

# Lebendige Kraft wird Energie

## LEIBNIZ' BEITRAG ZUR KINETIK

Leibniz betrat mit seinen Gedankenexperimenten zu dem, was wir heute potenzielle und kinetische Energie nennen, physikalisch-philosophisches Neuland. Ein Wissenschaftler aus der Experimentalphysik zeigt die Bedeutung von Leibniz' Erkenntnissen und ordnet sie in den wissenschaftshistorischen Zusammenhang ein.

Gottfried Wilhelm Leibniz wurde 1646 in eine wissenschaftliche Welt hinein geboren, in der Galileo Galilei die Fragen der Naturwissenschaft auf die beschreibende Frage nach dem Wie gegenüber der philosophischen nach dem Warum abgegrenzt hatte, Descartes gerade die Hypothese, dass alle Naturvorgänge mit einer mechanistischen Deutung erfassbar und erklärbar sein sollten, aufgestellt hatte, und eine intensive Suche nach der richtigen mathematischen Beschreibung für die Naturvorgänge im vollen Gange war. Leibniz hat erst durch seine Reise nach Paris 1672, eigentlich in einer diplomatischen Mission, und durch einen kurzen Besuch in London Anfang 1673 tiefere Kenntnis über die neuesten mathematischen und physikalischen Entwicklungen und Kontakt zu führenden Wissenschaftlern wie etwa mit Christiaan Huygens, erhalten.

Huygens, der Leibniz als Autodidakten erkannte, hat ihm Schriften führender Wissenschaftler zum Studium empfohlen, und Leibniz hat die Gelegenheit der königlichen Bibliothek in Paris für eifrigste Studien genutzt, um seine Lücken aus der bisher etwas isolierten Situation in Bezug auf Wissenschaft in Leipzig und später in Mainz zu schließen.

Sehr schnell wird Leibniz während seines Aufenthalts in Paris zu einem anerkannten Mathematiker und auch bald

nach Vorstellung eines vorläufigen Modells seiner späteren Rechenmaschine Mitglied der Royal Society in London.

Seine Abreise aus Paris Ende Oktober 1676 führte ihn mit einem Umweg über London nach Hannover in die Dienste von Herzog Johann Friedrich. Physikalische Ansätze hatte Leibniz zwar schon früher verfolgt, sie eher in Bezug zu metaphysischen Begründungen gestellt, aber noch wenig mathematisch formuliert.

Da zu dieser Zeit die Atomistik zur Beschreibung der Materie wieder Bedeutung erlangte, wurde das Verständnis des Stoßes zweier elementarer Teilchen »Atome« von fundamentaler Bedeutung.

Huygens hatte dazu 1669 der Royal Society in London eine Abhandlung vorgelegt, die aus heutigem Verständnis den elastischen Stoß richtig beschreibt, indem zwei Erhaltungsgrößen, nämlich die Bewegungsgröße – heute: Impuls – und die Summe über die Produkte von Masse und Quadrat der Geschwindigkeiten der stoßenden Teilchen – heute: kinetische Energie – von ihm benutzt werden. In der noch im gleichen Jahr verfassten Abhandlung zu diesen Stoßgesetzen nennt Leibniz diese als reine sinnliche Erfahrungen und nicht streng logisch bewiesen.

Leibniz lehnt eine Mathematisierung von natürlichen Phänomenen wie hier der Be-

obachtung eines Stoßes ab und sucht nach einer Umformung der Physik in eine reine, mathematische Wissenschaft mit Definitionen und Axiomen, aus denen alles streng ableitbar sein sollte. In seinen frühen Jahren ist Leibniz in seinem Ansatz zur Physik sehr nahe bei Descartes' Beschreibung, für den Körper die Eigenschaft Form und Ausdehnung haben. Von Leibniz kommt nun die Eigenschaft lebendige Kraft hinzu und tritt in den Vordergrund.

Trotz der Pflichten, die Leibniz als Berater des Herzogs in Hannover hatte, fand er Freiraum, sich weiter mit mathematischen und physikalischen Problemen auseinander zu setzen, und pflegte intensive Korrespondenz mit den Gelehrten, zu denen er in seiner Pariser Zeit Kontakt geknüpft hatte.

Von 1678 an entwickelte er in Manuskripten seinen Begriff der Kraft als Vermögen der Bewegung. Die Newtonsche Mechanik, publiziert 1687, und der darin enthaltene Kraftbegriff sind noch nicht bekannt.

Die Kraft, die der Bewegung zugeordnet ist, ist nach Leibniz eine Eigenschaft des Körpers, wird von ihm als »lebendige Kraft« bezeichnet, und er sucht nach einem Maß dieser Kraft, das aus Masse und Geschwindigkeit gebildet werden müsste.

In einer 1686 publizierten Abhandlung setzt er sich

scharf von Descartes und seinen Nachfolgern ab, die nach seinem Verständnis Kraft mit der Bewegungsgröße Masse mal Geschwindigkeit – heute Impuls – gleichgesetzt hatten, und entwickelt in einem Gedankenexperiment sein Kraft-

Kraft nennt. Da sein Kraftbegriff und das gesuchte Maß mit dem insgesamt erzielbaren Effekt gleich zu setzen ist, wird die tote Kraft bei Verdopplung der Höhe für den gleichen Körper auch verdoppelt sein.



maß als Masse mal Quadrat der Geschwindigkeit  $m \cdot v^2$ . Gemeinsam war beiden Denkansätzen, dass sie von der Erhaltung der Summe der bewegendem Kräfte als einer logischen Notwendigkeit ausgingen.

Für sein Gedankenexperiment beginnt er mit der Vorstellung, dass ein Körper, der von einer bestimmten Höhe herabfällt, die Kraft erlangt, um ebenso hoch wieder steigen zu können. In einer Höhe  $h$  hat ein Körper das Vermögen zu einer lebendigen Kraft, also nach Leibniz eine Kraft, die er tote

Aus dem Ansatz gleichen Effekts folgt für Leibniz logisch auch, dass wenn man vier gleiche Körper auf die gleiche Höhe bringt, man eine viermal so große tote Kraft in dem Gesamtkörper hat. Oder anders geteilt, wenn ein einzelner Körper viermal so hoch gesetzt ist, dieser eine gleiche tote Kraft beinhaltet wie die vier Bausteine auf der einfachen Höhe zusammen.

Dieses Prinzip des Kräftegleichgewichtes ist bei den damals betrachteten einfachen Maschinen wie Hebel und Flaschenzug als fundamental gültig anerkannt worden.

Damit hat Leibniz zwei Ausgangssituation mit gleichen toten Kräften konstruiert; lässt man nun den einzelnen Körper und die vier Körper zusammen fallen, dann müssen sie schließlich am Boden die gleiche lebendige Kraft haben.

Aus den Fallgesetzen von Galilei ist aber bekannt, dass der Körper aus der größeren Höhe die doppelte Geschwindigkeit besitzt. Würde man das Kraftmaß als Produkt von Masse und Geschwindigkeit wie nach der Schule Descartes' ansetzen, so hätten beide Körper eine unterschiedliche Kraft, nämlich der aus größerer Höhe nur halb soviel wie der andere, im Widerspruch zum Prinzip von der Erhaltung der Kraft.

Wählt man als Kraftmaß jedoch das Produkt von Masse mal Quadrat der Geschwindigkeit, so erhält man die vom Prinzip geforderte Gleichheit. Deswegen erhält bei Leibniz das Kraftmaß die Formel  $m \cdot v^2$ .

Hat Leibniz nun etwas Neues geschaffen, wenn man bedenkt, dass doch Huygens in den Stoßgesetzen schon die Erhaltung der Summe aus  $m \cdot v^2$  erschlossen hat?

Für Leibniz ist die Antwort unzweifelbar ja, da Huygens nur eine Erfahrung mathematisch formuliert hat und Leibniz sein Kraftmaß aus einem Prinzip abgeleitet hat.

Aber es gibt auch einen aus heutiger Sicht wesentlichen Unterschied. Bei Huygens' Betrachtung des Stoßes werden nur Bewegungen umgewandelt, und es wird der Anfangs- mit dem Endzustand verglichen. Was wirklich beim Stoß geschieht, ist für Huygens nicht von Belang, etwas, das Leibniz prinzipiell nicht akzeptieren kann. Leibniz' Gedankenexperiment schließt den gesamten Vorgang von toter zu lebendiger Kraft ein und gerade aus seinem entwickelten Infinitesimalkalkül ist ihm klar, dass er bei jeder kleinen Änderung in der Höhe oder in der Masse zu dem gleichen Kraftmaß kommt, also zu

*Mathematiker und wissenschaftlicher Impulsgeber für Leibniz: Christiaan Huygens  
Quelle: Herzog August Bibliothek Wolfenbüttel, A 10391*



Die schiere Menge des geschriebenen Wortes überwältigt: Leibniz hatte etwa 1.100 Korrespondenzpartner zwischen Paris und Peking, im Schnitt schrieb er jährlich 400 Briefe. Sein Nachlass umfasst 60.000 Abhandlungen, Aufzeichnungen, Exzerpte und Briefe.

einer universellen Größe der Physik.

In der heutigen Sprechweise hat Leibniz den Energiesatz der einfachen Punktmassenmechanik durch den Wechsel von toter zu lebendiger Kraft und umgekehrt beschrieben,

den wir heute formulieren, dass die Summe aus potenzieller und kinetischer Energie konstant bleibt. Dabei sind dann tote Kraft und potenzielle Energie beziehungsweise lebendige Kraft und kinetische Energie zueinander jeweils gleich.

Der physikalisch Gebildete wird sofort einwenden, dass bei der potenziellen Energie doch vom Gewicht und nicht der Masse auszugehen ist und bei der kinetischen Energie der Faktor  $\frac{1}{2}$  fehlt. Dies war in der damaligen Gelehrtenwelt von untergeordneter Bedeutung, da Proportionalitäten die Zusammenhänge darstellten und deswegen auch die sorgfältige Einheitenbetrachtung von physikalisch zu vergleichenden Größen nicht im Blick war.

Natürlich gab es damals schon hinreichend genaue Beobachtungen, dass der Körper nicht wieder auf die ursprüngliche Höhe steigt, wenn er als harter (elastischer) Körper auf eine harte Fläche fällt.

Entsprechend wurde von einem großen Kreis Gelehrter ein solches Erhaltungsprinzip abgelehnt. Es gäbe keine idealen harten Körper, und falls doch solche gefunden werden könnten, dann wäre das Prinzip von der Krafterhaltung bei Leibniz nur für den Spezialfall gültig, also allgemein eine Fiktion, die in der Wissenschaft nichts zu suchen habe. Man hielt es mit Newton und seiner Aussage: »Hypothesen erdenke ich nicht.«

Leibniz und andere Gelehrte machten den umgekehrten Ansatz. Wenn dieses Erhaltungsprinzip von universeller Gültigkeit ist, welche Folgerungen ergeben sich daraus? Der Körper verliert beim nicht harten (inelastischen oder nicht vollständig elastischen) Stoß scheinbar lebendige Kraft. Dann muss diese woanders auftauchen. Für Leibniz findet eine Umwandlung in lebendige Kraft der kleinsten Teilchen statt.

Das Problem, was lebendige Kraft der kleinsten Teilchen ist und wie man diese physikalisch beobachten kann, konnte Leibniz für die Physik nicht lösen. Bei solchen fundamentalen Problemen hängt der Standpunkt des Gelehrten von seiner weltanschaulich-

erkenntnistheoretischen Einstellung ab.

Leibniz ordnete dies in der Hierarchie seiner Monadenlehre, wodurch wieder zum Ausdruck kommt, die Naturwissenschaft nicht nur auf Erfahrungen zu stützen. Hingegen die andere Schule von Gelehrten lehnte alles, was auch nur in die Nähe von Hypothese kam, als nicht zur Wissenschaft gehörig ab.

Dieser erkenntnistheoretische Standpunkt, als Positivismus bezeichnet, wurde später im 19. Jahrhundert von Auguste Comte als höchste Stufe der Erkenntnis angesehen, wonach sich alles nur noch auf die erfahrbaren Tatsachen stützen dürfe, und hatte sich als erfolgreich durchgesetzt, besonders wenn man an die Newtonsche Mechanik denkt, die das Energieprinzip nicht benötigte.

Deswegen ging die Kenntnis zur Erhaltung der Kraft oder nach heutigem Begriff zur Erhaltung der Energie Anfang des 18. Jahrhunderts verloren; es fehlte für die Positivisten die Beobachtung der lebendigen Kraft der kleinsten Bausteine und die Beobachtung der kleinsten Bausteine überhaupt.

Die Weiterarbeit an diesem Problem konnte erst dann erfolgreich werden, nachdem man den inelastischen Stoß tiefer verstehen lernte. Dieses war im 18. Jahrhundert noch vollkommen undenkbar, da ja die Wärme als Stoff eingeordnet wurde. Wenn man sich auch einmal vorstellt, welche feine Beobachtung für das »Verschwinden« der lebendigen Kraft nach heutiger Kenntnis erforderlich gewesen wäre – durch die Reibung wird eine kleine Temperaturerhöhung lokal erreicht, die sich dann unmittelbar mit der Umgebung ausgleicht, also wie unter der Hand zerrinnt – wird klar, dass eine Beobachtung nicht möglich war und eine reine Deduktion kein Fundament hatte.

Zwei wesentliche Schritte mussten vollzogen werden: dass Wärme kein Stoff ist und dass Wärme Bewegung sein kann.

Wärme als Stoff musste wägbare sein oder mindestens sich aus einem Vorrat aufbrauchen. Da man keine Wägbarekeit des Wärmestoffs fand, wurde er den Imponderabilien, den unwägbaren Stoffen wie auch der Lichtstoff, zugeordnet. Dass Wärme kein Stoff sein kann, konnte Graf von Rumford um 1798 durch wiederholte Bohrungen zeigen, da in denselben Kanonenrohren die Reibung jeweils bis zur Glut der Rohre führte, ohne dass sich der mögliche Wärmestoff darin verbrauchte.

Rumford meinte auch schon, dass das Ergebnis nahe lege, Wärme sei eine Form von Bewegung. Diese Erkenntnisse wurden aber zur Zeit Rumfords nicht anerkannt.

Erst die Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents durch Mayer und später durch Joule um die Mitte des 19. Jahrhunderts konnte schließlich zeigen, wie der Energiesatz von Leibniz vervollständigt werden muss.

Leibniz hat den Prozess der Umwandlung von toter zu lebendiger Kraft beschrieben, nicht in unserem Verständnis quantitativ, sondern durch die richtigen Proportionen.

Durch die Experimente von Mayer und Joule konnte die Umwandlung mechanischer Energie in Wärmeenergie gezeigt und der Energiesatz durch die Summe aller beteiligten Energieformen formuliert werden.

Bereits 1837 hatte Michael Faraday nämlich qualitativ die Vorstellung entwickelt, dass es solche Äquivalente zwischen den verschiedenen Kräften, also Energieformen wie elektrische, magnetische, gravitative geben müsse, und wir wissen heute, dass der Energiesatz soweit gefaßt werden kann und muss.

Damit erfährt Leibniz' Suche nach ordnenden Prinzipien eine späte Würdigung. Wie befriedigend empfände er es zu hören, dass die Physiker die Energieerhaltung heute auf ein fundamentales Symmetrieprinzip zurückführen, nämlich auf die Unabhängigkeit der physikalischen Vorgänge und der Ergebnisse von Messungen vom Zeitpunkt ihrer Durchführung.

Leibniz hat Prinzipien axiomatisch gesehen, die heutige Naturwissenschaft schließt anders: aus der Erfahrung der Energieerhaltung schließt man auf die zugrunde liegende Symmetrie. Hier stehen wir ganz in der Tradition von Galilei, die Naturwissenschaft fragt nach dem Wie, die Philosophie nach dem Warum.

Der Universalgelehrte Leibniz hat dieses nicht getrennt, wahrscheinlich war ihm die Frage nach dem Warum wichtiger.

Es sollte noch eine prägende Wirkung Leibniz' festgehalten werden, dass bei ihm bereits der französische Ausdruck »énergie« als Tatkraft oder Kraftäußerung eines dynamischen Subjekts auftaucht. Allgemein wurde der Begriff »Energie« viel später benutzt.

War er so weitsichtig in der Zuordnung der »lebendigen Kraft«, wie er auch in der Schaffung des Begriffes »Dynamik« und seinem Zweifel an der Existenz eines absoluten Raumes manchem vorgegriffen hat?



**Prof. Dr. rer. nat.  
Eberhard Tiemann**

Jahrgang 1942, ist seit 1978 Professor für Experimentalphysik und lehrt am Institut für Quantenoptik.

### Literatur

In diesem Beitrag habe ich verwandt:

- »E. J. Aion, Leibniz: A Biography, Adam Hilger Ltd (Bristol Boston 1985)« – für viele historische Zusammenhänge,
- »A. Hermann, Weltreich der Physik: Von Galilei bis Heisenberg, Ullstein (Frankfurt 1983)« – für eine physikalische Einordnung und
- »H. Stammel, Der Kraftbegriff in Leibniz' Physik, Dissertation (Mannheim 1982)« – für das Spannungsfeld Physik und Metaphysik neben zahlreichen anderen Darstellungen des Wirkens Leibniz'.