

Andreas Kleinert

Newton – Euler – Lesage

Zur Theorie der Schwerkraft im 18. Jahrhundert¹

Leonhard Euler (1707–1783) war zweifellos der bedeutendste Mathematiker des 18. Jahrhunderts;² schon 1745 nannte ihn sein Basler Lehrer Johann Bernoulli (1667–1748) den *princeps mathematicorum*. Euler war jedoch weit mehr als nur Mathematiker. Das Spektrum seiner Veröffentlichungen³ erstreckt sich von der Philosophie und der Theologie über die Musiktheorie und die Technik bis hin zur Physik, wo er sich u. a. mit Fragen der Optik, der Elektrizität und des Magnetismus beschäftigt hat. In diesen Zusammenhang gehören auch seine Überlegungen zur Theorie der Schwerkraft, von denen im Folgenden die Rede sein wird.

Die mathematische Grundlage dieser Theorie ist das Newtonsche Gravitationsgesetz, das besagt, dass sich zwei Körper gegenseitig mit einer Kraft anziehen, die ihren Massen proportional und dem Quadrat ihrer Abstände umgekehrt proportional ist. Newton hatte dieses Gesetz in seinem Werk *Philosophiae naturalis principia mathematica* von 1687 formuliert, und seine Gültigkeit war im 18. Jahrhundert allgemein anerkannt. Auch Euler bildet hier keine Ausnahme, wie die folgenden Zitate zeigen:

1768 schreibt er:

Das ist also eine durch die festesten Gründe bewiesene Sache, daß unter allen himmlischen Körpern eine allgemeine Gravitation herrsche, durch die sie gegen

1 Frühere Fassungen dieses Beitrags sind in italienischer und französischer Sprache erschienen: Andreas Kleinert, »Leonhard Euler e il problema della gravitazione«, in *Conferenze e Seminari dell'Associazione Subalpina Mathesis* 2010–2011, Turin 2011, S. 23–34; Andreas Kleinert, »Euler, Lesage et Newton: Trois approches différentes pour résoudre le problème de la pesanteur«, in Xavier Hascher und Athanase Papadopoulos (Hg.), *Leonhard Euler. Mathématicien, physicien et théoricien de la musique*, Paris 2015, S. 301–313.

2 Zu Eulers Leben und Werk vgl. Emil A. Fellmann, *Leonhard Euler*, Reinbek 1995, und Ronald S. Calinger, *Leonhard Euler. Mathematical genius in the enlightenment*, Princeton/Oxford 2016.

3 Für Zusammenstellung sämtlicher Veröffentlichungen Eulers siehe: Gustav Eneström, *Verzeichnis der Schriften Leonhard Eulers*, Leipzig 1910–1913.

einander getrieben werden; und daß diese Kraft desto größer sey, je näher sie einander sind. Das Factum kann nicht geleugnet werden.⁴

Im Zusammenhang mit der Sonne und den Planeten formuliert er dasselbe noch etwas genauer:

Um also von der Kraft zu urtheilen, mit der ein Körper gegen einen andern angezogen wird, so braucht man nur zu bemerken, daß diese Kraft erstlich in ordentlichem Verhältniß mit der Masse des angezogenen Körpers sowohl als des anziehenden, und in umgekehrtem mit dem Quadrat der Entfernung stehe.⁵

Die Formulierung des Gravitationsgesetzes gilt zu Recht als ein Meilenstein in der Geschichte der Naturwissenschaften, denn dadurch war es möglich geworden, mit großer Genauigkeit die Bewegungen des Mondes und der Planeten zu berechnen. Isaac Newton (1643–1727) hatte ferner gezeigt, dass sich die über ein halbes Jahrhundert vorher von Johannes Kepler (1571–1630) gefundenen Gesetze der Planetenbewegung aus dem Gravitationsgesetz ableiten lassen, wenn man es mit den ebenfalls von ihm formulierten Bewegungsgesetzen verbindet.

Umso erstaunlicher ist es, dass diese in ihren Kernaussagen unbestrittene Theorie Newtons im 18. Jahrhundert zu einer Kontroverse geführt hat, die unter den Wissenschaftlern Europas mit einer Schärfe und Heftigkeit ausgetragen wurde, die wir heute nur schwer nachempfinden können. Nicht nur sachliche, sondern auch persönliche und nationale Gesichtspunkte haben dabei eine Rolle gespielt. Zwar bestritt niemand die Existenz dieser Kraft, die die Körper aufeinander zutreibt, aber vielen, wenn nicht den meisten Physikern auf dem europäischen Kontinent genügte es nicht, einfach von einer anziehenden Kraft zu sprechen und damit zu rechnen, ohne die *Ursache* dieser Kraft zu kennen. Modern gesprochen: Es wurde als Ärgernis empfunden, dass Newtons Theorie eine Fernwirkungstheorie war. Woher ›weiß‹ ein Stein, den ich loslasse, dass er sich nach unten, d. h. zum Mittelpunkt der Erde, bewegen soll? Aristoteles (384–322 v. Chr.) und seine mittelalterlichen Nachfolger hatten die Frage damit beantwortet, dass sie den Körpern sogenannte verborgene Eigenschaften zuschrieben: Zum Wesen schwerer Körper sollte die Eigenschaft gehören, sich nach unten zu bewegen, so wie leichte Körper das Bestreben hätten, nach oben zu gelangen.

4 Leonhard Euler, *Briefe an eine deutsche Prinzessinn über verschiedene Gegenstände aus der Physik und Philosophie*, Leipzig 1769, Brief 54, S. 186. Die beiden ersten Bände der französischen Erstausgabe sind 1768 in Petersburg unter dem Titel *Lettres à une princesse d'Allemagne sur divers sujets de physique et de philosophie* erschienen; ein dritter Band folgte 1772.

5 Ebd., Brief 57, S. 195.

Spätestens seit Galileo Galilei (1564–1642) und René Descartes (1596–1650) waren die Wissenschaftler des 17. und 18. Jahrhunderts stolz darauf, dass sie diese Lehre von den verborgenen Eigenschaften, den ›*qualitates occultae*‹, überwunden hatten. Ein anderes prominentes Beispiel für eine solche verborgene Eigenschaft ist die Behauptung, die Natur habe eine Abscheu vor dem Leeren (›*horror vacui*‹). Evangelista Torricelli (1608–1647) und Blaise Pascal (1623–1662) hatten gezeigt, dass der angebliche ›*horror vacui*‹ eine mechanische Ursache hatte, nämlich den Luftdruck, der von nun an als Ursache für das Funktionieren einer Saugpumpe und für das Steigen des Quecksilbers in einem Barometer angesehen wurde. Wenn man wie Newton von einer Anziehungskraft sprach, um die Anziehung schwerer Körper zu erklären, dann war das für viele eine Rückkehr zu jenen ›*qualitates occultae*‹, zu den verborgenen Eigenschaften einer mittelalterlichen Pseudowissenschaft, die Erscheinungen nicht auf Ursachen zurückführt, sondern durch Wörter erklärt.

Newton selbst hatte dieses Problem durchaus erkannt, und in der zweiten Auflage der *Principia* finden wir dazu den oft zitierten Satz »Hypotheses non fingo«. Die entsprechende Passage lautet in deutscher Übersetzung:

Ich habe noch nicht dahin gelangen können, aus den Erscheinungen den Grund dieser Eigenschaften der Schwere abzuleiten, und Hypothesen erdenke ich nicht. Alles nämlich, was nicht aus den Erscheinungen folgt, ist eine Hypothese und Hypothesen, seien sie nun metaphysische oder physische, mechanische oder diejenigen der verborgenen Eigenschaften, dürfen nicht in die Experimentalphysik aufgenommen werden. [...] Es genügt, dass die Schwere existiere, dass sie nach den von uns dargelegten Gesetzen wirke, und dass sie alle Bewegungen der Himmelskörper und des Meeres zu erklären im Stande sei.⁶

Genau das aber war der Stein des Anstoßes für viele Physiker des 18. Jahrhunderts. Obwohl Newton gar nicht ausgeschlossen hat, dass es eine physikalische Ursache der Schwerkraft gibt – er sagt nur, dass er sie nicht kennt –, unterstellte man ihm und seinen Anhängern einen Rückfall in die finstersten Zeiten der aristotelischen Physik. So wie Aristoteles gelehrt habe, Ursache der Schwere sei der dem Körper innewohnende Drang, zu seinem natürlichen Ort zu gelangen, schreibe Newton den Körpern eine ähnliche verborgene Eigenschaft zu, wenn er von Anziehung spreche. Wie sollte unbelebte Materie durch den leeren Raum hindurch ›merken‹, dass anderswo auch Materie vorhanden ist, und was sollte die Anhäufungen von Materie veranlassen, sich gegenseitig anzuziehen? Diese Frage wird fast in allen Physikbüchern des 18. Jahrhunderts mehr

⁶ Isaac Newton, *Mathematische Principien der Naturlehre*, hg. von Ph. Wolfers, Berlin 1872, S. 511.

oder weniger ausführlich erörtert, wie dieses beliebig herausgegriffene Beispiel zeigt:

Man muß gestehen, daß die Naturlehre unserer Zeiten, welche sich rühmet auf immer gereinigt zu seyn von jenen verborgenen Eigenschaften, welche sie so lächerlich gemacht hatte, nicht ohne Verdruß wahrnehmen muß, daß man wieder in die Materie eine abgezogene Kraft, ein unbekantes, ja gar unbegreiflich Ding hinein setzt, dabey gar nichts auf den Mechanismus [...] ankomme.⁷

»Mechanismus« – das ist hier das entscheidende Stichwort. Was Physiker wie Jean-Antoine Nollet (1700–1770) bei Newton vermissten, war die Angabe einer mechanischen Ursache dafür, dass sich die Körper aufeinander zubewegen – irgendetwas, das einen direkten Druck oder Zug auf sie ausübt.

Das von Nollet als »Verdruß« (im Original ›*peine*‹) bezeichnete Unbehagen im Zusammenhang mit der Gravitation hat zahlreiche Physiker und Philosophen veranlasst, nachzuliefern, was der newtonschen Physik ihrer Meinung nach fehlte, nämlich einen »Mechanismus« als Ursache der Kraft, die die Körper aufeinander zutreibt. Dabei konnten sie an Descartes anknüpfen, der schon 1644 in seinen *Principia philosophiae* eine mechanische Gravitationstheorie entworfen hatte. Nach Descartes sollte eine subtile Materie, die um die Himmelskörper herumwirbelt, bewirken, dass andere Körper zum Zentrum dieses Wirbels gedrückt werden (vgl. Abb. 1).

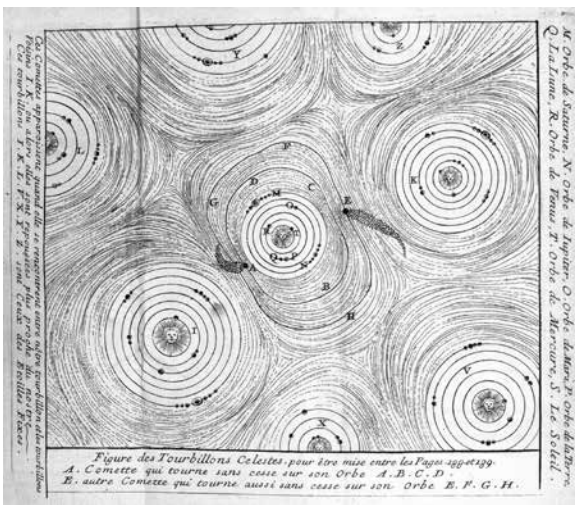


Abb. 1: Die Erklärung der Planetenbewegung nach Descartes' Wirbeltheorie, aus: Nicolas Bion, *L'usage des globes celestes et terrestres*, Paris 1699.

⁷ Jean-Antoine Nollet, *Physicalische Lehrstunden*, Bd. 6, Erfurt 1766, S. 131. Die französische Erstausgabe war 1748 in Paris unter dem Titel *Leçons de physique expérimentale* erschienen.

Viele bekannte Gelehrte, von Christian Huygens (1629–1695) über Johann Bernoulli (1667–1748) bis zu Christian Wolff (1679–1754) und Georg Bernhard Bilfinger (1693–1750), haben vergeblich versucht, die Wirbeltheorie von Descartes so zurechtzubiegen, dass sich daraus das Newtonsche Gravitationsgesetz und die Keplerschen Gesetze der Planetenbewegung herleiten lassen. Wie aktuell das Thema im 18. Jahrhundert war, geht aus den zahlreichen damals erschienenen Abhandlungen, Dissertationen und Preisschriften hervor, deren Autoren behaupten, die Ursache der Schwerkraft gefunden zu haben.⁸ Besonders in Frankreich hat sich die Theorie von der wirbelnden Gravitationsmaterie sehr lange gehalten, obwohl sich daraus keine quantitativen Gesetze ableiten ließen.

In diesem Kontext sind auch Eulers Beiträge zur Theorie der Schwerkraft zu sehen. Als Mathematiker war er führend bei der Anwendung des Newtonschen Gravitationsgesetzes auf die Bewegung von Himmelskörpern wie Mond, Planeten und Kometen,⁹ während er als Physiker ein hartnäckiger Cartesianer war und Newton und dessen Anhänger massiv angriff.

Das heißt nicht, dass er Descartes' subtile Materie und deren Wirbel vorbehaltlos verteidigt hätte, aber wie Descartes war auch Euler fest davon überzeugt, dass es keine Fernwirkung geben kann und dass der Raum mit einem feinen Fluidum angefüllt sein muss, das nicht nur die Schwerkraft, sondern auch andere, nicht-mechanische Phänomene wie das Licht, die Farben, den Magnetismus und die Elektrizität »erklärt«, d. h. auf mechanische Ursachen zurückführt.

Wir kennen drei Veröffentlichungen Eulers zu diesem Thema: einen Aufsatz in einer wissenschaftlichen Zeitschrift von 1743, ein Kapitel in seinem Buch *Anleitung zur Naturlehre*, das zwischen 1745 und 1750 entstanden ist, aber erst 1862 veröffentlicht wurde,¹⁰ und schließlich längere Ausführungen in den 1768 erschienenen *Lettres à une princesse d'Allemagne*,¹¹ seinem wohl bekanntesten populärwissenschaftlichen Werk, von dem zahlreiche Auflagen und Übersetzungen in fast alle europäischen Sprachen existieren; die letzte Neuauflage des französischen Originaltextes erschien 2003 in Lausanne. Dazu kommen einige Äußerungen in Eulers Korrespondenz.

8 Zu den Theorien der Schwerkraft im 18. Jhd. vgl. Frans Herbert van Lunteren, *Framing hypotheses: conceptions of gravity in the 18th and 19th centuries*, Diss. Utrecht 1991.

9 Vgl. dazu Andreas Verdun, *Leonhard Eulers Arbeiten zur Himmelsmechanik*, 2 Bde., Berlin 2015.

10 Leonhard Euler, »Anleitung zur Natur-Lehre, worin die Gründe zu Erklärung aller in der Natur sich ereignenden Begebenheiten und Veränderungen festgesetzt werden«, in Leonhard Euler, *Opera postuma mathematica et physica anno 1844 detecta*, Bd. 2, Petersburg 1662, S. 449–560.

11 Vgl. Fn. 4.

MISCELLANEA
BEROLINENSIA
AD
INCREMENTUM SCIENTIARUM
EX SCRIPTIS
SOCIETATIS
REGIAE
SCIENTIARUM
EXHIBITIS
EDITA
CONTINUATIO VI. SIVE
TOMUS VII.
CUM FIGURIS AENAEIS ET INDICE CONTENTORUM.
BEROLINI
TYP. JOH. GOTHFR. MICHAELIS
M DCC XLIII.

360

NUM. IX.

N. N.

De causa gravitatis.

Gravitatio corporum in se mutua tam latissime patet, ut plurimi philosophi non dubitaverint eam ad primas materiae proprietates, cujusmodi sunt extensio & inertia, referre, mutuaque corporum sese attrahentium actionem à virtus in suis deducere. Cum enim corporibus extensio & inertia ideo tribuantur, quod omnibus constanter & perpetuo inesse deprehendantur, similis fere ratio gravitatis videbatur, propterea quod vix ullum adhuc sit observatum corpus, quod gravitatione penitus careret. Non solum enim omnia corpora circa terram posita deorsum nituntur, sed etiam terram ipsam cum reliquis planetis solem versus urgeri, observationes astronomicae ad leges Mechanicae examinate luculenter docuerunt; quin in minimis etiam corporibus, quae quidem experimentis subjici possunt, similis quaedam vis sive magnetica sive electrica quotidie magis magisque evincitur. Sane in Astronomia attractionis hypothesis utiliter adhibetur in explicandis gravitatis phaenomenis. Planetae enim & Cometae perinde moveri observantur, ac si cum à sole tum à se mutuo

Abb. 2: Eulers anonyme Schrift »De causa gravitatis«, in *Miscellanea Berolinensia* 7 (1743), S. 360–370.

Die erste einschlägige Veröffentlichung ist ein anonymes Artikel im siebten Band (1743) der *Miscellanea Berolinensia*, den Abhandlungen der Berliner Akademie der Wissenschaften (vgl. Abb. 2). Dass N.N. für Leonhard Euler steht, wissen wir erst seit etwa 20 Jahren. Im *Verzeichnis der Schriften Leonhard Eulers* von Gustav Eneström¹² wird der Aufsatz noch nicht erwähnt.

Die erste Hälfte des Artikels ist eine Polemik gegen die Attraktionisten (»attractionis patroni«), d. h. gegen die Newtonianer, die der Materie eine Fernwirkung zuschreiben und erklären, es sei überflüssig, über eine mechanische Ursache der Schwerkraft nachzudenken. Euler wiederholt den üblichen Einwand von der Rückkehr zu den verborgenen Eigenschaften des Mittelalters und versucht anschließend, die Newtonianer lächerlich zu machen, indem er sich mit viel Phantasie Beispiele für das einfallen lässt, was er für die Konsequenzen einer Fernwirkungstheorie hält. So schreibt er z. B.:

Kräuter, die auf dem Planeten Saturn wachsen, müssten durch ihre unverständliche Anziehungskraft in meinem Körper einen Brechreiz und andere heftige Bewegungen der Eingeweide auslösen, obwohl ich sie weder durch die Nasenlöcher noch durch den Mund eingesaugt habe.¹³

¹² Eneström, *Verzeichnis der Schriften* (Fn. 3).

¹³ »Non ergo repugnat [...] herbas in Planeta Saturno crescentes vi attractrice in se

Die zweite Hälfte des Artikels enthält Eulers eigene Erklärung der Gravitation. Wie Descartes behauptet er, die Erde sei von einem subtilen Fluidum, dem Äther, umgeben. In diesem Äther soll eine ungleiche Druckverteilung herrschen, sodass alle Körper, die sich darin befinden, dorthin gedrückt werden, wo der Druck geringer ist. Wie aber soll ein Druckunterschied im Äther zustande kommen? Aus der Mechanik der Flüssigkeiten und der Luft ist bekannt, dass dort überall gleicher Druck herrscht, wenn sich das Fluidum in Ruhe befindet; Druckunterschiede treten nur bei strömenden Flüssigkeiten auf. Also muss auch der Äther in Bewegung sein, und nach Euler müssen wir annehmen, dass er sich in einer beständigen Bewegung um die Erde befindet.

Um das Gravitationsgesetz zu erhalten, muss Euler jetzt nur noch postulieren, dass der Ätherdruck nach außen hin zunimmt, und zwar proportional zum Abstand vom Zentrum. Wie seine Formel für den Ätherdruck in moderner Schreibweise aussieht, zeigt Abb. 3.


$$P = P_{\infty} - \frac{\text{const} \cdot P_{\infty}}{x}$$

P = Druck des Äthers
 x = Entfernung vom Erdmittelpunkt
 P_∞ = Druck des Äthers im Unendlichen

Abb. 3: Eulers Formel für den Druck des Äthers als Funktion der Entfernung vom Erdmittelpunkt.

Abb. 4 zeigt die entsprechende Rechnung und die Zeichnung in Eulers Abhandlung:

ri debeat. Quo autem gravitas ad terram appropinquando crescat in ratione duplicata viciniae a centro, quam legem phaenomena indicant, necesse est, ut diminutiones compressi-
 onis aetheris in ratione distantiarum simplici decrescant, quae ratio cum sit omnium simplicissima, simul veritatem hujus explicationis non mediocriter confirmat. Sit compressio aetheris absoluta seu non diminuta = ϵ , erit ea in distantia a centro terrae x aequalis ϵ minus quantitate ipsi x reciproce proportionali; ponatur ergo compressio aetheris in distantia x a centro terrae $C = \epsilon - \frac{\epsilon g}{x}$. Hinc si corpus ABB circa terram versetur, ejus superficies superior AA deorsum premetur vi $\epsilon - \frac{\epsilon g}{CA}$, inferior autem superficies BB fursum premetur vi $\epsilon - \frac{\epsilon g}{CB}$, quae vis cum minor sit quam prior, corpus deorsum premetur vi $\epsilon g \left(\frac{1}{CA} - \frac{1}{CB} \right) = \frac{\epsilon g \cdot AB}{AC \cdot BC}$.



Cum igitur magnitudo corporis AB sit incomparabiliter minor quam distantia CB, erit $AC = BC$, hinc ejusdem corporis gravitas in distantia a centro quacunq;ue erit ut $\frac{1}{AC^2}$ hoc est reciproce ut quadratum distantiae a centro.

Abb. 4: »De causa gravitatis«, S. 369 f.

incomprehensibili in corpore meo vomitus aliosque vehementes intestinorum motus excitare, etiamsi neque nares neque os quicquam inde hauserint.« Leonhard Euler, »De causa gravitatis«, in *Miscellanea Berlinensia* 7 (1743), S. 360–370, hier S. 363.

C ist der Erdmittelpunkt; rechts vom Gleichheitszeichen steht (siehe oberer Rahmen) der Druck des Äthers in der Entfernung x vom Erdmittelpunkt C (»compressio aetheris in distantia x a centro terrae C«); c ist der Druck des Äthers im unendlichen, g ein konstanter Faktor. Für den Druck in der Entfernung x vom Erdmittelpunkt ergibt sich daraus die Größe

$$c - \frac{c \cdot g}{x} \quad (\text{in Abb. 4, oben, eingerahmt})$$

Daraus folgt nun tatsächlich das Newtonsche Gravitationsgesetz. Wenn man nämlich nach der oben eingerahmten Formel den Druck für die Fläche AA und die Fläche BB berechnet (rechtes Bild), dann ergibt sich für x (Entfernung vom Erdmittelpunkt) einmal die Strecke CA (Entfernung vom Erdmittelpunkt zur Fläche AA) und einmal die Strecke CB (Entfernung vom Erdmittelpunkt zur Fläche BB). Für die Druckdifferenz ergibt sich dann der in der Mitte stehende eingerahmte Ausdruck. Da aber die Größe des Körpers (also AB) unvergleichlich gering (»incomparabiliter minor«) ist gegenüber den Entfernungen der beiden Enden des Körpers vom Erdmittelpunkt, darf man diese Entfernungen gleichsetzen, also $AC = BC$, und daraus folgt dann, dass sich das Gewicht des Körpers verhält wie

$$\frac{1}{[AC]^2} \quad (\text{in Abb. 4, unten, eingerahmt}).$$

Zu beachten ist, dass sich der Exponent auf die Strecke AC bezieht.

Dieselben Verhältnisse wie in der Umgebung der Erde herrschen nach Euler auch in der Umgebung der Sonne und der Planeten; auch dort ändere sich der Druck des Äthers proportional zu $1/r$, und die anziehende Kraft zwischen den Himmelskörpern sei folglich proportional zu $1/r^2$. Zum Schluss kündigt Euler noch die Lösung weiterer Welträtsel an. Aus seiner Ätherhypothese ergebe sich auch eine einfache Erklärung der Lichtbeugung, der Elektrizität, der Kapillarkräfte, des Magnetismus und anderer, ähnlicher Erscheinungen.

Ungefähr fünf Jahre später hat Euler seine Gravitationstheorie erneut formuliert, und zwar im 19. Kapitel der um 1755 entstandenen *Anleitung zur Natur-Lehre*,¹⁴ das die Überschrift trägt »Von der Schwere und den Kräften, so auf die himmlischen Körper wirken«. Das meiste, was dort steht, hat er einfach aus der Schrift von 1743 übersetzt; auch die Abbildungen hat er nahezu unverändert übernommen. Er räumt jetzt jedoch unumwunden ein, wo die Grenzen seiner Theorie liegen. Er kann keine Erklärung dafür geben, wie das Druckgefälle im Äther zustande kommt, und stellt fest, dass wir »kaum hoffen können, jemals

14 Euler, *Anleitung zur Natur-Lehre* (Fn. 10).

die wahre Ursache dieser Verminderung der elastischen Kraft des Aethers zu ergründen«. ¹⁵ Trotzdem kann er sich mit dieser fragwürdigen Grundlage seiner Theorie »leichter begnügen, als wenn man blosserdings vorgiebt, alle Körper seien von Natur mit einer Kraft begabt einander anzuziehen«. ¹⁶ Die *Anleitung zur Natur-Lehre* hat Euler nie veröffentlicht; sie wurde erst 1862 von seinen Urenkeln Paul Heinrich und Nikolaus Fuss aus dem Nachlass herausgegeben.

Öffentlich hat sich Euler nach der Gravitationsschrift von 1743 erst über 20 Jahre später, nämlich 1768, erneut zur Gravitationstheorie geäußert, und zwar in den *Briefen an eine deutsche Prinzessin*. ¹⁷ Auch dieses Werk ist zunächst anonym erschienen, aber es war von Anfang an allgemein bekannt, wer der Verfasser war. ¹⁸

Euler wiederholt hier seine Ausfälle gegen die »Englischen Philosophen«, die behaupten, dass es »eine wesentliche Eigenschaft aller Körper sey, sich wechselseitig anzuziehen; und daß alle Körper gleichsam eine gewisse natürliche Neigung gegen einander haben, kraft welcher sie sich bemühen einander näher zu kommen, so als wenn sie eine Empfindung oder Begierde hätten«, ¹⁹ und er denkt sich weitere Beispiele aus, um die Absurdität einer solchen Annahme zu verdeutlichen. Dazu sei noch ein Beispiel angegeben:

Newton war sehr für die Meynung der Attraction, und heut zu Tage sind alle Engländer eifrige Attractionisten, ob sie gleich zugestehen, daß es weder Seile noch andere zum Ziehen dienliche Maschinen gebe, durch welche die Erde die Körper an sich ziehen könne [...]. Wenn man einen Wagen den Pferden folgen sähe, ohne daß sie angespannt wären, und man sähe weder Seile noch irgend etwas, wodurch zwischen dem Wagen und den Pferden eine Verbindung gemacht würde: so würde man weit eher glauben, der Wagen würde von irgend einer Kraft, gesetzt daß man sie auch nicht gewahr würde, fortgestoßen, es müßte denn ein Spiel der Zauberey seyn. Unterdessen verlassen doch die Engländer ihre Meynung nicht. ²⁰

Nach solchen Ausfällen gegen die Anhänger Newtons, deren Wissenschaft für ihn nichts anderes ist als Zauberei, wäre zu erwarten, dass er jetzt seine eigene Gravitationstheorie vorstellt. Er begnügt sich jedoch mit der Feststellung, dass man die Attraktion als eine okkulte Qualität aus der Physik verbannen muss, sagt aber kein Wort über die Druckdifferenzen im Äther, aus denen sich das

15 Ebd., S. 547.

16 Ebd.

17 Euler, Briefe an eine deutsche Prinzessin (Fn. 4).

18 Eneström, Verzeichnis der Schriften (Fn. 3), S. 80.

19 Euler, Briefe an eine deutsche Prinzessin (Fn. 4), Brief 68, S. 228.

20 Ebd., Brief 54, S. 187.

Gravitationsgesetz angeblich ableiten lässt. Er beschränkt sich auf die Feststellung:

So scheint es vernünftiger zu seyn, der Wirkung des Aethers die gegenseitige Anziehung der Körper zuzuschreiben, wenn man auch die Art dieser Wirkung nicht einsieht, als zu einer ganz unverständlichen Eigenschaft seine Zuflucht zu nehmen.²¹

Woher kommt diese unerwartete Bescheidenheit? Die Antwort auf diese Frage finden wir in Eulers Briefwechsel, und wir haben hier ein eindrucksvolles Beispiel dafür, welche Informationen wir unveröffentlichten Korrespondenzen entnehmen können und dass es sinnvoll ist, solche Korrespondenzen herauszugeben.

Wir kommen damit zum dritten der im Titel genannten Gravitationstheoretiker, dem Genfer Physiker Georges-Louis Lesage (1724–1803). Lesage hatte in Basel und Paris Medizin studiert, durfte diesen Beruf aber in seiner Heimatstadt nicht ausüben, da er als Sohn eines aus Frankreich eingewanderten Hugenotten kein Genfer Bürgerrecht besaß. Um seinen Lebensunterhalt zu sichern, gab er Privatunterricht in Mathematik und Physik und war dabei sehr erfolgreich. Einige seiner Schüler haben später Karriere gemacht, so z. B. Christoph Friedrich von Pfleiderer (1736–1821), der Physikprofessor in Tübingen wurde, und Simon L’Huillier (1750–1840), der von 1795–1823 an der Genfer Akademie die Professur für Mathematik innehatte.

Von Lesage stammt eine Gravitationstheorie, die eine Alternative zu den verschiedenen Varianten der Descartes’schen Wirbeltheorie darstellt. Lesage erklärt die Schwerkraft nicht durch eine den Raum ausfüllende subtile Materie, sondern durch die schnelle Bewegung kleiner Teilchen im ansonsten leeren Raum. Er nimmt an, dass sich überall im Universum kleine, harte Partikel bewegen, und zwar mit großer Geschwindigkeit und aus allen Richtungen – wie eine Art Superneutrinos. Ein einzelner Körper aus ›normaler‹ Materie wird von diesen Partikeln nicht beeinflusst, da sich deren Stoßwirkung im Mittel gegenseitig aufhebt. Bei Anwesenheit eines zweiten Körpers tritt jedoch eine scheinbare Anziehung auf, da infolge der wechselseitigen Abschirmung der Druck aus der Richtung, wo sich der andere Körper befindet, geringer ist. Das Entscheidende ist nun, dass es Lesage gelungen ist, die Parameter seines Systems – Größe, Masse, Dichte und Geschwindigkeit der Teilchen – so lange zu variieren, bis dabei die von Newton geforderte Attraktionskraft herauskam: eine Kraft, die proportional zu den Massen der Körper und umgekehrt proportional zu den Quadraten ihrer Abstände war. Ich erspare mir weitere Details und

21 Ebd., Brief 68, S. 230.

erwähne nur, dass er den Korpuskeln die 100.000-fache Lichtgeschwindigkeit zugeschrieben hat.²²

Diese Theorie war damals nicht so absurd, wie sie uns heute vielleicht vorkommt. Zu Lesages Bewunderern gehörten u. a. Georg Christoph Lichtenberg (1742–1799) und Friedrich Schelling (1775–1854). Dass Lesage von seinen Zeitgenossen respektiert und anerkannt wurde, zeigt sich auch daran, dass ihn die Londoner Royal Society, die Berliner und die Pariser Akademie der Wissenschaften zum auswärtigen Mitglied ernannt haben. 1770 wurde ihm in Anerkennung seiner Verdienste auch das Genfer Bürgerrecht verliehen, das er 20 Jahre vorher zur Ausübung seines Berufs dringend gebraucht hätte.

Lesage hat über viele Jahre hinweg seine Theorie nicht veröffentlicht; erst 1784 erschien ein kurzer Aufsatz in den Abhandlungen der Berliner Akademie der Wissenschaften. Stattdessen korrespondierte er mit allen Gelehrten, die er erreichen konnte, um sie mit geradezu missionarischem Eifer zu seiner Gravitationstheorie zu bekehren. Die Strategie, die er anwandte, um mit bekannten Wissenschaftlern ins Gespräch zu kommen, war immer dieselbe: Er schickte ihnen Kommentare zu ihren Arbeiten, die irgendwie mit dem Thema Gravitation zu tun hatten, kam, je nach Antwort, in den folgenden Briefen auf seine eigene Theorie zu sprechen und forderte diejenigen, die sich nicht überzeugen ließen, auf, Gegenargumente zu liefern.

Nach diesem Muster verfuhr er auch mit Euler, der so einer seiner Briefpartner bzw. eines seiner Opfer geworden ist. Dieser noch unveröffentlichte Briefwechsel, der in beide Richtungen erhalten ist, umfasst acht Briefe aus den Jahren 1761 bis 1768, ferner einen letzten Brief von Lesage von 1776.²³

In einem der Briefe, dessen Entwurf 13 engzeilig beschriebene Seiten umfasst, gibt Lesage nicht nur einen Überblick über seine eigene Theorie, sondern kritisiert auch die Gravitationstheorie Eulers, wobei er sich auf »eine anonyme Schrift in Band 7 der Berliner *Miscellanea*« (»un Memoire anonyme imprimé dans le VII^me Tome des *Melanges de Berlin*«) bezieht – also genau jene Abhandlung, die ich oben erwähnt habe. Euler antwortete auf diesen am 9. August 1765 abgeschickten Brief ungewöhnlich schnell, wenn man die Laufzeit eines Briefes von Genf nach Berlin berücksichtigt. Seine Antwort ist vom 8. September desselben Jahres, und sie ist die eindeutige Bestätigung dafür, dass Euler der Verfasser jener anonymen Gravitationsschrift ist. Woher hat Lesage das gewusst?

22 Jutta Berger, »Zur Geschichte des Äthers im 18. Jahrhundert. George-Louis Lesages System der *corpuscules ultramondains*«, in *Gesnerus* 62 (2005), S. 186–217, hier S. 207.

23 Eulers Briefe an Lesage und die Entwürfe der Briefe von Lesage an Euler befinden sich in der Handschriftenabteilung der Genfer Universitätsbibliothek. Sie werden veröffentlicht in Leonhard Euler, *Opera omnia*, Series IVA, Bd. 7, Basel 2017.

Um seiner Gravitationstheorie Anerkennung zu verschaffen, bemühte sich Lesage um den Nachweis, dass alle anderen Gravitationstheorien falsch waren. Zu diesem Zweck hat er über viele Jahre an einer *Kritischen Geschichte der Schwerkraft* gearbeitet und die gesamte Fachliteratur seiner Zeit nach einschlägigen Veröffentlichungen durchsucht, wozu auch Arbeiten über andere scheinbare Fernkräfte wie Elektrizität und Magnetismus gehörten.

Bei diesen Literaturstudien stieß Lesage auf eine Preisschrift über den Magnetismus, die Euler 1744 der Pariser Akademie vorgelegt hatte.²⁴ Darin kommt auch die Gravitation zur Sprache; Euler behauptet nämlich, mit seiner Magnetismustheorie lasse sich auch die Schwerkraft erklären, und nicht nur die Argumentation, sondern auch die Formeln und Gleichungen sind nahezu identisch mit dem, was in der ein Jahr zuvor erschienenen anonymen Gravitationsschrift steht.

Mit welchen Argumenten ist es Lesage gelungen, Eulers Gravitationstheorie zu widerlegen? Euler hatte die Lichtausbreitung und die Gravitation auf denselben Äther zurückgeführt, und Lesage konnte zeigen, dass das zu einem Widerspruch führt. Der Einwand ergab sich aus dem Vergleich der Gravitationsschrift von 1743 mit zwei Veröffentlichungen Eulers aus dem Jahre 1746, in denen ebenfalls der Äther vorkommt. Die eine ist die »Nova theoria lucis et colorum«,²⁵ in der der Äther als Medium der Lichtausbreitung dient; die andere ist eine Abhandlung über die Bewegung der Planeten,²⁶ in der Euler nachweist, dass sein Lichtäther die Planeten, die sich darin bewegen, nicht merklich abbremsst.

Bei der Lektüre dieser Schriften ist Lesage auf einen Widerspruch zu der in »De causa gravitatis« dargestellten Gravitationstheorie gestoßen, den er Euler mit sichtlichem Vergnügen unterbreitet: Die Dichte eines Äthers, der sowohl die Lichtausbreitung als auch die Gravitation bewirkt, müsste 160 mal größer sein als die Dichte der Luft. Das aber, so Lesage, ist ein eklatanter Widerspruch zu der unbestreitbaren Tatsache, dass die Planeten bei ihrer Bewegung im Äther nicht merklich abgebremst werden.

Euler sah seinen Irrtum sofort ein. Der entscheidende Satz seiner Antwort lautet: »Sie haben mit soliden Argumenten die Erklärung der Schwerkraft widerlegt, die ich ehemals gewagt habe«,²⁷ und weiter schreibt er: »Ich gebe zu,

24 Leonhard Euler, »Dissertatio de magnete«, in *Pièces qui ont remporté le prix de l'Académie royale des sciences en 1743 et 1746*, Paris 1748, S. 1–47.

25 Leonhard Euler, »Nova theoria lucis et colorum«, in ders., *Opuscula varii argumenti*, Berlin 1746, S. 169–244.

26 Leonhard Euler, »De relaxatione motus planetarum«, in ebd., S. 245–276.

27 »Vous avez solidement refuté l'explication de la gravité, que j'avois hasardée autrefois.« Die Formulierung, es handle sich bei dieser Theorie um ein Wagnis, das lange

dass der Äther, in dem sich das Licht ausbreitet [...], absolut ungeeignet ist, um die Schwerkraft hervorzurufen.«²⁸

Sein Ziel, Euler zu seiner korpuskularen Gravitationstheorie zu bekehren, hat Lesage jedoch nicht erreicht. Als Ausweg aus dem Dilemma schlägt Euler vor, man müsse vielleicht noch einen zweiten Äther annehmen, gewissermaßen einen besonderen Gravitationsäther, der sich hinsichtlich seiner Dichte und seiner Elastizität zum Lichtäther ungefähr so verhalte wie dieser zur Luft. Von Lesages Gravitationskorpuskeln wollte er jedenfalls nichts wissen, und sein Brief schließt mit den Worten:

Sie werden entschuldigen, dass ich noch immer eine große Abneigung gegen Ihre ultramondänen Teilchen empfinde. Ich gebe lieber meine Unwissenheit über die Ursache der Schwerkraft zu, als dass ich auf so ausgefallene Hypothesen zurückgreife. Aber ich überlasse diese Freiheit gern anderen.²⁹

Werfen wir zum Schluss noch einen kurzen Blick auf die weitere Entwicklung der Physik. 1869, also zu einer Zeit, als die klassische Physik kurz vor ihrer Vollendung stand, hat Hermann von Helmholtz (1821–1894) das Ziel der Naturwissenschaft so definiert: »Endziel der Naturwissenschaften ist, die allen anderen Veränderungen zu Grunde liegenden Bewegungen und deren Triebkräfte zu finden, also sich in Mechanik aufzulösen.«³⁰ Für Helmholtz war die Natur immer dann verständlich geworden, wenn es gelungen war, die untersuchten Phänomene auf die Mechanik zurückzuführen, die für ihn so etwas wie eine Leitwissenschaft darstellte.

zurückliegt, könnte damit zusammenhängen, dass Euler hier Überlegungen aufgegriffen hat, die er schon 1727 in einer Disputation in Basel vorgetragen hatte. In seinem Tagebuch für 1727 findet sich der Eintrag »Den 17. Mertzen hielt ich meine Lection De causa Gravitatis«. Über den Inhalt dieser Disputation ist nichts bekannt. Gleb K. Mikhajlov, »Notizen über die unveröffentlichten Manuskripte von Leonhard Euler«, in Kurt Schröder (Hg.), *Sammelband der zu Ehren des 250. Geburtstages Leonhard Eulers der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin vorgelegten Abhandlungen*, Berlin 1959, S. 256–279, hier S. 275. Ich danke Martin Mattmüller (Basel) für diesen Hinweis.

28 »Je conviens donc que l'éther ou le milieu, dans lequel se fait la propagation de la lumière [...], n'est pas absolument propre à produire la gravité.«

29 »Vous m'excuseres, Monsieur, que je sens encore une très grande repugnance pour Vos corpuscules ultramondains et j'aimerois toujours mieux d'avouer mon ignorance sur la cause de la gravité que de recourir à des hypotheses si estranges. Mais j'accorde très volontiers cette liberté à d'autres [...].«

30 Hermann von Helmholtz, »Über das Ziel und die Fortschritte der Naturwissenschaft. Eröffnungsrede für die Naturforscherversammlung zu Innsbruck 1869«, in Hermann von Helmholtz, *Vorträge und Reden*, Bd. 1, Braunschweig 1884, S. 335–363, hier S. 345.

Um die Vorrangstellung der Mechanik im Denken von Helmholtz und seinen Zeitgenossen zu verstehen, müssen wir bis ins frühe 17. Jahrhundert zurückgehen, als Galilei den berühmten Satz formuliert hat, das Buch der Natur sei in mathematischer Sprache geschrieben.³¹ Damit hatte Galilei ein Programm für die naturwissenschaftliche Forschung der kommenden Jahrhunderte vorgegeben: Um das Buch der Natur zu verstehen, musste man die mathematischen Gesetze finden, mit denen sich die Erscheinungen beschreiben lassen. Diejenige Wissenschaft, in der dieses Programm 200 Jahre später weitgehend abgeschlossen war, war aber zweifellos die Mechanik, und wenn die Vertreter der klassischen Physik auch solche Naturerscheinungen, die auf den ersten Blick mit Mechanik nichts zu tun hatten, gerade auf diese Wissenschaft zurückführen wollten, so war das nichts anderes als die Forderung nach einer vollständigen Mathematisierung der Natur.

Schon im 18. Jahrhundert waren die Physiker davon überzeugt, dass das von Galilei vorgegebene Ziel einer mathematischen Beschreibung der Naturwissenschaften nur auf dem von Helmholtz formulierten Weg erreicht werden konnte: Auch die nicht-mechanischen Naturerscheinungen mussten auf die Mechanik zurückgeführt werden. Erst wenn das gelungen sei, könne man sie mit den in der Mechanik bewährten mathematischen Methoden beschreiben. Man musste also für das Licht, die Farben, die elektrische und die magnetische Anziehung und Abstoßung und die Wärme mechanische Modelle entwickeln, und genau darum hat sich Euler intensiv bemüht. Das Bestreben, die Welt »*more mechanico*« zu verstehen, war – wie es David Speiser 1983 formuliert hat – »ein Hauptmotiv der Arbeit Eulers, das ihn während seines ganzen Lebens vorantrieb und seine rein mathematische Arbeit dauernd durchaus gleichwertig begleitete.«³²

Um dieses Ziel zu erreichen, musste Euler auf das von Descartes eingeführte hypothetische Medium zurückgreifen, das er wechselweise als feine oder subtile Materie, subtile Himmelsluft oder Äther bezeichnete. Bei der Suche nach einer mechanischen Erklärung der Schwerkraft ist er damit gescheitert, aber das ändert nichts daran, dass er den Weg eingeschlagen hat, der etwa 100 Jahre nach seinem Tod zur Vollendung und zum Abschluss der klassischen Physik führen sollte.

31 Galileo Galilei, *Il saggiatore, nel quale con bilancia esquisita e giusta si ponderano le cose contenute nella libra astronomica e filosofica di Lotario Sarsi Sigensano*, Rom 1623, S. 25.

32 David Speiser, »Eulers Schriften zur Optik, zur Elektrizität und zum Magnetismus«, in *Leonhard Euler 1707–1783. Beiträge zu Leben und Werk. Gedenkband des Kantons Basel-Stadt*, Basel 1983, S. 215–228, hier S. 215.

Auf diesem Weg wurde die Zahl der unwägbaren Substanzen, die man zur Mathematisierung nicht-mechanischer Phänomene benötigte, immer geringer. Die Thermodynamik und die Chemie kamen ohne den Wärmestoff aus; das magnetische Fluidum war mit der Entdeckung des Elektromagnetismus hinfällig geworden. Was blieb, war der Äther, der sich vor allem bei der Mathematisierung der Elektrodynamik und der damit eng verbundenen Optik als äußerst fruchtbares Konzept erwies und dessen Existenz noch zu Beginn des 20. Jahrhunderts als ebenso gesichert galt wie die Existenz der Materie. Charakteristisch für diese Auffassung ist das folgende Zitat aus einem Lehrbuch der Physik von 1902. Der Verfasser war ordentlicher Professor an der kaiserlichen Universität zu St. Petersburg und damit in gewisser Weise ein Nachfolger Eulers.

In früherer Zeit nahm man die Existenz von sehr verschiedenen Agentien an: zwei elektrische, zwei magnetische, den Wärmestoff und das Agens, welches die Ursache der Lichterscheinungen bildet; dies entspricht der Annahme von sechs verschiedenen Hypothesen. Mit der Weiterentwicklung der Wissenschaft verminderte sich die Zahl der hypothetischen Materien und heutzutage haben wir statt jener sechs hypothetischen Materien nur eine einzige. Die Wahrscheinlichkeit der Hypothese von der Existenz dieses einen Agens grenzt außerordentlich nahe an Gewißheit.

Dieses Agens wollen wir den Äther nennen. Wir nehmen an, daß der Äther den Raum zwischen den Weltkörpern erfüllt, und daß es in den Teilen des Universums, welche unserer Beobachtung zugänglich sind, keinen Ort giebt, welcher den Äther nicht enthält.³³

Somit können wir feststellen, dass Euler trotz aller Irrtümer in den Details mit seinem Ätherkonzept ein Wegbereiter der klassischen Physik des 19. Jahrhunderts gewesen ist.

33 Orest D. Chwolson, *Lehrbuch der Physik*, Bd. 1, Braunschweig 1902, S. 9.