

Thomas Posch

## Hegels Kritik am Newtonschen Kraftbegriff und seine Verteidigung Keplers

Der gegenwärtige Vortrag zerfällt in drei Teile: zuerst möchte ich einige Worte über den problematischen Ruf der Hegelschen Naturphilosophie sagen; im zweiten Abschnitt gehe ich kurz auf die Grundlegung der Himmelsmechanik durch Kepler und Newton ein; erst im dritten Abschnitt komme ich schließlich auf Hegels Kritik an der „mathematischen Physik Newtons zu sprechen.

### 1. Einleitung: Der problematische Ruf der Hegelschen Naturphilosophie

Die Naturphilosophie war schon zu Hegels Zeit eine Disziplin, gegen die in der Gelehrtenwelt zahlreiche Vorurteile herrschten. Hegel selbst war mit diesen Vorurteilen bestens vertraut, wie wir etwa aus folgender Passage seiner *Enzyklopädie* schließen können:

„Man kann vielleicht sagen, daß zu unserer Zeit die Philosophie sich keiner besonderen Gunst und Zuneigung zu erfreuen habe [...] Aber soviel läßt sich wohl ohne Bedenken als richtig annehmen, daß die *Naturphilosophie* insbesondere unter einer bedeutenden Abgunst liege.“<sup>1</sup>

Die Absicht Hegels war es ohne Zweifel, eine Naturphilosophie auszuarbeiten, die eben *nicht* ein „äußerlicher Formalismus“ und *nicht* ein „Instrument für die Oberflächlichkeit des Denkens“ sei, wie es von ihm der Schellingschen Naturphilosophie vorgeworfen worden war.

Doch der Großteil der Philosophen und Naturwissenschaftler erkannte gar keine wesentliche Differenz zwischen der Schellingschen und der Hegelschen Version einer Philosophie der Natur. Betrachten wir zum Beispiel Be-

---

1 G.W.F. Hegel, *Enzyklopädie der philosophischen Wissenschaften im Grundrisse*, Zweiter Teil. Die Naturphilosophie. In: G.W.F. Hegel, *Werke*, Hrsg. E. Moldenhauer und K.M. Michel, Bd. 9. Frankfurt am Main 1986, S. 9.

nedetto Croce. Dieser setzte in seinem „Saggio sullo Hegel“ die Hegelsche der Schellingschen Methode der Naturphilosophie praktisch gleich:

„[...] anche la filosofia della natura di Hegel non può svolgersi se non per mezzo dell' *analogia*, sol che in essa l' *analogia* è quella delle forme del concetto, e vi si parla di giudizio, di sillogismo, di opposti dialettici.”<sup>2</sup>

Allgemeiner kann man folgendes feststellen: jegliche Philosophie der Natur, die im deutschen Idealismus ihren Ursprung hatte, wurde im Rahmen der Hauptströmungen der Philosophie des 19. (und 20.) Jahrhunderts als eine Verirrung des menschlichen Geistes angesehen. Als eine Verirrung nämlich deshalb, weil es sich – so die vorwaltende Meinung – bei den idealistischen Naturphilosophien sämtlich um Ansätze handle, die den Ergebnissen der empirischen Wissenschaften widersprächen. Eine merkwürdige Episode trug dazu bei, diese Meinung zu etablieren.

In seiner *Dissertatio Philosophica de Orbitis Planetarum* hatte Hegel geschrieben, es sei nicht notwendig, die Existenz eines Planeten zwischen Mars und Jupiter anzunehmen, *wenn* die Zahlenreihe aus Platons *Timaios* die Abstände zwischen den Planeten annähernd richtig wiederspiegle, und *wenn weiters* die von Titius und Bode aufgestellte Reihe falsch wäre.

Unglücklicherweise begab es sich nun, dass gerade in dem Jahr, als Hegels *Dissertatio [...] de Orbitis* veröffentlicht wurde – 1801 – der Zwergplanet Ceres zwischen Mars und Jupiter entdeckt wurde. Wenig später wurden bekanntlich weitere Kleinplaneten im selben Bereich unseres Sonnensystems gefunden. Die Gelehrtenwelt – und besonders der deutsche Astronom Baron von Zach – reagierten mit scharfen Polemiken gegen Hegel und Schelling. Teils ohne die Hegelsche *Dissertatio [...] de Orbitis* wirklich gelesen zu haben, behaupteten von Zach und andere, Hegel habe *a priori* die Existenz eines jeglichen Himmelskörpers zwischen Mars und Jupiter ausschließen und ebenso *a priori* die Zahl der Planeten unseres Sonnensystems deduzieren wollen. Vor rund 17 Jahren hat sich Dieter B. Herrmann das Verdienst erworben, in einem breitenwirksamen Artikel in der Zeitschrift *Sterne und Welt-raum* gezeigt zu haben, dass *diese* Vorwürfe gegen Hegel gar nicht den Tatsachen entsprechen.<sup>3</sup> Und doch waren sie im Laufe des 20. Jahrhunderts – von Karl Popper und anderen – so häufig wiederholt worden, dass sie noch

2 B. Croce, *Saggio sullo Hegel*, seguito da altri scritti della filosofia (1907). Bari 1967, S. 111f.

3 Vgl. Dieter B. Herrmann *Hegels Dissertation und die Siebenzahl der Planeten. Kontroversen und Legenden um einen vermeintlichen Irrtum*. In: *Sterne und Weltraum* 31 (1992), S. 688–691.

heute gleichsam Allgemeingut sind, mit der Folge, dass nicht zuletzt aufgrund dieser Vorwürfe die Hegelsche Philosophie der Natur weithin als eine haltlose Konstruktion gilt. Freilich trug zu dieser weit verbreiteten negativen Einschätzung auch die Tatsache bei, dass Hegels Philosophie als ganze in einer sehr schwer verständlichen Sprache abgefasst ist.

Was einer der Schüler Hegels, Karl Rosenkranz, schon 1868 festgestellt hatte: dass nämlich die negativen Vorurteile gegen Hegels Philosophie sich in keinem Punkte stärker festgesetzt hätten als in Bezug auf die Naturphilosophie, das trifft heute – trotz verdienstvoller Arbeiten wie jener D.B. Herrmanns – nach wie vor zu.<sup>4</sup>

Ich schildere diese Situation gleichsam nur als historischen Hintergrund, den man bei jeglicher Anknüpfung an Teile der Hegelschen Naturphilosophie im Kopf haben sollte, auch und gerade dann, wenn man so wie ich der Überzeugung ist, dass diese Philosophie weit besser ist als ihr Ruf. Um meine grobe Skizze des gleichsam düsteren Hintergrundes, vor dem jede Anknüpfung an Hegels Philosophie der Natur heute steht, zu vervollständigen, möchte ich noch einen frühen englischen Hegelianer – den heute kaum mehr bekannten James Hutchison Stirling (1820–1909) – zitieren. Dieser schilderte wortgewandt den Eindruck, welchen Hegels Philosophie infolge ihres Stils fast zwangsläufig auf den unbefangenen Leser mache:

„I have before me not an active, sensible, intelligent man, with his wits about him, looking at *the thing* in a business-like manner, and treating it so on the common stage of education and intelligence as it is now, but an out-of-the-way sort of body, [...] who, in pure ignorance, non-knowledge, non-education, non-intelligence, simply impregnates a mist of his own with confused figures of his own, that have no earthly application to the business in hand [...]. That any reputable persons of the usual education and position, should be caught with such self-evident, [...] muddle-headed nonsense, fills me with [...] surprise, regret, sorrow [...].“<sup>5</sup>

Indem Stirling diese (ironischen!) Zeilen schrieb, konnte er sich auf eine durchaus auch in England schon real bestehende Situation der Kritik an Hegel beziehen. In England hatte Hegels Kritik an Newton – auf die ich noch ein-

---

4 K. Rosenkranz, Hegel's Naturphilosophie und die Bearbeitung derselben durch den italienischen Philosophen Augusto Vera. Berlin (Nicolai) 1868, Nachdruck Hildesheim 1979, S. 13.

5 J.H. Stirling, Lectures on the Philosophy of Law. Together with Whewell and Hegel, and Hegel and Mr W.R. Smith, A Vindication in a Physico-mathematical Regard. London 1873, S. 70.

gehen werde – naturgemäß schon im 19. Jahrhundert einige Wogen hochgehen lassen. So etwa hatte der Wissenschaftshistoriker und Physiker William Whewell (1794–1866) zu beweisen versucht, dass Hegels Newton-Kritik ungerechtfertigt und das Resultat einer mangelhaften wissenschaftlichen Bildung sei.

Stirling suchte hingegen zu zeigen,

1. dass Hegel nicht die Physik durch Philosophie ersetzen wollte;
2. dass Hegel in seiner Behauptung, es gebe Inkonsistenzen in Newtons Gebrauch des Konzepts der Zentrifugalkraft, Recht gehabt habe.<sup>6</sup>

Auf den zweiten Punkt – betreffend die Zentrifugalkraft – komme ich demnächst zurück.

## 2. Kepler versus Newton

Bevor ich auf den Hegelschen Blick auf Keplers Gesetze der Planetenbewegung und Newtons Konzeption von Kraftgesetzen eingehe, soll zuerst kurz der Wortlaut und Gehalt jener Gesetze in Erinnerung gerufen werden.

### I. Kepler

Vor genau 400 Jahren, nämlich 1609, erschien Keplers *Astronomia Nova*, welche die ersten beiden Keplerschen Gesetze enthält. Diese lauten in heutiger Formulierung:

*Erstes Keplersches Gesetz:*

„Die Bahnen der Planeten um die Sonne sind Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.“

*Zweites Keplersches Gesetz: (Flächensatz):*

„Der Vektor Sonne – Planet überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen.“

Erst mit der wesentlich späteren Publikation der „*Weltharmonik*“ kam das dritte Keplersche Gesetz ans Licht der Welt:

*Drittes Keplersches Gesetz:*

„Die Quadrate der Umlaufzeiten der Planeten um die Sonne verhalten sich zueinander wie die Kuben der jeweiligen großen Bahnhalfachsen.“

Nach einer Gesetzmäßigkeit für den mittleren Abstand der Planeten von der Sonne hatte Kepler bekanntlich fast sein ganzes Forscherleben lang gesucht.<sup>7</sup> Schon in seinem ersten Buch, dem „*Mysterium cosmographicum*“

6 Vgl. Cinzia Ferrini, *Il giovane Hegel critico di Newton. Intersezioni*, Anno XVII, n. 3, Dic. 1997, S. 398.

(1596), hatte er bekanntlich Vorstöße in diese Richtung unternommen, die aber, weil nur auf den räumlichen Aspekt (Platonische Körper!), nicht auf das raumzeitliche Ganze der Planetenbahnen bezogen, im wesentlichen erfolglos blieben.

Wichtig für das Folgende ist die Feststellung, dass die Keplerschen Gesetze ohne den Begriff einer (gravitativen) „Kraft“ auskommen. Dieser Umstand bleibt auch dann erwähnenswert, wenn wir in Keplers Schriften an verschiedenen Stellen sehr wohl Spekulationen über eine „magnetische oder seelische“ Kraft finden – eine Kraft, die der Sonne inhärent sei und die Bewegung der Planeten antreibe (jedenfalls die Bewegungen längs der Ekliptikebene). Kepler spricht in seiner „Astronomia nova“ auch von einer Schwere oder wechselseitigen Anziehungskraft zwischen Erde und Mond („tellurem quoque, et Lunam vi gravitatis in sese niti mutuo“<sup>8</sup>) und stellt darüber hinaus Axiome zu einer „wahren Lehre über die Schwere“ auf.<sup>9</sup> Dennoch gehen diese Keplerschen Überlegungen zu einer im ganzen Sonnensystem wirkenden Schwerkraft nicht in die explizite Formulierung seiner Gesetze der Planetenbewegung ein. Anders ist es bei Newton, wie ich gleich zeigen werde.

## II. Newton

Newton, der 12 Jahre nach dem Tod Keplers geboren wurde, veröffentlichte 1687 seine *Mathematischen Prinzipien der Naturphilosophie*. Schon im Vorwort zu diesem Buch erklärt Newton, dass die Suche nach den Kräften, die die natürlichen Bewegungen und natürlichen Prozesse beherrschen, die Hauptaufgabe der Naturwissenschaft sei. (Genauer gesagt spricht Newton von der Suche nach den Kräften als zentraler Aufgabe der „Philosophie“; allerdings hat der Begriff „Philosophie“ in diesem Zusammenhang etwa dieselbe Bedeutung wie der Begriff „Naturwissenschaft“. Noch heute gibt es ja in Cambridge einen Lehrstuhl für Astronomie unter dem Namen „Lehrstuhl für

- 
- 7 Vgl. G.W.F. Hegel, Vorlesung über Naturphilosophie Berlin 1821/22, Nachschrift von Boris von Uexküll, hg. von Gilles Marmasse und Thomas Posch. Frankfurt am Main u.a. 2002, S. 62: „An diesem Gesetz hat Kepler 27 Jahre gesucht, der große Glaube, daß Vernunft in der Bewegung der himmlischen Körper sein müsse, hat ihn nicht verlassen, und durch diese Treue ist er zu diesem Gesetz gekommen.“ (im Folgenden zitiert als: Hegel, Uexküll-Nachschrift).
- 8 Johannes Kepler, *Astronomia nova*, 1609, Einleitung (zitiert nach Cinzia Ferrini, Guida al De Orbitis, Bern et al. 1995, S. 83).
- 9 Johannes Kepler, *Astronomia Nova*. Übersetzt von Max Caspar. Durchgesehen und ergänzt sowie mit Glossar und einer Einleitung versehen von Fritz Krafft. Wiesbaden 2005, S. 28ff. – Vgl. MacLaurin, *An Account of Sir Isaac Newton's Philosophical Discoveries*. London 1748, p.52: „In his preface to the commentaries concerning the planet Mars, he speaks of gravity as of a power that was mutual betwixt bodies“.

experimentelle Philosophie". In diesem Falle hat sich die Synonymie von (,experimenteller') Philosophie und Naturwissenschaft bis heute erhalten.)

Ich gebe im Folgenden – nach der englischen Übersetzung – Newtons Worte über die zentrale Rolle der Kräfte in der Naturwissenschaft bzw. Naturphilosophie wieder, wie sie im *Vorwort* zur ersten Ausgabe der *Mathematischen Prinzipien der Naturphilosophie* artikuliert werden. Sie lauten:

„[A]ll the difficulty of philosophy seems to consist in this: from the phenomena of motions to investigate the forces of nature, and then from these forces to demonstrate the other phenomena [...] I am induced by many reasons to suspect that they may all depend upon certain forces by which the particles of bodies, by some causes hitherto unknown, are either mutually impelled towards each other, and cohere in regular figures, or are repelled and recede from each other; which forces being unknown, philosophers have hitherto attempted the search of nature in vain; but I hope the principles here laid down will afford some light either to this or some truer method of philosophy.“<sup>10</sup>

Dies ist das *Programm* der Newtonschen Mechanik. Die *spezielle Kraft*, die an späterer Stelle in den *Mathematischen Prinzipien der Naturphilosophie* eingeführt wird, ist bekanntlich die Gravitation. Auch wenn ich im gegenwärtigen Beitrag nur auf die Bewegung der Planeten abziele, scheint es mir wichtig zu betonen, dass der Newtonsche Kraftbegriff – wie er in den berühmten drei Newtonschen Axiomen zum Ausdruck kommt – als ein *allgemeiner Rahmen* für alle Kräfte konzipiert wurde, egal ob diese nun mechanischer, elektrischer, magnetischer oder anderer Art seien. Und in der Tat werden die Newtonschen Axiome ja auch in zahlreichen anderen Teildisziplinen der Physik angewandt.

Wenn wir nun aber zur genaueren Betrachtung der Newtonschen Beschreibung der Planetenbewegung fortschreiten, so finden wir ein – von Hegel gesehenes, heute aber kaum mehr bekanntes – Problem in Newtons Kraftbegriff.

Newtons Beschreibung der Planetenbewegung beruht einerseits auf dem universalen Gravitationsgesetz. Es lautet in heute üblicher Formulierung: „Jeglicher Körper im Universum zieht jeglichen anderen Körper mit einer Kraft an, die längs der Verbindungslinie der Schwerezentren der beiden Körper ausgerichtet ist und deren Stärke dem Produkt der Massen der beiden

10 I. Newton, *Philosophiae naturalis principia mathematica*, Preface.

Körper direkt sowie dem Quadrat ihrer gegenseitigen Entfernung indirekt proportional ist.“

Andererseits erachtet Newton selbst aber das universale Gravitationsgesetz nicht als hinreichend für die Beschreibung der Planetenbewegungen. Warum nicht? Das Gravitationsgesetz liefert im wesentlichen radiale Kraftkomponenten, die von den Planeten aus gesehen zur Sonne gerichtet sind. Newton führte aber noch eine zweite Kraftkomponente ein, die er für nötig hielt, um die Planetenbewegungen zu erklären: die sogenannte „Trägheitskraft“. Diese soll in tangentialer Richtung wirksam sein. Diese zweite angebliche Kraftkomponente hat in der Geschichte der Physik für ziemlich viel Verwirrung gesorgt und hat auch Hegels Kritik an Newton entscheidend mit motiviert.

Was Newton als „Trägheitskraft“ bezeichnet, ist die Tendenz eines jeden Körpers, im Speziellen eines jeden Planeten, seine Bahngeschwindigkeit – in Abwesenheit eines bremsenden Mediums – beizubehalten. Im Sinne der Definitionen, die Newton seinem Werk voranstellt, ist die sogenannte „Trägheitskraft“ eine „vis insita“, eine inhärierender Bewegungsimpuls, hingegen *nicht* eine Kraft im Sinne des zweiten Newtonschen Axioms ( $F = m \times a$ , Kraft = Masse mal Beschleunigung). Ja, man kann dies noch stärker formulieren: der von Newton noch verwendete Begriff einer „vis insita“ *widerspricht* geradezu den beiden ersten Newtonschen Axiomen.<sup>11</sup> Die sogenannte vis insita ist ein in der Regel tangentialer *Impuls*; eine Kraft hingegen ist, gemäß den beiden ersten Newtonschen Axiomen, eine zeitliche Änderung des Impulses ( $F = dp/dt$ ). Die Fehlkonzeption der „vis insita“ als Kraft (nicht bloß als Impuls) im Werk Newtons hat freilich historisch verständliche Gründe: die „vis insita“ ist ein Überrest der mittelalterlichen Theorie des Impulses als einer Körpern inhärierenden Bewegungskraft.<sup>12</sup>

Die Verwirrung, welche durch die Anwendung des Newtonschen Kräfteparallelogramms auf die Planetenbewegung entstand, blieb nicht auf das Problem der „vis insita“ beschränkt. Im Gefolge Newtons unterlief es manchen Physikern, diese Verwirrung noch zu vergrößern, indem sie die Trägheitskraft oder vis insita als Zentrifugalkraft bezeichneten – während wir heute gewöhnt sind, die Zentrifugalkraft nicht tangential, sondern radial nach außen

11 Cf. K.-N. Ihmig, Hegels Deutung der Gravitation. Frankfurt am Main 1989, S. 46: „[...] die Annahme einer Trägheitskraft resp. ‚vis insita‘ sowie die Konstruktion des Kräfteparallelogramms, die eine gleichförmige Bewegung auf die Wirkung einer Kraft zurückführt, steht natürlich im Widerspruch zu den ersten beiden Axiomen der Bewegung.“

12 Ebd., S. 43.

gerichtet und überdies als eine „Scheinkraft“ zu konzipieren. Zu den Autoren, die die (tangente) Trägheitskraft als Zentrifugalkraft bezeichneten, gehörten Pierre Simon de Laplace in Frankreich und Benjamin Martin in Deutschland.

### 3. Die Hegelsche Kritik an Newtons Mechanik

Ein Teil der Hegelschen Kritik an Newtons Kraftbegriff bezieht sich auf das unübersichtliche Gewirr von Kräften, die bei und nach Newton für die Beschreibung der Planetenbewegung nötig sein sollten. Hegel bemerkt jedoch, dass zu seinen Lebzeiten jenes unübersichtliche Gewirr schon im Begriff war, entwirrt zu werden. Er bemerkte dementsprechend in seiner Vorlesung über Naturphilosophie aus dem Jahre 1821/22:

„Newton hat dann die Ansicht aufgestellt, dass diese Linien verschiedenen Kräften angehören, und so ist die Vorstellung von einer besonderen Attraktiv- und von einer besonderen Repulsivkraft entstanden. Betrachtet man die Formen in den neuesten mathematischen Darstellungen, so findet man bald, dass die Vorstellung der einen dieser Kräfte nach und nach ganz verschwunden ist.“<sup>13</sup>

Doch allein die Revision der Rolle der Trägheitskraft in der Beschreibung der Planetenbewegung genügte Hegel nicht. Hegel hatte grundlegendere Einwände, die ihn sogar zu dem Ausspruch verleiteten, der Ruhm Newtons habe den Ruhm Keplers verdunkelt.<sup>14</sup> Wie kommt der Autor der *Enzyklopädie der philosophischen Wissenschaften* zu einem so scharfen Urteil? Einer seiner Grundeinwände gegen Newtons Kräftelehre ist:

*a. Die von Newton eingeführten Kräfte sind gar nicht nötig, um Bewegungen zu erklären oder zu beschreiben. Deren Einführung stellt eigentlich keinen wissenschaftlichen Fortschritt dar.*

In der schon erwähnten Vorlesung über Naturphilosophie aus den Jahren 1821/22 schreibt Hegel:

---

13 Hegel, Uexküll-Nachschrift, S. 45: „Newton hat dann die Ansicht aufgestellt, daß diese Linien verschiedenen Kräften angehören, und so ist die Vorstellung von einer besonderen Attraktiv- und von einer besonderen Repulsivkraft entstanden. Betrachtet man die Formen in den neuesten mathematischen Darstellungen, so findet man bald, daß die Vorstellung der einen dieser Kräfte nach und nach ganz verschwunden ist...“.

„In der sogenannten physikalischen Astronomie, die durch Newton ihre Gestalt erhalten hat, sind es Zentralkräfte, welche das Bestimmende ausmachen. Diese Zentralkräfte werden vorgestellt als Zentrifugal- und Zentripetalkräfte“ (§ 201 Anmerkung).

14 Vgl. Hegel, Uexküll-Nachschrift, Uexküll, Ms S. 62.



„In der mathematischen Konstruktion der Mechanik hat man mancherlei Linien notwendig, *allein diese hat man nicht für etwas Physikalisch-Reelles zu betrachten*. Newton [ge]braucht den Namen Kräfte, ungeachtet seiner öfteren Protestationen, daß hiemit nur mathematische Bestimmungen gemeint seien.“<sup>15</sup>

In einer späteren Vorlesung (vom Wintersemester 1825/26) heißt es in ähnlichem Sinne:

„Wenn nichts physikalisch bestimmt werden soll, so wäre der Ausdruck ‚Kraft‘ ganz wegzulassen.“<sup>16</sup>

Der Hegelianer Augusto Vera drückte dasselbe so aus:

„Newton versichert, man könne ohne Weiteres die Wirkungen und den *modus operandi* einer Kraft kennen, ohne etwas über das Wesen jener Kraft zu wissen [...] Newton überlässt anderen die Aufgabe, die Ursache oder den inneren Grund der Gravitationskraft zu erforschen. Er äußert sich auch nicht darüber, wie die genaue Wirkungsweise jener Kraft sei, ob sie etwa in der Weise infinitesimal kleiner Kraftstöße agiere oder auf irgendeine andere Weise. Er versichert uns nur, daß jene Kraft existiere...“<sup>17</sup>

Sowohl Hegel als auch Vera erkannten klar das folgende Grundproblem in Newtons Physik: Einerseits erklärt Newton, nicht die Absicht zu haben, eine *physische Erklärung* der Phänomene zu entwickeln, vielmehr die Kräfte nur als mathematische Hilfsbegriffe einzuführen – sodass sich über eine „Natur“ oder ein „Wesen“ jener Kräfte nicht sinnvoll sprechen lasse. Andererseits sind es gerade die Kräfte – etwa die Zentripetalkraft –, die Newton und seine Anhänger als zentrale Errungenschaft der *Mathematischen Prinzipien der Naturphilosophie* ausgeben. Hegels Vorschlag zur Auflösung dieses Widerspruchs lautet: Wenn es nicht um einen erklärenden Zugang zu den Naturerscheinungen geht, vielmehr nur um eine möglichst elegante Beschreibung und Berechnung derselben, dann sei es wohl das Beste, die Kräfte ganz aus dem Spiel zu lassen. Wie wir noch sehen werden, ist dieser Vorschlag des Philosophen Hegel auch unabhängig von ihm innerhalb der Physik gemacht worden.

---

15 Hegel, Uexküll-Nachschrift, S. 58, Hervorhebung hinzugefügt.

16 G.W.F. Hegel, Vorlesungen über Naturphilosophie Berlin 1825/26. Nachschrift von H.W. Dove. Hrsg. von K. Bal, G. Marmasse, Th. Posch und K. Vieweg. Hamburg 2007, S. 68.

17 Philosophie de la Nature de Hegel. Traduite pour la première fois et accompagnée d'une introduction et d'un commentaire perpétuel [von A. Vera], 3 Bde. Paris 1863–65. Nachdruck Brüssel 1969, 1. Bd., Introduction, S. 66/67.

*b. Das Verhältnis zwischen dem 3. Keplerschen Gesetz und Newtons Gravitationsgesetz: letztere fügt nach Hegel dem ersteren nichts Wesentliches hinzu.*

Für diese These argumentiert Hegel folgendermaßen:

Das 3. Keplersche Gesetz:

$$A^3/T^2 = a^3/t^2$$

kann ja offenbar auch so geschrieben werden:

$$A^2 \cdot A/T^2 = a^2 \cdot a/t^2.$$

Dies ist aber dann weiters äquivalent zu:

$$A/T^2 : a/t^2 = a^2/A^2$$

Und so scheint es in der Tat, dass der wesentliche Gehalt des Newtonschen Gravitationsgesetzes – die  $1/r^2$ -Abhängigkeit der Schwerebeschleunigung – aus dem 3. Keplerschen Gesetz ableitbar sei.

Das Problem bei dieser „Ableitung“ ist allerdings, dass noch eigens bewiesen werden müsste, dass man den Quotienten  $A/T^2$  als Schwerebeschleunigung interpretieren kann.

Dies ist nicht so selbstverständlich, wie Hegel meint, da doch „A“ die mittlere Entfernung Sonne – Planet ist und „T“ die Umlaufperiode. Also ist die Größe „A“ nicht unmittelbar mit einer infinitesimalen Fallstrecke und „T“ nicht unmittelbar mit einer infinitesimalen Fallzeit gleichzusetzen. Und eben daher bedürfte es, wie gesagt, erst des Beweises, dass  $A/T^2$  die mittlere Beschleunigung eines Planeten sei. Der Beweis dafür wird von Newton auch geliefert, jedoch noch nicht von Kepler.

### **Schlussfolgerungen**

Wenn wir summarisch Hegels Kritik an Newtons Mechanik betrachten, so können wir erstens feststellen, dass seine Polemik gegen den Gebrauch des Zentrifugalkraft-Begriffs durchaus legitim ist; sie ist es abgesehen von den angeführten Gründen auch deswegen, weil die Entwicklung der theoretischen Physik im 19. Jahrhundert zu ähnlichen Kritiken des Newtonschen Kraftbegriffs führte, so etwa bei Heinrich Hertz, der die Kräfte „leergehende Räder“ in der Klassischen Mechanik nannte.

Wenn Newton, statt von Kräften zu sprechen und diesen soviel Gewicht beizulegen, von lokalen Beschleunigungen gesprochen hätte, so hätte meines Erachtens auch Hegel dem etwas abgewinnen und darin einen Fortschritt gegenüber Kepler sehen können. Merkwürdigerweise sind es gerade infinitesimale Beschleunigungen, die auch in der Allgemeinen Relativitätstheorie von

grundlegender Bedeutung bleiben, während sich dies von den Kräften nicht in gleicher Weise sagen lässt. Mindestens zwei bedeutende Physiker – Heinrich Hertz und Albert Einstein – die beide wohl so gut wie nichts von Hegels Philosophie der Natur wussten – haben auf je unterschiedliche Weise eine Mechanik „ohne Newtonsche Kräfte“ ausgearbeitet, so wie sie Hegel vorschwebte.

Das was meines Erachtens auch heute noch von Hegels Polemik gegen Newton gültig bleibt ist die darin zum Ausdruck gebrachte Forderung nach einer „nüchternen“ Physik (das heißt nach einer Physik, die darauf verzichtet, im strengen Sinne kausale Erklärungen der natürlichen Bewegungen geben zu wollen.) Auch wenn die *opinio communis* dahin geht, Newton sei der antimetaphysische Wissenschaftler und Hegel sei der große Metaphysiker, so zeigt doch ein Studium der Originaltexte, dass Hegels Vorstellung von Physik nüchterner war als die Newtonsche. Denn Newton glaubte wenigstens in einem gewissen Sinne, eine *kausale Erklärung* der Naturvorgänge liefern zu sollen. Die Kräfte galten ihm als die *realen Ursachen* der Bewegungen. Es überrascht daher nicht, dass einige Wissenschaftshistoriker folgende Formel prägten: Kepler habe erkannt, *wie* sich die Planeten um die Sonne bewegten, Newton aber darüber hinaus erkannt, *warum* sie dies tun. In dieser Perspektive wäre die Leistung Keplers die Auffindung *phänomenologischer* Gesetze der Planetenbewegung gewesen; die Leistung Newtons dagegen die Auffindung *kausaler* Gesetze der Planetenbewegung. Und diese letzteren, kausalen Gesetze erscheinen weiters als höherwertig denn die phänomenologischen.

Auch Hegel sagt, Newton habe „die Kraftgesetze an die Stelle der Gesetze der Phänomene gestellt“. Doch nach Hegel war dies, wie wir sahen, eben *kein* echter Fortschritt (oder nicht in jeder Hinsicht ein Fortschritt), und die Aufgabe der Physik besteht für ihn *nicht* darin, „kausale“ anstelle von phänomenologischen Gesetzen zu finden. Vielmehr erscheint dieser Anspruch aus Hegelscher Perspektive als ein illegitimer. Dies ist nicht gleichbedeutend mit der Behauptung, das Gravitationsgesetz sei falsch. Der Punkt ist vielmehr, dass dieses Gesetz einen Begriff – den Begriff der *Kraft* – benötigt, der keine wirkliche „Erklärung“ der Phänomene liefert, weil er mehr Fragen aufwirft als er beantwortet. So etwa bleibt die Frage nach der Natur der Kraft und nach der Beziehung der verschiedenen Kräfte (Zentripetalkraft, Trägheitskraft, Zentrifugalkraft, Schwerkraft) offen. Diese Fragen stellen sich in Bezug auf die Keplerschen Gesetze nicht. Insofern sind die Keplerschen Gesetze, wie Hegel erkannte, erkenntnistheoretisch weniger problematisch als Newtons Kräftelehre und das darauf aufbauende Gravitationsgesetz.