚Teilchen‘, ‚Atome‘ oder ‚Moleküle‘ gesehen, sondern durch Handlung gemessene Kraftverteilungen, die wir ontologisch als ‚Teilchen‘ interpretieren.

matische Sprache übersetzt werden, sodass die gemessenen Zahlen mit den mathematisch gemessenen, d. h. berechneten Zahlen verglichen werden können und die Zahlen dadurch ein *tertium comparationis* darstellen für die Metapher ‚Ein Stein ist ein Punktteilchen‘. Darauf basiert die Möglichkeit der Falsifizierung von mathematischen Modellerzählungen.

Messerzählungen in Modellerzählungen: Messgrößen werden Zustandsgrößen

Da mit einer mathematisch-ontologischen Metapher ein mathematisches Objekt verbunden ist, lässt sich eine Messerzählung nicht nur als Handlung, als tatsächliche Messung verstehen, sondern auch als mathematische Operation in der formalen Sprachwelt, als formale Umformung des mathematischen Objektes. So wird die Messung der ‚Geschwindigkeit eines Punktteilchens‘ zur Bildung eines Differentialquotienten $v = dr(t)/dt$ des ‚Punktteilchens‘ $r(t)$. Eine Messung an einem ‚Feld‘ $F(r, t)$ entspricht in der mathematischen Sprachwelt oft einer lokalen partiellen Ableitung $\Delta F(r, t)$, sie kann aber auch einem Integral $\int dnF$ entsprechen. Die Messung an der mathematisch-ontologischen Metapher ‚Quantenzustand‘ $|\psi\rangle$ bedeutet dagegen eine Projektion $P_e|\psi\rangle$ auf einen Eigenvektor $|e\rangle$ des Messoperators.

Durch die Messhandlung in der realen Welt werden quantitative Metaphern zu ‚Messgrößen‘, d. h. zu Zahlen mit einer Einheit. Durch die *Messhandlung in der mathematischen Welt* werden quantitative Metaphern zu *Zustandsgrößen*, d. h. zu mathematischen Objekten mit einer Einheit. Zustandsgrößen sind physikalische Messgrößen, übersetzt in ein mathematisches Modell. Zustandsgrößen sind keine Messgrößen, da sie nicht nur Zahlen sind, sondern eine Reihe von mathematischen Strukturen mit sich tragen, die von der mathematisch-ontologischen Metapher kommen. So ist die Messgröße ‚Ort‘ einfach eine (einheitsbehaftete) Zahl, die Zustandsgröße ‚Ort‘ dagegen eine stetige und differenzierbare Funktion $r(t)$, wenn die Modellerzählung ‚Punktteilchen‘ verwendet wird. In der Modellerzählung ‚Feld‘ wird die gleiche Messgröße ‚Ort‘ allerdings zu einer anderen Zustandsgröße ‚Ort‘, und das erst recht in der Modellerzählung ‚Quantenzustand‘. Zustandsgrößen sind Übersetzungen von Messgrößen, d. h. von quantitativen Metaphern in eine formal-logische Sprache durch eine mathematische Modellerzählung. Dadurch unterliegen sie auch den Beschränkungen der jeweiligen Modellerzählung.

Es sind die Zahlen von quantitativen Metaphern, die das *tertium comparationis* von mathematisch-ontologischen Metaphern 2. Art wie ‚Punktteilchenstein‘ bzw. ‚Der Stein ist ein Punktteilchen‘ sind. Die Zahl erlaubt den Vergleich von Messerzählungen für verschiedene Objekte – egal ob als Anschauungsobjekt in

der Natur oder als mathematisches Objekt auf der Bühne einer formalen Sprache. Stimmen die Werte der Messerzählungen beim Anschauungsobjekt und beim mathematischen Objekt stets überein, dann ist die Übertragung des einen Begriffs auf den anderen möglich: ‚Der Stein ist ein Punktteilchen‘. Die ontologischen Metaphern erlauben zwar eine Mathematisierung der Naturerfahrung, es sind aber die quantitativen Metaphern, die eine Verbindung und einen Vergleich der mathematischen Welt mit der Natur ermöglichen und damit die Objektivität der mathematischen Naturbeschreibung gewährleisten.

Mathematisch-ontologische Metaphern: Naturgesetze werden Gleichungen

Naturgesetze wurden in Kapitel 3 verstanden als synonyme quantitative Metaphern. Entscheidend für die Begründung war die Gleichheit der Zahlenwerte von quantitativen Metaphern. Nicht entscheidend waren mathematische Strukturen oder Objekte. Diese wurden erst durch mathematisch-ontologische Metaphern relevant, die zu einer Reduktion der Vielfalt der Messgrößen auf Zustandsgrößen führte. Was geschieht bei dieser Mathematisierung mit den Naturgesetzen? Synonyme quantitative Metaphern werden zu *Formeln und Gleichungen* zwischen mathematisch-ontologischen Metaphern, d. h. zwischen mathematischen Objekten.

Formeln wie $E = mc^2$ sind mathematische, symbolische Ausdrücke eines Naturgesetzes. Im Unterschied zur bloßen Gleichheit zwischen Symbolen – wie wir sie z. B. bei $\Gamma_M = I + \Phi_E$ verwendet haben, um das Ampere’sche Gesetz symbolisch zu repräsentieren – beinhalten Formeln mathematische Operationen – wie das Quadrieren bei c^2 –, die mathematische Strukturen und Objekte voraussetzen. Formeln setzen mathematisch-ontologische Metaphern voraus, die die Natur in eine mathematische Welt fassen.

Quantitative Metaphern können auf verschiedene mathematisch-ontologische Metaphern übertragen werden, indem die Messerzählung gemäß der Modellerzählung einer mathematisch-ontologischen Metapher interpretiert wird. So kann der ‚Impulsstrom‘ für eine Flüssigkeit wie das fließende Wasser im Bach gemessen werden oder für einen festen Körper wie einen fliegenden Stein. In der Modellerzählung ‚Wasserfeld‘ (‚Fluidum‘) wird aus dieser Messgröße die Zustandsgröße $\partial_t v + v \cdot \partial_r v$, während in der Modellerzählung ‚Punktteilchen‘ die Zustandsgröße dp/dt ist. Entsprechend übersetzt werden auch die Naturgesetze. ‚Kraft‘ und ‚Impulsstrom‘ sind synonyme quantitative Metaphern, d. h. Newtons Bewegungsgesetz wird übertragen auf den ‚Stein als Punktteilchen‘ zu *Newtons Bewegungsgleichung* $F = dp/dt$ als das mathematisierte Naturgesetz ‚Kraft = Impulsstrom‘. Überträgt man die synonymen quantitativen Metaphern ‚Kraft‘

und ‚Impulsstrom‘ dagegen auf die ontologische Metapher ‚Feld‘ oder ‚Fluidum‘, dann wird Newtons Bewegungsgesetz zu den *Navier-Stokes-Gleichungen* bzw. *Euler-Gleichungen* $-\partial P = \partial_t v + v \cdot \partial_r v$. Umgekehrt werden die Navier-Stokes-Gleichungen oft auch als Newtons Bewegungsgleichung – übertragen auf eine Flüssigkeit – bezeichnet. Trotz der verschiedenen ontologischen Metaphern und mathematischen Schreibweisen bleibt der Kern des Naturgesetzes, d. h. die Redundanz der zwei Messerzählungen für ‚Kraft‘ und ‚Impulsverteilung‘, unverändert. Das Naturgesetz basiert allein auf einem quantitativen Vergleich von gemessenen Zahlen, nicht aber auf einer Mathematisierung durch mathematisch-ontologische Metaphern. Formeln können verschiedene Formen annehmen, je nachdem, welche Symbole für quantitative Metaphern verwendet werden. Insbesondere ist es üblich, das Symbol zu wechseln, wenn eine quantitative Metapher auf eine andere mathematisch-ontologische Metapher übertragen wird. Das Naturgesetz bleibt dabei dasselbe.

Die Formeln oder Gleichungen der Physik sind Ausdruck von Naturgesetzen in einer mathematischen Modellerzählung. Das Naturgesetz, die synonyme quantitative Metapher, wird übersetzt in eine formal-logische Sprache und so zu einer Gleichung zwischen Zustandsgrößen. Dadurch unterliegt sie auch den Beschränkungen der Modellerzählung. Newtons Bewegungsgesetz in der Modellerzählung ‚Punktteilchen‘ hat viel weniger Freiheitsgrade als in der Modellerzählung ‚Feld‘ – worauf wir in Kapitel 5 noch zu sprechen kommen werden –, da durch die mathematische Modellerzählung auch eine Reduktion der Natur auf einen ‚Zustand der Welt‘ erfolgt.

Während quantitative Metaphern 1. Art, d. h. physikalische Größen, durch ihre Messerzählungen einen experimentell-praktischen Zugang zu Phänomenen bieten, führen ontologische Metaphern zu einer Mathematisierung der Naturbeschreibung, wenn die Messerzählungen auf mathematische Objekte übertragen werden. Mit der Mathematisierung geht sowohl eine Ordnung der Phänomene (u. a. durch Symmetrie) einher, aber auch eine Reduktion auf mathematische Objekte und Operationen. Die Vielfalt der Phänomene, deren Entdeckung wir noch in Kapitel 3 als Aufgabe naturwissenschaftlicher Forschung beschrieben haben, wird in der mathematischen Modellbildung auf Bewegungsgleichungen von Zustandsgrößen reduziert. Dieser Übertragungsprozess in die mathematische Sprache wird gerechtfertigt durch quantitative Metaphern, deren Zahlen einen Vergleich des eigentlich nicht Vergleichbaren, einen Vergleich von Erlebnissen und mathematischen Objekten erlauben.

Mathematik als Sprache der Natur oder Ausdruck von Naturerfahrung

Eugene Wigner schrieb in seinem bereits angeführten Essay „The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences“: „The miracle of the appropriateness of the language of mathematics for the formulation of the laws of physics is a wonderful gift which we neither understand nor deserve.“¹⁸

Das ‚Buch der Natur‘ ist zwar eine weit vor der modernen Physik verbreitete Metapher, die allerdings 1623 bei Galileo Galilei in *Il Saggiatore* eine spezifische Bedeutung bekam:

Die Philosophie steht geschrieben in dem großen Buch, das uns fortwährend offen vor Augen liegt, dem Universum, aber man kann sie nicht begreifen, wenn man nicht die Sprache verstehen und die Buchstaben kennen lernt, worin es geschrieben ist. Es ist geschrieben in mathematischer Sprache, und die Buchstaben sind Dreiecke, Kreise und andere geometrische Figuren; ohne diese Mittel ist es dem Menschen unmöglich, ein Wort davon zu verstehen; es ist nur ein sinnloses Herumirren in einem finsternen Labyrinth.¹⁹

Mit der Mathematik scheint eine Sprache gefunden worden zu sein, in der man sich mit der Natur unterhalten kann. Diese Faszination der mathematischen Beschreibung der Natur führte zu logizistischen Versuchen, eine universelle Sprache zu finden. Weitverbreitet ist die in der platonischen Tradition stehende Ansicht, dass die Mathematik ein eigenes Universum ist, das seine Realisierung in der Welt gefunden hat und daher die *unreasonable effectiveness* erklärt.

George Lakoff und Raphael Núñez kritisieren in ihren Arbeiten diesen platonischen Realismus mathematischer Begriffe, Strukturen und Theoreme, indem sie in einer Analyse mathematischer Ideen sogenannte *konzeptuelle Metaphern* identifizieren, die ‚bodily based mechanisms and everyday experience‘ im Wahrnehmungs- und Denkprozess zu rein imaginierten Größen in einem metaphorischen Raum machen, für die dann ein formal begründbarer Zusammenhang gilt.²⁰

Eine Konsequenz dieser Sicht ist, dass Mathematik aufgrund ihrer formalen Begründbarkeit zwar universell gültig, aber keine universell existierende Sprache ist, da ihre Grundbegriffe durch Menschen als Konzeptualisierungen ihrer Umgebungswahrnehmung konstruiert sind. Es kann daher kein vor dem Menschen

¹⁸ Wigner: *The Unreasonable Effectiveness of Mathematics*, S. 14.

¹⁹ Zit. nach Eduard Jan Dijksterhuis: *Die Mechanisierung des Weltbildes*. Berlin u. a.: Springer, 1983 [Reprint der Ausgabe Berlin u. a. 1956]. S. 403.

²⁰ George Lakoff und Raphael Núñez: *Where Mathematics Comes From: How the Embodied Mind Brings Mathematics into Being*. New York: Basic Books, 2000. S. 9.

existierendes mathematisches Universum geben, da mathematische Ideen erst durch die Evolution des Menschen, seine neurobiologische Verfassung und seine kulturelle Prägung entstehen. Im Unterschied zur Naturwissenschaft und den von ihr entdeckten Gesetzmäßigkeiten kann die Mathematik aber einen unumstößlichen Wahrheitsanspruch erheben, da ihre Gesetze nicht nur exakt und konsistent, sondern auch logisch formal begründbar sind, obwohl ihre Grundbegriffe konstruiert wurden.

Die Effektivität der Mathematik für die Beschreibung der Natur, in der wir leben, ist daher weniger verwunderlich, sondern teilweise Ausdruck der gemeinsamen Evolution des Wahrnehmungssystems und des Bewusstseins, d. h. auch der mathematischen Objekte, als Werkzeuge zur Bewältigung des Lebens. Es ist kein Widerspruch zur universellen Gültigkeit der Mathematik, wenn eine Geschichte ihrer Objekte angenommen wird, die zur Beschreibung der quantitativen Messerzählungen von Phänomenen und zur Konstitution einer Welt der mathematischen Dinge benötigt werden. Messerzählungen werden so zu mathematischen Operationen in einer logisch konsistenten Sprache. Es ist daher kein Wunder, wenn der Mensch in seinem Bewusstsein genau diese geometrische Formensprache entwickelt, die er dann auch in der Natur anwenden kann. So können Phänomene wie ‚fraktale‘ Küstenstrukturen erst der Anlass sein, ‚selbstähnliche Mengen‘ als mathematische Objekte in das bereits entstandene mathematische Universum konsistent einzuführen.

Die Physik in ihrer Entfaltung der Vielfalt der Phänomene ist dabei ein unerschöpflicher Ideengeber: So wird der Galilei'sche Geschwindigkeitsbegriff zur Infinitesimalrechnung bei Leibniz und Newton, das Faraday'sche Konzept eines Feldes zur mathematischen Welt partieller Differentialgleichungen, die Dirac'sche Idee einer ‚punktlokalisierten‘ Größe zur mathematischen Theorie der Distributionen.

Umgekehrt stößt die konsistent (widerspruchsfrei) entfaltete Mathematik auch stets neue physikalische Beschreibungsmöglichkeiten von Phänomenen an: Nachdem im mathematischen Universum die Infinitesimalrechnung zu Riemann'schen Mannigfaltigkeiten ausgebaut wurde, konnte Albert Einstein ‚Krümmung‘ und ‚Energie‘ als aufeinander bezogene Größen erkennen. Nachdem partielle Differentialgleichungen als universelle Methode zur Beschreibung raumzeitlich verteilter Größen entstanden sind, sind nicht nur Navier-Stokes-Gleichungen der Hydrodynamik und Maxwells Gleichungen der Elektrodynamik möglich geworden, sondern auch Schrödingers Wellengleichung der Quantenphänomene. In allen drei Beispielen konnten erst durch die Verwendung von partiellen Differentialgleichungen als mathematische Werkzeuge der ‚Gleichheit von Zahlen‘ die verschiedenen physikalischen Flüsse (Impuls, elektromagnetisch, Wahrscheinlichkeit) als quantitative Metaphern erkannt werden.

Mathematische Modellbildung, d. h. die Übersetzung quantitativer Metaphern in die Sprache der Mathematik, ist daher nicht überflüssig im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess, sondern erlaubt u. a. die Einführung von Größen, die zunächst als nicht messbar gelten (z. B. das Vektorpotential als Eichfeld), oder von Begründungen, die erst formalisiert erkennbar werden (z. B. das Noether-Theorem zur Begründung von Erhaltungsgesetzen aus Symmetrieprinzipien), weshalb wir im folgenden Abschnitt Symmetrie und physikalische Ästhetik als wichtige Aspekte des modernen Naturverständnisses betrachten müssen. Viele physikalische Prinzipien und Konzepte entfalten ihre Wirkmächtigkeit im Erkenntnisprozess erst aufgrund ihrer Eleganz und Schönheit in der mathematischen Sprache und werden dann zu einer Quelle von neuen messbaren Beziehungen zwischen quantitativen Metaphern. Dieses Wechselspiel der Entwicklung von mathematischer Sprache und physikalischen Messerzählungen basiert auf Erlebnissen handelnder Menschen und ist ein nie abschließbarer, offener kreativer Prozess.

Ordnung der Phänomene: Symmetrie erklärt Gleiches durch Identisches

Mathematisch-ontologische Metaphorik, also die Welt der mathematischen Objekte, erlaubt nicht nur die Übersetzung von quantitativen Metaphern, Messerzählungen und Naturgesetzen in mathematische Objekte, Operationen und Gleichungen, sondern auch eine Begründung der festgestellten Redundanzen von Wahrnehmungen. Die mathematische Sprachwelt kann im Gegensatz zur Natur im Detail analysiert und *logisch rekonstruiert* werden. Die mathematische Sprache ist nicht an den Raum der Anschauung, an den durch unsere Sinne und Messungen gegebenen Raum, gebunden, sondern kann sich eine eigene Bühne kreieren und ihre Objekte anordnen, zusammenstellen und auch neu schaffen. Insbesondere werden Symmetrien und Äquivalenzklassen von mathematisch-ontologischen Metaphern – d. h. von mathematischen Objekten F und Strukturen in Räumen R – durch invariante Messgrößen M erkannt. So kann eine Kugel F als geometrische Figur im dreidimensionalen Raum R mit einer euklidischen Struktur definiert werden als die Menge derjenigen Punkte, die zu einem Zentrum den gleichen Abstand M haben. Dieser ist invariant unter der Drehsymmetrie des Raumes, die die Kugel als ausgezeichnetes Objekt definiert. Ist eine Drehsymmetrie gegeben, sind alle Punkte der Kugel – bis auf einen – redundante Information. Wird eine Kugel gedreht, erscheint die neue Ansicht wie die alte, weil die Kugel als drehsymmetrisches Objekt dieselbe bleibt. Gleichheit wird somit durch die Identität der drehsymmetrischen Kugel erklärt. *Symmetrie ist der mathematische*

Ausdruck für Redundanz, für die Synonymie quantitativer Metaphern, für das Gleichbleibende, für die verschiedenen Ansichten desselben mathematischen Objektes. Die Bildung von Äquivalenzklassen entfernt die Redundanz durch die Definition eines neuen mathematischen Objektes. Umgekehrt kann man Metaphern als gebrochene, unvollständige Symmetrien in der Sprachwelt verstehen. Sie bringen die verschiedenen Ansichten eines Begriffs durch Transformation oder Übertragung zum Vorschein.

Die Welt der mathematisch-ontologischen Metaphern kann so erzählt werden, dass die Redundanz, die Gleichheit von Messerzählungen, in der mathematischen Sprachwelt als Symmetrie erscheint, d. h. durch die Identität symmetrischer *Elementarfiguren* F in einem strukturierten Raum, der *mathematischen Weltbühne* R , begründbar ist. Die verschiedenen Ansichten werden zu einer *Identität* zusammengesetzt, zu einem Objekt oder besser: einer Skulptur F , deren Gestalt auf der mathematischen Weltbühne die Gleichheit der Erscheinungen wiedergibt. So ist

- das *Synonymiegesetz der Temperaturerzählungen* eine Folge der *Gleichgewichtsrelation*. Die verschieden definierten Temperaturen sind nur noch verschiedene Repräsentanten der identischen Äquivalenzklasse F von Gleichgewichtszuständen im Gibbsraum R .
- das *Newton'sche Bewegungsgesetz* eine Folge der *symplektischen Form* des Phasenraumes R ($\text{Sp}(2n)$ -Symmetrie). ‚Kraft‘ und ‚Impulsstrom‘ sind nur noch die zwei Seiten der in der Bewegung identischen Figur. Eine Trajektorie F verbindet alle Orte im Phasenraum, die zu einem Zustand gehören. Ein ‚Punktteilchen‘ bleibt in seiner Bewegung dasselbe Objekt, die Bewegung, d. h. seine Trajektorie, ist nur noch Ausdruck der Symmetrie seines Zustandes.
- das *Naturgesetz der Energieerhaltung* in der mathematischen Sprache nur noch eine Folge der Symmetrie der Kräfte in der Zeit, d. h. der *Homogenität* des Zeitraums R . Alle Trajektorien, die sich nur durch eine Verschiebung im Zeitraum unterscheiden (Translationssymmetrie), werden als äquivalent betrachtet und zu einem identischen Zustand F zusammengefasst.
- Und so ist das *Naturgesetz des Elektromagnetismus*, die Maxwell'schen Gleichungen, mathematisch eine Folge einer lokale Eichtheorie, d. h. es lässt sich durch die *Kreisform* ($U(1)$ -Symmetrie) eines Faserbündels R erklären, in dem das elektromagnetische Feld F eine eichinvariante Figur darstellt.

Gleichgewichtsrelation, symplektische Form, Homogenität, Kreisform sind mathematische Metaphern für die *Gestalt* von mathematischen Elementarfiguren F (Äquivalenzklasse, Trajektorie, Feld), die in der mathematisch-physikalischen Welt eine Identität besitzen und deren symmetrische Gestalt im jeweiligen struk-

turierten Raum R (Gibbsraum, Phasenraum, Zeitraum, Faserbündel) sich in Naturgesetzen ausdrückt. Wegen der Symmetrie dieser Elementarfiguren erscheinen uns Messgrößen redundant, oder besser, umgekehrt formuliert: Die mathematisch-physikalische Sprachwelt wird so konstruiert, dass die in Messerzählungen gefundenen Redundanzen als Symmetrien von mathematischen Elementarfiguren in strukturierten Räumen ausdrückbar werden. Die mathematisch-physikalische Welt ist somit kein Modell der Natur, sondern der quantitativen Metaphern und ihrer Synonymien. Mit der Symmetrie wird die mathematische Struktur der Naturgesetze, der synonymen Messerzählungen entdeckt. Jede Symmetrie impliziert eine geometrische Struktur, die invariant unter ihr bleibt – und damit eine identisch bleibende mathematische Elementarfigur als Kern des Naturgesetzes.

Die ‚Gestalten‘ der Elementarfiguren, ihre Formen, sind selbst quantitative Metaphern und können gemessen werden, z. B. als Gleichheit (Invarianz) von Messgrößen M : Temperatur T , Wirkung S , Energie E , elektrische Ladung Q . Die Symmetrien der mathematischen Elementarfiguren werden so zu quantitativen Metaphern, zu Messerzählungen, die in der gemessenen Gleichheit von Zahlen die Identität der Elementarfiguren zum Vorschein bringen.

Im Unterschied zu beliebigen mathematischen Objekten entsprechen Elementarfiguren F den Naturgesetzen, d. h. sie sind stets auf die Natur bezogen, sie sind mathematisch-ontologische Metaphern für Objekte der Wahrnehmung. Ihre symmetrische Gestalt gibt die Redundanzen der Wahrnehmung wieder.

Zusammenfassend halten wir fest, dass die Naturgesetze in der mathematischen Sprachwelt eine notwendige Folge der Symmetrie einer Elementarfigur F in einem strukturierten Raum – der Weltbühne R – sind. Die Gleichheit von Messerzählungen, d. h. die beobachtete Redundanz, ist damit eine Folge der Identität der symmetrischen Elementarfigur F . Dieses mathematische Objekt kann in vielfältiger Weise ‚gedreht und gewendet‘ werden, es bleibt dasselbe – das ist das Naturgesetz. Mit der Entdeckung dieser Identität werden die Phänomene der Natur geordnet, aber nicht festgelegt. Das Naturgesetz drückt nur die Möglichkeit dieser Drehungen und Wendungen der komplexen Elementarfigur aus, nicht aber, wie viele verschiedene es tatsächlich gibt und wie vielgestaltig eine einzige Elementarfigur schon ist. Die Vielfalt der Phänomene entspricht der Vielzahl und der Komplexität der Elementarfiguren, die durch die Symmetrie nicht festgelegt bzw. eingeschränkt ist. So wie es viele Kugeln verschiedener Radien gibt, die alle die Drehsymmetrie ausdrücken, so gibt es viele mögliche symmetrische Elementarfiguren F auf der Bühne R . Diese entsprechen in der Natur den möglichen Ereignissen, die alle wegen ihrer Symmetrie notwendigerweise den Naturgesetzen genügen. Die Wahl einer einzigen solchen symmetrischen Elementarfigur auf der mathematischen Weltbühne wird auch der ‚Zustand der mathematisch-physika-

lischen Welt' genannt, auf dessen reduzierende Funktion wir in Kapitel 5 noch zu sprechen kommen werden.

Die komplexen, symmetrischen Formen der mathematisch-ontologischen Metaphern begründen nicht nur die Naturgesetze, sie sind auch der Grund für die Schönheit der physikalischen Naturerkenntnis. Da die Symmetrien der mathematischen Figuren in einem strukturierten Raum erscheinen, lohnt es sich, nach einer Ästhetik der mathematisch-physikalischen Welt zu fragen.

Physikalische Ästhetik: Harmonie mathematisch-ontologischer Metaphern

Welche Darstellungsmöglichkeiten für die Synonymie quantitativer Metaphern gibt es? In den Symmetrien von komplexen mathematischen Elementarfiguren gewinnen die Redundanzen der Naturgesetze, die Formeln, eine schöne Form. Diese Symmetrien werden oft erst sichtbar, wenn neue mathematische Objekte eingeführt werden, z. B. das Vektorpotential des elektromagnetischen Feldes, die Metrik einer gekrümmten Mannigfaltigkeit oder der symplektische Phasenraum. So gewann Einsteins spezielle Relativitätstheorie erst mit Hermann Minkowskis ‚Raumzeit‘ ihre schöne Form, da diese die Lorentz-Symmetrie einheitlich ausdrückte. Mit der Identität symmetrischer Elementarfiguren wird Gleichheit zur Tautologie, das Naturgesetz zum notwendig Wahren. In den verschiedenen Ansichten der identisch bleibenden Figur, deren Symmetrien sich in Naturgesetzen ausdrückt, zeigt sich die Einfachheit und *Schönheit der mathematischen Sprache zur Beschreibung der Natur*. Die Schönheit liegt in der Gestalt dieser mathematisch-ontologischen Metaphern, die Naturgesetze als Identität erscheinen lassen.

Eine physikalische Ästhetik beruht nicht auf der Form von Dingen im Raum der Wahrnehmung, sondern auf der Form von Figuren im Raum der mathematischen Bühne R . Zwei Aspekte müssen daher gewährleistet sein: die Schaffung von mathematischen Objekten durch mathematisch-ontologische Metaphern und ihre Form, die sich in ihren Eigenschaften durch quantitative Metaphern zeigt. Die Schaffung von beidem, von Objekten und ihrer Form, ist ein ständiger kreativer Prozess, ein ästhetisches Arbeiten mit der physikalisch-mathematischen Sprache. Zwei Beispiele mögen dies verdeutlichen:

(i) Oft löst die *Schöpfung einer mathematisch-ontologischen Metapher* als neue mathematische Elementarfigur ein ganzes Puzzle verwirrender Redundanzen. Das *Massenäquivalenzgesetz*, das besagt, dass ‚schwere Masse‘ und ‚träge Masse‘ synonyme quantitative Metaphern sind, erscheint in der mathematischen Sprachwelt einer *energetisch-gekrümmten Mannigfaltigkeit F* als natürlich, da in dieser Raumzeitwelt der Allgemeinen Relativitätstheorie nicht mehr zwischen

ihnen unterschieden wird: Das ‚Schwere‘ einer Masse entspricht der ‚Krümmung‘ der Raumzeit, und die ‚Krümmung‘ entspricht der ‚Trägheit‘ der Masse. Die Gleichheit der Zahlenwerte legt die Synonymie der Messerzählungen ‚Schwere‘, ‚Krümmung‘ und ‚Trägheit‘ offen, die zu verschiedenen Ansichten eines einzigen mathematisch-physikalischen Objektes werden: der energetisch-gekrümmten Mannigfaltigkeit. Wegen dieser ‚Einfachheit‘ des Zusammenhangs der Mannigfaltigkeit als Elementarfigur F mit dem Naturgesetz der Gravitation wird die Allgemeine Relativitätstheorie von Physikern als schön und wahr empfunden.

(ii) Oft ist die *Suche nach geeigneten Formen* von bereits eingeführten Objekten ein langwieriger Prozess: Nachdem Faraday die mathematisch-ontologische Metapher ‚Feld‘ einführte, konnte Maxwell Gleichungen für das Feld F als mathematisches Objekt aufstellen. Die schöne Form dieser Gleichungen, ihre Symmetrie, war aber zunächst nicht offensichtlich. Erst eine logische Rekonstruktion führte über die Vektornotation, die Einführung des Vektorpotentials und des Faraday-Tensors zu einer relativistischen kovarianten Form und schließlich zu einer koordinatenfreien Form $dF = 0$ in Gestalt der Maxwell-Gleichungen. Das elektromagnetische Naturgesetz ist bei all diesen Umformulierungen des Objektes F aber unverändert geblieben. Wegen dieser ‚Einfachheit‘ des Zusammenhangs des komplexen Feldes als Elementarfigur F mit dem Naturgesetz der Elektrodynamik wird auch diese Theorie von Physikern als schön und wahr empfunden. Man beachte, dass das physikalisch-mathematische Modell nicht als eine Abbildung der Natur, sondern der synonymen quantitativen Metaphern verstanden wird, sodass eine physikalische Theorie selbst dann wahr bleiben kann, wenn die Redundanzen durch neue Messungen als gebrochen erkannt werden, wenn also das Naturgesetz als nicht mehr gültig angenommen werden muss.

In der Erklärbarkeit von gemessenen Redundanzen durch Symmetrien mathematisch-ontologischer Metaphern liegt auch der *heuristische Wert der logisch-formalen Sprache*, von mathematisch-physikalischer Theoriebildung für den Forschungsprozess, der die in Kapitel 3 besprochene heuristische Funktion von Metaphern ergänzt. Physiker lassen sich auf ihrer Suche nach Naturgesetzen leiten von Symmetrien und Strukturen der mathematischen Objekte. Es ist die Schönheit der unter Symmetrien identisch bleibenden Strukturen in der mathematischen Sprachwelt, die zum Kriterium für das Verständnis redundanter Messerzählungen wird. Durch logische Rekonstruktion der Modellerzählung mit neuen mathematisch-ontologischen Metaphern und Gleichungen ist es oft möglich, eine einfache mathematische Struktur zu finden, die in der erzählten physikalischen Welt der Mathematik die Naturgesetze begründet. Ziel einer physikalischen Ästhetik ist es, solche mathematisch-ontologischen Metaphern zu finden, deren Symmetrien den gemessenen Redundanzen entsprechen. ‚Harmonie‘ oder das Aufscheinen von Symmetrie beruht auf dem Zusammenfügen von zunächst nicht Zusammen-

passendem zu einem Ganzen, zu einer Elementarfigur. ‚Gleichheit‘ (Kapitel 1), ‚Einheit‘ (Kapitel 2), ‚Übereinstimmung‘ (Kapitel 3) und ‚Identität‘ (Kapitel 4) sind ähnliche, aber verschiedene Begriffe des physikalischen Erkenntnisprozesses, um dieses Ganze zu beschreiben.

Erst in der ‚Identität‘, in der Fassung des Ganzen in einem elementaren Objekt, zeigt sich die *Einfachheit der Mathematik* zur Beschreibung der Natur: die Rückführung der Naturgesetze auf die Symmetrien einer einzigen komplexen Elementarfigur. ‚Einfachheit‘ oder ‚Primitivität‘ bezeichnet die Eigenschaft eines Phänomens, auf ‚das Eine‘ zurückgeführt werden zu können. ‚Einfachheit‘ ist die Eigenschaft eines mathematisch-physikalischen Modells, die Physiker als schön bezeichnen. Schönheit bezieht sich nicht nur auf eine logisch-konsistente Struktur, das jedes korrekte mathematische Modell aufweist, sondern auch auf eine primitive Struktur, in der durch ein elementares Objekt eine Vielfalt von Eigenschaften ableitbar ist. Primitivität ist daher im Gegensatz zur Umgangssprache ein positiv besetzter Begriff. Mit ihm wird ein erster Baustein benannt, aus dem alles errichtet wird; ein erstes Objekt, auf das alles zurückgeführt werden kann. ‚Der Erste in seiner Art‘ impliziert ein dynamisches Moment: Es kommt noch sehr viel nach. Die ‚Einfachheit‘ der Elementarfigur F zur Beschreibung der Natur liegt in der Identität auf der mathematischen Weltbühne R und bezieht sich nicht auf den Raum der menschlichen Wahrnehmung, in dem ein solches symmetrisches Objekt sehr vielfältig aussehen kann. Ihre Rückübertragung als mathematisch-ontologische Metaphern in den Anschauungsraum verwandelt ihre Einfachheit in die unüberschaubare Vielfalt der Phänomene. Die eine symmetrische Elementarfigur kann im Anschauungsraum der Sinne und Messungen in vielfältigen Formen erscheinen. So entsprechen

- einer Äquivalenzklasse F von Gleichgewichtszuständen im Gibbsraum R die Vielzahl von Körpern in der Natur, bei denen man eine Temperatur messen kann;
- einer Trajektorie F als symmetrischer Elementarfigur im Phasenraum R die komplexe Bewegung vieler Teilchen im Anschauungsraum;
- einem Feld F als symmetrischer Elementarfigur im Faserbündel R die vielfältigen elektromagnetischen Phänomene von Licht, Elektrizität und magnetischer Anziehung.

Die Vielfalt entsteht durch die Rückübertragung der einen mathematisch-ontologischen Metapher durch die vielen möglichen quantitativen Metaphern in die Welt der Wahrnehmung. Analog zu einem gelungenen Design eines Gebrauchsgegenstandes, das nicht nur Prinzipien einer ästhetischen Theorie genügen, sondern auch durchsichtig und funktional einfach sein sollte, liegt die Schönheit der mathematisch-physikalischen Welt in ihrer Einfachheit: Es geht um die eine

Elementarfigur, die Vielfältiges ermöglicht. Im Unterschied zu den geometrischen Figuren, die Galilei als Buchstaben der mathematischen Sprache bezeichnete, sind diese elementaren Figuren die Grundbausteine der mathematisch-physikalischen Welt, Skulpturen auf der mathematischen Weltbühne, die durch Buchstaben, Wörter und Sätze der mathematischen Sprache geschaffen werden. Es sind ganze Modellerzählungen, kondensiert in elementaren Figuren, in mathematisch-ontologischen Metaphern, die die Redundanz von Messerzählungen, die synonymen quantitativen Metaphern in ihren Gestalten auf den Punkt bringen.

Diese komplex-symmetrische Elementarfigur zur Anschauung zu bringen, sie sinnlich erfahrbar zu machen, geschieht durch quantitative Metaphern. Hier werden die Messerzählungen zu einer *physikalischen Ekphrasis*, die die mathematischen Objekte zu Objekten der Wahrnehmung macht. So wird die im Phasenraum symmetrische Elementarfigur, z. B. die Trajektorie im Phasenraum, durch die Übertragung zu einem Phänomen mit ‚Orten‘ und ‚Geschwindigkeiten‘ zu bestimmten ‚Zeitpunkten‘. So bringen die quantitativen Metaphern, die Messhandlungen von ‚Kraft‘ und ‚Impulsstrom‘, zwei verschiedene Wahrnehmungen, zwei unterschiedliche Perspektiven der einen symmetrischen Elementarfigur hervor. Diese physikalische Ekphrasis macht den mathematisch Denkenden zum Wahrnehmenden, je nach Wahl der quantitativen Metapher zum Sehenden, Hörenden, Messenden. Die physikalische Ekphrasis konstituiert in der Tat eine synästhetische, ganzheitliche Erfahrung. Hier trifft sich Physik mit Poesie, wenn Natur in ‚poetischen Gemälden‘ erfahrbar wird: Messerzählungen sind naturwissenschaftliche Lehrgedichte und quantitative Naturlyrik. Sie bringen die schöne Gestalt der Elementarfiguren zum Vorschein und ihre Vielfalt zur Erfahrung.

Quantitative Metaphern leiten die Rückübertragung der in Elementarfiguren übertragenen Natur. In umgekehrter Richtung wandeln quantitative Metaphern ihre Bedeutung; sie sind nicht mehr Messerzählungen von Phänomenen der Natur, sondern anthropomorpher Ausdruck der Elementarfiguren. Wir messen ‚Ort‘ und ‚Kraft‘, weil Menschen lokale, mit Muskeln bestückte Lebewesen sind. Im Prozess der Wahrnehmung und der Handlung des Messens erweckt die physikalische Ekphrasis die mathematischen Objekte zum Leben – in all ihrer sinnlichen Vielfalt. Der Mensch bringt als Leser der Messerzählungen die vielfältigen Perspektiven derselben Elementarfigur durch Messungen zum Vorschein. Der Mensch ist aber nicht nur Leser, sondern auch Buch oder Schreibwerkzeug, da erst seine Ausstattung mit Sinnen, Gehirn und Händen die Elementarfiguren lesbar macht. Der Mensch ist als Teil der Natur auch Autor und wird damit zu einem sich selbst schreibenden Buch, da er durch sein Handeln erst auswählt, welche Elementarfigur in welcher Form zum Ausdruck kommen soll.

Dass Naturgesetze als komplizierte Beziehungen wahrgenommen werden, liegt an der Kompliziertheit der menschlichen Sinne und Messerzählungen,

nicht an der Identität der mathematischen Elementarfigur. Vermutlich muss man die Perspektive umkehren: Naturgesetze erscheinen kompliziert, weil die von Menschen entwickelten Messvorschriften es sind. So kann man spekulieren, dass die Trennung des Phasenraumes in Orte und Geschwindigkeiten etwas mit der persistenten Eigenbasis von quantendynamischen Ortsoperatoren zu tun hat (*pointer states*), während die Geschwindigkeiten als dazu konjugierte Größen nicht mehr als Raum wahrgenommen werden können.

Die Kompliziertheit der mathematischen Formen der Naturgesetze ist damit der Kompliziertheit der menschlichen Wahrnehmung geschuldet. Weil wir nicht die Symmetrie der Elementarfiguren ‚sehen‘, sondern nur ihre Aspekte, die durch unsere Sinne gegeben sind, erscheinen Naturgesetze als komplizierte mathematische Strukturen. Der Mensch ist ein komplexes Wesen der Natur, das nicht einfach der Gestalt der Elementarfiguren folgt. Es ist die Beziehung der Messerzählungen zu den Symmetrien, die kompliziert ist. Über die Erscheinung der Naturgesetze in der Natur zu reden, heißt über den Menschen, seine Messerzählungen und seine Sprachfähigkeiten zu reden.

Die ‚unverständliche Effektivität‘ von Buchstaben und Grammatik zur Formulierung von Sprache und Bedeutung überrascht kaum jemanden, da sie als menschliche Konstruktion zur Lebensbewältigung begriffen wird. Warum sollte es bei der mathematischen Sprache anders sein? Die Einfachheit ist eine Eigenschaft der mathematisch-ontologischen Metaphern, die eingeführt wurden, um in der Natur messbare quantitative Metaphern in einer formal-logischen Sprachwelt zu beschreiben. Im Umkehrschluss wird die Einfachheit zur mathematischen Begründung von empirischen Naturgesetzen. Begreifen wir Naturgesetze als Redundanzen der menschlichen Wahrnehmung, dann ist es nicht verwunderlich, dass in der mathematischen Welt elementare Objekte gefunden werden können, die diese Redundanzen ausdrücken. Mit der mathematischen Sprache wird versucht, eine mathematisch-physikalische Welt zu bauen, die alle synonymen Metaphern enthält und dennoch reichhaltig genug ist, um allen beobachteten Phänomenen Raum zu geben. Mit der mathematisch-physikalischen Welt ist es gelungen, eine Bühne zu bauen, die groß genug ist für das aufgeführte Stück und einen passenden Rahmen setzt für die Vielfalt des Geschehens. Es ist nicht selbstverständlich, dass Sprache dies erlaubt, es ist aber auch kein Wunder, da der Rahmen der Naturgesetze nicht sehr eng ist. Das mathematische Weltmodell der Physik legt nur sehr wenig fest. Dieses wenige zu kennen, erlaubt aber sehr viel: die Präparation von Phänomenen, das, was wir Technik nennen. Allerdings ist der Preis hierfür die Festlegung auf wenige Freiheitsgrade durch die Wahl der mathematischen Objekte, worauf wir im folgenden Kapitel zu sprechen kommen.

Die *Effektivität der Mathematik* liegt in der Fähigkeit des Menschen, eine mathematische *Sprachwelt* zu schaffen, in der alle quantitativen Metaphern ihren

Platz durch mathematisch-ontologische Metaphern finden und die die Synonyme als redundante Messungen des mathematisch Identischen einbaut. Dass das möglich ist, erscheint nicht mehr so verwunderlich angesichts der vielen Metaphern und Begriffe, die sich nicht in eine quantitative Form bringen lassen. Man darf sich nicht täuschen lassen durch den Erfolg der mathematisch-physikalischen Welt, der tatsächlich auf sehr wenigen quantitativen Metaphern beruht. Das meiste, was uns begegnet, bleibt nicht-messbar, für nahezu alle Phänomene und Erfahrungen finden wir keine quantitativen Metaphern.

Die Effektivität der Mathematik beruht auf der Effektivität der wenigen quantitativen Metaphern, die notwendig sind für eine *technische Kontrolle* von Vorgängen in der Natur. Diese Effektivität liegt aber allein darin begründet, dass die Kenntnis von Redundanzen, d. h. von Naturgesetzen, ein intelligentes Design von (scheinbar überraschenden) Vorgängen, Phänomenen und Ereignissen erlaubt. Ein Stein schlägt dort ein, wo ich es erwarte und geplant habe, da die Kenntnis der Redundanz von ‚Kraft‘ und ‚Impulsstrom‘ es erlaubt, die Ausgangssituation mit geringem Aufwand zu präparieren. Warum und wieso ich es so wollte, bleibt ein Phänomen, das keinen Platz hätte in der mathematischen Welt.

Die Effektivität der Mathematik liegt auch an der *logischen Rekonstruierbarkeit* der mathematisch-physikalischen Sprachwelt. Es gibt eine volle Kontrolle über den Aufbau der erzählten Welt. Es können neue mathematische Objekte eingeführt und die Struktur der Welt logisch-formal untersucht werden. Konzeptuelle Metaphern, die ‚bodily based mechanisms and everyday experience‘ zu mathematischen Objekten machen, sind nur der erste Schritt; die formal-logische Spracharbeit schafft neue mathematische Objekte, Strukturen und Räume, die die konzeptionellen Metaphern ordnen und Redundanzen von Wahrnehmungen durch Symmetrien von Elementarfiguren ausdrücken.

Die Effektivität der Mathematik erklärt sich schließlich aus der Ordnung der Phänomene durch solche mathematisch-ontologischen Metaphern, die Redundanzen der Messerzählungen durch *Symmetrien einer Elementarfigur* zum Verschwinden bringen. Diese Einfachheit wird als schön empfunden. Das, was die Symmetrie nicht festlegt, die Vielzahl möglicher symmetrischer Elementarfiguren, wird durch die Wahl einer von ihnen auf einen ‚Zustand der mathematischen Welt‘ reduziert. Eugene Wigner bezeichnet dies – wie erwähnt – als Festlegung der ‚initial conditions‘, auch ‚Anfangswerte‘ oder ‚Freiheitsgrade‘ genannt. Die Reduktion der Natur auf einen ‚Zustand der Welt‘ mit bestimmten Werten für alle wohldefinierte Zustandsgrößen ist aber allein ein Vorgang in der mathematischen Sprachwelt. Als Metapher ist die Rückübertragung des ‚Zustands der Welt‘ in die Natur allerdings ein natürlicher Sprachvorgang, in dem ein mathematisches Objekt zu einer Entität in der Natur wird. Die Rückübertragung der mathematisch-ontologischen Metapher ‚Zustand der Welt‘ auf die Phänomene der Natur macht

die Natur zu einer Welt der Dinge, was nicht ohne Konsequenzen für das Selbstverständnis des Menschen, seine Freiheit und Geschichtlichkeit, seine Moral und Religion ist. Für das Verständnis von Naturgesetzlichkeit und vom Erfolg einer mathematischen Naturbeschreibung ist sie aber nicht notwendig. Der physikalische Realismus begründet sich auf der Rückübertragung der mathematisch-ontologischen Metaphern als Dinge der Natur. Diese physikalische Welt der Dinge ist ein festes Ufer für den Fluss der Phänomene.

5 Mündet der Ereignisstrom in eine Welt der Dinge? Die Rettung der Vielfalt der Phänomene

Quantitative und mathematisch-ontologische Metaphern haben als Metaphern gemeinsam, dass sie sich auf Phänomene außerhalb der Sprache beziehen: Sie verweisen auf eine Natur, in die ihre Bedeutung übertragen wird. Das unterscheidet sie von Begriffen und anderen mathematischen Größen, die sprachimmanent bleiben, logisch abgeleitet und eindeutig definierbar sind. Eins zu sein mit den Phänomenen der Natur, ist dagegen nur metaphorisch möglich. Hans Blumenberg schreibt zu Beginn von *Quellen, Ströme, Eisberge*:

Man kann nicht zweimal in denselben Fluss steigen, aber man kehrt an dasselbe Ufer zurück, und dies sogar dann, wenn man sich im Fluss, um mit ihm als demselben wenigstens für eine Zeit eins zu bleiben, hat treiben lassen.²¹

Um dieses ‚dasselbe‘ soll es hier nun gehen. Die Wirklichkeit fließt – als Strom einmaliger Ereignisse, als Bewusstseinsstrom nicht wiederholbarer Erlebnisse. Diese Weisheit Heraklits steht am Beginn eines Widerspruchs, der sich durch die gesamte Philosophiegeschichte zieht. Dass der Fluss immer derselbe sei, ist eine hartnäckige Illusion, die entsteht, wenn die Landschaft von oben betrachtet wird. Eine Perspektive, die wir nicht einnehmen können, es aber doch tun, wenn wir meinen, am Ufer zu sitzen. Dann wird die Natur zu einer unveränderlichen Welt der Dinge, in der die vorbeiziehenden Erscheinungen eingebettet sind. Der Fluss der Ereignisse wird für den am Ufer Sitzenden zu einer Landschaft der Dinge mit Eigenschaften.

²¹ Hans Blumenberg: *Quellen, Ströme, Eisberge*. Berlin: Suhrkamp, 2012. S. 103.

Reduktion der Natur: Der Zustand der Welt

Die oben geschilderte Geschichte der Physik des Lichtes zeigte, dass es wichtig ist, Messerzählungen von den ‚Eigenschaften eines Zustandes‘ sowie Naturgesetze von ‚Bewegungsgleichungen eines Zustandes‘ zu trennen. Durch die Fassung der Natur in eine mathematische Welt geschieht nämlich noch etwas Zweites über die Übertragung von Messgrößen in Zustandsgrößen und von Naturgesetzen in Gleichungen hinaus. Aufgrund der mathematischen Struktur der mathematisch-ontologischen Metaphern wird die Natur auf einen formal wohldefinierten ‚Zustand‘ reduziert. Mathematische Sprache erlaubt, die Metapher ‚Zustand der Welt‘ in eine eindeutige Form zu fassen. Dabei ist mit ‚Zustand‘ keine Messgröße gemeint, sondern eine *Ordnung von Messgrößen* in eine einzige mathematisch-ontologische Metapher. ‚Zustand‘ ist dabei eine sehr spezielle ontologische Metapher, deren Eigenart erst nach der Entdeckung von Bewegungsgesetzen durch Galilei und Newton erkannt wurde und die seitdem die Diskussion über Reduktion und Einheit der Physik bestimmt: Was ist der ‚Zustand der Welt‘? Gewöhnlich wird der *Zustand* eines physikalischen Systems definiert als die minimale Menge aller derjenigen Zustandsgrößen (physikalische Messgrößen in einem Modell), die für eine vollständige Beschreibung des Systems in der mathematischen Sprachwelt benötigt werden. Insbesondere lassen sich aus der Kenntnis des Zustandes in der Modellerzählung alle messbaren Größen zu allen Zeiten des Systems berechnen. Welche Zustandsgrößen den Zustand bestimmen, hängt von dem betrachteten System ab und hat sich durch die Einsicht in die Physik des Systems auch geändert. Je nach Teilgebiet der Physik kommen unterschiedliche Zustandsdefinitionen zur Anwendung, und die Definition des ‚Zustandes‘ des Systems legt auch fest, welche mathematisch-physikalische Theorie für die Beschreibung zuständig ist.

Der Zustand eines Systems ist keine Messgröße, d. h. er beruht nicht auf einer Messerzählung, sondern auf einem ontologischen Konzept darüber, ‚was das betrachtete System ist‘. Es ist eine Modellerzählung. Entscheidend ist nun, dass dadurch alle quantitativen Metaphern mathematisch zu abgeleiteten Größen der mathematisch-ontologischen Metapher werden. Aus dem Zustand lassen sich durch ‚Messhandlungen in der mathematischen Welt‘ die bestimmten Werte aller Messgrößen ableiten und mit den Messhandlungen an ‚Dingen in der Welt‘ vergleichen. Darauf basiert die *Falsifikation eines mathematisch-physikalischen Modells* als die zentrale wissenschaftstheoretische Charakterisierung der Naturwissenschaften.

Freiheitsgrade der mathematisch-physikalischen Welt

Wie kommt man nun zu einer mathematischen Beschreibung des ‚Zustandes der Welt‘? Die ontologische Metapher leitet die Mathematisierung, aber die Metapher selbst wird geleitet durch Beziehungen zwischen quantitativen Metaphern. Nun sind nicht alle Messgrößen gleich sinnvoll für eine Festlegung des Zustands: Mathematische und physikalische Gesetze sowie Messerzählungen führen zu Relationen zwischen Zustandsgrößen. Kennt man die eine, dann folgt die andere. Insbesondere synonyme quantitative Metaphern reduzieren die Anzahl der Zustandsgrößen, die man kennen muss, um einen Zustand festzulegen. Die verbleibenden notwendigen Zustandsgrößen nennt man *Freiheitsgrade*, da ihre Kenntnis den ‚Zustand der Welt‘ festlegt. Physikalische Messgrößen werden in einem mathematischen Modell daher zu Zustandsgrößen, die unterschieden werden können in den Zustand definierende ‚Freiheitsgrade‘ und ‚abgeleitete Größen‘. Es ist eine Ironie der Sprachgeschichte, dass ausgerechnet das, womit die Welt determiniert werden soll, ‚Freiheitsgrad‘ genannt wurde. Mit mathematisch-ontologischen Metaphern geht eine Reduktion der Phänomene auf die feststellbaren Freiheitsgrade eines eindeutigen mathematischen Objektes einher, z. B. eines ‚Punktteilchens‘ oder eines ‚Feldes‘. Diese Objekte bilden ‚dasselbe Ufer‘, an das ein Physiker immer wieder zurückkehrt, wenn er sich im Strom der Phänomene hat treiben lassen.

Was die Physik in den fundamentalen Naturgesetzen entdeckt, ist nicht die Vielfalt der Erscheinungen und auch nicht die Vorhersage der Zukunft, sondern nur das, was in den vielfältigen Veränderungen gleich bleibt. Das mag verwundern, gelten Naturgesetze doch oft als Inbegriff der physikalischen Weltreduktion und des Determinismus. Betrachten wir daher ein einfaches klassisches Beispiel: den Wurf eines Steines. Klassisch physikalisch stellt man die Newton’schen Gleichungen der Bewegungen auf, löst sie als Funktion der Zeit und erhält die korrekte Vorhersage, wann der Stein wo sein wird, wenn man die richtigen Anfangsbedingungen gewählt hat. Aber bereits in der ersten Vorlesung zur theoretischen Physik lernt ein Student, dass er zuerst die sogenannten *Invarianten der Bewegung* finden muss, deren Werte die Bewegung bestimmen. Im kanonischen Fall sind das z. B. die Anfangswerte der Bewegung, die die gesamte Bewegung bestimmen, weil zu jedem Zeitpunkt (*Persistenz*) der ‚Impulsstrom‘ des fliegenden Steins gleich der ‚Kraft‘ ist, die auf den Stein ‚wirkt‘. Der Flug des Steins wird als Bewegung gesehen, weil wir nicht die Invarianten sehen bzw. messen, sondern Abstände und Zeitdauern. Das Naturgesetz ‚Kraft = Impulsstrom‘ bestimmt aber nicht die Werte der Invarianten einer Bewegung.

Effektivität der Technik: Die Festlegung endlich vieler Freiheitsgrade

Wie ist das nun aber mit der erstaunlichen technischen Beherrschung der Natur? Wir bauen z. B. Flugzeuge, die tatsächlich fliegen können, weil wir das Newton'sche Bewegungsgesetz als Naturgesetz entdeckt haben, das uns erlaubt, einen bestimmten Bewegungszustand herzustellen und dadurch die Bahn des Fliegers vorherzusagen. Das Naturgesetz drückt aber nur die Übereinstimmung der Impulsströme aus, die das Flugzeug naturgemäß nicht abstürzen lässt. Dass es aber fliegt, hängt an den komplexen Anfangsbedingungen, d. h. am Bau des komplizierten Gerätes, an seiner Bereitstellung am Flughafen, an der Zufuhr des Kerosins und dem Zünden der Treibwerke. Diese komplexe Bereitstellung der Anfangsbedingungen lässt das Flugzeug tatsächlich fliegen und eine komplexe Bewegung ausführen. Die Naturgesetze garantieren nur, dass die komplexen Anfangsbedingungen in eine komplexe Bewegung umgesetzt werden, die einen vorher bestimmten komplexen Endzustand erreicht. Natürlich spielten bei der Bereitstellung der Anfangsbedingungen auch wieder (möglicherweise andere) Naturgesetze eine Rolle; aber nur, um wiederum durch die Übereinstimmung von quantitativen Metaphern einen anderen früheren Anfangszustand in den gewünschten späteren Anfangszustand zu bringen. Die Vielfalt der Erscheinungen bzw. die Komplexität der Anfangsbedingungen erklären die Naturgesetze nicht. *Naturgesetze bestimmen nicht die invarianten Werte einer Bewegung*, deren Kenntnis erst die Bewegung bestimmt.

„Zustand der Welt“ ist die (quantitative) Reduktion einer ontologischen Metapher auf ein mathematisches Modell. Nur in dieser reduzierten Form der Phänomene gibt es die Begriffe ‚Zustandsgröße‘, ‚Freiheitsgrad‘ oder ‚Determinismus‘. Diese Begriffe sind an ein mathematisches Modell der Welt gebunden und haben nur indirekt mit Naturgesetzlichkeit zu tun. Die Freiheitsgrade bezeichnen die Vielfalt der Phänomene, die nicht durch Naturgesetze verboten sind, die also der synonymen Redundanz widersprechen. Es gibt keinen Grund anzunehmen, dass die Anzahl der Freiheitsgrade begrenzt ist. Sie wird nur endlich durch eine Reduktion auf relevante Zustandsgrößen im Rahmen einer bestimmten Modelldefinition. *Die gewählte Anzahl der Freiheitsgrade ist eine Wahl der Genauigkeit der Beschreibung der Phänomene.*

Die Anzahl der invarianten Werte ist damit eine Folge der mathematischen Modellbildung, d. h. der verwendeten mathematisch-ontologischen Metaphern. Verwendet man für das Newton'sche Naturgesetz ‚Kraft = Impulsstrom‘ die ontologische Metapher ‚Punktteilchen‘ oder ‚Feld‘, erhält man jeweils eine andere Anzahl von Invarianten der Bewegung. Insbesondere die Endlichkeit oder Mächtigkeit dieser Anzahl hängt von der Wahl der mathematischen Objekte ab, auf die

man die Naturgesetze überträgt. Der Reduktionismus und in der Folge der Determinismus der Welt findet nur in der mathematischen Sprache statt, in der Übersetzung der Naturgesetze in Gleichungen von Zustandsgrößen. Für die Erkenntnis von Naturgesetzen in der Vielfalt der Phänomene ist diese Reduktion nicht notwendig und eine Determiniertheit der Phänomene zunächst nicht ersichtlich. Allein in der Präparation einer Situation kann die Reduktion auf eine endliche Anzahl von Freiheitsgraden in der Natur imitiert werden. Das ist die *Technik oder die Kunst des Experimentes*: in Kenntnis der Naturgesetze bestimmte Ausgangswerte der relevanten Freiheitsgrade zu realisieren. Je genauer ich etwas beschreiben oder präparieren möchte, desto mehr Freiheitsgrade muss ich im mathematischen Modell einführen und in der Lage sein, sie im Experiment feststellen zu können.

Natürlich ist es eine enorme wissenschaftliche Leistung, mit den Naturgesetzen etwas Gleichbleibendes in den Naturvorgängen gefunden zu haben. Das andere Faszinierende der Naturwissenschaft ist aber die Entdeckung der phantastischen Vielfältigkeit der Erscheinungen: die Formen des Lebens, die Verflechtungen der Bewegungen, die Gestalt der Materie. Die Freiheitsgrade sind eigentlich Ausdruck der Kapitulation der Physik und der mathematischen Sprache vor dieser Vielfalt der Phänomene.

Mythos Realismus: Metalepsen in physikalischen Erzählungen

Die wichtigen Revolutionen in der Physik geschahen oft durch das Beiseiteräumen ontologischer Annahmen über die Welt der Dinge und durch eine Hinwendung zu dem Phänomen als messbare Größe: Einstein räumt die Zeit als absolute Eigenschaft der Welt beiseite und stellt sich auf den Grund, dass Zeit das ist, was man mit einer Uhr messen kann. Heisenberg räumt die Bahn als Bewegung eines Teilchens in der Welt beiseite und begründet Observablen als Gesamtheit von möglichen Messwerten. Man mag spekulieren, ob die Physik zu einem Ende kommt, wenn alle ontologischen Annahmen aus der Beschreibung der Naturerfahrung entfernt sind.

Realismus ist eine ontologische Annahme, die weder notwendig noch empirisch belegt ist. Bei Protonen und Neutronen von ‚existierenden Teilchen‘ zu sprechen, ist sogar irreführend. Da ist ‚weißer Quark‘ für ein Proton durchaus eine bessere Metapher, die das kontinuierliche Meer von Quarks und Gluonen in einem Proton als Flüssigkeit mit zur Assoziation bringt. Die Diegese einer physikalischen Erzählung ist nicht die Welt der Dinge, sondern die Welt der beschreibenden (und gemessenen) Beobachtungen. Physik als metaphorischer Prozess kann nicht Bezug nehmen auf eine Welt der Dinge, da dies eine ontologische Annahme ist,

die die Messerzählungen überschreitet und eine Metalepse in der Erzählung der Naturerfahrung wäre. Sie kann aber eine Metapher ‚Zustand‘ einführen, die in einer quantitativen Form z. B. zur Wellenfunktion oder zum Vektor im Hilbertraum wird.

Physikalischer Realismus ist ein Mythos zur Erklärung der wundersamen *Persistenz* physikalischer Gesetze. In ihm nimmt man eine Objektivität von Entitäten an, die unveränderlich existieren und vom Menschen nur beobachtet werden. Dies ist eine Umkehrung des bisherigen wissenschaftlichen Prozesses, der Beschreibung der Naturerfahrung durch quantitative Metaphern, da ausgehend von einer Welt der Dinge physikalische Messgrößen aus den Eigenschaften der Dinge abgeleitet werden. Mythen machen verständlich, was nicht erklärt werden kann. Man nähert sich ihnen daher auch besser nicht mit Kategorien der Wahrheit und empirischen Evidenz, sondern mit solchen des Glaubens und der Weltbewältigung. Ein Mythos ist nicht nur eine Erzählung über das Wesen der Welt, sondern auch über das Tun des Menschen. Auch der physikalische Realismus, d. h. die Annahme einer ‚Welt der Dinge‘, ist ein Mythos, der nicht nur *erkenntnistheoretisch* eine Begründung für die *Persistenz* der Erfahrungen liefert, sondern auch Bedeutung für das Selbstverständnis des Menschen hat und damit *ethische* Folgerungen für Handeln und Moral nahelegt.

Die Rettung der Vielfalt der Phänomene

Begreift man Physik als einen metaphorischen Prozess, dann treffen sich die zwei Kulturen der Geistes- und der Naturwissenschaften. Kein Naturgesetz erklärt die Werte der Invarianten einer Bewegung. Die Anfangswerte jedes Phänomens sind nicht Gegenstand von Naturwissenschaft. Die Vielfalt und Einmaligkeit der Phänomene beruht auf der Vielzahl dessen, was nicht durch Naturgesetze festgelegt ist, durch die Vielzahl der Anfangswerte bzw. Invarianten einer Bewegung. *Freiheit und Geschichtlichkeit* sind daher mögliche Naturphänomene, die im Einklang mit Naturgesetzlichkeit stehen. Nur die Reduktion der Phänomene auf einen ‚Zustand der Welt‘ durch mathematisch-ontologische Metaphern legen einen Determinismus in der mathematischen Modellerzählung nahe. Naturgesetze bilden aber nur eine Bühne, stecken nur einen Rahmen ab, innerhalb dessen alles geschehen kann. So kann die Ausdifferenzierung der Natur in Lebewesen das freie Handeln und sogar das Planen und Entscheiden ermöglichen, wenn das Phänomen Erinnerung durch die natürliche Entstehung des Gehirns in Erscheinung tritt.

Eine endliche Anzahl von Freiheitsgraden ist eine reduzierende Konstruktion und liegt einzig und allein an der mathematisch-ontologischen Metapher des

„Zustandes der Welt“. Die Naturgesetzlichkeit, d. h. die synonymen quantitativen Metaphern, sind unabhängig davon. Die Determination der Welt geschieht metaphorisch erst durch die Reduktion auf eine endliche Anzahl von Freiheitsgraden. Dies ist ein sinnvolles Konzept für die Präparation eines Systems durch einen Experimentator, nicht aber für die gesamte Welt, die System und Experimentator umfasst. Anzunehmen, dass auch die gesamte Welt aus nur einer endlichen Anzahl von Freiheitsgraden besteht, ist eine Hypothese, die man machen kann, aber nicht machen muss. Die Unverletzlichkeit der Naturgesetzlichkeit erzwingt dies nicht.

Physik und Poesie: Sind Formeln Tropen?

Wenn quantitative Metaphern als synonym erkannt werden, geht ihre Bedeutungsvielfalt und damit ihre metaphorische Funktion scheinbar verloren. Das ist tatsächlich aber nicht der Fall: Quantitative Metaphern behalten ihre Nuancierungen, Interpretationsmöglichkeiten und Bedeutungsvielfalt. Trotz der Zahl, die die Erzählung fast zum Schweigen gebracht hat, lässt sich die Metapher selbst in der physikalischen Forschung nicht töten. Es gibt auch zahlreiche bekannte Beispiele, wo Metaphern theorieinspirierend gewirkt haben und wie ein Katalysator Gedanken anstoßen konnten. Haben solche physikalische Metaphern auch eine Bedeutung für die Literatur? Weil Metaphern eine erkenntnistheoretische Funktion in der Physik haben, liegt es nahe, danach zu fragen, ob Formeln neue Tropen sind, d. h. eine neue Erkenntnisweise des sprachbegabten Menschen und damit ein mögliches Stilmittel in der Literatur. Bestünde der Sinn von Literatur darin, die Welt zu verstehen und eine Verortung des Menschen zu finden, dann läge es nahe, auch den metaphorischen Prozess der physikalischen Naturerfahrung literarisch zu verwenden. Die Formel als mathematischer Ausdruck von synonymen quantitativen Metaphern könnte zu einem neuen Tropus werden, der Persistentes in Erfahrung erkennbar macht. In physikalischen Metaphern könnte zudem mehr erfahrbar sein als das, was in Freiheitsgraden feststellbar ist. Sie könnten durch ihre Mehrdeutigkeit das sichtbar machen, was in der Übersetzung in die mathematische Sprachwelt durch ihre Eindeutigkeit verlorengegangen ist. Die Verwendung von physikalischen Metaphern in Literatur könnte das Selbstverständnis von Physikern infrage stellen, die *conditio physica* ausloten und einen neuen Blick auf das ermöglichen, was Physiker als Naturwissenschaftler tun.

Es gibt viele literarische Beispiele, in denen eine „Rückübersetzung“ physikalischer Metaphern und Formeln gelungen ist. In Alfred Döblins *Berlin Alexanderplatz* wird z. B. die Naturgesetzlichkeit, wie Franz Biberkopf seine Braut Ida erschlägt, durch Newtons Kraftformel $F = dp/dt$ ausgedrückt:

Was die Sekunde vorher mit dem Brustkorb der Frauensperson geschehen war, hängt zusammen mit den Gesetzen von Starre und Elastizität, und Stoß und Widerstand. Es ist ohne Kenntnis dieser Gesetze überhaupt nicht verständlich. Man wird folgende Formeln zu Hilfe nehmen:

Das erste Newtonsche [njutensche] Gesetz, welches lautet: Ein jeder Körper verharrt im Zustand der Ruhe, solange keine Kraftwirkung ihn veranlaßt, seinen Zustand zu ändern [bezieht sich auf Idas Rippen]. Das zweite Bewegungsgesetz Njutens: Die Bewegungsänderung ist proportional der wirkenden Kraft und hat mit ihr die gleiche Richtung [die wirkende Kraft ist Franz, beziehungsweise sein Arm und seine Faust mit Inhalt]. Die Größe der Kraft wird mit folgender Formel ausgedrückt:

$$f = c \lim \frac{\Delta v}{\Delta t} = cw.$$

Die durch die Kraft bewirkte Beschleunigung, also den Grad der erzeugten Ruhestörung, spricht die Formel aus:

$$\Delta v = \frac{1}{c} f \Delta t.$$

Danach ist zu erwarten und tritt tatsächlich ein: Die Spirale des Schaumschlägers wird zusammengepresst, das Holz selbst trifft auf. Auf der andern Seite, Trägheits-, Widerstandsseite: Rippenbruch 7.–8. Rippe, linke hintere Achsellinie. Bei solcher zeitgemäßen Betrachtung kommt man gänzlich ohne Erinnyen aus. Man kann Stück für Stück verfolgen, was Franz tat und Ida erlitt. Es gibt nichts Unbekanntes in der Gleichung. Bleibt nur aufzuzählen der Fortgang des Prozesses, der so eingeleitet war.²²

Hier erscheint die Formel direkt als Tropus, um die Eindeutigkeit des Geschehens zu beschreiben. Eine solche Eindeutigkeit der Zahlen wirkt oft auch unmenschlich, da wir uns im täglichen Leben auf die Unschärfe der Begriffe verlassen. Allerdings dürfen wir nach dem bisher Gesagten nicht vergessen, dass die Notwendigkeit und Determiniertheit des Geschehens keine Folge des Naturgesetzes ‚Kraft = Impulsstrom‘ ist, sondern nur aus der Konditionierung des Geschehens aus der vorherigen Festlegung der Freiheitsgrade folgt. Franz bleibt frei zu handeln trotz der Naturgesetzlichkeit des Geschehens.

Als Trope gewänne eine Formulierung wie *Quarks and Letters* eine neue Bedeutung: So wie *Wörter* nur der gestellte Teil des Gemeinten sind, sind *Teilchen* nur die Reduktion auf das Allernötigste, um das Geschehen zu beschreiben. So wie Literatur das in Worten mit Assoziierte zum Leben bringt, kann es auch das in der Reduktion auf Teilchen nicht Erfasste wieder vorscheinen lassen: das in den quantitativen Metaphern nicht Gemessene.

Die Farbe von Quarks hat nichts mit der Farbe der sichtbaren Dinge zu tun. Sie hat ihren Ursprung im metaphorischen Spiel mit der Farbmischung, d. h. mit der Überblendung von grünem, roten und blauen Licht, das weiß erscheint. Durch

²² Alfred Döblin: *Berlin Alexanderplatz* [1929]. Ottobrunn: Franklin, 1982. S. 84.

Messungen wurde festgestellt, dass jedes Proton aus *drei* verschieden farbgeladenen Quarks zusammengesetzt ist. Nach außen ist keine Farbwechselwirkung sichtbar, d. h. das Proton ist *farbneutral*, mit anderen Worten: *weiß*. Wir können also berechtigt sagen: *Proton ist weißer Quark*.

Bedeutet diese Metapher etwas für die Physik? Vielleicht sind Metaphern deswegen so wichtig als heuristisches Werkzeug, um neue Phänomene und Naturgesetze zu entdecken, weil der menschliche Erkenntnisprozess ein metaphorischer ist, der manchmal durch die Zahl ermöglicht und zugleich verborgen wird.

Literatur

- Aristoteles: *Poetik*. Übers. von Manfred Fuhrmann. München: Heimeran, 1976.
- Blumenberg, Hans: *Quellen, Ströme, Eisberge*. Berlin: Suhrkamp, 2012.
- Dijksterhuis, Eduard Jan: *Die Mechanisierung des Weltbildes*. Übers. von Helga Habicht. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1983 [Reprint der Ausgabe Berlin u. a. 1956].
- Döblin, Alfred: *Berlin Alexanderplatz* [1929]. Ottobrunn: Franklin, 1982.
- Einstein, Albert: Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig? In: *Annalen der Physik* 18 (1905). S. 639–641.
- Einstein, Albert: Zur Elektrodynamik bewegter Körper. In: *Annalen der Physik* 17 (1905). S. 891–921.
- Einstein, Albert: $E = mc^2$: the most urgent problem of our time. In: *Science Illustrated* 1 (April 1946). S. 16–17.
- Jones, Henry Bence (Hrsg.): *The Life and Letters of Faraday*. Bd. 2, London, Longmans, Green, and Co., 1870.
- Lakoff, George, und Raphael Núñez: *Where Mathematics Comes From: How the Embodied Mind Brings Mathematics into Being*. New York: Basic Books, 2000.
- Lehr, Thomas: *Größenwahn passt in die kleinste Hütte. Kurze Prozesse*. München: Hanser, 2012.
- Newton, Isaac: *Optik oder Abhandlung über Spiegelungen, Brechungen, Beugungen und Farben des Lichts*. Übers. und hrsg. von William Abendroth. Thun, Frankfurt a. M.: Harri Deutsch, 1996 [Reprint der Ausgabe Leipzig 1898].
- Nietzsche, Friedrich: *Über Wahrheit und Lüge im außermoralischen Sinn*, In: ders.: *Werke. Kritische Gesamtausgabe*. Dritte Abteilung, Zweiter Bd.: Nachgelassene Schriften 1870–1873. Hrsg. von Giorgio Colli und Mazzino Montinari. Berlin: De Gruyter, 1973. S. 369–384.
- Planck, Max: Zur Dynamik bewegter Systeme. In: *Sitzungsberichte der Königlich-Preussischen Akademie der Wissenschaften* 29.1 (1907). S. 542–570.
- Siemens, Wilhelm: Address by the President. In: *Report of the Fifty-Second Meeting of the British Association for the Advancement of Science*. John Murray: London, 1883. S. 1–33.
- Unamuno, Miguel de: Wörter und Zahlen. In: *Lob des Fünfecks. Mathematisch angehauchte Gedichte*. Hrsg. von Alfred Schreiber. Norderstedt: Books on Demand GmbH, 2008. S. 8.
- Wigner, Eugene: The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences. In: *Communications in Pure and Applied Mathematics* 13 (1960). S. 1–14.

