

# **Kontinentale Gegenmodelle zu Newtons Gravitationstheorie**

Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Naturwissenschaften

vorgelegt beim Fachbereich Physik  
der Johann Wolfgang Goethe – Universität  
in Frankfurt am Main

von

Klaus Robert Nick

aus Neu - Isenburg

Frankfurt am Main

Januar 2001

(D F 1)

Vom Fachbereich Physik der Johann Wolfgang Goethe- Universität Frankfurt a. Main  
als Dissertation angenommen.

Dekan: Prof. Dr. Werner Mäntele

Gutachter: Prof. Dr. Walter Saltzer

Prof. Dr. Thomas Görnitz

Datum der Disputation: 26.6.2001

## Inhalt:

Vorbemerkung	1
Einleitung	3
GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ (1646 – 1716 )	22
JOHANN BERNOULLI ( 1667 – 1748 )	42
DANIEL BERNOULLI ( 1700 – 1784 )	78
LEONHARD EULER ( 1707 – 1783 )	90
Zusammenfassung	109
Übersetzung: LEIBNIZ: Tentamen de motuum coelestium causis 1689	111
Übersetzung: JOHANN BERNOULLI: La Nouvelle Physique Céleste 1734	129
Übersetzung: DANIEL BERNOULLI: Recherches physiques et astronomiques 1734	188
Übersetzung: LEONHARD EULER: De causa gravitatis 1743	207
Übersetzung: HUYGENS: Discours de la cause de la pesanteur 1690	213
Übersetzung: Brief v. LEIBNIZ an HUYGENS 1675?	217
Liste von Gravitationstheoretikern im 17./18.Jh.	221
Porträt der Lebenslage von JOHANN BERNOULLI ca 1735	224
Literaturverzeichnis	227
Lebenslauf	234

## Vorbemerkung.

*Alle Physiker sind einstimmig darin, daß es die Aufgabe der Physik sei, die Erscheinungen der Natur auf die einfachen Gesetze der Mechanik zurückzuführen. Welches aber diese einfachen Gesetze sind, darüber herrscht nicht mehr die gleiche Einstimmigkeit.*

(Heinrich Hertz, Die Prinzipien der Mechanik, Leipzig 1894; Vorwort)

*Wir machen uns innere Scheinbilder oder Symbole der äußeren Gegenstände, und zwar machen wir sie von solcher Art, daß die denotwendigen Folgen der Bilder stets wieder die Bilder seien von den naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände.*

(Heinrich Hertz, Die Prinzipien der Mechanik, Leipzig 1894; Einleitung)

In dieser Arbeit wird eine Debatte verfolgt, die um die Jahrhundertwende vom 17. ins 18. Jahrhundert bis weit in dessen zweite Hälfte hinein stattgefunden hat. Die zwei Zitate von Heinrich Hertz machen deutlich, daß die behandelten Fragen auch später eine Rolle spielten und nach meiner Meinung auch heute noch spielen. Die hier dokumentierten Bemühungen sind zweiteilig. Die zugrunde liegenden Texte mußten zuerst ins Deutsche übertragen und alsdann in ihrer Art gewürdigt werden. Die Ausgangssprachen waren dabei Latein und Französisch, selten Englisch.

**Bei den Übertragungen aus dem Lateinischen verdanke ich Herrn Prof. Walter Saltzer vom Institut für Geschichte der Naturwissenschaften der Johann Wolfgang Goethe Universität Frankfurt a. Main große Hilfe und Ermutigung. Ihm verdanke ich die Themenstellung, und ohne ihn wäre manche Stelle im Dunkeln geblieben,** denn meine Übung im Übersetzen lateinischer Texte war durch die Jahre hin verschüttet worden. Ohne die Übungen im Seminar und seine Hilfe hätte ich die Aufgabe wohl nicht bewältigen können. Die Übertragung aus dem Französischen dagegen war durch niemals unterbrochene Übung in der Sprache wesentlich leichter möglich.

Grundsätzlich wurde versucht, den Stil der Autoren und das angegebene Layout angemessen in den deutschen Text zu übertragen bzw. zu übernehmen. So wurde demgemäß die Einteilung in Kapitel und auch die Unterteilung oder Nichtunterteilung in Absätze bei den einzelnen Paragraphen beibehalten.

Hervorhebungen im Original sind auch wieder als Hervorhebungen- möglichst der gleichen Art- wiedergegeben. Hervorhebungen durch mich habe ich als solche kenntlich gemacht. Manchmal verlangt die Logik einen Layout- Wechsel, obwohl das Original keinen besitzt; dann wurde auf dieses Versäumnis in der Fußnote aufmerksam gemacht.

Der Satz- Stil der Zeit ist durch lange Perioden, skandiert durch Semikola, gekennzeichnet, Punkte wurden m.E. zu selten verwendet. Ich habe dies ebenfalls, so weit es ging, beibehalten. Freilich war es einfach für das Inhaltsverständnis nötig, ab und zu ein Semikolon durch einen Punkt zu ersetzen. Dennoch wurde versucht, den Sprachduktus korrekt wiederzugeben. Bei der Wortwahl habe ich, falls es das gab, ein aus der Fremdsprache stammendes Wort durch das entsprechende Fremdwort im Deutschen wiedergegeben. Nur bei etwas ungewöhnlicheren Vokabeln wurde beim ersten Verwenden in der Fußnote dies noch einmal erläutert.

In manchen Fällen konnte ich kein geeignet scharfes Wort im Deutschen finden, dann habe ich die fremdsprachige Vokabel beibehalten und ihren Verwendungssinn vorher erklärt. Bei Verwendung von in der Fremdsprache üblichen poetischen Sprachbildern wurde versucht, im Deutschen adäquate Sprachbilder zu finden. An Stellen, die etwas zweifelhaft waren, wurde in den Fußnoten darauf hingewiesen.

Offensichtliche Fehler habe ich korrigiert und in den Fußnoten benannt. Allerdings bin ich bei Zitaten bei dem vorgefundenen Ergebnis geblieben, solange dies nicht sinnenstimmig war. Auch hinsichtlich der Rechtschreibung und der Grammatik, besonders bei den französischen Texten, weichen diese vom heutigen Sprachgebrauch deutlich ab. Dennoch habe ich die altertümliche Form beibehalten. Die Leser können sich bei den Zitaten dann selbst ein Bild machen, ob die Übersetzung dem Text adäquat ist. Bei Namen wurde genau dann „Herr“ vorgesetzt, wenn z. B. bei BERNOULLI „M.“ stand. Ein „H.“ im Deutschen entspricht meiner Meinung nach nicht dem Original. Zu allen Namen, die bis jetzt entschlüsselt werden konnten, wurden kurze Daten in den Fußnoten gegeben. Aufklärung geben auch oft meine Ausführungen in den die Texte kommentierenden Artikeln.

Auch dort, wo es möglich gewesen wäre und auch nach heutigem Sprachempfinden angebracht, wurde nicht ein heutiger verkürzter oder verkürzender Ausdruck gewählt, sondern Wortwahl und Grammatik der Autoren beachtet.

Eine Abweichung im Layout habe ich vorgenommen: Bei Aufzählungen schreibt mancher Autor einen fortlaufenden Text ohne Layout – Hilfe. Das geht manchmal so weit, daß ein „2.“ am Schluß einer Zeile steht und die zugehörige Aufzählung vorne. Hier habe ich Absätze und hängende Absatzformatierung zur Präparation der Aufzählung vorgenommen. Auch die mathematischen Einsprengsel in Texten habe ich häufig, schon um die Lesbarkeit zu erhöhen, nach heutigem Gebrauch geschrieben. Selbst wenn ein Bruch als Proportion vom Autor aufgefaßt wurde, liest sich die heutige Bruchschreibweise einfach besser als die alte mit dem Doppelpunkt. Auch Wurzelzeichen sind heutigem Gebrauch angepaßt viel deutlicher zu lesen, als die alte Version (von KEPLERS Gebrauch einmal ganz zu schweigen).

Zeichnungen, die der Quelle beigegeben waren, wurden von mir als Graphik „gescanned“ und möglichst an der entsprechenden Textstelle eingefügt.

Bei der Übersetzung des Textes von DANIEL BERNOULLI wurden die Fußnoten des Originals an der entsprechenden Stelle eingefügt. Eigene Bemerkungen von mir als Fußnoten wurden gesondert kenntlich gemacht.

Als Empfehlung für die Lektüre spreche ich mich dafür aus, zuerst den Text eines Autors in der Übersetzung zu lesen und dann die kommentierenden Artikel. Selbstverständlich kann aber auch der umgekehrte Weg gegangen werden.

Zum Schluß möchte ich der Universitätsbibliothek noch ein Lob aussprechen. Hatte sie doch entweder selbst wichtige Texte oder hat sie mir in relativ kurzer Zeit per Fernleihe verschafft. Beim Vergleich mit den entsprechenden Mühen meiner Studentenzeit ist doch der Fortschritt auf diesem Gebiet unverkennbar und wird dankbar entgegen genommen.

#### Verwendete Abkürzungen:

LT	<b>L</b> eibniz, <b>T</b> entamen de motuum Coelestium,	S. 111
JBP	<b>J</b> ean <b>B</b> ernoulli, <b>L</b> a nouvelle <b>P</b> hysique céleste	S. 129
DBR	<b>D</b> aniel <b>B</b> ernoulli, <b>R</b> echerches physiques et astronomiques	S. 188
ECG	Leonhard <b>E</b> uler, <b>D</b> e causa gravitatis	S. 207
HDC	<b>H</b> uygens, <b>D</b> iscours sur la cause de la Pesanteur	S. 213
BLH	<b>B</b> rief v. <b>L</b> eibniz an <b>H</b> uygens	S. 217

## Kontinentale Gegenmodelle zu NEWTONS Gravitationstheorie.

Mit KEPLER fängt die Geschichte der Erklärung der Gravitationswirkung auf dem Kontinent an. Dies ist zumindest die Meinung von LEIBNIZ in seiner Schrift *Tentamen de motuum coelestium causis*.<sup>1</sup> Dort wird, ganz in der Art dieses Autors, eine Literaturrecherche an den Anfang gestellt und der Befund ausgewertet. In der Tradition der Aufklärung stand dabei das Bemühen, die Phänomene auf Gesetzmäßigkeiten zurückzuführen und insbesondere alle Wirkmechanismen (mechanisch) zu erklären. Bei NEWTON findet die gleiche Bemühung statt, nur mit dem Unterschied, daß dieser die Gesetzmäßigkeiten lediglich mathematisch erfassen will<sup>2</sup>, den Wirkmechanismus aber nicht angeben kann und ihn als *active principle*<sup>3</sup> in die Hand Gottes legt. Dabei hat er bei seinen Zeitgenossen, Anhängern wie Gegnern, in seinen *Principia* durchaus den Eindruck vermittelt, daß die Schwere wie die Trägheit eine Eigenschaft der Körper sei.<sup>4</sup> Dadurch, daß sie nicht erklärt wurde, erwachte die Kritik, besonders auf dem Kontinent, auf dem sich die aufklärerische Tradition stärker entwickelt hatte. Es entstand eine eigentümliche Frontstellung, die wohl auch zum großen Teil durch den beginnenden Streit zwischen LEIBNIZ und NEWTON über die Priorität bei der Erfindung der Infinitesimalrechnung befestigt wurde. NEWTON wurde seitens kontinentaler Wissenschaftler

<sup>1</sup> Siehe Kapitel LEIBNIZ in dieser Arbeit.

<sup>2</sup> NEWTON, Isaac, *Principia*, (bezüglich *Principia* stütze ich mich auf die Edition von Samuel Horsley, *Newtoni opera quae extant omnia*, London 1779/85 Vol. II/III, Nachdruck Fromman/Holzboog Verl. Stuttgart 1964), III p.180 „.. [.. ] ..*Philosophi recentiores aut vortices esse volunt, ut KEPLERUS & CARTESIUS, aut aliud aliqod sive impulsus sive attractionis principium, ut BORELLUS, HOOKIUS, & ex nostratibus* (sic !) *alii. Ex motus lege prima certissimum est vim aliquam requiri. Nobis propositum est quantitatem & proprietates ipsius eruere, atque effectus in corporibus movendis investigare mathematice...* .. [.. ]“.(Hervorhebung v. mir. „nostratibus“ läßt durchaus ein Lager erkennen.)

„... [.. ] *Neuere Wissenschaftler wie KEPLER und DESCARTES setzen Wirbel als Annahme oder irgendein anderes Prinzip entweder des Impulses oder der Anziehung, wie BORELLI und HOOKE und andere Landsleute. Aus dem ersten Gesetz der Bewegung geht mit größter Gewißheit hervor, daß irgendeine Kraft notwendig ist. Unsere Aufgabe ist es, Größe und Eigenschaften jener zu erforschen und deren Wirkung auf bewegliche Körper mathematisch zu untersuchen.* .. [.. ]“ (Übers. von mir)

<sup>3</sup> NEWTON, Isaac, *OPTICKS*, London 1704, Nachdruck d. 4.Aufl. 1730 bei DOVER, New York 1952. Alle Seitenangaben beziehen sich auf diesen Nachdruck; **Hervorhebung** im Original, Unterstreichung von mir. In Query 28 (S.369) “[..]And for rejecting such a medium (Aether, Autor), we have the Authority of those the oldest and most celebrated Philosophers of Greece and Phoenicia, who made a Vacuum, and Atoms, and the Gravity of Atoms the first Principle of their Philosophy; tacitly attributing Gravity to some other Cause than dense Matter. Later Philosophers banish the Consideration of such a Cause out of natural Philosophy feigning Hypotheses for explaining all things mechanically, and referring other Causes to Metaphysics: Whereas the main Business of natural Philosophy is to argue from Phaenomena without feigning Hypotheses, and to deduce Causes from Effects, till we come to the very first Cause, which certainly is not mechanical [..]”

Weiter in Query 31 (S.397): “[..] *The Vis inertia is a passive Principle by which Bodies persist in their Motion or Rest [..]“ und S. 399: “[..] Seeing therefore the variety of Motion which we find in the World is always decreasing, there is a necessity of conserving and recruiting it by active Principles, such as are the Cause of Gravity, by which Planets and Comets keep their Motions in their Orbs, and Bodies acquire great Motion in falling, [..]” und ferner S 401 : „ [..]It seems to me farther, that these Particles have not only a *vis inertiae*, accompanied with such passive Laws of Motion as naturally result from that Force, but also that they are moved by certain active Principles, such is that of Gravity, and that which causes Fermentation, and the Cohesion of Bodies. These Principles I consider, not as occult Qualities, supposed to result from the specifick Forms of Things, but as general Laws of Nature, by which the Things themselves are form'd; their Truth appearing to us by Phaenomena, though their Causes be not yet discover'd. For these are manifest Qualities, and their Causes only are occult. [..]”*

<sup>4</sup> Für die Belegstellen folge ich Saltzer, Walter, *Problematisches zu Newtons Principia*, in Gotstedter A.v. [Hrsg.], *Ad Radices*, Stuttgart 1994 S.553: „*principia* a.a.O.: Fußn.3 Lib.I Prop.69; I Sect.XII Prop. 74-76 (statt Masse wird „homogene Sphären“ verwendet); Lib. II Prop.24 Corol. 3-7; Lib.III Prop. 5-7, zu Prop.6 auch Corol. 1,2,5.“

vorgeworfen, er führe rückschrittlich okkulte Qualitäten wieder in die Wissenschaft ein<sup>5</sup>, und sie entwickelten Gegenmodelle.<sup>6</sup> In dieser Abhandlung soll diese Auseinandersetzung am Beispiel historisch bedeutsamer Wissenschaftler jener Zeit, GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ, JOHANN BERNOULLI, DANIEL BERNOULLI und LEONHARD EULER anhand meist einer ihrer, diesem Thema gewidmeten, Schriften betrachtet werden. Dabei werden natürlich weitere Wissenschaftler der Zeit mit hineingezogen, insbesondere KEPLER und HUYGENS.

### NEWTONS Kritik an den Wirbelmodellen zur Erklärung der Himmelsbewegungen.

In NEWTONS *Principia* findet sich gegen Ende des zweiten Buches der Lehr-Satz:

*Wenn eine feste Kugel sich in einer uniformen und unbegrenzten Flüssigkeit um eine Achse mit fest gegebener Lage mit gleichförmiger Bewegung dreht, und die Flüssigkeit durch diesen Impuls alleine in Umdrehung versetzt wird; indes möge jeder Teil der Flüssigkeit gleichförmig in seiner Bewegung verharren: Dann, sage ich, verhalten sich die periodischen Umlaufzeiten der Flüssigkeitsteile (gemeint sind wohl die Schichten, Übers.) wie die Quadrate der Abstände vom Mittelpunkt der Kugel.<sup>7</sup>*

Nach einigen Corollaren folgt dann das SCHOLIUM, in welchem bei NEWTON in der Regel die physikalische Konsequenz aus dem Vorhergehenden gezogen wird:

*[...] Ich habe aber in diesem Lehr-Satz (propositio) versucht, die Eigenschaften der Wirbel zu untersuchen, (und) damit zu überprüfen, ob die Verhältnisse der himmlischen Phänomene durch Wirbel erklärt werden könnten. Es ist ein Phaenomenon, daß die periodischen Zeiten der Planeten (besser wohl Satelliten, Übers.), die um den Jupiter kreisen, zu den Abständen vom Zentrum des Jupiter im Verhältnis der 1  $\frac{1}{4}$ fachen Potenz stehen. Und die gleiche Regel gilt bei Planeten, die sich um die Sonne bewegen. Diese Regel wird von den Planeten und den anderen (Satelliten) aufs Genaueste beibehalten, soweit astronomische Beobachtungen bis jetzt beitragen konnten. Wenn daher jene Planeten von den Wirbeln, die um Jupiter und die Sonne rotieren, dahingetragen werden, so ist es notwendig, daß auch diese Wirbel nach diesem Gesetz rotieren. In Wahrheit stehen aber die Umlaufzeiten der Wirbelteile im quadratischen Verhältnis zu den Abständen vom Zentrum der Bewegung: Jenes Verhältnis kann weder verringert noch auf das der 1  $\frac{1}{4}$ fachen Potenz reduziert werden, wenn nicht die Materie des Wirbels desto flüssiger wird je weiter sie vom Zentrum entfernt ist; .. [...] Es mögen daher die Wissenschaftler (welche die Theorie der Wirbel vertreten; Übers.) zusehen, auf welche Weise sie das Phaenomenon des 1  $\frac{1}{4}$ fachen Verhältnisses aus der Theorie der Wirbel erklären können.<sup>8 9</sup>*

<sup>5</sup> Komprimiert ist die Kritik sicher am besten dargestellt in LEONHARD EULERS *DE CAUSA GRAVITATIS*, deren Übersetzung beigelegt ist. Gleichzeitig wird deutlich werden, daß EULER auch ein großer Bewunderer NEWTONS ist.

<sup>6</sup> Man betrachte nur die im Anhang beigegebene „Liste von Gravitationstheoretikern“, die keinesfalls den Anspruch der Vollständigkeit erheben kann.

<sup>7</sup> a.a.O. II, S.450, Prop. LII, Theor. XL (eigene Übersetzung):  
*Si Sphaera solida, in Fluido uniformi et infinito, circa axem positione datum, uniformi cum motu revolvatur, et ab hujus impulsu solo agatur Fluidum in orbem; perseveret autem Fluidi pars unaquaeque uniformiter in motu suo: dico, quod tempora periodica partium Fluidi erunt ut quadrata distantiarum a centro Sphaerae.*

<sup>8</sup> a.a.O. II, S.456/57, Scholium (eigene Übersetzung):  
*[...] Proprietates autem Vorticum hac Propositione investigare conatus sum, ut pertentarem, siqua ratione Phaenomena Coelestia per vortices explicari possint. Nam Phaenomenon est, quod Planetarum,*

Hier erhebt der Verfasser der *Principia* eine deutliche Kritik gegen die Anhänger der Wirbeltheorie. Die fehlende Übereinstimmung zwischen der Physik der Wirbel, die man studieren kann, und den Phänomenen des Himmels, die sicher beobachtet sind, ist evident. NEWTON kann sein Scholium quasi spöttisch schließen: „Mögen sie doch zusehen, wie sie das schaffen“. Gründlich aber, wie er nun einmal ist, wird noch ein Lehrsatz nachgeliefert:

*Körper, welche in einem Wirbel im Kreise dahingetragen werden, haben die gleiche Dichte wie der Wirbel und werden nach dem gleichen Gesetz wie dessen Teile (Wirbelschichten, in denen sie schwimmen; Übers.), was die Geschwindigkeit und die Richtungsbestimmung betrifft, bewegt.*<sup>10</sup>

Und im ersten nachfolgenden Corollar wird noch ergänzt:

*Also wird ein fester Körper, der mit einem Wirbel rotiert und immer dieselbe Umlaufbahn beschreibt relativ zur Flüssigkeit, in der er schwimmt, ruhen.*<sup>11</sup>

Das nachfolgende Scholium zieht dann das Fazit:

*Hieraus wird deutlich, daß die Planeten nicht durch körperliche Wirbel herumgetragen werden. Denn, nach dem zweiten COPERNIKANISCHEN Gesetz<sup>12</sup>, rotieren die Planeten, die um die Sonne getragen werden, in Ellipsen mit Mittelpunkt (umbilicus) in der Sonne, & Radien, zur Sonne gezogen, beschreiben (überstreichen) Flächen, die den Zeiten proportional sind. Die Teile eines Wirbels aber können sich so nicht bewegen.*

*circa Jovem revolventium, tempora periodica sunt in ratione sesquuplicata distantiarum a centro Jovis; & eadem regula obtinet in Planetis, qui circa Solem revolvuntur. Obtenent autem haec regulae in Planetis utrisque quam accuratissime, quatenus Observationes Astronomicae hactenus providere. Ideoque si Planetae illi a Vorticibus, circa Jovem & Solem revolventibus, deferantur, debeunt etiam hi vortices eadem lege revolvi. Verum tempora periodica partium Vorticis prodierunt in ratione duplicata distantiarum a centro motus: neque potest ratio illa diminui & ad rationem sesquuplicatam reduci, nisi vel materia Vorticis eo fluidior sit, quo longius distat a centro; [...]. Viderint itaque Philosophi, quo pacto Phaenomenon illud rationis sesquuplicatae per Vortices explicari possint.*

<sup>9</sup> Es handelt sich offenbar um das 3. KEPLERSCHE Gesetz, welches auch eine Folge der Kraft, die auf ein Zentrum gerichtet ist, darstellt. LEIBNIZ hat dieses, wie die anderen KEPLERSCHEN Gesetze aus seinen Annahmen hergeleitet, hat aber für die Herleitung die Wirbel nicht benutzt, sondern nur für die Vorstellung der URSACHE der Zentralkraft. Überdies hat er, wie von mir an anderer Stelle dargestellt wurde (Kapitel LEIBNIZ), die Arbeit NEWTONS bei der Abfassung nicht gekannt, sondern vor Drucklegung nur eine Rezension gelesen, die zur Zitierung NEWTONS in *Tentamen...* führte. Auch die II. Fassung im Manuskript, die ich übersetzt habe, geht auf diese Ausführungen NEWTONS nicht ein. Aus der textkritischen Ausgabe der *principia* von COHEN/KOYRÉ (Cambridge(Mass.) 1972) geht hervor, daß die fraglichen Sätze schon in der ersten Auflage 1687 enthalten waren. Aber wahrscheinlich glaubte LEIBNIZ nicht darauf eingehen zu müssen, weil für seine Herleitungen keine seiner benutzten Prinzipien angegriffen waren. Hinsichtlich der Wirbel war er sowieso der Auffassung, daß sie sich in **harmonischer** Bewegung befänden.(s. §27 von *Tentamen de motuum coelestium causis*)

<sup>10</sup> *Principia* a.a.O. II, S.457, :Prop. LIII. Theor. LXI. (eigene Übersetzung)

*Corpora, quae in Vortice delata in orbem redeunt, ejusdem sunt densitatis cum Vortice, eadem lege cum ipsius partibus, quoad velocitatem et cursus determinationem moventur.*

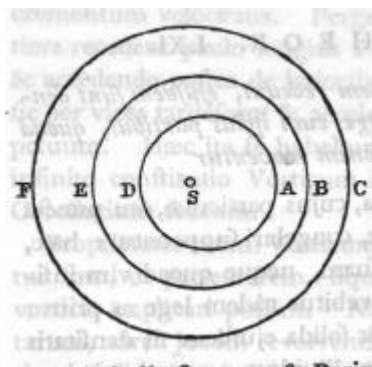
<sup>11</sup> *Principia* a.a.O. II, S.458, Corol. 1: (eigene Übersetzung)

*Ergo Solidum, quod in Vortice revolvitur, & in eundem orbem semper redit, relative quiescit in Fluido cui innatat.*

<sup>12</sup> *Principia* a.a.O. II, S.458/59, Scholium (eigene Übersetzung):

Dies ist das zweite Gesetz von KEPLER, den NEWTON aber erst in LIBER III bei PHAENOMENON IV zum erstenmal erwähnt. Vielleicht hat er KEPLERS Verteidigung des KOPERNIKANISCHEN Weltbildes da irgendwie vermischt. Auf jeden Fall beansprucht er nicht das Gesetz für sich, sondern gibt Vorgänger, auf denen er fußt, bekannt, wenn auch in diesem Fall sehr spät.





Kopie der Originalabbildung

Wenn AD, BE, CF beschriebene Umlaufbahnen um die Sonne S darstellen, deren äußerste, CF, ein konzentrischer Kreis um die Sonne sei, während bei den inneren die beiden Aphelien A und B und die Perihelie D und E seien. So wird also ein Körper, der in der Bahn CF rotiert, mit den zur Sonne gezogenen Radien der Zeit proportionale Flächen beschreiben und sich gleichförmig (im Kreise) bewegen. Der Körper aber, der in der Bahn BE rotiert, wird sich langsamer im Aphel B & schneller im Perihel E bewegen, nach den astronomischen Gesetzen. Jedoch, nach den mechanischen Gesetzen, müßte sich die Materie des Wirbels in dem engen Bereich zwischen A & C schneller bewegen, als im weiteren Bereich zwischen D & F; das heißt im Aphel schneller als im Perihel. Diese beiden widersprechen einander.<sup>13</sup>

Mit diesem Widerspruchsbeweis und der Verdeutlichung an einigen Stellen des Zodiak kann NEWTON dann sein Fazit ziehen und damit Buch II beenden:

*Daher liegt die Hypothese der Wirbel mit den astronomischen Phaenomenen gänzlich im Streit und führt nicht so sehr zu deren Erklärung, als zur Verwirrung der himmlischen Bewegungen. In welcher Weise in Wahrheit jene im freien Raum, ohne Wirbel ausgeführt werden kann, kann aus Buch I eingesehen werden & wird in „MUNDI SYSTEMATE“ noch vollständiger gelehrt werden.<sup>14</sup>*

Diese Kritik NEWTONS ist insbesondere gegen die Wirbeltheorie von DESCARTES<sup>15</sup> gerichtet und aus Beobachtungen und Herleitungen sauber begründet. Keiner der Zeitgenossen

<sup>13</sup> *Principia* a.a.O. II, S. 458, Scholium (eigene Übersetzung):  
*Hinc liquet Planetas a Vorticibus corporeis non deferri. Nam Planetae, secundum hypothesin Copernicanaeam, circa Solem delati revolvuntur in Ellipsis umbilicum habentibus in Sole, & radiis ad solem ductis, areas describunt temporibus proportionales. At partes Vorticis tali motu revolvi nequeunt. Designent AD, BE, CF, orbes tres circa Solem S descriptos; quorum extimus, CF, sit Soli concentricus, & interiorum duorum Aphelia sint A,B, & Periphelia D, E. Ergo corpus, quod revolvitur in orbe CF, radio ad Solem ducto, areas temporibus proportionales describendo, movebitur uniformi cum motu. Corpus autem, quod revolvitur in orbe BE, tardius movebitur in Aphelio B, & velocius in Periphelio E, secundum leges Astronomicas; cum tamen, secundum leges Mechanicas, materia Vorticis in spatio angustiore inter A & C, velocius moveri debeat, quam in spatio latiore inter D & F; id est, in Aphelio velocius quam in perihelio. Quae duo repugnant inter se. [...]*

<sup>14</sup> *Principia* a.a.O. II, S.459, Scholium (eigene Übersetzung):  
 [...] Itaque hypothesis Vorticum cum Phaenomenis Astronomicis omnino pugnat, & non tam ad explicandos, quam ad pertubandos motus coelestes conducit. Quomodo vero motus isti in spatiis liberis, sine Vorticibus, peraguntur, intelligi potest ex libro Primo, & in Mundi Systemate jam plenius docebitur.

<sup>15</sup> DESCARTES, *Principia philosophiae*, Amsterdam 1644 bzw. *Les principes de la philosophie*, Paris 1647, ins Französische übersetzt von Abbé Picot, überprüft und genehmigt von Descartes. Abdruck in Alquié [Hrsg.], Ferdinand, DESCARTES OEVRES PHILOSOPHIQUES, Paris 1973, Tome III, 3<sup>e</sup> partie „Du monde visible, pages 221 – 351. Die Entstehung des Planetensystems und eine Erklärung der Planetenbewegungen aus Wirbeln wird dort dargestellt.

Die Publikationsgeschichte ist verwickelt, gewisse Teile werden aus Gründen, die in der Politik des Vatikans liegen, erst posthum publiziert. Die Publikationsgeschichte kann dort nachgelesen werden oder in

oder der späteren Wissenschaftler leugnete die Schwierigkeiten, die die Wirbeltheorie aufwarf. Aber, sie hatte einen Vorzug, sie erklärte die Bewegungen als durch nahwirkende Kräfte veranlaßt. Diese brauchten also Zeit für die Ausbreitung der Wirkung, und sie lieferten ein mechanisches Verständnis. Also modifizierten die Wissenschaftler, die auf solche Art von Kräften bestanden, die tragenden Wirbel in vielfältiger Weise. Mit der Entdeckung weiterer physikalischer Phänomene, die eine gleichartige Kraftausbreitung nahe legten (Magnetismus, elektrische Kräfte), konnte sich dann die sog. Aethertheorie etablieren, die schließlich die Schwierigkeiten der NEWTONSCHEN Theorie in Vergessenheit geraten ließen, bis sie durch Albert EINSTEIN und der von ihm entwickelten Theorien wieder aus der Vergessenheit gezogen wurden. Die von NEWTON vertretene fernwirkende Kraft war immer als instantan wirkend zu betrachten, und Fernwirkung ist auch heute noch mit instantaner Ausbreitung<sup>16</sup> verbunden. Sein bekanntes „Scholium Generale“ beginnt NEWTON mit den Worten: „*Die Hypothese der Wirbel wird von vielen Schwierigkeiten bedrängt...*“, um in der Folge nochmals alle Einwände zusammenzustellen. Zu den Schwierigkeiten, die bei Planeten und deren Satelliten hinsichtlich einer Wirbeltheorie bestehen und die er aufzählt, tritt jetzt noch ein weiteres Argument hinsichtlich der Kometen hinzu. Mit diesen sei die Wirbeltheorie überhaupt nicht zu vereinbaren. Erstens würden sie in allen Himmelsrichtungen wahrgenommen, während sich doch die Wirbel um die Äquatoren der Himmelskörper zu drehen hätten. Dann tritt noch eine Eigenschaft der Kometen hinzu, die es zu beachten gilt:

*Vermöge dieser Bewegung durchqueren die Kometen die Umlaufbahnen der Planeten schnell und leicht; ferner sind sie in ihren Aphelien, wo sie langsamer sind und lange verweilen, so weit voneinander entfernt, daß sie sich gegenseitig quasi überhaupt nicht anziehen.*

Aus der Leichtigkeit, mit der Kometen die Bahnen der anderen Himmelskörper durchqueren, kann geschlossen werden, daß sie keinen Widerstand erleiden durch die Materie des Wirbels, der angeblich den Planeten tragen soll. NEWTON kann also jetzt zu einem ihm besonders am Herzen liegenden Thema überleiten:

*Das Gefüge aus Sonne, Planeten und Kometen ist elegantest und konnte nur aus dem Ratschluß und der Herrschaft eines alles einsehenden und mächtigen Wesens hervorgehen. . [...] <sup>17</sup>*

Danach setzt er zu einer gewaltigen Predigt und einer Lobpreisung Gottes an, um alsdann fortzufahren:

*. [...] Ich habe bisher die Phänomene der Himmel und unseres Meeres aus der Gravitationskraft erklärt; aber die Ursache der Schwere habe ich nirgends erläutert. Diese Kraft rührt von irgendeiner Ursache her, die durchdringt bis zum Zentrum der Sonne und der Planeten, ohne etwas von ihrer Wirksamkeit zu verlieren;... [...]*

*Die wahre Ursache der Eigenschaft der Schwere habe ich nicht aus den Phänomenen herleiten können & und Hypothesen täusche ich nicht vor. Alles nämlich, was aus den Phänomenen nicht herzuleiten ist, nenne ich Hypothese; & Hypothesen, seien es metaphysische, seien es physische, seien es okkulte Qualitäten, seien*

Tripp [Hrsg.], René Descartes, Le Monde ou Traité de la Lumière, französisch- deutsche Ausgabe, Weinheim 1986

<sup>16</sup> MEYERS Lexikon der Technik und der exakten Naturwissenschaften, Mannheim 1970, Stichwort „Fernwirkung“: *eine Kraftwirkung, die ohne die Vermittlung des dazwischenliegenden Raumes bzw. eines in ihm befindlichen Zwischenmediums (Feld) ausgeübt wird und deren Übertragung instantan erfolgt. [...]* (Hervorhebung v. mir).

<sup>17</sup> *Principia* a.a.O. III, S170/71, Scholium Generale (eigene Übersetzung): *Hypothesis Vorticum multis premitur difficultatibus. [...] quo motus genere Cometae per orbis Planetarum celerrime & facillime transeunt; & in Apheliis suis ubi tardiores sunt & diutius morantur, quam longissime distant ab invicem, ut se mutuo quam minime trahant. Elegantissima haecce Solis, Planetarum & Cometarum compages non nisi consilio & dominio Entis intelligentis & potentis oriri potuit. [...]*

*es mechanische haben in der experimentellen Wissenschaft keinen Platz. In dieser Wissenschaft werden Lehr- Sätze hergeleitet aus den Phänomenen und generalisiert per Induktion. Auf diese Weise sind Undurchdringlichkeit, Beweglichkeit, & der Anstoß der Körper (impetus corporum), & die Gesetze der Bewegung und der Schwere aufgestellt worden. Es ist genug, daß die Schwere existiert & nach den zwei Gesetzen, wie von uns dargestellt, & alle Bewegungen der Himmelskörper und unserer Meere befriedigt. [...]*<sup>18</sup>

Die Kritik NEWTONS an der herrschenden Wirbel- Theorie ist deutlich, aber mit den letzten Worten in seinem Scholium Generale hat er nun genau wieder die Kritiker seiner Theorie auf den Plan gerufen. Zwar verwahrt er sich gegen die okkulten Qualitäten in der experimentellen Wissenschaft. Indessen wurde ihm genau dieser Vorwurf selbst gemacht. Denn er gab zu, und sprach es selbst aus, daß er die Ursache der Schwere nicht erklären konnte. Der Geist der Aufklärung im Gewand der kontinentalen Mechanik aber verlangt unbedingt nach einer solchen Erklärung. Damit sind die Fronten abgesteckt: Hier NEWTON mit dem leeren Raum, in dem die Himmelskörper ohne Reibung per Schwerkraft, die eine unerklärte Fernkraft ist, bewegt werden. Diese Bewegungen werden aber durch seine Theorie befriedigend und genau erklärt und leicht berechenbar. Dort die kontinentalen Wissenschaftler, besonders gruppiert um die Académie Royale des Sciences de Paris, der Aufklärung und der Klarheit verpflichtet und Anhänger DESCARTES. Diese Frontstellung wird dann noch durch den Prioritätenstreit zwischen NEWTON und LEIBNIZ über die Erfindung der Analysis verschärft.

### Das Wirbelmodell der Schwere.

Folgen wir LEIBNIZ, indem wir in KEPLER den ersten Wissenschaftler sehen, der ein Schwere – Modell besitzt, so finden wir dies in LEIBNIZENS Formulierung:

*„Jedoch, die Ursachen dieser gewaltigen und so konstanten Wahrheiten konnte er (eben KEPLER, Übers.), noch nicht, angeben, teils weil er seinen Geist durch ( die Annahme ) von Intelligenzen und unerklärlichen Strahlen von „Sympathiekräften“ behindert hielt, teils weil zu seiner Zeit die höhere Geometrie und die Wissenschaft der Bewegung (Kinematik) noch nicht dahin fortgeschritten waren, wo sie sich jetzt befinden. Und dennoch hat er auch den Zugang zum Aufspüren der (wahren) Gründe eröffnet. Denn ihm wird das erste Indiz eines physikalischen Gebrauchs (Verständnisses) dieses Naturgesetzes geschuldet, an dem entweder die Schwere hängt oder wenigstens wunderbar illustriert wird, daß ( nämlich ) rotierende Körper tangential<sup>19</sup> vom Zentrum sich zu entfernen streben.“<sup>20</sup>*

<sup>18</sup> *Principia* a.a.O. III, S173/74, Scholium Generale (eigene Übersetzung):  
*Hactenus Phaenomena caelorum & maris nostri per vim gravitatis exposui; sed causam gravitatis nondum assignavi. Oritur utique haec vis a causa aliqua, quae penetrat ad usque centra Solis & Planetarum, sine virtutis diminutione; [...]*  
*Rationem vero harum Gravitatis proprietatum ex Phaenomenis nondum potui deducere, & hypotheses non fingo. Quicquid enim ex phaenomenis non decitur, Hypothesis vocanda est; & hypotheses, seu Metaphysicae, seu Physicae, seu Qualitatum Occultarum, seu Mechanicae, in Philosophia Experimentalis locum non habent. In hac Philosophia Propositiones deducuntur ex phaenomenis, & redduntur generales per inductionem. Sic impenetrabilitas, mobilitas, & impetus corporum, & leges motuum & gravitatis innotuerunt. Satis est quod Gravitatis revera existat, & agat secundum leges a nobis expositas, & ad corporum caelestium & maris nostri motus omnes sufficit.*

<sup>19</sup> hier würden wir „radial“ erwarten, aber in den alten Schriften ist die Zentrifugalkraft diejenige Kraft, die Körper tangential sich aus einer Kreisbewegung entfernen läßt. S. dazu z.B. DESCARTES, *Les Principes de la Philosophie*, Paris 1647; abgedruckt in Alquié, Ferdinand (Hrsg.), a.a.O., Tome II, Paris 1967. Dort wird unter der Überschrift: „39. La seconde loi de la nature: *que tout corps qui se meut, tend à continuer son mouvement en ligne droite.*“ das **Steinschleuder- Modell** vorgestellt. Der Körper wird dabei in DESCARTES Vorstellung auf einem Polygonzug bewegt mit der Begründung: „*si on suppose que c'est celle-là qui touche le cercle*“ (p.190).

Gemeint ist eine Erklärung der Schwere, die als Reaktion auf die Fliehkräfte im Wirbel einsetzt. Liest man bei KEPLER in der ASTRONOMIA NOVA nach, so finden sich dort in der Einleitung, die KEPLER dem Werk voranstellt, seine Grundsätze der Schwere<sup>21</sup>

*Die wahre Lehre über die Schwere stützt sich auf diese Axiome.*

*Jede körperliche Substanz, insoweit sie körperlich ist, ist von ihrer Abstammung her veranlagt, an jedem Ort zu ruhen, an welchen sie alleine gelegt ist, außerhalb des Wirkungskreises eines verwandten Körpers.*

*Die Schwere ist das gegenseitige körperliche Bestreben zwischen verwandten Körpern zur Vereinigung oder zur Verbindung (von dieser Art ist auch die magnetische Fähigkeit), so daß die Erde viel stärker den Stein anzieht, als der Stein zur Erde strebt.*

*Das Schwere [maximal(gilt dies), wenn wir die Erde ins Zentrum der Welt setzen] wird nicht zum Zentrum der Welt getrieben, sondern zum Zentrum eines verwandten runden Körpers, wie zum Beispiel die Erde. Daher, wo auch immer die Erde sich befindet oder wie auch immer die Erde bewegt wird, infolge ihrer beseelten (animalis) Fähigkeit, wird das Schwere immer zu ihr hingetrieben.*

*Wäre die Erde nicht rund, so würde das Schwere nicht von überall her direkt zum Mittelpunkt der Erde getrieben werden, sondern würde zu verschiedenen Punkten von verschiedenen Seiten her getrieben.*

*Wenn zwei Steine an irgendeinen Ort der Welt gesetzt würden, benachbart miteinander, außerhalb des Wirkungskreises eines dritten, jene Steine würden in Ähnlichkeit mit zwei magnetischen Körpern an einem dazwischen liegenden Ort zusammentreffen, wobei sich der eine dem anderen in einem solchen Intervall annähert, wie es des anderen Masse im Vergleich ist.*

*Wenn Mond und Erde nicht durch eine beseelte Kraft oder irgend etwas anderes Vergleichbares zurückgehalten würden, nämlich in ihren Bahnen, so würde die Erde zum Mond den vierundfünfzigsten Teil des Abstandes hinaufsteigen, der Mond würde zur Erde ungefähr dreiundfünfzig Intervallteile hinabsteigen; ebendort würden sie sich vereinigen: es ist aber vorausgesetzt, daß die Substanz beider von ein und derselben Dichte sei.*

Diese Beschreibung der Schwere kann durchaus auch heute noch gelten, gibt aber keinerlei Aufschluß über deren Ursache. Allerdings ist die Verbindung zwischen Himmelskörpern durch die Schwere schon gegeben. Insofernhin ist KEPLER unglaublich modern. Interessant ist auch die letzte, quantitative Aussage. Man kann aus ihr erschließen, daß KEPLER offensichtlich den Volumenvergleich benutzt (von derselben Dichte) und die Volumina von Erde und Mond wie 54:1 betrachtet. Der heutige Wert, gerundet etwa 49:1, liegt nicht sehr weit davon. Aus geometrischen Proportionen wurde der KEPLERSCHE Wert abgeschätzt, denn die Formel für das Kugelvolumen aus dem Radius war zu dieser Zeit bekannt. Das Massenverhältnis von 81:1 ist erst durch das Gravitationsgesetz bekannt. Da NEWTON die Werke KEPLERS, wie ich meine, gelesen hat<sup>22</sup>, muß man sich wirklich fragen, warum er so spät

<sup>20</sup> G.W.LEIBNIZ, *Tentamen de motuum Coelestium Causis (II)*, abgedruckt in GERHARDT, Leibniz' mathematische Werke VI, S. 162: „*Sed tantarum tamque constantium veritatum causas dare nondum potuit, tum quod Intelligentiis aut sympathiarum radiationibus inexplicatis haberet praepeditam mentem, tum quod nondum illius tempore Geometria interior et Scientia motuum eo quo nunc profecissent. Aperuit tamen et rationibus indagandis aditum. Nam ipsi primum indicium debetur usus physici ejus naturae legis, a qua vel pendet gravitas vel saltem mirifice illustratur, quod corpora rotata conantur a centro recedere per tangentem,*”

<sup>21</sup> KEPLER, Johannes, ASTRONOMIA NOVA, Introductio, in FRISCH (Hrsg.), Opera Omnia Vol. III, Frankfurt u. Erlangen 1858-71, S. 151. (Eigene Übersetzung). Das vollständige Zitat und die Übersetzung finden sich im Kapitel LEIBNIZ in der Fußnote 75 auf S. 24/25

<sup>22</sup> In NEWTONS *DE MOTU*, dem Werk das den *principia* voranging, schreibt NEWTON (ich zitiere COHEN, Bernhard, Introduction to NEWTON'S PRINCIPIA, Cambridge (Mass.) 1971, dort Fußn.

seinen großen Vorgänger erwähnt und dessen 2. Gesetz fälschlich KOPERNIKUS zuschreibt<sup>23</sup>. Es ist aus unserer heutigen Sicht auch kein Wunder, daß die Idee des Magnetismus sofort mit der der Schwere verbunden wird, die Phänomene ähneln sich so sehr. In der Didaktik der Physik macht man (meines Erachtens mit Recht) davon Gebrauch, daß das Kraftgesetz zwischen Magneten formal dem der Gravitation gleicht, die Kräfte aber viel stärker sind, so daß sich so etwas wie die Periheldrehung unmittelbar demonstrieren läßt. Jedenfalls gibt KEPLER aber in der *Astronomia Nova* keinerlei Erklärung, sondern sagt selbst von den Bahnen der Himmelskörper Erde und Mond, sie würden *durch irgend etwas zurückgehalten*. LEIBNIZ zielt mit seinem Hinweis auf KEPLERS *EPITOME ASTRONOMIAE COPERNICANAE*, in der nach ihm an zwei Stellen deutlich würde, daß KEPLER den Schlüssel zur Erklärung besäße, ihn aber nicht zu nutzen gewußt hätte:

*Und folglich, wenn Spreu- oder Strohteilchen im Wasser schwimmen, das Wasser durch Rotation des Gefäßes in Wirbelbewegung gebracht und, da es dichter als die Spreuteilchen ist und demgemäß stärker als diese von der Mitte fortgestoßen wird, verstoßt es die Spreuteilchen zum Zentrum hin, wie er, ( KEPLER ) es selbst an zwei und mehreren Stellen in der EPITOMAE ASTRONOMIAE dargestellt hat, wiewohl er doch weiter Zweifel hegte, und in Unkenntnis der ihm zur Verfügung stehenden Mittel war er sich auch nicht genügend bewußt, wie viel daraus sowohl in der Physik als auch speziell in der Astronomie folgte.*

Ich habe nur eine einschlägige Stelle im angegebenen Werk gefunden. Und an dieser Stelle wird auch nicht versucht, eine Erklärung der Schwere damit zu geben, sondern es wird von KEPLER argumentiert, wie zu verstehen sei, daß die Erde nicht durch Schwere gegen die Sonne in diese geschleudert würde.<sup>24</sup>

## Zuerst die Phaenomene: Das Experiment

Dieses Experiment kann jeder Leser selbst ausführen, wenn es ihm nicht schon geläufig ist. Er benötigt dazu nur eine Tasse Tee (mit Teeblättern, Teebeutel sind ungeeignet). Da dieses Experiment sich nämlich durch die Geschichte der Physik bis ins 20. Jahrhundert zieht, lassen wir Albert EINSTEIN sprechen:

*Es liege eine mit Tee gefüllte Tasse mit flachem Boden vor. Am Boden sollen sich einige Teeblättchen befinden, die dadurch am Boden festgehalten sind, daß sie etwas schwerer sind als die von ihnen verdrängte Flüssigkeit. Versetzt man die Flüssigkeit mit einem Löffel in Rotation, so sammeln sich die Teeblättchen alsbald in der Mitte des Bodens der Tasse.*<sup>25</sup>

Hier liegt ein großes Interesse vor, wegen der daraus zu entwickelnden Theorie, daß die Teilchen schwerer sind als die Flüssigkeit. Bei KEPLER<sup>26</sup> sollen sie gerade leichter sein, deshalb

S.28): *Gyrant ergo Planetae majores in ellipsis habentibus umbilicum in centro solis, et radiis ad solem ductis describunt areas temporibus proportionales, omnino ut supposuit Keplerus.* (Hervorhebung von mir). Auch er (COHEN) ist der Meinung, daß KEPLERS Name von NEWTON nur in Verbindung mit dessen 3. Gesetz, nicht mit den beiden anderen, und erst an der oben erwähnten späten Stelle auftaucht. Das beweist natürlich nicht, daß NEWTON KEPLER gelesen hat, zumindest aber hat er dessen Gesetze nebst deren Finder gekannt.

<sup>23</sup> s. Fußnote 12, S.5.

<sup>24</sup> S. Kapitel LEIBNIZ in dieser Abhandlung S. 24. Dort ist auch das Zitat. Den übersetzten LEIBNIZ-Text findet man bei den Texten LT. S. 111 Z.42-48

<sup>25</sup> EINSTEIN, Albert, Die Ursache der Mäanderbildung der Flussläufe und des BAERSchen Gesetzes, in: Mein Weltbild, Ullstein (Berlin?) ohne Orts- und Jahresangabe. Einstein hielt am 7. Jan. 1926 in der Preußischen Akademie der Wissenschaften einen Vortrag über das BAERSCHE Gesetz (BAER, Karl- Ernst von, (1792-1876), Über ein allgemeines Gesetz in der Gestaltung von Flußbetten, Petersburg 1860.). Ich danke Herrn dipl. phys. Wolfgang TRAGESER vom Inst. f. Gesch. d. Natw. der Joh. Wölg. Goethe Universität Frankfurt a. Main für die Auffindung des Zitats.

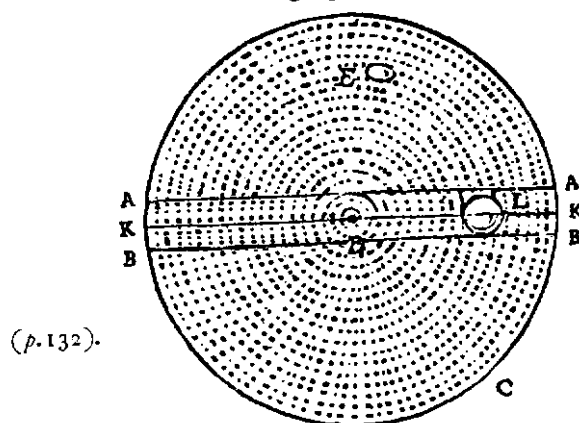
<sup>26</sup> s. Kapitel LEIBNIZ, S.24 dort Fußnote 55.

ist bei ihm an Stroh oder Heu als schwimmendes Material gedacht. Die Erklärung hier besteht in der Wirkung der Fliehkraft. Die schwerere Flüssigkeit drängt durch die Rotation zur Peripherie und verdrängt, gleichsam als Rückstoßprinzip, damit die leichteren Strohteilchen zum Zentrum. Da jeder Himmelskörper von einem Flüssigkeitswirbel umgeben gedacht war, konnte damit die Schwere gegen den jeweils nächsten Körper „verstanden“ werden. Man hatte einen augenscheinlichen Beweis, wie so etwas durch Nahkräfte gehen konnte.

LEIBNIZ erwähnt, daß viele Nachfolger (GALILEI, TORRICELLI, DESCARTES) dieses Modell übernommen hätten, wobei besonders an DESCARTES kritisiert wurde, er habe seine Vorgänger nicht zitiert, aber benutzt. Bei DESCARTES findet sich das Beispiel in einem Brief an MERSENNE<sup>27</sup>. Wieder haben wir hier ein Beispiel, wo leichtere Körper in einer schwereren Umgebung in Rotation gebracht werden. HUYGENS weist ausdrücklich darauf hin. Denn er ist es, bei dem das Beispiel die Gewichte verändert. Bei ihm haben wir das Experiment genau zu dem Zweck angestellt, die Schwere zu erklären, und auf ihn beruft sich auch LEIBNIZ. Der Text von HUYGENS<sup>28</sup> ist im Anhang in Auszügen von mir übersetzt beigegeben. Dort kann nachgelesen werden, wie HUYGENS, der vorher schon die Zentrifugalkraft einer Kreisbewegung richtig berechnet hatte, sich die Erzeugung der Schwere auch aus dem Rückstoß der schne lleren Teilchen erklärt:

*Stellen wir uns vor, [Fig. 129], daß um das Zentrum D sich flüssige Materie enthalten in dem Raum ABC dreht, welche sich auf keinen Fall aus diesem Raum entfernen kann, da sich andere Körper in ihrer Umgebung befinden. Es ist sicher, daß alle Teile dieser Flüssigkeit sich anstrengen, um sich vom Zentrum D zu entfernen; jedoch ohne Erfolg, da diejenigen, die an ihre Stelle treten müßten, die gleiche Neigung haben, sich von diesem Zentrum zu entfernen. Wenn aber inmitten dieser Materieteile sich etwas befindet wie F, was nicht der Kreisbewegung der anderen Materie folgt, oder was langsamer ist als seine Umgebung, von dem sage ich, daß es gegen das Zentrum gestoßen wird. Denn indem es keine oder geringere Anstrengung als die Umgebung unternimmt sich davon zu entfernen, ist seine Anstrengung (faire effort) geringer als die der weniger vom Zentrum entfernten Teile und macht ihnen Platz, womit es sich dem Zentrum annähert, da es sonst nichts anderes machen kann.*

[Fig. 129]



Kopie der Originalgrafik

<sup>27</sup>

s. Kapitel LEIBNIZ, S.25, dort in Fußnote 57 Text und Übersetzung.

<sup>28</sup>

DISCOURS DE LA CAUSE DE LA PESANTEUR, Leide(n) 1690, abgedruckt in Soc. Holl. d. Sc. [Hrsg.], OEUVRES COMPLÈTES DE CHRISTIAAN HUYGENS, Tome 21, La Haye 1944, p.443 ff. Übersetzung s. Texte S. 213

*Man kann diesen Effekt durch ein Experiment sehen, das ich speziell dafür ange- stellt habe und welches verdient bemerkt zu werden, denn es führt dem Auge ein Bild der Schwere vor. Ich habe ein zylindrisches Gefäß benutzt von ungefähr 8 bis 10 Zoll<sup>29</sup> Durchmesser, dessen Boden weiß und einfarbig war. Seine Höhe betrug nur die Hälfte oder ein Drittel der Breite. Nachdem es mit Wasser gefüllt war, warf ich etwas zerkleinerten Siegellack hinein, der ein ganz wenig schwerer als das Wasser war und folglich zum Boden sank. Danach deckte ich es mit einer Glasscheibe ab, die unmittelbar an das Wasser grenzte und rundherum mit Ze- ment abgedichtet wurde, so daß nichts aus dem Gefäß entweichen konnte. Nach- dem der Versuch so justiert war, plazierte ich das Gefäß inmitten des runden Ti- sches<sup>30</sup>, von dem ich vorher schon sprach, und versetzte es in Drehung, um als- bald zu sehen, daß die Siegellackbrösel, die den Boden berührten, sich am Gefäß- rand anordneten, und dies aus dem Grund, daß sie mehr Kraft hatten als das Wasser, sich vom Zentrum zu entfernen. Nachdem ich eine Weile fortgefahren war, das Gefäß zu drehen, wodurch das Wasser mehr und mehr in eine ebenfalls rotierende Bewegung geriet, hielt ich plötzlich den Drehtisch an, und im Augen- blick sauste der gesamte Siegellack zum Zentrum in ein Stück, was für mich die Repräsentation des Effektes der Schwere war. Und die Ursache dessen war, daß das Wasser, durch das ruhende Gefäß nicht aufgehalten, fortfuhr seine zirkulare Bewegung zu machen und mit ihr seine Anstrengung, sich vom Zentrum zu entfer- nen, fortsetzte; statt dessen hatte der Siegellack diese verloren, oder weniger da- von nötig, um den Boden des Gefäßes zu erreichen, der in Ruhe war. Ich bemerkte zudem, daß der Puder sich in Spirallinien zum Zentrum bewegte, denn das Wasser bremste ihn noch ein wenig ab. Wenn man jedoch in diesem Gefäß einen Körper anbringt, der in keiner Weise der Bewegung des Wassers folgen kann, sondern nur zum Zentrum sich bewegen kann, so wird dieser in gerader Linie dorthin ge- stoßen werden.<sup>31</sup>*

Ich habe im obigen Zitat die Stellen im Text unterstrichen, auf die ich mich besonders bezie- he. Wichtig ist, daß alles in einer Umgebung eingebettet ist, die verhindert, daß sich Teile entfernen können. Ferner wird der Wechsel zu schwereren Teilen vollzogen, denn schließlich beobachtet man ja auch, daß Körper, schwerer als Luft, zu Boden fallen. Auf diese wichtige Eigenschaft weist HUYGENS auch noch ausdrücklich später im Text hin, wenn er sich mit DESCARTES beschäftigt und sich von ihm abgrenzt. Ganz klar ist zu merken, daß HUY- GENS wirklich experimentiert hat, das Experiment also durchgeführt und nicht nur ausge- dacht hat. Er will es als Modell der Schwerewirkung vor Augen führen.

Von ihm übernimmt LEIBNIZ die Vorstellung des Mechanismus und bildet für seine Schrift eine Komponente der „parazentrischen“ Bewegung demgemäß.

### Von den Phänomenen zur Theorie.

Schon bei LEIBNIZ zeigt sich, daß die Dinge keinesfalls so leicht zu erklären sind. Viel leich- ter ist es, Einwände gegen die bestehenden Erklärungsversuche zu formulieren. LEIBNIZ stellt die historische Reihe her: GILBERT - KEPLER – GALILEI – TORRICELLI – DES- CARTES – HUYGENS – LEIBNIZ . Man kann sich aber dem Eindruck nicht verschließen, daß er vor der Fülle der Möglichkeiten auch irgendwie resigniert hat und der ihm am meisten entgegenkommenden Theorie, der Explosion von unsichtbarer Materie der ersten Art aus den

<sup>29</sup> „pouces“ wurde hier mit „Zoll“ übersetzt. Es war als 12. Teil eines „pied“ = „Fuß“ definiert, der mit 32,5 cm in Sachs-Villatte, Enzyklopädisches Wörterbuch, Berlin 1903 angegeben wird. Damit wäre al- so 1 pouce = 2,71 cm, der Gefäßdurchmesser 22 bis 27 cm.

<sup>30</sup> CHRISTIAN HUYGENS benutzt offenbar eine Drehscheibe.

<sup>31</sup> S. ÜbersetzungS.213 Zeile 40 bis S.215 Z. 4 .

Himmelskörpern, zuneigt, indem er sagt: „[...] wir haben also zugleich eine sphärische Strahlung, die Anziehung des Magneten<sup>32</sup>, die Explosion eines Störmediums, die interne Bewegung eines Fluidums, schließlich die Rotation einer ( Aether - ) Atmosphäre, die eine Zentripetalkraft erzeugt. Aber, was immer die Ursache der Schwere sei, uns kann es genügen, daß der anziehende Globus ( Erde ), materielle Strahlung analog dem Licht ausstößt, bzw. 'Impulslinien' emittiert, die vom Zentrum aus in jede Richtung sich entfernen; [...]“<sup>33</sup>. (Die Hervorhebung ist von mir.) Er muß also, nachdem alles zusammengetragen worden ist, auf die Floskel „was immer die Ursache der Schwere sei“ zurückgreifen, obwohl natürlich seine Anschauung von dem, was er für richtig hält, deutlich wird. Substantiell bleibt für ihn die Emittierung einer körperlichen Strahlung und damit die Vermittlung des Impulses durch eine nahewirkende Kraft, die keinesfalls instantan erfolgen kann. Durch diese Vorstellung kann LEIBNIZ sich auf die Analogie mit der Lichtausbreitung berufen und gewinnt daraus das Gesetz, daß die Schwere erzeugende Kraft mit dem Quadrat der Entfernung vom Zentrum des Körpers abnimmt. Hier hat er also das gleiche Ergebnis wie NEWTON. Und genau wie dieser setzt dann LEIBNIZ seine „parazentrische“ Bewegung als aus der Schwerkraft und der Zentrifugalkraft verursacht zusammen. NEWTON sagt, daß er die Ursache nicht nennen könne und Hypothesen darüber nicht anstellen wolle, LEIBNIZ nennt eine Fülle von Möglichkeiten und läßt erkennen, welche dieser Erklärungen seinen Beifall finden, aber, er läßt auch erkennen, daß auch für ihn Reste von Zweifeln bestehen bleiben.

Bei JOHANN BERNOULLI wird eine völlig neue Theorie der Himmelsbewegungen von Grund auf dargestellt. Das heißt bei ihm, daß er den Anlaß der Preisfrage der Akademie nur benutzt, um eine grundsätzliche Schrift<sup>34</sup> zu verfassen, welche die Preisfrage nur im Untertitel (ab *en particulier*) trägt. Sie ist denn auch die von allen hier vorgestellten bei weitem längste. Auch für ihn sind die Wirbel, in denen die Himmelskörper schwimmen, unverzichtbar. Er erweist sich in dieser Schrift als deutlicher CARTESIANER. Allerdings ist er sich der Schwierigkeiten, die die Wirbeltheorie bereitet, durchaus bewußt und versucht deshalb eine eigene, eine sogenannte Kompromißtheorie. Er will, und hier spüren wir den Umschwung schon, der sich bis EULER hinzieht, beide Systeme vereinigen:

*„Ich kehre zu unseren zwei Systemen zurück, denen von DESCARTES und Herrn NEWTON: Nach welcher Seite ich mich auch drehe, ich sehe in jedem fast unüberwindliche Schwierigkeiten. Ich habe deshalb geglaubt, daß wenn ich mich blind einem oder dem anderen der beiden Systeme auslieferte, ich kaum auf genügende Weise der gestellten Frage antworten könnte. Die richtige Mitte zwischen den beiden schien mir die sicherste: Deshalb habe ich von dem einen und dem anderen das ausgewählt, was mir das natürlichste und einfachste erschien. Ich*

<sup>32</sup> KEPLER hat offenbar daran gedacht, daß die rotierende Sonne die Planeten mitreißt, wenn er schreibt: (KEPLER, *Epitome* a.a.O. S. 299,Z.33-35), „*Ipsa denique prensatio corporum planetariorum, quos Sol rotatus circumagat, corporalis est virtus, non animalis, non mentalis.*“ (So auch das Ergreifen (prensatio) schließlich der planetarischen Körper, welche die Sonne im Kreise herumführt, ist körperlicher Natur, nicht beseelter oder geistiger Natur.) (eigene Übers.) Dies geht auch aus seiner Berechnung der Sonnenrotationsdauer (s. folgende Seite) hervor.

<sup>33</sup> [...] *Ita variae causae assignatae coincidunt inter se hac explicandi ratione habemusque simul radiationem sphaericam, attractionem magnetis, explosionem perturbantis, fluidi motum intestinum, circulationem atmosphaerae conspirantes vim centrifugam. Sed quaecunque sit causa gravitatis, sufficere nobis potest Globum attrahentem radios materiales radii lucis analogos propellere seu impulsuum lineas emittere in omnem plagam a centro recedentes [...].*

<sup>34</sup> Gerhardt LMW VI, S. 164; im übersetzten Text LT S. 113 Zeile 27-32  
Essai d'une nouvelle Physique Céleste, servant à expliquer les principaux Phenomènes du Ciel, & en particulier la cause physique de l'inclinaison des Orbites des Planetes par raport au plan de l'Equateur du Soleil,  
in Prix 1735, Paris; hier: nach Johannis Bernoulli OPERA OMNIA tam ante sparsim edita quam hactenus inedita. Tomus Tertius, LA USANNE & GENEVAE MDCCXLII (1742) (N<sup>o</sup> CXLVI)  
(S. auch vollst. Übersetzung JBP S. 129 ff.)



*habe in beiden Prinzipien verworfen, was die Vernunft oder den guten Geschmack verletzt und mich der Dinge bedient, die klar und einsichtig sind. Daraus habe ich die Konsequenzen gezogen, die auf natürliche ungezwungene Weise folgten. Auf diese Weise habe ich danach getrachtet die schöne Seite der zwei Systeme zusammenzubringen und daraus ein neues zu machen.*“<sup>35</sup>

JOHANN BERNOULLI entwickelt dann sein System der Materie des ersten Elementes und der Materie des zweiten Elementes, die seine Welt erfüllen. Dabei ist eigentlich nur die Materie des ersten Elementes primär und die Materie des zweiten Elementes wird aus ihr gebildet, natürlich durch (Zusammen-)Stoß und Anhäufung. Als Modell für seine Gedanken darf die Betrachtung des Siedevorganges angesehen werden. Die Materie des ersten Elementes tritt aus der Sonne quasi explosionsartig aus und entfernt sich von ihr mit großer Geschwindigkeit in radialer Richtung. Sie ist dabei von ungeheurer Subtilität und Durchdringungsfähigkeit, womit das Vorhandensein ihrer Wirkungen an jeder Stelle der Welt erklärt werden kann.<sup>36</sup> Dieser Vorgang findet bei allen Himmelskörpern statt, so daß aus allen und in alle Richtungen derartige Partikel ausgesendet werden, was unweigerlich zu Zusammenstößen führen muß. Wegen der Gleichartigkeit der stoßenden Körper neutralisieren sie sich gegenseitig und bilden einen in Ruhe befindlichen Körper doppelter Stoffmenge. Dies ist der Keim der Materie des zweiten Elementes. Denn auf die ruhenden Körper treffen im Verlauf der Zeit wieder Partikel der Materie des ersten Elementes auf, und setzen sie in Bewegung. Mit nunmehr (mindestens) dreifacher Stoffmenge versehen ergibt sich so ein zum Zentrum der Himmelskörper gerichteter Strom von Materie des zweiten Elementes, bestehend aus Partikeln in ungerader Vielfachheit der Ausgangsstoffmenge der Materie des ersten Elementes. Diesen nennt JOHANN BERNOULLI den „Zentralstrom“ (Torrent central). Er ist es dann, mit dem alle Phänomene des Himmels erklärt werden, insbesondere ist er es, der die Schwere bewirkt. Natürlich muß mit der Anziehung gemäß NEWTON radikal abgerechnet werden. Diese ist durch nichts erklärt. Wohl aber gilt das Kraftgesetz in Abhängigkeit vom Quadrat des Abstandes

*„warum die Gravitationskräfte, welchen die Herren NEWTONIANER eine anziehende Eigenschaft zuschreiben, dies untereinander im umgekehrten Verhältnis des Quadrats des Abstandes zur Sonne sein müssen. Ist es doch evident, daß die Ausläufer des STROMES nach den Seiten hin schmaler werden, und zwar in dem Maße, wie sie sich der Sonne nähern, und daß ihre Dichte, von der die Berechnung ihrer absoluten Kräfte abhängt, diese gleiche Proportion einhält, ganz wie*

<sup>35</sup> Man liest seine Diskussion der Schwierigkeiten, die in den Systemen beider bestehen, in den Kapiteln I bis VII (Text der Übersetzung S. 129 - 133) und auch zu Beginn des ersten Teils. Siehe auch das Kapitel JOHANN BERNOULLI.

*Je reviens à nos deux systèmes donnés par DESCARTES & par M. NEWTON: de quelque côté que je me tourne, je rencontre dans chacun des difficultés presque insurmontables. J'ai donc cru qu'en voulant se dévouer aveuglément à l'un ou à l'autre de ces deux systèmes, on ne pourroit pas répondre d'une manière satisfaisante à la question proposée. Un juste milieu entre les deux m'a paru le plus sûr: pour cette fin, j'ai choisi de l'un & de l'autre ce qu'il y a de plus naturel & de plus simple; j'ai abandonné dans chacun ceux des principent qui choquent ou la raison ou le bon sens, ne me servant que de ceux qui sont clairs & intelligibles; j'en tiré des conséquences, qui en découlent naturellement sans les forcer. De cette maniere, j'ai tâché de concilier ensemble les deux systèmes par leur beau côté, pour en former un nouveau. (JBP, VIII S. 133 Zeile 14-23)*

<sup>36</sup> Man vergleiche mit dem LEIBNIZSCHEN „explosio perturbantis“. Beide benutzen die geradlinige Ausbreitung des explodierenden Mediums, nur daß es bei BERNOULLI aus einem Siedevorgang hervorgehend gedacht ist, der allerdings heftig ist. Für KEPLER kamen nur magnetische Eigenschaften in Frage, die die beseelte Sonne mitreißend in magnetischer Art auf die körperlichen Planeten einwirken läßt. (Epitome a.a.O, S.299ff. nach der Frage:) „Ergo ne Sol gyratione sui corporis circumfert planetas? et quomodo hoc potest, cum careat Sol manibus, quibus prenet planetam tanto intervallo absentem, secumque convolutus circumagat?“ Und die Geradlinigkeit, sowie Wirbel, haben wir auch dort, wenn gleich zu Beginn der Antwort gesagt wird: „Pro manibus est ipsi virtus sui corporis, **lineis rectis** in omnem mundi amplitudinem emissa, quae eo ipso, quod est species corporis, una cum corpore Solis, rotatur instar rapidissimi **vorticis**, totam illam...“ (**Hervorhebung** von mir).

*auch die Strahlen ein Licht produzieren, dessen Lebhaftigkeit sich wie deren Dichte verhält, das heißt umgekehrt zum Quadrat des Abstandes zum leuchtenden Punkt. Es ist ferner klar, daß die elementaren Partikel der dickeren Körper ( ich meine die kleinsten, die solide sind und ohne Poren ) nur Einwirkung der Schwerkraft an der Oberfläche erhalten. Da nämlich diese Partikel keine Poren haben, kann keine Materie des STROMES in das Innere dringen, die die Schwere verursachen könnte. Mir scheint, daß allein schon diese Betrachtung klar die Nichtigkeit der vorgeschlagenen Anziehung sichtbar macht. “<sup>37</sup>*

Die Richtigkeit des NEWTONSCHEN Gesetzes ist evident. JOHANN BERNOULLI macht es sich hier leicht, indem er von „evident“, „offensichtlich“ spricht. Ihm genügt einzig der Vergleich mit der Ausbreitung des Lichtes, dessen Gesetzmäßigkeit bekannt war, um sich damit des Kraftgesetzes zu versichern. BERNOULLIS Partikel müssen die Schwere an der Oberfläche der Himmelskörper bewirken, sonst würde wiederum das Kraftgesetz nicht so abgeleitet werden können. NEWTONS Gesetz mit seiner Bindung an die Masse gibt ihm dann gerade noch ein weiteres Gegenargument an die Hand. Müßte doch, nach BERNOULLIS Meinung, bei Bindung an die Masse das Gesetz mit der dritten Potenz des Abstandes sich ändern und nicht mit der zweiten, und zwar einfach deshalb, weil das Volumen mit der dritten Potenz verknüpft ist.

Bei dem dritten hier betrachteten Wissenschaftler, DANIEL BERNOULLI, findet sich keinerlei Schweretheorie. Er konzentriert sich in seiner Schrift auf die Preisfrage der Akademie nach der Ursache der Bahnneigungen der Planeten und vermeidet fast alle Abschweifungen. Allerdings liest man bei ihm durchaus kritische Bemerkungen zu den Wirbeltheorien und die Überzeugung, daß das NEWTONSCHE Kraftgesetz die Beziehungen richtig beschreibt. Nur wenige Jahre nach dieser Arbeit hat er sich denn auch deutlich als Anhänger der NEWTONSCHEN Theorien bekannt. Hier, in einem Preiswettbewerb, bei dem er die Preisrichter auch noch als Anhänger DESCARTES einschätzt und in Konkurrenz mit seinem Vater JOHANN, der die Wirbeltheorie schon entschieden vertreten hatte, wollte er nur seine kritischen Bemerkungen als Versicherung seiner wissenschaftlichen Aufrichtigkeit aber nicht zu laut als Gegner der Wirbeltheorien äußern.

*„Nachdem ich das, was die Sonnenatmosphäre betrifft, dargestellt habe, glaube ich sagen zu müssen, daß es mir nicht so scheint, als werde diese, um die Achse der Sonne bewegt, alle Funktionen ausführen können, die man den tragenden (Tourbillons déferants) Wirbeln zuschreibt. Folglich ist es nicht sie, die die Planeten auf ihrer Bahn hält. Es muß nämlich in einem tragenden Wirbel die Dichte der Materie gleich der Dichte der Körper sein, die in ihr schwimmen, wie schon Herr Newton deutlich gemacht hat. Aber die Sonnenatmosphäre ist ohne Zweifel überall unvergleichlich viel seltener als es die Himmelskörper sind, die um die Sonne bewegt werden. Es gibt noch einen anderen Umstand, der mir vollends zu demonstrieren scheint, daß die Atmosphäre keineswegs die Eigenschaft eines tragenden Wirbels hat. Er besteht darin, daß die Geschwindigkeiten der (bewegenden, Übers.) Materie und des vom Wirbel bewegten Körpers gleich sein müssen.*

37

« [ ... ] pourquoi les forces de la gravitation, que M<sup>rs</sup>. les NEWTONIENS attribuent à une vertu attractive, doivent être entr’elles en raison réciproque des quarrés des Distances au Soleil, puisqu’il est évident, que les filets du Torrent se rétrécissent par les côtés, à mesure qu’ils s’approchent du Soleil, & partant que leur densité, dont dépend l’estimation des forces absoluës, observe cette proportion, tout comme les rayons aussi produisent une lumière dont les vivacités sont comme leur densité, c’est-à-dire, réciproquement comme les quarrés des distances du point lumineux. Il est clair, que les particules élémentaires des corps grossiers (j’entends les plus petites, qui sont solides & et sans pores) ne reçoivent l’action de la pesanteur que par leur surface; puisque ces particules n’ayant point de pores ne peuvent pas admettre dans leur intérieur la matiere du Torrent, qui doit les rendre pesantes. Il me semble que cette seule consideration fait voir clairement la nullité de la prétenduë attraction. » (JBP, XLII S.148 Z. 32-45 )

Oder auch, nach der Regel Keplers, die Periodenzeit eines Planeten, der nahe der Sonnenoberfläche sei, würde eine Umdrehung in ungefähr 3 Stunden machen<sup>38</sup>, während die Materie, die die Sonne berührt, 25½ Stunden braucht für eine Umdrehung<sup>39</sup>. Das gleiche gilt für die Erdatmosphäre nahe der Erdoberfläche, die ihre Umdrehung in 24 Stunden absolviert. Ich steige hier nicht tiefer in die Untersuchung ein, falls dieses Argument nicht dem System der Wirbel gänzlich entgegengesetzt ist, was ich hier nicht widerlegen will.

Es gibt also einen anderen Grund, der die Planeten auf ihren Bahnen hält, und der ihre Zentrifugalkraft ausgleicht. Dieser Grund, welcher auch immer es sei, stößt die Körper gegen das Zentrum der Sonne, denn die Ebenen der Umlaufbahnen gehen durch dieses Zentrum. Wenn man findet, daß die dahintragenden Wirbel diesen Dienst den Planeten und der Erde leisten können, so will ich mich nicht dagegen sperren, daß man solche Wirbel etabliert, die die Atmosphäre durchqueren, & dies scheint mir nicht gegensätzlich zu dem, was ich gesagt habe, zu sein, nämlich, daß die Atmosphäre selbst diese Funktion nicht übernehmen kann. Ich bekenne aber durchaus, selbst nachdem ich aufmerksam die Dissertation des Herrn Jean Bernoulli gelesen habe, die ich oben schon zitiert habe, daß mir noch mehrere Bedenken gegen das System der Wirbel bleiben. Jedoch die große Eindringtiefe des berühmten Autors und die durchaus alles überragende Autorität der Akademie, deren Zustimmung er sogar selbst in dieser Materie erhalten hat, erlauben mir nicht meine Einwände mit Überzeugung vorzutragen. Ich leide weiter an der Aussage, daß die Atmosphäre, die sich um die Sonne bewegt, gerade der tragende Wirbel der Planeten sei. Wenn es anderen möglich erscheint, daß dies sein könne, was mich betrifft, mir erscheint dies nicht so. Insbesondere ist die Hypothese, die ich für mein System benötige, eine Sache, von der wir aus Erfahrung wissen, daß sie existiert, & daß sie nicht in Zweifel gezogen wird, nämlich daß es eine Ursache, die ich Sonnenschwere (*pesanteur solaire*) nennen werde, gibt, die die Zentrifugalkraft ausgleicht & die fortwährend die Planeten & die Erde gegen das Zentrum der Sonne stößt.<sup>40</sup>

---

<sup>38</sup> KEPLER führt eine Rechnung in *Astronomia Nova*, 34. Kapitel durch. Zuerst wird argumentiert, daß die Sonne selbst kreisen müsse, alsdann wird abgeschätzt, wie schnell sie wohl rotiere. Da sie die Planeten in verschiedener Geschwindigkeit „mitreißt“, müsse sie schneller als jeder Planet sein, woraus (Merkur) folge, daß sie mindestens einmal in 3 Monaten rotiere. danach wird unter Bezug auf *Mysterium Cosmographicum* über die Abstände der Planeten eine Proportionalrechnung durchgeführt, die als Ergebnis hat, daß die Sonne wohl mindestens den 30. Teil von 88 Tagen (Merkur-Rotationsdauer) für ihre Rotation haben müsse. das führt zu den 3 Tagen. Die Überlegung wird mit der Bemerkung abgeschlossen, er, KEPLER, würde auch akzeptieren, wenn man unter Betrachtung einer Regelung irdischer Verhältnisse durch die Sonne, auch der Sonne eine Rotationsdauer von 1 Tag zuwiese. Setzt man heutige Daten von Sonnenradius und Erde-Sonne-Entfernung ins 3. KEPLERSCHE Gesetz ein, so läßt sich daraus eine Umkreisung der Sonne durch einen Planeten in Höhe der Sonnenoberfläche von 2,78 h errechnen. Dies war wohl DANIEL BERNOULLIS Überlegung.

<sup>39</sup> Die Sonnenrotationsdauer wurde aus der Bewegung der Sonnenflecken bestimmt.

<sup>40</sup> *Après avoir exposé ce qui regarde l'atmosphère solaire, je crois devoir dire ici, qu'il ne me paroît pas que cette atmosphère mûe autour de l'axe du Soleil, puisse faire toutes les fonctions que l'on attribue aux Tourbillons déferants, & que ce n'est pas elle par conséquent, qui retient les Planetes dans leurs Orbites; car dans un Tourbillon déferant, la densité de sa matiere doit être égale à la densité des corps, qui y nagent, comme M. Newton a fait voir; mais l'atmosphère solaire est, sans doute, partout incomparablement plus rare, que ne sont les corps célestes mûs autour du Soleil. Il y a une autre circonstance, qui me paroît démontrer entierement, que cette atmosphère n'a pas l'usage des Tourbillons déferants; c'est que les vîtesses de la matiere, & du corps emporté par le Tourbillon, doivent être égales. Or par la Regle de Kepler le temps pé-*

Deutlich ist die neue Generation von Wissenschaftlern zu spüren, die wesentlich sachlicher und damit auch effektiver die anstehenden Probleme behandelt. DANIEL BERNOULLI hat seine Probleme mit der herrschenden Lehre. Er artikuliert sie (in einer seinem Vorhaben nicht gefährlich werdenden Weise) und geht zur Tagesordnung über. Es genügt ihm, daß es die Schwere gibt, was auch immer ihre Ursache sein möge, und er bedient sich der Gesetzmäßigkeiten, die von ihr bekannt sind. Seine Differentialgleichung bezüglich der Sonnenatmosphäre ist damit ungefährdet. Er verwendet die Schwere als Eigenschaft der Materie, und das unterscheidet ihn von NEWTON, und nennt es eine „Hypothese“, so zu denken.

Ganz anders dagegen der mit ihm befreundete LEONHARD EULER. Auch er steht im Bemühen, einen der begehrten Preise der Pariser Akademie zu erringen. Er aber ist der Meinung, daß die Pariser Akademie von Anhängern der Attraktionstheorie dominiert werde, muß aber, schon seinem ganzen Temperament nach, gegen die (seiner Meinung nach) Unsinnigkeiten der Lehre NEWTONS ankämpfen. Andererseits ist er von der Richtigkeit des Kraftgesetzes, das NEWTON angibt, und seinen Ausführungen zur Himmelsmechanik überzeugt, was für ihn dann heißt, daß er dies alles benutzt. Seine Kritik richtet sich gegen die Idee der „attractio“ und der damit verbundenen Fernwirkung. Also verfaßt er eine komprimierte Streitschrift<sup>41</sup>, die in gewisser Weise polemisch gegen die Fernwirkung bzw. die fehlende Ursache der Gravitation angeht, gibt seinerseits eine Ursache zusammen mit einer Formel, die die Schwere bewirken soll, an, veröffentlicht aber anonym, um sich keinerlei Unmut zuzuziehen.<sup>42</sup> Seine Ursachenerklärung ist analog einer Verdeutlichung des Auftriebes aufgebaut, bei der man die Druckdifferenz der umgebenden Flüssigkeit auf den eingetauchten Würfelförper errechnet. Für EULER ist jeder Himmelskörper vom Aether umgeben, und dieser Aether übt natürlich einen Druck auf in ihm enthaltene Körper aus, der eine Funktion der Entfernung

---

*riodique d'une Planete, qui seroit près la surface du Soleil, feroit le tour environ dans trois heures, pendant que la matiere de l'atmosphère, qui touche le Soleil, a besoin de 25 jours & demi pour faire sa révolution, de même que l'atmosphère de la Terre, près sa surface, fait la sienne dans 24 heures de temps. Je n'entre pas ici dans l'examen, si cet argument n'est pas contraire au système des Tourbillons en général, que je ne veux pas réfuter.*

*Il y a donc une autre cause qui retient les Planetes dans leurs Orbites, & qui contrebalance leur force centrifuge; cette cause, quelle qu'elle soit, pousse les corps vers le centre du Soleil, puisque les plans des Orbites passent par ce centre. Si l'on trouve que les Tourbillons déferants puissent rendre cet office aux Planetes, & à la Terre, je ne m'opposerai point qu'on établisse de tels Tourbillons, qui traversent l'atmosphère, & cela ne sera pas contraire à ce que j'ai dit, que l'atmosphère elle-même ne peut pas faire cette fonction; j'avoue pourtant, que même après avoir lû attentivement la Dissertation de M. Jean Bernoulli, que j'ai citée ci-dessus, il me reste encore plusieurs difficultés contre le système des Tourbillons. Mais la grande pénétration de ce célèbre Auteur, & sur-tout l'éminente autorité de l'Académie, dont il a peut-être emporté les suffrages justes dans cette matiere, ne me permettent pas de dire mon sentiment avec confiance. Je souffrirai encore qu'on dise, que l'atmosphère mûë autour de l'axe du Soleil, est précisément le Tourbillon déferant des Planetes, s'il paroît aux autres que cela puisse être, quoiqu'à moi cela ne me paroisse pas. Car l'hypothese dont j'ai besoin pour mon système, est une chose dont nous sçavons par expérience qu'elle existe, & n'est plus révoquée en doute; sçavoir, **qu'il y a une cause, que j'appellerai pesanteur solaire, qui contrebalance la force centrifuge, & qui pousse continuellement les Planetes & la Terre vers le centre du Soleil.** (DBR, XIV S.196 Z 36 bis S.197 Z. 14 )*

<sup>41</sup> Anonymus, Miscellanea Berolinensia 7, 1743, p. 360 – 370  
abgedruckt in Aiton, Kleinert [Hrsg.], EULERI Opera Omnia Ser. III, Vol.31, Commentationes Mechanicae et Astronomicae ad Physicam Cosmicam pertinentes, Appendix S.373-378, Basel 1996

<sup>42</sup> s. Kapitel LEONHARD EULER

vom Mittelpunkt des jeweiligen Himmelskörpers ist. Diese Funktion gestaltet er so, daß NEWTONS Kraftgesetz leicht daraus herleitbar ist.

Allerdings ist er ca. 20 Jahre später, inzwischen eines Besseren bezüglich dieser Funktion belehrt<sup>43</sup>, nicht mehr der Meinung, er könne selbst die Ursache der Schwere angeben. Uner-schütterlich aber hält er an der Überzeugung fest, daß sie eine mechanische Ursache haben müsse und durch nahwirkende Kräfte vermittelt würde.<sup>44</sup> In LEONHARD EULER sehen wir quasi die Haltung der nächsten 200 Jahre verkörpert. Man verwendet die von NEWTON gefundenen mathematischen Zusammenhänge, vergißt, was er über die Schwere als immaterielles „activ principle“ geschrieben hatte, und sieht die Schwere als eine Eigenschaft der Masse an, die in einem Feld vermittelt wird. Über die Ursache der Schwere wird nicht mehr nachgedacht.

## Die Mechanik des Himmels.

NEWTON benutzte seine Gravitationstheorie in dem Buch DE MUNDI SYSTEMATE LIBER um alle damals bekannten Himmelsphänomene anhand dieser Theorie zu beschreiben und auf sie zurückzuführen. Nach kurzer Abrechnung mit der historischen Vergangenheit, in der fast alle Vorgänger benannt werden, stellt er dann sein „System“ dar, gibt aber keine Ursachen der Gravitation an und gibt auch keine kosmogonischen Theorien. Er beschreibt die Welt, wie sie ist und wie die Bewegungen der Himmelskörper auf die Wirkung der Gravitationskraft zurückgeführt werden können. Ein kurzes Kapitel wird noch gesondert der „THEORIA LUNAE“ gewidmet, unserem auffälligsten Himmelskörper nach der Sonne.

Von den vier betrachteten kontinentalen Arbeiten sind nur zwei, LEIBNIZENS und JOHANN BERNOULLIS Texte mit der NEWTONSCHEN Arbeit hier vergleichbar. DANIEL BERNOULLI hält sich strikt an die Preisfrage der Akademie und läßt Einsicht in das System der Welt, wie er es sieht, nur in diesem Zusammenhang zu, und LEONHARD EULER benutzt in den „BRIEFE AN EINE DEUTSCHE PRINZESSINN“ weitgehend die NEWTONSCHE Sichtweise; der 52. Brief ist gar mit der Überschrift „Von der Entdeckung der allgemeinen Gravitation durch Newton“ im Inhaltsverzeichnis versehen. Hierin wird die Geschichte von dem fallenden Apfel erzählt. In den nachfolgenden Briefen gibt es dann eine astronomische Grundunterweisung. Die Stellen, in denen er von NEWTON abweicht, wurden schon weiter oben diskutiert oder sind im Kapitel LEONHARD EULER behandelt.

Bleiben also zwei Alternativen, die von LEIBNIZ und JOHANN BERNOULLI. Hier ist nun völlig klar, daß die LEIBNIZSCHE Schrift die einzig ernst zu nehmende Alternative zu NEWTONS Werk ist. Wie man im Kapitel „JOHANN BERNOULLI“ sehen und in der Übersetzung im Anhang selbst nachlesen kann, ist die BERNOULLISCHE Schrift hochspekulativ in der Benutzung des „Torrent central“ und in der Bemühung alles, aber auch alles, durch Interaktion der Materie des ersten Elementes und der Materie des zweiten Elementes zu erklären. Sie stellt aber insgesamt einfach ein Gedankengebilde dar, das in seinem zentralen Anliegen, nämlich die Frage der Pariser Akademie zu beantworten, sich auf die Annahme einer, schon kurz nach Erscheinen widerlegten, Theorie der Erdgestalt stützt, also falsch ist. Der Wert der Schrift besteht in dem tiefen Einblick, die sie uns in das wissenschaftliche Verhalten BERNOULLIS, seinem Verwurzel- Sein in der Analogie und den Phänomenen des täglichen Lebens und seiner gründlichen Abneigung gegen fernwirkende Kräfte gestattet. Es ist völlig verständlich, daß BERNOULLIS Schrift bei nachfolgenden Wissenschaftlern kaum Erwähnung findet und in Vergessenheit gerät. Zu bald nach deren Erscheinen waren neue Fakten

<sup>43</sup> s. Kapitel LEONHARD EULER

<sup>44</sup> s. Kapitel LEONHARD EULER und der darin enthaltenen Auseinandersetzung mit den relevanten Teilen von:

SPEISER, Andreas [Hrsg.], Briefe an eine deutsche Prinzessin, Braunschweig 1986. Nachdruck der deutschen, vermutlich von Euler besorgten, Ausgabe von 1769-73, Zeittafel S. 297-298

bekannt und der allgemeine Gebrauch NEWTONSCHEN Gedankengutes setzte ein. Dies auch nicht zuletzt durch die Bemühungen VOLTAIRES<sup>45</sup>, LEONHARD EULERS<sup>46</sup> und KANTS<sup>47</sup>. Letzterer gibt sich in seiner Schrift völlig als NEWTONIANER und hat auch schon die bis heute vorherrschende Auffassung, NEWTON habe die Gravitation als Masseneigenschaft gesehen. In der Vorrede schreibt er:

*„Gebet mir Materie, ich will eine Welt daraus bauen! das ist, gebt mir Materie, ich will euch zeigen, wie eine Welt daraus entstehen soll. Denn wenn Materie vorhanden ist, welche mit einer wesentlichen Attraktionskraft begabt ist (sic), so ist es nicht schwer(sic) diejenigen Ursachen zu bestimmen, die zu der Einrichtung des Weltsystems im Grossen betrachtet, haben beitragen können. ....“*

Nachdem er NEWTON schon in den Untertitel der Schrift gesetzt hatte, ist damit die philosophisch/ physikalische Richtung völlig klar.

Allerdings bleibt unverständlich, warum die LEIBNIZSCHE Schrift ebenfalls so rasch aus der Diskussion verschwand.

### LEIBNIZ erfaßte mit seiner Schrift die gesamte Himmelmechanik.

Nachdem LEIBNIZ die Schwere in ihrer Ursache (wie er glaubte) geklärt hatte und das Abstandsgesetz gefunden hatte, berechnete er richtig die Radialbewegung der Planeten, leitete den Flächensatz KEPLERS ab und gab dann eine Beschreibung der Bahnbewegung, die aus der „Harmonischen Kreisbewegung“ und der „parazentrischen Bewegung“ zusammengesetzt war. Die resultierende Ellipse, bzw. die Bedingungen für andere Kegelschnitte ( Kometen ) werden angegeben und die Bewegungsphasen auf den einzelnen Bahnabschnitten richtig beschrieben. Insofern ist also sein Ergebnis mit dem NEWTONS vergleichbar. Gegen Ende der Schrift kommen dann noch kosmogonische Gedanken hinzu. Die Idee, daß der gesamte Welt- raum von Flüssigkeit (subtiler Art) erfüllt war und die verschiedenen Bewegungseinflüsse, denen ein Himmelskörper auf seiner Bahn ausgesetzt ist, brachten ihn dazu, sich am Anfang dieser Bewegung auf jeden Fall eine Phase gegenseitiger Reibung und Störung vorzustellen, die allerdings zu einer Harmonisierung führen mußte, schon allein deswegen, weil der gleichmäßige Ablauf der Himmelserscheinungen eine Abwesenheit von Reibung erzwingt. Die Schrift erschien in einer sehr schlechten Form. Dies scheint eines der Probleme der „Acta eruditorum“ zu sein, denn Fatio de DUILLER<sup>48</sup> beklagte sich über die LEIBNIZSCHE Veröf-

<sup>45</sup> VOLTAIRE, Eléments de la philosophie de Newton, 1738, in Werke, Oxford 1992, Bd.15

<sup>46</sup> Neben den weitverbreiteten Lettres à une Princesse d'Allemagne, Petersburg 1768 war schon früher, 1736, *Mechanica sive motus scientia analytice exposita*, erschienen.(abgedr.: Stäckel, Paul [Hrsg.], EULERI Opera Omnia Ser. II, Vol.1 u.2., Basel 1912). Außerdem hat er die Prinzipien der Mechanik in *Theoria motus corporum solidorum seu rigidorum*, 1760 dargestellt (abgedr.: Blanc, Charles [Hrsg.], EULERI Opera Omnia Ser. II, Vol.8 u. 9, , Basel 1965-68.

Es ist anzunehmen, daß LEONHARD EULER am stärksten das Weltbild der Physik im 18./19.Jh. bestimmt hat.

<sup>47</sup> Kant, Immanuel, *Allgemeine Naturgeschichte und THEORIE DES HIMMELS oder VERSUCH VON DER VERFASSUNG UND DEM MECHANISCHEN URSPRUNGE DES GANZEN WELTGEBÄUDES NACH NEWTONISCHEN GRUNDSÄTZEN ABGEHANDELT*, Leipzig 1755; Nachdruck OSTWALD'S Klassiker der exakten Wissenschaften Nr.12, 1898 (A.J.von Oettingen [Hrsg.]. Das Werk blieb allerdings in der Produktion damals hängen und erschien erst sehr viel später.

<sup>48</sup> Fatio de Duillers an Ch. Huygens v.28.Dez.1691, in Oevre 10, N° 2723, S.2143: „(.....) *J'entens fort bien tout son calculus differentialis, nonobstant les fautes d'impression, qui sont en si grand nombre qu'on les croiroit faites à dessein...*“  
(... ) Ich verstehe sehr wohl seinen gesamten calculus differentialis, ungeachtet der Druckfehler, die in solch großer Zahl auftreten, daß man sie absichtlich gemacht glaubt.(eigene Übers.)

fentlichung von 1684 (die Analysis betreffend), sie enthalte so viele Druckfehler, daß man schon an Absicht glauben müsse. Neben diesen mehr technischen Details, wie ihr Erscheinen in den schwerer zugänglichen „*Acta eruditorum*“, war die Verständlichkeit für breitere Kreise nicht gegeben. LEIBNIZ selbst sah sich dann veranlaßt, eine zweite Fassung vorzubereiten (die als Quelle für die beigelegte Übersetzung gedient hat), die aber nie im Druck erschienen ist. Ferner verfaßte er eine „*Illustratio Tentaminis de Motuum Coelestium causis*“, die ebenfalls nur im Manuskript vorliegt und „*Excerptum ex Epistola Autoris, quam pro sua Hypothesi physica motus planetarii ad amicum scripsit*“, welches 1706 in den „*Acta eruditorum*“ erschien. In diesem Text geht er auf die verschiedenen Druckfehler ein, die in der Veröffentlichung von 1689 enthalten sind und stellt sie richtig. In der zweiten Fassung sind diese dann schon berücksichtigt. Ein weiterer Anlaß war die Kritik VARIGNONS<sup>49</sup> an der Zeichnung in Verbindung mit dem Wort „Tangente“, was zu einer Korrektur der Größe des „*Conatus centrifugus*“ durch LEIBNIZ führte. Die Beschäftigung VARIGNONS mit der Schrift war aber mehr dessen Absicht zuzuschreiben, die neu entwickelte Infinitesimalrechnung auf allerlei physikalische Probleme anzuwenden und zu zeigen, wieviel leichter und besser die Ergebnisse zu erhalten seien als bei NEWTON. Die Episode zeigt aber auch genau das Schicksal auf, das die LEIBNIZSCHE Schrift nahm. Sie transportierte die Möglichkeiten der neu erfundenen Analysis, und der inzwischen ausgebrochene Prioritätenstreit zwischen NEWTON und LEIBNIZ, besser gesagt zwischen deren jeweiligen Anhängern, über die Priorität der Erfindung dieser Methode beschäftigte die wissenschaftliche Welt mehr. Meines Erachtens ist dies der Hauptgrund, daß in der späteren Zeit die LEIBNIZSCHE Schrift kaum noch diskutiert wurde. Eine weitere Ursache ist aber auch bei LEIBNIZ selbst, in seiner Art und seinem Charakter zu suchen. Er neigte dazu, bearbeitete Probleme rasch zu verlassen, wenn er glaubte, die wesentlichen Gedanken dazu geäußert zu haben. Da es ihm nie an Einfällen mangelte, resultiert daraus eine gewisse Hast, weitere Dinge in Angriff zu nehmen, mit dem Ergebnis, daß einiges, nur teilweise bearbeitet oder für die Auffassung durch andere noch nicht völlig aufgearbeitet, liegen blieb und letztlich erst einmal vergessen wurde. So mag es auch dieser Schrift ergangen sein.

In der Bibliothek des Instituts für Geschichte der Naturwissenschaften findet sich eine Geschichte der Naturlehre<sup>50</sup> aus dem frühen 19. Jahrhundert, in der tatsächlich auch LEIBNIZENS Schrift „*Tentamen de motuum coelestium causis*“ erwähnt wird. Man liest in Bd.2, S. 510 ff:

„Selbst Leibnitz\*) suchte noch die Bewegungen der Himmelskörper aus Wirbeln zu erklären. Er nahm die Geschwindigkeiten der Schichten des Wirbels im verkehrten Verhältnisse ihrer Entfernung vom Mittelpunkte an, und brachte die Kreisbewegung des Planeten in denselben zugleich mit einer Schwungkraft und einer Centrakraft gegen die Sonne in Verbindung. Auf diese Art gelang es ihm wirklich, zu zeigen, daß der Planet in gleichen Zeiten gleiche Flächen beschreiben, und eine Ellipse um die Sonne, als Brennpunkt, durchlaufen müsse, wenn sich die Centrakraft verkehrt wie das Quadrat der Entfernung verhalte.“ [ ... ] Es ist schon die Schwungkraft allein, in Verbindung mit Leibnitzens Centrakraft, welche doch in der That nichts weiter ist als die Newtonsche Gravitation, vollkommen hinreichend, alle Erscheinungen der Bewegungen in elliptische Bahnen zu erklären. Newton selbst hatte schon am Ende des zweyten Buchs seiner Princi-

<sup>49</sup> s. Kapitel LEIBNIZ

<sup>50</sup> Geschichte der Künste und Wissenschaften seit der Wiederherstellung derselben bis an das Ende des achtzehnten Jahrhunderts.

Von einer Gesellschaft gelehrter Männer ausgearbeitet

Achte Abtheilung. Geschichte der Naturwissenschaften. I. **Geschichte der Naturlehre von Johann Carl Fischer.**

Göttingen 1802

*pien gezeigt, daß man die wahren Bewegungen der Himmelskörper weder durch sphärische noch durch cylindrische Wirbel erklären könne; [ ... ] Allein bey Planeten und Monden sind die Umlaufzeiten nach der dritten Keplerischen Regel den Quadratwurzeln aus den Würfeln der Entfernungen proportional.*

*\*)Tentamen de motuum coelestium causis in Act. erudit. Lips. 1689, p.82. sqq 1706 p.446. sqq “*

Man spürt das Erstaunen des Autors (Fischer), wenn er sagt „*es gelang ihm wirklich*“, und man spürt auch die Eile, mit der dies alles abgehandelt wird, z.B. bei der falschen Formulierung des Flächensatzes. Der Grund der Eile wird am Schluß deutlich, wenn er sagt, es sei nämlich nichts weiter als die Newtonsche Gravitation. Die weiter oben dargestellte NEWTONSCHE Kritik an den tragenden Wirbeln war ja auch noch immer gültig. Zudem war inzwischen JOHANN BERNOULLI mit seinem Beweis, daß die Zentralkraft nach NEWTON als Bahnen nur Kegelschnitte hervorbringen kann, ein Satz, den NEWTON nur behauptete, an die Öffentlichkeit getreten, und ein LEONHARD EULER hat seine überzeugenden Schriften publiziert. Auch die himmlische Wohlordnung war schon gestört, schließlich hatte HERSCHEL 1787 zwei der rückläufigen Uranusmonde entdeckt. Das beginnende 19. Jahrhundert hat die EULERSCHE Interpretation übernommen. Über die noch ungelösten Probleme (Fernwirkung?) geht man hinweg. Auch werden als Quellen nur die beiden veröffentlichten Beiträge LEIBNIZENS genannt. Vielleicht ist es auch zu viel verlangt, bei der umfangreichen Unternehmung, die JOHANN CARL FISCHER<sup>51</sup> hier betreibt (ich unterstelle dabei, das Programm im Titel (s. Fußnote 50) ist wirklich ernst und in diesem Umfang gemeint), auch noch Quellenstudium zu erwarten. Überdies war das Verdikt über LEIBNIZ als Plagiator in bezug auf die Infinitesimalrechnung, das 1712 in London gefällt, 1713 veröffentlicht worden war<sup>52</sup>, noch keineswegs widerlegt. Auch hier war man zur Tagesordnung übergegangen.

Wenn wir heute versuchen, die Gedanken der Alten und ihre Motive zu verstehen, so liegt darin auch ein Gewinn für uns und für die Betrachtung unserer Zeit. Beim Entwerfen physikalischer Modelle triumphiert eben nicht die Mathematik alleine. Die Richtigkeit von Berechnungen kann nicht als Ersatz für „Verstehen“ genommen werden. „Verstehen“ hat auch immer unmittelbar mit unserer erlebbaren, erfassbaren Welt zu tun, und die wiederum ist für jeden Zeitgenossen schon ähnlich, aber doch verschieden. Wieviel größer ist der Unterschied zwischen Menschen verschiedener Zeiten. Wenn man sieht, wie man die Existenz der allgemeinen Gravitation, einfach durch ihre mathematische Richtigkeit vermittelt, wegen der fehlenden Klärung ihrer Ursachen heftigst bekämpfen mußte, letztlich aber gezwungen war, sie zu akzeptieren und die Frage der Ursache zu vergessen, so rühren einen die Sprachbilder aus der Umwelt des 18. Jahrhunderts eines JOHANN BERNOULLI, man bewundert das mathematische Geschick eines LEIBNIZ, die mathematische Leichtigkeit eines DANIEL BERNOULLI und die Formulierungskunst eines LEONHARD EULER. Sollte man angesichts der Texte zu einem Lächeln neigen, dann frage man sich, wie in kommenden Zeiten Menschen über die „Lösung“ unserer heutigen Probleme denken werden. Man frage sich, wie sie urteilen werden darüber, daß die Gravitation heute nicht auf einen „Aether“ geschoben wird, sondern in die Geometrie des Raumes und die Ausbreitung von Feldern verlagert ist. „Verstehen“ wir sie damit? Was kann eine geltende richtige Theorie eines Phänomens anders sein, als der Vorläufer einer neuen, besseren Theorie? Was besagt die Gültigkeit einer Theorie während der letzten 300 Jahre über deren Gültigkeit in der Zukunft?

<sup>51</sup> Mir scheint dies die erste „Geschichte der Physik“ im deutschen Sprachraum zu sein und Johann Carl Fischer somit ein Pionier eines neuen Wissenschaftszweiges bei uns.

<sup>52</sup> Becker Oskar u. Hofmann Joseph, Geschichte der Mathematik, Bonn 1951, S.216



## Gottfried Wilhelm LEIBNIZ (1646-1716)

Von Gottfried Wilhelm LEIBNIZ erschien wohl die interessanteste Gegenschrift zu NEWTONS Werk. Es handelt sich bei „TENTAMEN DE MOTUUM COELESTIUM CAUSIS“<sup>53</sup> um eine fast gleichzeitig erschienene Untersuchung, die, hinsichtlich der Himmelsmechanik, auch etwa die gleiche Zielsetzung verfolgte und im Kern die gleichen Ergebnisse erbrachte, allerdings mit einer anderen Modellvorstellung. NEWTON hatte seine „PHILOSOPHIAE NATURALIS PRINCIPIA MATHEMATICA“ ( hier weiterhin unter „*Principia*“ zitiert ) im Jahre 1687 veröffentlicht. Der hier interessierende Teil III „DE MUNDI SYSTEMATE“ behandelt NEWTONS Ansichten und Erkenntnisse über die Himmelsmechanik. Sehr schnell ( und anonym! ) erschien in den ACTA ERUDITORUM von 1688<sup>54</sup> eine Besprechung. Diese Besprechung ( mit ausführlicher Inhaltsangabe ) war LEIBNIZ<sup>55</sup> bei der Abfassung bekannt, die *principia* aber kamen ihm erst im April 1689 auf Reisen in Rom zur Kenntnis, als er Lektüre von seinen Gastgebern erbat. Im Februar 1689<sup>56</sup> war seine eigene Arbeit bei den ACTA erschienen. LEIBNIZ behauptete bis zu seinem Tode, daß er von NEWTONS Arbeit bis dahin keine andere Kenntnis gehabt habe. Überhaupt wird an verschiedenen Stellen in Texten der Zeit bemerkt, wie schwer die erste Auflage der *Principia* für die damaligen Wissenschaftler zu erreichen war. Erst die zweite Auflage 1713 verbesserte diesen Zustand.

LEIBNIZ verwendete hier seine neu entwickelte Analysis zur Gewinnung seiner Ergebnisse durchweg, was seine Arbeit aus heutiger Sicht als von erfreulicher Kürze und erfreuender Modernität im Gegensatz zu NEWTONS umfassender und penibler, allerdings auch knochentrockener, in tradierter Form gegebener Darstellung erscheinen läßt. Sie erreichte deshalb vor allem die Aufmerksamkeit der Mathematiker, insbesondere die der Brüder Jacob und Johann BERNOULLI. Sie hatten nämlich die sehr dunklen Andeutungen von LEIBNIZ verstanden, weiterentwickelt und unter den Mathematikern verbreitet<sup>57</sup>. Vielleicht hat die zeitliche und räumliche Nähe<sup>58</sup> der mathematischen Aufsätze und dieser physikalischen Anwendung sogar deren Verständnis erst ermöglicht? Meine Erfahrungen als Lehrer gehen durchaus dahin, daß gewisse Theorien erst in der Diskussion ihrer Verwendung ihren richtigen Stellenwert und ihre Verankerung beim Lernenden erreichen. (Dies als moderne Version des alten: „*Exempla trahunt*.“)

Auch VARIGNON<sup>59</sup> untersuchte mittels des neuen CALCULUS die verschiedensten Probleme zur Bewegung von Körpern. Er vertrat oft öffentlich die Überlegenheit der LEIBNIZSCHEN Notation gegenüber der NEWTONSCHEN, verwechselte aber die Notation mit Inhalten. Auch NEWTONS Ergebnisse waren analytisch gewonnen, nur anders formuliert. In

<sup>53</sup> Neben der ursprünglichen Fassung (s. Fußnote 4) gibt es noch eine unpublizierte zweite Fassung (abgedruckt in GERHARDT, LEIBNIZ math. Schriften VI, 161), die LEIBNIZ zum Zwecke von Richtigstellungen und Erläuterungen verfaßt hat, sowie eine „*Illustratio Tentaminis de Motuum Coelestium causis*“, ebenfalls als Manuskript, abgedruckt in GERHARDT, LEIBNIZ math. Schriften VI, 254 u.256. Zur Übersetzung wurde diese zweite Fassung herangezogen, da sie nach dem Manuskript als von GERHARDT sorgfältiger erstellt erachtet wurde als die publizierte Fassung I. Über die erste Fassung wurden oft Klagen von LEIBNIZ geführt, daß es in ihr von Druckfehlern wimmele.

<sup>54</sup> ACTA ERUDITORUM, Leipzig, Juni 1688, S. 303-315; Nach LAEVEN, A.H., De „*Acta Eruditorum*“ onder redactie van Otto Mencke, Amsterdam 1986, war der Autor ein gewisser Christoph Pfautz, Leipziger Mathematiker.

<sup>55</sup> Hergang geschildert nach AITON, E.J., *The Vortex Theory of Planetary Motions*, New York 1972, Kap.6

<sup>56</sup> *Tentamen de motuum coelestium causis*, ACTA ERUDITORUM, Februar 1689, S. 82

<sup>57</sup> So hat JOHANN BERNOULLIS Vertrag mit dem Marquis de l'HOSPITAL dazu geführt, daß diesem die Analysis vermittelt und gemäß Vertrag **unter dem Namen de l'HOSPITAL** das erste Lehrbuch der neuen Disziplin ( *Analyse des infiniments petits*, Paris 1796 ) erschien.

<sup>58</sup> Beide Texte in der gleichen, durchaus nicht weit verbreiteten Publikation, 1686 die eine, Februar 1689 die andere.

<sup>59</sup> als Beispiel: VARIGNON P., *Nouveau conjectures sur la pesanteur*, Paris 1690

den sich daraus entwickelnden Prioritätenstreit zwischen NEWTON und LEIBNIZ wurde deshalb auch die physikalische Frage nach der Ursache der Schwere verwickelt. Dieser Prioritätenstreit hatte sich durch einen Brief Nicolas FATIO DE DUILLIERS, in dem LEIBNIZ Plagiat<sup>60</sup> vorgeworfen wurde, als dessen Keim entzündet. Vielleicht ist diese Verwicklung in den die wissenschaftliche Welt damals mächtig bewegenden Streit der Grund, warum die LEIBNIZSCHE Arbeit praktisch ohne physikalische Folgen blieb. Alle Welt kümmerte sich um die Analysis, auch LEIBNIZ verlor das Thema dadurch wohl irgendwie aus den Augen, andere Gedanken, auch die Auseinandersetzung mit den CARTESIANERN, ob die Größe  $m \cdot v$  oder  $m \cdot v^2$  in mechanischen Prozessen erhalten bleibt<sup>61</sup>, mögen da eine Rolle gespielt haben; jedenfalls führt die kleine, elegante Schrift bis heute ein Schattendasein. Alle Physiker kennen NEWTONS epochemachendes Werk, den meisten unter ihnen ist aber die LEIBNIZSCHE Schrift völlig unbekannt.

Beide beziehen sich auf KEPLER: NEWTON, indem er von den KEPLERSCHEN Gesetzen als Phänomenen ausgeht<sup>62</sup>, LEIBNIZ, indem er deren Gültigkeit aus seinem System ableitet. Insofern sind sich beide, NEWTON sowohl wie LEIBNIZ, einig, daß bei KEPLER angesetzt werden muß. Übereinstimmung besteht auch darüber, daß die „Schwere“ eine zentrale Rolle bei der Erklärung spielt. Bei der Theorie der Schwere allerdings, da scheiden sich die Geister. NEWTON hatte sein Gesetz formuliert, die Natur bzw. den Wirkungsmechanismus der Schwere aber unerklärt gelassen. Nach ihm ist sie ein „*active principle*“, von Gott gegeben, und keine Primäreigenschaft der Materie, wie es die Trägheit ist. Und genau dagegen richtete sich die geballte Kritik der Wissenschaftler auf dem Kontinent. Es vertrug sich einfach nicht mit dem Geist der Aufklärung eine **instantane**, aber **unerklärte**, Schwerewirkung zu unterstellen. Es wurde geradezu als ein Rückfall in mittelalterliche Verhältnisse betrachtet

<sup>60</sup> Fatio de Duilliers an Ch. Huygens v.28.Dez.1691, Oeuvre 10, N° 2723, S.214: „...*Il me paroit par tout ce que j'ai pu voir jusques ici, en quoi je comprens des papiers écrits depuis bien des années, que Monsieur Newton est sans difficulté le premier Auteur du calculus differentialis, et qu'il le connoissoit autant ou plus parfaitement que Monsieur Leibnitz ne le connoit encore, avant que ce dernier n'en eut eu seulement la pensée, qui même ne lui est venue à ce qu'il semble qu'à l'occasion de ce que Monsieur Newton lui écrivit sur ce sujet. (Voiez Monsieur s'il Vous plait la page 253 du livre de Monsieur Newton). Aussi je ne puis assez m'étonner que Mr. Leibnitz n'en marque rien dans les Acta Lipsiensia. Les dernières ouvertures que j'ai eues sur cette matiere me sont deux mots seulement que m'a dits Mr. Newton;...*“ Eigene Übersetzung:

(...*Es erscheint mir durchaus nach dem, was ich bisher wahrnehmen konnte, und darin schließe ich die schriftlichen Papiere seit Jahren ein, daß Herr Newton ohne Zweifel der erste Autor des ‚calculus differentialis‘ ist, und daß er ihn genau so oder noch perfekter kennt als Herr Leibnitz ihn schon kennt, bevor letzterer darüber auch noch die Idee gehabt hat, welche diesem wie mir scheint erst anläßlich des Briefes gekommen ist, den ihm Herr Newton über diesen Gegenstand geschrieben hat. (Sehen Sie nach bitte auf S. 253 des Buches von Herrn Newton.) Auch kann ich mich nicht genug erstaunen, daß H. Leibnitz davon nichts in den Acta Lipsiensia bemerkt. Die letzten Neuigkeiten über diesen Gegenstand sind mir nur durch zwei Äußerungen H. Newtons zugekommen;...*)

<sup>61</sup> LEIBNIZ G.W., Brevis demonstratio erroris memorabilis Cartesii et aliorum circa legem naturalem, secundum quam volunt a Deo eandem semper quantitatem motus conservari, qua in re mechanica abuntur, ACTA ERUDITORUM, Leipzig 1686, abgedruckt in GERHARDT, LEIBNIZ math. Schriften VI, 117

<sup>62</sup> Newton, Isaac, *Principia* III, Phaenomenon IV (a.a.O., S.8):“*Planetarum quinque primariorum, et vel Solis circa Terram vel Terrae circa Solem tempora periodica, stellis fixis quiescentibus, esse in ratione sesquuplicata mediocrium distantiarum a Sole. Haec a KEPLERO inventa ratio in confesso ad apud omnes.....*“ (Die periodischen Umlaufzeiten der fünf Hauptplaneten um die Sonne, und sowohl der Sonne um die Erde, oder der Erde um die Sonne, bei ruhenden Fixsternen, stehen im Verhältnis der ein- und halb-fachen Potenzen ihrer mittleren Abstände von der Sonne. Dieses von KEPLER gefundene Verhältnis wird von allen geteilt (akzeptiert)... (eigene Übersetzung). Eine Fußnote verweist auf KEPLER, *Harmonices Mundi*, p.189 und *Epitomen* (sic!) *Astron. Copern.*, p.501. Das Gesetz steht in *Harmonices Mundi*, Buch V., Kap.3, das letztere Zitat konnte ich mit Seitenangabe kontrollieren, es gibt in *EPITOME ASTRONOMIAE COPERNICANAE* die Darstellung des 3. KEPLERSCHEN Gesetzes. Es ist dies die erste Stelle, an welcher NEWTON KEPLER erwähnt. In Buch I werden aber schon Ellipsenbahnen untersucht.

und dargestellt. Wir können dies bei JOHANN BERNOULLI 1738 und bei EULER 1743 noch unmittelbarer feststellen.<sup>63</sup>

Zu der Schrift: **TENTAMEN DE MOTIUM COELESTIUM CAUSIS.**  
Versuch über die Ursachen der Himmels- Bewegungen.<sup>64</sup>

LEIBNIZ gibt zuerst einen geschichtlichen Abriß und beginnt mit TYCHO de BRAHE, dessen bewunderungswürdige Exaktheit der Beobachtungen das Material geliefert habe, aus dem dann Johannes KEPLER, den LEIBNIZ über alles lobt, seine Gesetze abgeleitet habe. Deren Bestätigung durch die Beobachtungen CASSINIS werden dann auch noch erwähnt. Langsam kommt LEIBNIZ dann zu seinem Hauptanliegen:

LEIBNIZ sieht bei KEPLER den Keim zur Erklärung der Ursache der Schwere.

Über die Ursache der Schwere habe KEPLER leider nur unerklärliche Strahlen oder magnetische Kräfte angeführt, obwohl er sie doch, wie mehrere Stellen in seiner Schrift ‚EPITOME ASTRONOMIAE‘ belegten, fast hätte erklären können:

*„Jedoch, die Ursachen dieser gewaltigen und so konstanten Wahrheiten konnte er, noch nicht, angeben, teils weil er seinen Geist durch ( die Annahme ) von Intelligenzen und unerklärlichen Strahlen von „Sympathiekräften“ behindert hielt, teils weil zu seiner Zeit die höhere Geometrie und die Wissenschaft der Bewegung (Kinematik) noch nicht dahin fortgeschritten waren, wo sie sich jetzt befinden. Und dennoch hat er auch den Zugang zum Aufspüren der (wahren) Gründe eröffnet. Denn ihm wird das erste Indiz eines physikalischen Gebrauchs (Verständnisses) dieses Naturgesetzes geschuldet, an dem entweder die Schwere hängt oder wenigstens wunderbar illustriert wird, daß ( nämlich ) rotierende Körper tangential vom Zentrum zu entfernen streben. Und folglich, wenn Spreu- oder Strohteilchen im Wasser schwimmen, das Wasser durch Rotation des Gefäßes in Wirbelbewegung gebracht und, da es dichter als die Spreuteilchen ist und demgemäß stärker als diese von der Mitte fortgestoßen wird, verstößt es die Spreuteilchen zum Zentrum hin, wie er, ( KEPLER ) es selbst an zwei und mehreren Stellen in der EPITOMAE ASTRONOMIAE dargestellt hat, wiewohl er doch weiter Zweifel hegte, und in Unkenntnis der ihm zur Verfügung stehenden Mittel war er sich auch nicht genügend bewußt, wie viel daraus sowohl in der Physik als auch speziell in der Astronomie folgte.“<sup>65</sup>*

Das Beispiel, das LEIBNIZ anführt, konnte von mir an einer einzigen Stelle in KEPLERS Arbeit ‚EPITOME ASTRONOMIAE COPERNICANAE‘ gefunden werden.<sup>66</sup> Interessant

<sup>63</sup> siehe in den betreffenden Kapiteln.

<sup>64</sup> Übersetzung LT mit geringen Auslassungen ab S. 111.

<sup>65</sup> Sed tantarum tamque constantium veritatum causas dare nondum potuit, tum quod Intelligentiis aut sympathiarum radiationibus inexplicatis haberet praepeditam mentem, tum quod nondum illius tempore Geometria interior et Scientia motuum eo quo nunc profecissent. Aperuit tamen et rationibus indagandis aditum. Nam ipsi primum indicium debetur usus physici ejus naturae legis, a qua vel pendet gravitas vel saltem mirifice illustratur, quod corpora rotata conantur a centro recedere per tangentem, et ideo si in aqua festucae vel paleae innatent, rotato vase aqua in vorticem acta, festucas densior atque ideo fortius quam ipsae excussa a medio, festucas versus centrum compellit, quemadmodum ipse diserte duobus et amplius locis in Epitome Astronomiae exposuit, quanquam adhuc subdubitabundus et suas ipse opes ignorans nec satis conscius quanta inde sequerentur tum in Physica tum speciatim in Astronomia. (Unterstreichungen von mir) (GERHARDT, LMW VI, 162; Übersetzung LT S.111 Z 33-48)

<sup>66</sup> KEPLER, Johannes, Gesammelte Werke, MAX CASPAR (Hrsg.), München 1953, Bd. VII, S.75/76:

dabei ist, daß KEPLERS Absicht mit diesem Beitrag eine völlig andere Zielrichtung verfolgt, die von LEIBNIZ dann umgedeutet worden ist. KEPLER hat als Ziel, in seinem Text, zu beweisen, daß das alte Weltbild, nach dem die Erde im Zentrum der Welt ruht, aufgegeben werden kann, die Erde also als beweglich angesehen werden kann. Die Verteidiger des alten Weltbildes brachten nun vor, daß die Welt durch die Bewegung zum Zentrum hin gestoßen werden müßte. Als Beleg dafür gilt das Beispiel der in einem Wirbel schwimmenden Teilchen, auf das ja auch LEIBNIZ in seinem Text verweist. KEPLER benutzt Holz und Stroh im Wirbel schwimmend, „**leichter als Wasser**“, und führt dort sein Argument dadurch weiter, daß er darauf verweist, daß die Erde gerade nicht leichter als die sie umgebende Lufthülle sei. Sie müsse also im Gegenteil fortgeschleudert werden. Was ja offensichtlich nicht der Fall sei. LEIBNIZ biegt diese Stelle für seine Zwecke um. Sie dient ihm als Beleg dafür, daß auch KEPLER die Physik der Zentrifugal- und Zentripetalbewegung gekannt habe. Denn das Phänomen der sich zur Mitte anordnenden Teilchen im Wasserwirbel ist ihm sehr wichtig.

### Weitere Geschichte der Erklärung der Schwere.

LEIBNIZ verweist darauf, DESCARTES habe KEPLERS Erkenntnisse benutzt, allerdings ohne ihn zu zitieren, auch GALILEI und TORRICELLI sei dieses Phänomen bekannt gewesen. Die Stelle bei DESCARTES findet sich außer seinem „Steinschleuder-Modell“ in LES PRINCIPES DE LA PHILOSOPHIE II, 39 noch in einem Brief<sup>67</sup> an MERSENNE. In beiden Fällen

---

*“Proba neque violentia Motus Mundani excuti gravia in medium.*

In motu circulari violento, si qua petunt medium totius rei mobilis, illa oportet esse leviora re ipsa motâ, vt in Vorticibus Ligna et paleae sunt leviora, quam est aqua ipsa rotata in gyrum: ibi namque major à rotatione fit impressio in corpus aquae, quod gravius est, vt impetu ruat, et rectitudinem affectans extima circuli petat, centrumque veluti exhauriat: quo facto, leviora innatantia, cùm propter minorem impressionem motus in ipsa, tardiorumque motum, destituuntur, et ab aquis velocioribus introrsum repelluntur, -tum etiam propter declivitatem centri, in medium naturaliter influunt.” Eigene Übers.::

*Lege dar, daß nicht die Heftigkeit der Weltbewegung die Schwere zur Mitte bewirkt*

Im Falle heftiger Bewegung im Kreis, wenn die beweglichen Dinge zur Mitte des Ganzen streben, da ist es angebracht, daß die leichteren Dinge ihre eigene Bewegung haben, so zum Beispiel in (Wasser-) Wirbeln Hölzer und Stroh leichter sind, und, wie auch das Wasser selbst, im Kreise rotiert werden. Dort wird dann von der Rotation ein größerer (Kraft-) Eindruck auf den Wasserkörper ausgeübt, welcher schwerer ist, so daß ein Anstoß bewirkt wird, der sich in gerader Linie auswirkt und ihn zur äußersten Kreislinie zieht und das Zentrum zum Beispiel entleert. Durch diesen Tatsache wird das leichter darin Schwimmende, mit einem geringeren Anstoß versehen, eine eigene verzögerte Bewegung ausführen und zurückgelassen werden, von dem schnelleren Wasserteilchen nach innen gestoßen werden und darauf als eigene Geneigtheit zum Zentrum ganz natürlich zum Mittelpunkt gelangen.

<sup>67</sup>

Brief an Mersenne vom 16. Oktober 1639: „Pour entendre comment la matière subtile qui tourne autour de la terre chasse les corps pesants vers le centre, remplissez quelque vaisseau rond de **menues dragées de plomb**, et mêlez parmi ce plomb quelques **pièces de bois**, ou autre matière **plus légère que ce plomb**, qui soient plus grosses que ces dragées; puis faisant tourner ce vaisseau fort promptement, vous éprouverez que ces petites dragées chasseront **toutes ces pièces de bois**, ou autre telle matière, vers le **centre** du vaisseau, ainsi que la matière subtile chasse les corps terrestres,....“ (Zitiert nach Alquié, Ferdinand (Hrsg.), DESCARTES, Oeuvres philosophiques, Tome II, p. 142-143, Paris 1967) (Heraushebung von mir). Eigene Übersetzung:

(„Um zu verstehen, wie die subtile Materie, die sich um die Erde dreht, die der Schwere unterliegenden Körper (corps pesants) gegen das Zentrum jagt, füllen Sie irgendein rundes Gefäß mit Bleischrot und mischen Sie unter dieses Blei irgendwelche Holzstücke oder anderer Materie, die leichter ist als Blei,

(bei KEPLER wie bei DESCARTES) wird ausdrücklich Wert darauf gelegt, daß **leichtere Materie** zum Zentrum hin gestoßen wird. Für DESCARTES ist dies auch substantiell, wie nachzulesen ist in LE MONDE, CHAPITRE XI, „De la pesanteur“<sup>68</sup> Dort äußert DESCARTES seine Überzeugung, daß alle schweren Gegenstände die Erde fliehen würden, wäre die Erde nicht vom Wirbel subtiler Materie umgeben. LEIBNIZ bezieht aber seine Theorie der Schwere offensichtlich auf HUYGENS<sup>69</sup>. Dieser hat das Beispiel der Teilchen im Flüssigkeits- Wirbel ebenfalls<sup>70</sup>. Allerdings wird dort das Beispiel modifiziert, indem nämlich jetzt schwerere Teilchen in der Flüssigkeit gedreht werden. LEIBNIZ hatte schon in Paris Kontakt mit HUYGENS und war mit ihm befreundet. Sie tauschten häufig brieflich<sup>71</sup> Gedanken aus. Es ist also ziemlich einsichtig, daß er HUYGENS' Gedanken zu dem Thema ( dieser beschäftigte sich schon seit 1669<sup>72</sup> damit ) kannte, zumal er bei seinem Zitat dies auch erkennen läßt.<sup>73</sup>

### LEIBNIZ stützt sich auf die Arbeit von HUYGENS.

HUYGENS seinerseits baut seine Theorie völlig auf ein seiner Meinung nach analoges Experiment auf. Ihm kommt es allerdings darauf an, daß die im Flüssigkeitswirbel befindlichen Teilchen **schwerer** als die Flüssigkeit sind. In seiner Arbeit erwähnt er Siegellackbrösel, die sich in Wasser befinden, zitiert DESCARTES<sup>74</sup>, der ein ähnliches Beispiel habe, dort aber gerade gegen diese Regel verstoße, indem er leichtere Teile gegen das Zentrum jage ( Dieser hat eine Mischung von Holz und Bleischrot ). Schließlich ist dies ja auch einer der Kritikpunkte gegen dieses „Zentrifugal- Rückstoß- Modell“ bei KEPLER. Genau dies aber hat HUYGENS vermieden und damit auch wohl den Beifall von LEIBNIZ erhalten. Dieser jedenfalls konstruiert genau ein solches „Zentrifugal- Rückstoß- Modell“ subtiler Materie, woraus dann die **Zentral**bewegung zum Mittelpunkt des jeweiligen Himmelskörpers resultiert. Da es ferner gilt, auch noch zu verhindern, daß die Schwere von der Rotation in Parallelkreisen um die Erde abstammt und damit die Schwere auf die **Erdachse** wirken würde, muß auf eine Strahlung von subtiler ( Aether- ) Materie zurückgegriffen werden. Damit hat man eine radia-

---

welche größer als das Bleischrot sind, alsdann drehen Sie das Gefäß heftig, und Sie werden erfahren, daß die kleinen Bleischrotteilchen alle diese Holzstückchen oder solch ähnliche Materie, zum Zentrum des Gefäßes jagen werden, so wie auch die subtile Materie die irdischen Körper jagt...“)

<sup>68</sup> Alquié, Ferdinand (Hrsg.), DESCARTES, Oeuvres philosophiques, Tome I, p. 371 ff., Paris 1967

<sup>69</sup> Übersetzung HDC S. 213 und Übersetzung BLH S.217 Z. 23 bis S.216 Z. 27.

<sup>70</sup> Übersetzung HDC S.210 Z.39 ff.

<sup>71</sup> s. z.B. die auszugsweise Übersetzung BLH S.217 ff

<sup>72</sup> s. Anmerkungen der Herausgeber der Quelle des HUYGENSSCHEN Textes zu diesem.

<sup>73</sup> S. auch „ILLUSTRATIO TENTAMINIS DE MOTUUM COELESTIUM CAUSIS“ in GERHARDT, LMS, VI, S. 268: (16, Anfang): „*Haec etiam Hypothesis usum haberet, si gravitatis attractiones non duceremus ab explosione materiae ex sole sese expandentis, sed ( ut paulo ante feci ) cum **Keplero, Cartesio** et **Hugenio** peteremus a vi centrifuga materiae cujusdam circulantis circa solem, quae et ipsa foret diversa a supradicto fluido planetario, et longe subtilior tiorque, nec tantum in plano aequatoris solaris et vicinis, sed et aliis circulis magnis, quales sunt meridiani, circa solem ferretur; veluti circa terram tale quid ab **Hugenio** concipitur in Libro de Lumine et Gravitate, et a me quoque jam olim in Hypothesi Physica suppositum fuit.* (Hervorhebung von mir) Eigene Übersetzung:

(Diese Hypothese wird auch gebraucht werden, wenn wir die Anziehung der Schwere nicht herleiten werden von Explosion von Materie aus der Sonne, von wo sie sich ausbreitet, sondern (wie ich es einst schon früher gemacht habe) mit Kepler, Descartes und Huygens, wenn wir sie aus der Zentrifugalkraft der Materie herleiten, die selbst um die Sonne zirkuliert, und welche selbst verschieden sein wird von der über-beredeten planetarischen Flüssigkeit und sehr viel subtiler und dichter und auch nicht so stark in der Ebene des Äquators der Sonne und dessen Umgebung, sondern in anderen Großkreisen, den Meridianen gleich, um die Sonne verteilt, wie zum Beispiel um die Erde derart, wie von Huygens konzipiert wurde im Buch ‚De Lumine et Gravitate‘ und diese (Hypothese) von mir auch schon einst in ‚Hypothesis Physica nova‘ aufgestellt wurde.)

<sup>74</sup> S. Fußnote auf S.215 in HDC .

le Abstrahlung und, nach der Huygensschen Rückstoßtheorie, die Einwirkung der Schwere zum Zentrum des Planeten hin. Es ergeben sich also zwei Kraftkomponenten, die gegeneinanderwirkend die von LEIBNIZ definierte „**parazentrische**“ Bewegung verursachen. Die Berufung auf KEPLER kann nur durch dessen Beispiel mit dem Stroh im Flüssigkeitswirbel verstanden werden, denn schon in der „ASTRONOMIA NOVA“ kann man KEPLERS Axiome über die Schwere nachlesen<sup>75</sup>, die viel eher NEWTONS Vorstellungen stützen könnten.

---

<sup>75</sup> KEPLER, Johannes, ASTRONOMIA NOVA, Introductio, in FRISCH (Hrsg.), Opera Omnia Vol. III,

S. 151 mit eigener Übersetzung:

*Vera igitur doctrina de gravitate hīs innititur axiomatibus:* (Die wahre Lehre über die Schwere stützt sich auf diese Axiome:)

*Omnis substantia corporea, quatenus corporea, apta nata est quiescere omni loco, in quo solī tarīa ponitur extra orbem virtutis cognati corporis.* (Jede körperliche Substanz, insoweit sie körperlich ist, ist von ihrer Abstammung her veranlagt, an jedem Ort zu ruhen, an welchen sie alleine gelegt ist, außerhalb des Wirkungskreises eines verwandten Körpers.)

*Gravitas est affectio corporea mutua inter cognata corpora ad unionem seu conjunctionem (quo rerum ordine est et facultas magnetica), ut multo magis Terra trahat lapidem, quam lapis petit Terram.* (Die Schwere ist das gegenseitige körperliche Bestreben zwischen verwandten Körpern zur Vereinigung oder zur Verbindung (von dieser Art ist auch die magnetische Fähigkeit), so daß die Erde viel stärker den Stein anzieht, als der Stein zur Erde strebt.)

*Gravia (si maxīme Terram in centro mundi collocemus) non feruntur ad centrum mundi, ut ad centrum mundi, sed ut ad centrum rotundi cognati corporis, Telluris scilicet. Itaque ubicunque collocetur seu quocunque transportetur Tellus facultate sua animali, semper ad illam feruntur gravia.* (Das Schwere (maximal (gilt dies), wenn wir die Erde ins Zentrum der Welt setzen) wird nicht zum Zentrum der Welt getrieben, sondern zum Zentrum eines verwandten runden Körpers, wie zum Beispiel die Erde. Daher wo auch immer die Erde sich befindet oder wie auch immer die Erde bewegt wird infolge ihrer beseelten Fähigkeit, immer wird das Schwere zu ihr hingetrieben.)

*Si Terra non esset rotunda, gravia non undiquaque ferrentur recta ad medium Terrae punctum, sed ferrentur ad puncta diversa a lateribus diversis.* (Wäre die Erde nicht rund, so würde das Schwere nicht von überall her direkt zum Mittelpunkt der Erde getrieben werden, sondern würde zu verschiedenen Punkten von verschiedenen Seiten her getrieben.)

*Si duo lapides in aliquo loco mundi collocarentur propinqui invicem extra orbem virtutis tertii cognati corporis, illi lapides ad similitudinem duorum magneticorum corporum coirent loco intermedio, quilibet accedens ad alterum tanto intervallo, quanta est alterius moles in comparatione.* (Wenn zwei Steine an irgendeinen Ort der Welt gesetzt würden, benachbart miteinander, außerhalb des Wirkungskreises eines dritten, jene Steine würden in Ähnlichkeit mit zwei magnetischen Körpern an einem dazwischen liegenden Ort zusammentreffen, wobei sich der eine dem anderen in einem solchen Intervall annähert, wie es des anderen Masse im Vergleich ist.)

*Si Luna et Terra non retinerentur vi animali aut alia aliqua aequipollenti, quaelibet in suo circuitu, Terra ascenderet ad Lunam quinquagesima quarta parte intervalli, Luna descenderet ad Terram quinquaginta tribus circiter partibus intervalli, ibique jungerentur: posito tamen, quod substantia utriusque sit unius et ejusdem densitatis.* (Wenn Mond und Erde nicht durch eine animalische Kraft oder irgend etwas anderes Vergleichbares zurückgehalten würden, nämlich in ihren Bahnen, so würde die Erde zum Mond den vierundfünfzigsten Teil des Abstandes hinaufsteigen, der Mond

Eigentlich kann ich mir nicht vorstellen, daß LEIBNIZ diese Passage nicht gekannt haben sollte. Ich neige daher dazu, daß seine Darstellung von KEPLERS Blindheit dessen eigenen Kenntnissen gegenüber durch solche in LEIBNIZ' Sinne nicht akzeptabler Modelle noch zusätzlich motiviert worden ist. Das Auffinden der dem HUYGENSSCHEN Experiment zumindest ähnelnden Stelle in EPITOME ASTRONOMIAE COPERNICANAE erlaubt LEIBNIZ, seiner Verehrung für KEPLER dennoch Ausdruck zu geben und ihn als scheinbaren Zeugen der Richtigkeit seiner Vorstellungen zu zitieren.<sup>76</sup>

### Das Modell der Parazentrischen Bewegung bei LEIBNIZ

LEIBNIZ' Vorstellung sieht also nach seinem Text so aus: Die Aetherbewegung auf Großkreisen um den Planeten erzeugt Schwerkraft, eine radiale Explosion eines „Störmediums“ wirkt ihr entgegen, und diese beiden Kräfte erzeugen die „parazentrische Bewegung“, die je nach Überwiegen der einen oder der anderen Kraft zur Entfernung oder zur Annäherung des Planeten beiträgt. Es sei dabei unerheblich, ob diese Materie von der Erde bis zu dem Körper hingelangt, der ‚Schwere‘ zeigen soll, wichtig allein sei, daß die „dicht anliegende Materie den Impuls ausbreite, wie beim Licht, dem Schall...“. Er fährt fort: „Indeß haben die sich geirrt, die überzeugt waren, daß die Ausbreitung irgendeines wahrnehmbaren Effektes instantan geschehen könnte.“<sup>77</sup> Es muß also ein vermittelndes Medium agieren. Die subtile Materie befindet sich überall, auch in den Poren der Körper. Durch die Rotation der Erde wird diese subtile Materie nach außen geschleudert oder gestoßen. Das Übergewicht der fliehenden subtilen Materie pro Raumstück drängt dann per Rückstoß die dichteren Materiekörper zum Zentrum des jeweiligen Planeten zurück, ein Phänomen, welches als Schwere bezeichnet wird. Seiner philosophischen Anschauung völlig entgegengesetzt ist die Möglichkeit einer Effektausbreitung ohne dafür Zeit zu benötigen. Genau dies aber verlangt NEWTONS Darstellung seinen Anhängern ab. Für LEIBNIZ ist dann auch die Analogie mit Lichtstrahlen passend, um das quadratische Ausbreitungsprinzip zu veranschaulichen. Er kommt also völlig

---

würde zur Erde ungefähr dreiundfünfzig Intervallteile hinabsteigen; ebendort würden sie sich vereinigen: es ist aber vorausgesetzt, daß die Substanz beider von ein und derselben Dichte sei.)

*Si Terra cessaret attrahere ad se aquas suas, aquae marinae omnes elevarentur et in corpus Lunae influerent.* (Wenn die Erde aufhörte, ihre Wasser zu sich anzu ziehen, würden die Wasser der Meere alle emporgehoben und würden den Körper des Mondes überfluten.)

<sup>76</sup> Im Zusammenhang mit der Geschichte dieser Betrachtungsweise, dem Phänomen der Ansammlung von Materie im Zentrum eines Wirbels, hier von KEPLER – GALILEI- TORRICELLI- DESCARTES- HUYGENS- LEIBNIZ geschildert, sollte nicht unerwähnt bleiben, daß in moderneren Zeiten auch der Name EINSTEIN noch angehängt werden kann. Er gibt unter dem Titel „Die Ursache der Mäanderbildung der Flußläufe und des BAERSCHEN Gesetzes“ seine Erklärung des Phänomens, ausgehend vom Rühren in der Teetasse, in der sich auch Teeblätter befinden, die **schwerer** als die umgebende Flüssigkeit sind. Dort wird erklärt, wie aus der Zentrifugalkraft und der Reibung das beobachtbare Phänomen entsteht, aus dem dann die Mäanderbildung der Flüsse erklärt werden kann. EINSTEIN hat dies am 7.1.1926 in der Preußischen Akademie der Wissenschaften vorgetragen. ( Zitiert nach Seelig, Carl (Hrsg.), Albert EINSTEIN, Mein Weltbild, Berlin ? ( Ich danke Herrn dipl.phys. Wolfgang TRAGESER, IGN Frankfurt für die Auffindung des Zitats ).

<sup>77</sup> „*Sed quaecunque sit causa gravitatis, sufficere nobis potest Globum attrahentem radios materiales radiis lucis analogos propellere seu impulsuum lineas emitttere in omnem plagam a centro recedentes; non quasi partes a tellure ad grave usque pervenire necesse sit, sed quod materia materiam contiguam impellente impetus propagetur ut in lumine et sono, et liquoribus motis. Quanquam erraverint, quibus persuasum fuit propagationem alicujus effectus sensibilis fieri posse in instanti.*“ ( Hervorhebung von mir ).Übersetzung s. LT S. 113 Z 30-36.

folgerichtig zu einer Abnahme der Schwerewirkung im umgekehrten quadratischen Verhältnis des Abstandes.<sup>78</sup> Für LEIBNIZ war damit eine ihn befriedigende Erklärung des Phänomens gegeben, das vor allem durch Beobachtungen und nicht durch Hypothesen gestützt wurde.<sup>79</sup> Keinerlei Raum soll bleiben für nicht deutlich Vorstellbares. Es muß etwas „KONTINGENTES“ geben, was die Bewegungen verursacht oder vermittelt.

Die Planetenbewegung wird nach LEIBNIZ aus zwei Komponenten zusammengesetzt.

Die Gesamtbewegung des Planeten wird nunmehr aus zwei Teilen zusammengesetzt, der einerseits aus zwei Komponenten bestehenden „parazentrischen Bewegung“, die radial bezüglich des jeweiligen Drehpunktes verläuft und der „harmonischen“ Bewegung, einer nach LEIBNIZ‘ Definition umgekehrt proportional zum momentanen Radius verlaufenden Drehbewegung um den momentanen Drehpunkt. Dabei wird die Gesamtbewegung aus infinitesimalen Teilen jeweils zusammengesetzt. Gelingt es, diese Komponenten jeweils adäquat zu berechnen, dann ist das gesamte Problem gelöst. Zur Verdeutlichung seines Gedankenganges verwendet LEIBNIZ eine Graphik<sup>80</sup>, die der Leser bitte zur Hand nehmen möge. Alles weitere bezieht sich auf die Angaben dort. Da dies alles in eine Zeichnung gepackt wurde, werde ich hier gelegentlich Details herauszeichnen, von deren korrekter Wiedergabe man sich dann anhand des Originals überzeugen kann<sup>81</sup>.

<sup>78</sup> „itaque tota lux vel vis superficiei ABC est ad lucem vel vim superficiei LMN in ratione composita intensionis seu illuminationis et extensionis seu superficierum ; sed tantum est lucis seu vis attractivae in superficie ABC quantum in superficie LMN, ergo intensiones sunt reciproce ut extensiones , hoc est illuminationes vel gravitatis sollicitationes sunt reciproce ut superficies, sed superficies ABC et LMN sunt ut quadrata diametrorum RA, RL. Itaque illuminationes vel gravitatis sollicitationes sunt reciproce ut quadrata distantiarum a centro radiante vel attrahente.”

S. Übersetzung LT S.114, Z.30-39

<sup>79</sup> „Hoc autem a priori nobis deprehensum, mox iterum sua sponte a posteriori per calculum analyticum ex phaenomenis planetarum communibus ductum nascetur mirifico consensu rationum et observationum, et insigni confirmatione veritatis. Quae enim sequuntur, non constant Hypothesibus, sed ex phaenomenis per leges motuum concluduntur; sive enim detur sive non detur attractio planetarum (hier wurde aus sprachlichen Gründen ‘planetarum’ durch ‘planetae’ ersetzt) ex sole, sufficit a nobis eum colligi accessum et recessum, hoc est distantiae incrementum vel decrementum , quem haberet si praescripta lege attraheretur.“ Übersetzung s. LT S.114, Z.39 bis S.115, Z.7

<sup>80</sup> s. Übersetzung LT S.116. Die Grafik ist aber hier nochmals reproduziert.

<sup>81</sup> Es zeigte sich beim Vergleich mit der publizierten Zeichnung, daß die hier von GERHARDT aus dem Manuskript wiedergegebene Zeichnung verbessert ist. Allerdings ist der Umlaufsinn geändert und alle Indices stehen hier vor den Buchstaben. In den ACTA ERUDITORUM ist dies umgekehrt. Ich habe in allen Fällen die GERHARDTSCHES Version beibehalten, auch bei Zitaten, die Indices vertauscht.



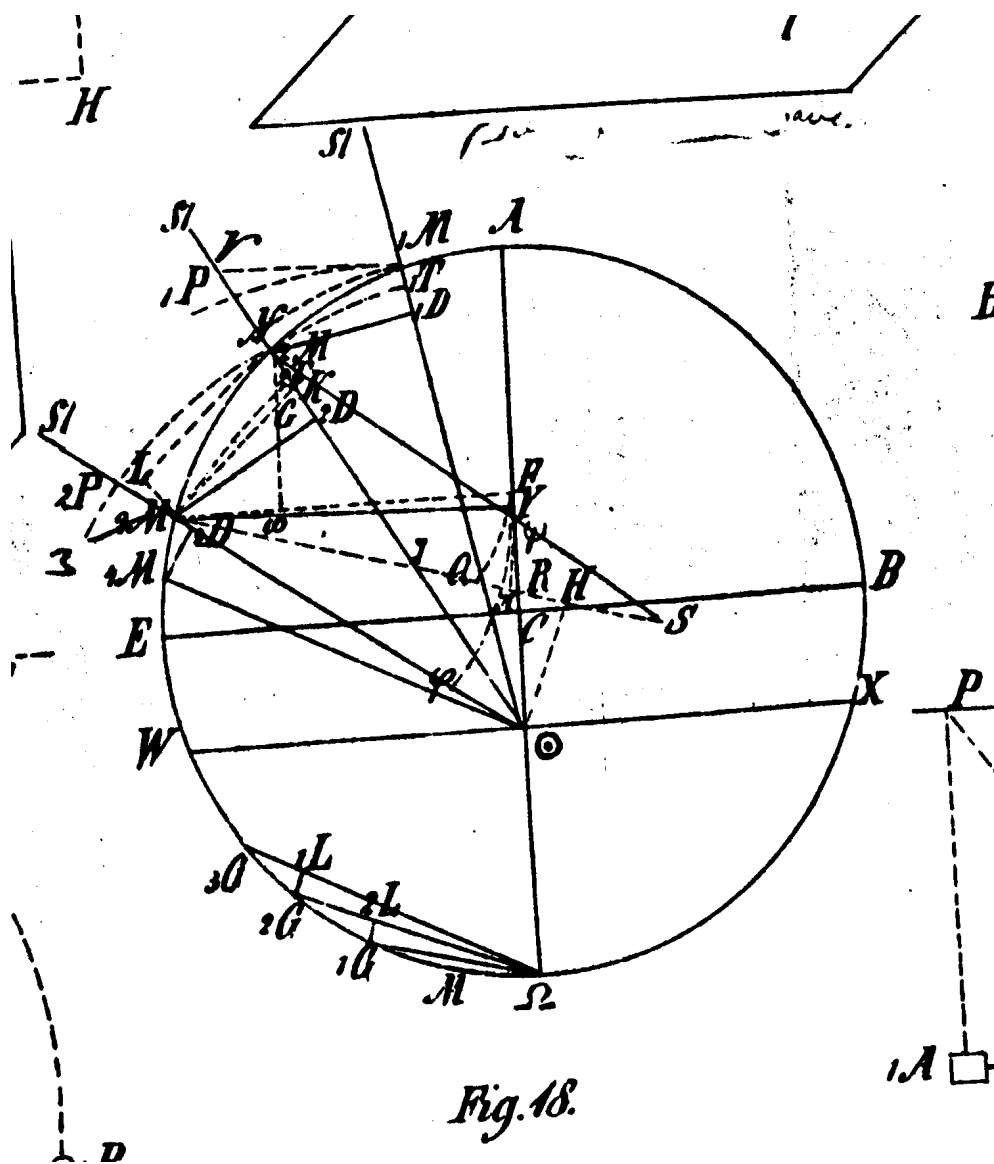


Fig. 18.

vergrößerte Ansicht der originalen Figur 18

Zuerst ist also die „harmonische Bewegung“ zu definieren und dann die „parazentrische“, wobei letztere radiale Bewegung sowohl zum Zentrum hin als auch vom Zentrum weg verlaufen kann. Es gibt also bewegungstechnisch 2 Komponenten, betrachtet man aber die Ursachen, so sind es 3, weil die Annäherung durch „*solicitatio gravitatis*“, die Entfernung durch „*solicitatio levitatis*“ hervorgerufen wird. In LEIBNIZ' Vorstellung finden alle drei Bewegungen gleichzeitig statt, radial wird einfach (vektoriell) addiert, die resultierende Bewegung wird durch die überwiegende Komponente bestimmt. Die Definitionen sind durchaus selbst-erklärend:<sup>82</sup>

82

(3) „Circulationem voco Harmonicam, si velocitates circulandi, quae sunt in aliquo corpore, sint radiis seu distantiiis a centro circulationis reciproce proportionales, vel (quod idem) sica proportione decrescant velocitates circulandi circa centrum, in qua crescunt distantiae a centro, vel brevissime, si crescant velocitates circulandi proportione viciniarum. Ita enim si radii seu distantiae crescant aequaliter seu arithmetice, velocitates decrescent harmonica progressionem. Itaque non tantum in arcibus circuli, sed et in curva alia quacunq[ue] describenda circulatio harmonica locum invenire potest.”...

(S. 115, Z. 43 bis S.116, Z.8) und weiter unten

“Nihil autem refert, quis sit motus rectilineus, quo ad centrum acceditur vel ab ipso receditur (quem voco motum paracentricum), modo circulatio ipsius mobilis  $M$  ut  ${}_3M_2T$  sit ad circulationem aliam ejusdem mobilis  ${}_2M_1T$ , ut  $\odot_1M$  ad  $\odot_2M$ , hoc est si circulationes aequalibus temporum elementis factae sint reciproce ut radii. Cum enim arcus isti elementarium circulationum sint in ratione composita temporum et

Es ist somit die Existenz der parazentrischen Bewegung an die der harmonischen geknüpft. Wie im Folgenden zu sehen ist, wird dabei eine gekrümmte Bewegung in infinitesimale Abschnitte harmonischer Bewegung zerlegt, die gekrümmte Bahn ist also die integrierende Aneinanderfügung der infinitesimalen harmonischen Bahnelemente, ein Kreis also als Grenzfall eines geschlossenen Polygonzuges zu betrachten. Diesen infinitesimalen Kurvenabschnitten wird dann die parazentrische Linearbewegung überlagert. An späterer Stelle wird deutlich werden, daß dabei die Momentanbewegung auf der (harmonischen) Bahn längs der Tangente erfolgt, die als Verlängerung der zuletzt zurückgelegten Sekante gesehen wird.

### LEIBNIZ beweist den KEPLERSCHEN Flächensatz.

In § 4 seiner Darlegungen kommt LEIBNIZ zum Beweis des Flächensatzes und setzt zum erstenmal in diesem Essay seine neu erfundene Analysis ein. Für die bessere Verfolgung des Gedankenganges habe ich eine Teilzeichnung der Originalfigur angefertigt. (s. nächste Seite) Eingezeichnet sind 3 aufeinanderfolgende Bewegungszustände des sich auf der (Ellipsen) Bahn bewegenden Körpers M. Die These lautet:

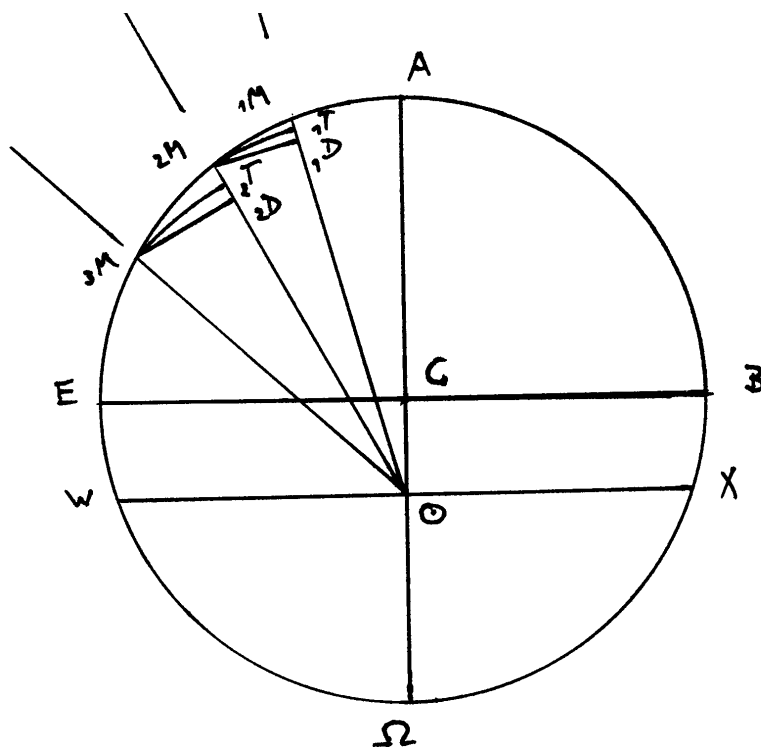
***Wenn der bewegliche Körper eine harmonische Drehbewegung beschreibt ( ... ), so werden die Flächen, die von den Radien vom Zentrum der Bewegung zum beweglichen Körper abgeschnitten worden sind, den zurückgelegten Zeiten proportional sein, und umgekehrt.***<sup>83</sup>

Die Bewegung wird nun zerlegt in „elementare harmonische Drehbewegungen“ um den Punkt  $\odot$  und radiale Ausgleichsbewegungen („parazentrisch“). Die Hilfspunkte für die harmonischen Bögen sind die Punkte  $iT$  (Skizze nächste Seite). Ferner sind die Lotfußpunkte  $iD$  in den entstehenden Dreiecken eingezeichnet. Der Körper gelangt von  ${}_1M$  nach  ${}_2M$  durch gleichzeitige Ausführung der infinitesimalen Bewegung  ${}_1T_2M$  (harmonisch) und der (parazentrischen) Bewegung  ${}_1M_1T$  und entsprechend im nächsten „Elementardreieck“.  ${}_2M_1D$  ist die Höhe auf  $\odot_1M$ ,  ${}_3M_2D$  ist die Höhe auf  $\odot_2M$ . LEIBNIZ fährt fort:

---

*velocitatum, tempora autem elementaria assumantur aequalia, erunt circulationes ut velocitates, itaque et velocitates reciproce ut radii erunt, adeoque circulatio dicetur harmonica.*”s. Übersetzung LT, § 3 S.117, Z.3 bis Z. 13.

<sup>83</sup> „Si mobile feratur circulatione harmonica (quicumque sit motus paracentricus), erunt areae radii ex centro circulationis ad mobile ductis abscissae temporibus insumtis proportionales, et vicissim.” (§4, Anfang)



Detailzeichnung nach der Originalfigur

„ $1T_2M$ ,  $2T_3M$  sind unvergleichlich klein verglichen mit den Radien  $\odot_2M$  und  $\odot_3M$ , folglich werden die Differenzen zwischen den Bogenlängen und den Geraden mit diesen (ersten) Differenzen unvergleichbar sein, (also zwischen  $1T_2M$  und  $1D_2M$ ). Deshalb also werden wir sie (wegen unserer Differentialrechnung) für „null“<sup>84</sup> ansehen, somit also den Bogen und dessen Sinus als gleich betrachten. Somit verhält sich  $1D_2M$  zu  $2D_3M$  wie  $\odot_2M$  zu  $\odot_1M$ , oder aber  $\odot_1M$  mal  $1D_2M$  gleich  $\odot_2M$  mal  $2D_3M$ . Hieraus folgt, daß auch  $1M_2M\odot$  und  $2M_3M\odot$ , gleich sind, welche Elemente des Flächenbereichs  $A\odot MA$  sind.“ Aus den gleichen Zeitelementen kann dann auf die Gleichheit der Flächenelemente geschlossen werden. Somit gilt also der Flächensatz KEPLERS.

In § 5 geht er auf seine Analysis erklärend ein. Die mathematischen Fachbegriffe, die im Text vorkommen, sind in den Fußnoten der Übersetzung LT S.110/111 erläutert.

LEIBNIZ hat jetzt seine harmonische Drehbewegung um die Sonne ( $\odot$ ) definiert und folgert daraus, daß auch der umgebende Aether sich harmonisch bewegt und beruft sich darauf, daß schon der gemeinsame rechtläufige Lauf aller Planeten in fast gemeinsamer Ebene dafür spreche. Die Sprachfloskel „nach Ablegung von Widerstreitigkeiten“ deutet hier bereits auf die später noch erörterte Phase der Konsolidierung der Gemeinsamkeiten der rotierenden Körper hin.

In § 8 widmet sich LEIBNIZ nunmehr der paracentrischen Bewegung und deren zwei Komponenten. Die eine resultiert nach Leibniz aus der harmonischen Rotation und für die zweite Komponente, deren Wirklichkeit „Anziehung“ oder „Impuls“ er offen läßt und die durchaus als „in Art eines Magneten wirkend“ vorgestellt sein darf, findet er die Bezeichnung „Erregung der Schwere“.<sup>85</sup> Diesen Antrieb, Körper von der tangentialen Bahn abzubringen, nennt

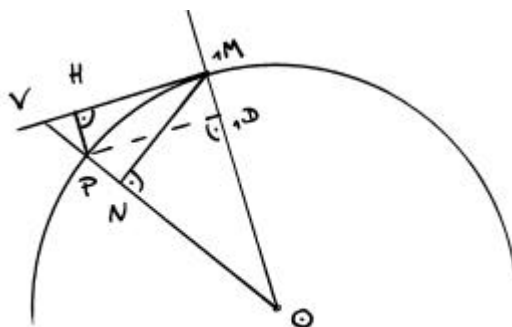
<sup>84</sup> „per Analysin nostram infinitorum habentur ea pro nullis...“. Ein wiederholter Vergleich unvergleichbar (kleiner) Größen. Der Unterschied ist deshalb vernachlässigbar, in LEIBNIZENS Sprachgebrauch somit ein Null-Unterschied.

<sup>85</sup> „9) Explicata circulatione harmonica, veniendum est ad Motum paracentricum planetarium, ortum ex impressione excussoria circulationis et attractione solari inter se compositis. Liceat autem appellare attractionem, licet revera sit impulsus, utique enim in Sol quadam ratione tanquam magnes concipi potest;

LEIBNIZ „Conatus excussorius“. Hier muß noch etwas zum Begriff der Tangente bei LEIBNIZ gesagt werden. Aus der hier besprochenen Arbeit geht hervor, daß er sich die Kreisbewegung aus einer Zusammensetzung von unendlich vielen infinitesimalen Dreiecken, also als Polygonzug vorgestellt hat.<sup>86</sup> Die Tangentialbewegung ( s. obige Detailzeichnung ) von 2M aus in Richtung 3M geht nach seiner Vorstellung in der Verlängerung von 1M2M vonstatten. Eine auf die Kurve rücktreibende Kraft wirkt dann radial auf  $\odot$  und erzeugt 3M.<sup>87</sup> Überdies geht er in einer späteren Erläuterung „ILLUSTRATIO TENTAMINIS DE MOTUUM COELESTIUM CAUSIS“ auf Kritiken zu seinen Rechnungen ein (VARIGNON wird ausdrücklich genannt)<sup>88</sup> und erläutert, daß es genüge statt „*pro duplo conatu centrifugo, simpliciter dicendum fuisse conatum centrifugum res ipsa docet*“. Die Sache selbst lehre, daß der Sprachgebrauch „zweifacher Conatus“ durch „Conatus“ ersetzt werden müsse. Ursache war die gezeichnete Tangente in der Figur der Veröffentlichung. Wenn man aber die vorhergehende Sehne verlängert, wird die zurücktreibende Komponente größer, und dies ist dann der „Conatus“. LEIBNIZ ändert hier nicht seine Rechnung, sondern nur den Namen, um das Problem

- 
- ipsae autem actiones magneticae a fluidorum impulsibus haud dubie derivantur. Unde etiam vocabimus Solicitationem Gravitatis, concipiendo planetam tanquam grave tendens ad centrum, nempe Solem. Pendet autem species orbitae a speciali lege attractionis”...Übersetzung siehe LT S.119, Z.12-20*
- <sup>86</sup> Vergleicht man NEWTON , Pricipia I, Sectio II, Propositio I, Theor. I, so liest man :“ *Areas, quas corpora in gyros acta, radiis ad immobile centrum virium ductis, describunt, et in planis immobilibus consistere, et esse temporibus proportionales.*“(principia a.a.O. S.41) (eig. Übers.:Die Flächen, welche Körper in Kreisbewegungen beschreiben durch Radien, die zum unbeweglichen Zentrum der Kräfte gezogen werden, liegen in festen Ebenen und sind den Zeiten proportional.). Bei der begleitenden Skizze herrscht genau die gleiche Vorstellung wie bei LEIBNIZ. Noch deutlicher wird dies in HALL/HALL, Unpublished scientific papers of Isaac Newton, Cambridge 1962 in der auf S. 247 wiedergegebenen Fig. 58, *De motu corporum in mediis non resistantibus*.
- <sup>87</sup> In dieser Auffassung folge ich AITON, The Vortex Theory of Planetary Motions,dort Anm. 51 auf S.148
- <sup>88</sup> GERHARDT, LMW VI, S.258: “(8) *In rei ipsius explicatione difficultas lectori Tentaminis nostri occurrere poterit, dum ibi leget contingere impressionem novam ascendendi, cum duplex conatus centrifugus praevaleret sollicitationi gravitatis, et contra cum hic praevaleret illi, contingere impressionem novam descendendi, et cum aequales sunt, neutrum fieri, impetumque pridem incommutatam manere : nam pro duplo conato centrifugo, simpliciter dicendum fuisse conatum centrifugum res ipsa docet. Sciendum est ergo, qui a nobis tunc dictus est conatus centrifugus certo sensu exemploque aliorum, talisque omnino intelligi potest ipso primo momento circulationis, repraesentaturque per sinum versus arcus circulationis, revera in ipso circulationis progressu esse non nisi conatum centrifugum dimidium. Neque id quicquam in recepta hactenus doctrina conatus centrifugi mutat, nam verum manet, grave ab altitudine descendens quae sit dimidia radii Circulationis, eoque descensu acquirens celeritatem circulationis, habere gravitatem conatui centrifugo aequalem. Hujus autem considerationis occasionem mihi dedit Cl. Varignonius, alterius licet scopi meditatione, a quo non dubito multas egregias accessiones habituram Analysis nostrani. Caeterum res sic demonstratur. ( Hervorhebung von mir ) (Eig. Übers.: Bei der Erklärung selbst kann eine Schwierigkeit auftreten für den Leser unseres “Tentaminis”, indem er dort liest, daß sich eine neue Einprägung des Aufsteigens anschließt, in der der zweifache Conatus centrifugus vorherrscht gegen die Erregung der Schwere. Und mit diesem wird gegen jenen eine neue Einprägung des Absteigens sich anschließen, die, weil sie gleich sind, einen neutralen Zustand erzeugt und der vorherige Anstoß bleibt unübermittelt: Die Sache selbst lehrt, daß für den doppelten Conatus centrifugus einfach gesetzt werden muß Conatus zentrifugus. Es ist also deutlich, was von uns schon vorher gesagt wurde, der Conatus centrifugus nach gewissem Urteil und Beispiel anderer, derart, daß es gänzlich eingesehen werden kann, selbst vom ersten Moment der Zirkulation an, und er wird dargestellt durch den Sinus versus des Bewegungsbogens, tatsächlich ist er, wenn (auch) nicht der Conatus centrifugus, sondern beim Fortschreiten der Bewegung dessen Hälfte. Und der Conatus centrifugus wandelt sich in dieser soweit zurückgenommenen Lehre, aber deren Richtigkeit bleibt,: durch die Schwere von der Höhe herabsteigend, welche die Hälfte des Bahnradius sein möge und durch diesen Abstieg eine Zunahme der Geschwindigkeit erfahrend, ist die Schwere gleich dem Conatus centrifugus. Die Gelegenheit zu dieser Betrachtung aber gab mir CL. VARIGNON, welcher durch kritisches Lesen (scopi meditatione), woher, daran zweifle ich nicht, derzeit viele hervorragende Zugänge zu meiner Analysis eröffnet werden. Im übrigen ist die Sache damit gezeigt.)*

aus der Welt zu schaffen. Genau damit aber ist die Vorstellung der Kreisbewegung als Polygonzug gesichert. Ich gehe an der entsprechenden Stelle der Rechnung darauf ein. Die Paragraphen (8) bis (10) gelten also nochmals der Darstellung der Bewegung. Nach LEIBNIZ Vorstellung gibt es zwischen dem Planeten und dem unzweifelhaft vorhandenen Trägermedium keinen Unterschied mehr in der Art der Bewegung, beide bewegen sich harmonisch. Und dies müssen sie tun, weil sie sich sonst gegenseitig störten, wie es durchaus am Anfang gewesen sein möge. Hier sieht also LEIBNIZ einwandfrei auch eine gewisse Entwicklung in der Entstehungszeit, wenn den am himmlischen Geschehen Beteiligten eine gewisse Zeit zugestanden wird, in der sie sich aufeinander einstellen.<sup>89</sup> Dieser harmonischen Bewegung ist nun die parazentrische überlagert, die aus dem „Conatus excussorius“ und dem „Solicitatio gravitatis“ erzeugt werden. Ersterer stammt von der (die DESCARTESSCHE Schleuder wird erwähnt) zentrifugalen Kraft, letztere wird infolge des umgebenden Mediums als Rückstoß produziert. Die zugrunde liegende mathematische Vorstellung ist die, daß aus wiederholten infinitesimal kleinen eingepprägten Krafteinwirkungen, die LEIBNIZ „tot“, („vis mortua“) nennt, durch Aufsummieren schließlich die Wirkung als „lebendige Kraft“, („vis viva“) erhält, und damit im wesentlichen unsere heutige „kinetische Energie“ entsteht. Zwar ist es historisch noch ein weiter Weg bis zu diesem Begriff, aber im Ansatz ist alles schon da. Die Rechnung verlangt nun wieder nach der Skizze, was hier an einer weiteren Detailzeichnung erläutert werden soll:



Detailskizze möglichst mit LEIBNIZ' Bezeichnungen

LEIBNIZ schreibt nun:

„Der zentrifugale Conatus oder auch der austreibende Conatus der Zirkulation kann durch  $PN$ , den Sinus versus des (Winkels der Zirkulation) Drehwinkels  $\sphericalangle M\odot N$  oder auch durch  $\sphericalangle D_1T$  ausgedrückt werden, denn der sinus versus ist gleich einer Senkrechten Linie, gezogen aus einem Endpunkt des Bogens der Zirkulation zur Tangente des anderen Endpunktes, durch die wir im vorstehenden den austreibenden Conatus ausgedrückt haben. ( Man kann auch den zentrifugalen Conatus durch  $PV$  ausdrücken, der Differenz des Radius und der Sekante des entsprechenden Winkels, dessen Differenzbetrag zum sinus versus von dritter infinitesimaler Ordnung ist, also gleichsam von nulltester Ordnung in bezug auf den Radius ).“

In obiger Detailskizze habe ich versucht, etwas Klarheit in das Durcheinander von Buchstaben und Linien in LEIBNIZ' Figur zu bringen. Es handelt sich bei diesem Zitat um eine Hilfsbemerkung, die allgemein sein Vorgehen erläutern soll. Deshalb taucht da auch der Buchstabe P auf, der in seiner Figur fehlt. In der Skizze oben ist also ganz allgemein eine Kreisbewegung von  $\sphericalangle M$  nach P dargestellt.  $\sphericalangle MV$  gibt die Tangente in  $\sphericalangle M$ , auf der der Hilfspunkt H liegt, als Fußpunkt einer Senkrechten von P auf die Tangente, somit parallel zu  $\sphericalangle M\odot$ . LEIBNIZ stellt sich die Bewegung ohne Kreisbewegung tangential vor, das austreibende (ex-

<sup>89</sup> „Facit autem circulatio aetheris, ut planeta circuletur harmonice, non velut motu proprio, sed quasi tranquilla natatione in fluido deferente cujus motum sequitur, ob perfectum consensum motuum aetheris et planetae, in quos post depositas luctationes conspirarunt.“ Übersetzung siehe LT S.119, Z.7-11

cussorische) Element ist also durch PH (parallel zu  ${}_1D_1M$ ) gegeben. Weil beide Bewegungen gleichförmig gedacht sind, wäre auch die resultierende Bewegung gleichförmig, also längs der Sekante, und genau darauf zielte VARIGNONS Kritik, was LEIBNIZ dadurch kompensierte, daß gerade diese unendlich vielen kleinen Sekanten die Kreisbewegung erzeugten. Der Übergang zu den anderen Strecken ist dann durch Vernachlässigungen der infinitesimalen Differenzen motiviert. Die Dreiecke  $PH_1M$  und  $P_1MN$  sind kongruent. PH kann also durch PN ausgedrückt werden, und dies ist der sinus versus ( $d\phi$ ), wobei  $d\phi$  der Drehwinkel ist, der zur Zeit  $dt$  gehört.<sup>90</sup> Unter schrittweiser Ersetzung der annähernd gleichen Stücke  ${}_1MN$ ,  ${}_1MP$ , Bogen  ${}_1MP$  folgert LEIBNIZ nun, natürlich mit seinen Bezeichnungen, indem er die Parameter nacheinander abarbeitet, die anderen Größen jeweils konstant hält, in seiner eigenen Sprache:

*„Da ferner der sinus versus zur Sehne oder auch zum nicht angebbaren Bogenstück, gleichbedeutend der Geschwindigkeit, in quadratischem Verhältnis steht, folgt daher, daß der zentrifugale Conatus von Körpern, die gleiche Kreise beschreiben, im quadratischen Verhältnis zur Geschwindigkeit ist; bei Körpern, die ungleiche Kreise beschreiben, verhalten sich die Conatus in zusammengesetztem Verhältnis aus dem Quadrat der Geschwindigkeiten und dem Reziproken der Radien.“<sup>91 92</sup>*

und findet in seiner analytischen Rechnung, die in der Übersetzung (S.117) nachgelesen werden kann, dann für den bei ihm mit  $x$  bezeichneten zentrifugalen Conatus den Wert

$$x = \frac{y \cdot y}{2 \cdot r},$$

in seinen Worten:

*„d.h. der zentrifugale Conatus  ${}_2D_2T$  verhält sich zur Zirkulation  ${}_2T_3M$ <sup>93</sup> wie diese sich verhält zur Geschwindigkeit, die nötig wäre, um den gesamten Durchmesser bzw. den doppelten Radius in demselben Zeitelement zu durchlaufen.“*

Dieser Wert ist durch den Faktor 2 im Nenner zu klein, denn er hätte bei Berücksichtigung der Beschleunigung

$$x = \frac{y \cdot y}{r},$$

herausbekommen müssen. Seine Strecke PN hätte durch  $PN = \frac{1}{2}x(dt)^2$  als Weg bei gleichmäßiger Beschleunigung berechnet werden müssen, für  $x$  hätte er also

<sup>90</sup> Unter der Bezeichnung unserer heutigen Winkelfunktionen verstand man damals Strecken im Kreis. Nach unserer heutigen Schreibweise würde man  $\sin(d\phi) = r \cdot (1 - \cos(d\phi))$  schreiben, der Differenz zwischen  $\odot P$  und  $\odot N$ .

<sup>91</sup> das Verhältnis besteht also aus den Quadraten der Geschwindigkeit geteilt durch die Radien. Dies ist gerade die Formel, die HUYGENS für die Zentrifugalkraft gefunden hatte.

<sup>92</sup> (11) *Conatus centrifugus seu conatus excussorius circulationis exprimi potest per PN sinum versum anguli circulationis  ${}_1M\odot N$  vel per  ${}_1D_1T$ , nam sinus versus aequatur perpendiculari ex uno extremo arcus circuli puncto in tangentem alterius ductae, qua conatum excussorium expressimus in praecedenti (potest etiam esprimi conatus centrifugus per PV, differentiam radii et secantis ejusdem anguli, cujus differentiae discrimen a sinu verso est infinitesies infinities infinite parvum adeoque nullissimum respectu radii). Hinc porro cum sinus versus sit in duplicata ratione chordae seu arcus inasignabilis sive velocitatis, sequitur conatus centrifugos mobilium aequales circulos describentium esse in duplicata ratione velocitatum, inaequales describentium esse in ratione composita ex quadrata velocitatum et reciproca radiorum.* Übers. LT S.119, Z.39 bis S.120, Z.8

<sup>93</sup>  ${}_2D$  muß ersetzt werden durch  ${}_2T$ , sonst ist der LEIBNIZSCHE Text sinnlos.

$x = \frac{2 \cdot PN}{(dt)^2}$  ansetzen müssen, was dann später einfach durch die Umdeutung von „doppel-

tem Conatus“ = „einfacher Conatus“ kompensiert wurde. Und dies war VARIGNONS Einwand, der alle möglichen Bewegungsaufgaben nachgerechnet hatte, und dabei auch auf die LEIBNIZSCHE Arbeit gestoßen war.

In § 12 nun wird der Übergang von der Zentrifugalbeschleunigung bei gleichförmiger Kreisbewegung zu KEPLERS Flächensatz bei harmonischer Bewegung vollzogen.<sup>94</sup> LEIBNIZ berechnet auch hier die Hälfte des richtigen Wertes. KEPLERS Flächensatz sei durch

$r^2 \cdot \frac{d\mathbf{f}}{dt} = \text{const.}$  geschrieben. Das Doppelte des Dreiecks  ${}_2M_3M\odot$  ist durch  $r^2 \cdot d\mathbf{f}$  gegeben, somit ist LEIBNIZ' Wert  $\mathbf{J}a = \text{const.} \cdot dt$ . Sein Endresultat für  ${}_2D_2T$ , das er den **hal-**

**ben** Conatus centrifugus hätte nennen müssen, ist dadurch um den Faktor 2 unkorrekt. In der Übersetzung des §12 im Anhang sollte deshalb die drittletzte Zeile entsprechend korrigiert werden.

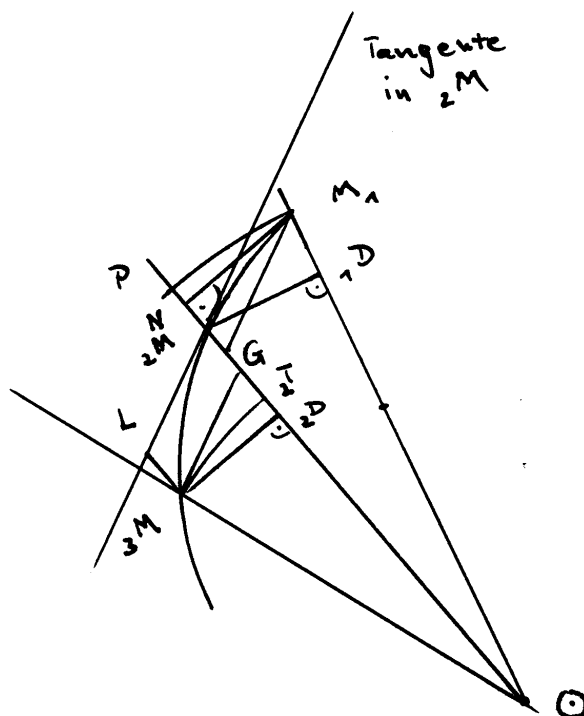
Der Abschnitt 13 bezieht sich auf den unteren Teil der Figur LEIBNIZENS. Er enthält die analoge Behandlung bei spiraliger Entwicklung aus  $\Omega$  heraus.

In Abschnitt 14 geht nun LEIBNIZ auf die parazentrische Bewegung ein, Gravitation heißt sie, wenn sie auf die Sonne zu gerichtet ist, Levitation, die Bewegung des Planeten von der Sonne weg infolge der Zentrifugalwirkung der Rotation. Beide Bewegungen finden fortwährend und gleichzeitig statt, sie überlagern sich. Je nach Überwiegen der einen oder der anderen Bewegung bewegt sich der Planet auf die Sonne zu oder von ihr weg. Wieder gebraucht er die Vokabel „solicitatio“ als vorgestellte infinitesimale Erregung, die durch Integration dann zur wirkenden Größe wird.<sup>95</sup> Die folgende Darlegung LEIBNIZENS verlangt nun wieder nach einer Detailzeichnung:

<sup>94</sup> 12) *Conatus centrifugi rnobilis harmonice circulantibus sunt in ratione radiorum reciproca triplicata. Sunt enim (per praecedentem) in reciproca radiorum et directa duplicata velocitatum, id est (quia velocitates circulationis harmonicae sunt reciprocae ut radii) duplicata reciproca radiorum; ex simplice autem reciproca et duplicata reciproca fit reciproca triplicata. Pro calculo sit  $\mathbf{J}a$  planum constans aequale semper duplo triangulo elementari  ${}_2M_3M\odot$  seu rectangulo  ${}_2D_3M$  in  $\odot_2M$  radium seu  $r$ , ergo  ${}_2D_3M$  erit  $\frac{\mathbf{J}a}{r}$  seu  $\mathbf{J}a$  divis. per  $r$ ; jam  ${}_2D_2T$  conatus centrifugus aequ.  ${}_2D_3M$  quadr. divis. per bis  $\odot_3M$ , ergo aequ.  $\frac{\mathbf{J}a}{2r^3}$ .* S. auch Übersetzung § 12 LT S.120, Z.20 -32.

<sup>95</sup> 14. *Solicitatio paracentrica seu gravitatis seu levitatis exprimitur recta  ${}_3ML$  ex puncto curvae  ${}_3M$  in puncti praecedentis inassignabiliter distantis  ${}_2M$  tangentem  ${}_2ML$  (productam in  $L$ ) acta, radio praecedenti  $\odot_2M$  (ex centro  $\odot$  in punctum praecedens  ${}_2M$  ducto) parallela, concipiendo scilicet liane sollicitationem impedire, quominus mobile a curva recedat.*

15. *In omni circulatione harmonica elementum impetus paracentrici (hoc est incrementum aut decrementum velocitatis descendendi versus centrum vel ascendendi a centro) est differentia vel summa sollicitationis paracentricae (hoc est impressionis a gravitate vel levitate aut causa simili factae) et dupli conatus centrifugi (ab ipsa circulatione harmonica orti), summa quidem si levitas adsit; differentia si gravitatis: ubi praevalente gravitatis sollicitatione crescit descendendi, vel decrescit ascendendi velocitas, at praevalente duplo conatu centrifugo, contra. S. auch Übersetzung LT §14 und §15 Übers. LT S.121, Z. 9-24*



Detailzeichnung (verzerrt), um Details deutlich zu machen

Ich habe versucht, nach LEIBNIZ' Konstruktionsvorschrift zu verfahren, um obige Detail-skizze zu erzeugen. Einige Punkte sind schon von der früheren Skizze bekannt. Neu ist die Plazierung von G, welche aus der Originalskizze überhaupt nicht erschlossen werden konnte. In der Übersetzung LT im Anhang habe ich schon auf die notwendigen Ergänzungen bezüglich der Buchstaben im Text verwiesen:

Von  ${}_1M$  und  ${}_3M$  werden die Normalen zu  $\odot_2M$  gezogen,  ${}_1MN$  und  ${}_3M_2D$ ; Jetzt sind also die Dreiecke  ${}_1M_2M\odot$  und  ${}_2M_3M\odot$  im Prinzip gleich, wie aus der harmonischen Zirkulation folgt, und es werden die Höhen (wegen der gemeinsamen Basis  $\odot_2M$ )  ${}_1MN$  und  ${}_3M_2D$  gleich sein. Ich habe schon behauptet, daß  ${}_2MG$  gleich  ${}_3ML$  ist, sie werden verbunden durch Parallelen  ${}_3MG$  und  ${}_2ML$ ; hieraus ergibt sich, daß die Dreiecke  ${}_1MN_2M$  und  ${}_3M_2DG$  kongruent sein werden, und somit ist  ${}_1M_2M$  gleich  ${}_3M_2M$  und  ${}_2M_3M$  gleich  ${}_2M_3M$ . Ferner ist auf der Linie  $\odot_2M$  (wenn sie gezogen ist, was ich immer unterstelle,  $\odot_P$  gleich  $\odot_1M$  und  $\odot_2T$  gleich  $\odot_3M$ .

Bei der Plazierung von G kann man durch den Text „verbunden durch Parallelen  ${}_3MG$  und  ${}_2ML$ “ geleitet werden. Dann gibt es aber Probleme mit der Kongruenz, erstens durch die nicht zusammenfallenden Punkte G und zweitens durch LEIBNIZ' Behauptung für Kongruenz bei Dreieck „ ${}_1MN_2M$ “. Er hätte statt dessen „ ${}_1MNG$ “ nehmen sollen. Dies nehmen die Herausgeber von HUYGENS Werken<sup>96</sup> als Kritik an LEIBNIZ' Ergebnis  ${}_2D_2T - {}_2MG$ , das statt dessen

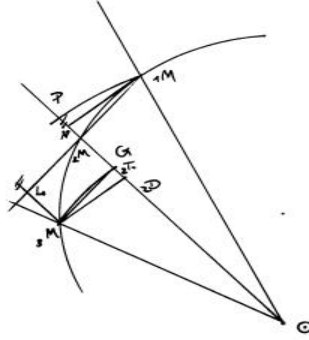
<sup>96</sup> Société Hollandaise des Sciences [Hrsg.], Oeuvres complètes de CHRISTIAAN HUYGENS, La Haye 1944 Tome IX, Correspondance; hier: S. 367 No. 2561 Christiaan Huygens à G.W. Leibniz, 8 Février 1690:

HUYGENS schreibt (seine Schreibweise beibehalten): „...Je vois que vous vous estes encore rencontré avec luy en ce qui regarde la cause naturelle des chemins Elliptiques des Planetes, ...“.

Die Herausgeber fügen hier eine Fußnote an, in der sie den Inhalt der LEIBNIZSCHEN Arbeit referieren. Darin heißt es „... Au moyen de raisonnements et de calculs, juste au fond, quoique entachés d'une erreur importante, mais qui ne touche aux principes,... l'erreur en question consiste en ceci, qu'il n'est pas permis de considérer les triangles  ${}_1MN_2M$  et  ${}_3M_2DG$ ... comme congruents, quoique en effet  ${}_1MN$  soit égal à  ${}_3M_2D$  avec une approximation suffisante.... Alors les raisonnements, appliqués par LEIBNIZ, conduisent à la relation juste:  $P_2M - {}_2T_2M = 2 \cdot {}_2D_2T - {}_3ML$



$NP + {}_2D_2T - 2 \cdot {}_2MG = {}_2D_2T - 2 \cdot {}_2MG$  hätte lauten müssen. Diese Abweichung ist aber durch die Interpretation (weiter vorne schon erörtert) von  ${}_3ML$  als Conatus excussorius statt dessen Doppeltem zu erklären. Es haben sich also zwei Fehler gegenseitig aufgehoben und ein korrektes Ergebnis erbracht (natürlich durch ungefähre Gleichsetzung der Punkte G).<sup>97 98</sup> Damit hat also LEIBNIZ die Radialbewegung beschrieben. Die Vorstellung, die sich LEIBNIZ machte, wird durch die beigefügte Detailskizze, die obige Detailskizze in veränderter Form wiedergibt, deutlich gemacht.



#### Detail mit geänderter Tangentendarstellung

Man gelangt also durch gleichförmige Bewegungen  ${}_2ML$  und  ${}_3M$  von  ${}_2M$  nach  ${}_3M$ . In den folgenden 3 Paragraphen wird nochmals auf die gewonnenen Ergebnisse eingegangen und die Zusammensetzung der Gesamtbewegung aus ihren drei Teilen, Zirkulation um ein Zentrum, parazentrische Geschwindigkeit und Eigengeschwindigkeit des bewegten Körpers hervorgehoben.<sup>99</sup> Im § 18 folgen dann lange Erläuterungen zu den verschiedenen Arten der Kegelschnitte und deren Eigenschaften, wobei aber im Vordergrund bleibt, daß alles im wesentlichen an der Ellipse dargestellt wird.

<sup>97</sup> Ich folge hier der Argumentation von AITON, a.a.O. S.74

<sup>98</sup> *Ex  ${}_1M$  et  ${}_3M$  normales in  $\odot_2M$  sint  ${}_1MN$  et  ${}_3M_2D$ ; cum ergo triangula  ${}_1M_2M\odot$  et  ${}_2M_3M\odot$  sint aequalia ostensa ob circulationem harmonicam, erunt (ob basin communem  $\odot_2M$ ) et altitudines  ${}_1MN$  et  ${}_3M_2D$  aequales. Jam sumta  ${}_2MG$  aequali  ${}_3M$ , jungatur  ${}_3MG$  parallela ipsi  ${}_2ML$ ; igitur congrua erunt triangula  ${}_1MN_2M$  et  ${}_3M_2DG$ , et erit  ${}_1M_2M$  aequ.  $G_3M$ , et  $N_2M$  aequ.  $G_2D$ . Porro in recta  $\odot_2M$  (si opus producta, quod semper subintelligo) sumatur  $\odot P$  aequ.  $\odot_1M$ , et  $\odot_2T$  aequ.  $\odot_3M$ , erit  $P_2M$  differentia inter radios  $\odot_1M$  et  $\odot_2M$ , et  ${}_2T_2M$  differentia inter radios  $\odot_2M$  und  $\odot_3M$ . Jam  $P_2M$  aequ.  $(N_2M$  seu)  $G_2D + NP$ , et  ${}_2T_2M$  aequ.  ${}_2MG + G_2D - {}_2D_2T$ , ergo  $P_2M - {}_2T_2M$  (differentia differentiarum) erit  $P_2M - {}_2T_2M$ , hoc est (quia  $NP$  et  ${}_2D_2T$  sinus versi duorum angulorum et radorum incomparabiliter differentium coincidunt) bis  ${}_2D_2T - {}_2MG$ . Jam differentia radiorurn exprimit velocitatem paracentricam, differentia differentiarum exprimit elementum velocitatis paracentricae. Est autem  ${}_2D_2T$  vel  $NP$  conatus centrifugus circulationis, quippe sinus versus (per 11) et  ${}_2MG$  seu  ${}_3ML$  est sollicitatio gravitatis (per praecedentem). Itaque elementum velocitatis paracentricae aequatur differentiae inter duplum conatum centrifugum  $NP$  seu  ${}_2D_2T$  et simplicem sollicitationem gravitatis  $G_2M$ , aut (quod eodem modo concluditur) summae ex duplo conatu centrifugo et simplici sollicitatione levitatis. S. auch Übersetzung LT §15 S.121, Z.24 bis S.122, Z.6*

<sup>99</sup> 18) *Si ellipsis describatur circulatione mobilis circa focus tanquam circulationis centrum, erunt inter se haec tria: circulatio  ${}_2T_3M$  vel  ${}_2D_3M$  (haec enim comparabiliter non differunt), velocitas paracentrica, et velocitas ipsius mobilis (ex ipsis composita) in ipsa orbita elliptica, nempe, respective ut haec alia tria:.....S.Übers. LT, S.122, Z.18 -23*

Dies geschieht dann in § 19, in dem das quadratische Abstandsgesetz hergeleitet wird.<sup>100</sup> Vol-ler Stolz kündigt LEIBNIZ damit „*ein nicht unelegantes Beispiel*“ seiner neuen Analysis an. Die Rechnung ist in der Übersetzung (LT § 19 S.122/123) nachzulesen. Die fehlenden Bewei-se werden bei AITON<sup>101</sup> geliefert. Man ersieht daraus, daß LEIBNIZ, wenn man AITON folgt und  $\vartheta a$  durch  $\vartheta h$  ersetzt, als Ergebnis

$$\frac{d^2}{dt^2} r = \frac{h^2}{r^3} - \frac{\mathbf{m}}{r^2}; \quad \text{wobei} \quad \mathbf{m} = \frac{h^2}{\frac{a}{2}} = \frac{h^2}{\text{semi-latus rectum}}$$

hat.  $h$  muß dann als KEPLERSCHE Konstante interpretiert werden. Der Begriff „latus rec-tum“ ist heute der halbe Parameter der Ellipse, also die Länge der Halbsehne parallel zur Ne-benachse durch den Brennpunkt.

LEIBNIZ schließt den Paragraphen 19 mit der Bemerkung:

„...so gilt per Artikel 3 TENTAMINIS und weiter (§ 14.), daß die Erregung der Gravitation im bewegten Körper, der eine harmonische (Dreh-)Bewegung und gleichzeitig eine parazentrische Bewegung in bezug auf den Brennpunkt der Ellip-se beschreibt ( und genau dies machen die Planeten, die sich um die Sonne bewe-gen ), daß diese Bewegung proportional zum reziproken Quadrat der Abstände vom Brennpunkt verläuft, der zugleich das Zentrum der Bewegung und der Anzie-hung darstellt.<sup>102</sup>

Dies ist also genau das Ergebnis, das auch NEWTON formulierte.

In § 20 wird dann NEWTON selbst erwähnt. Es bleibt unklar, ob er tatsächlich erst 1688 bei der Einreichung zum Druck dies eingefügt hatte. In dem Original von 1689 sind zwar viele Rechnungen nicht, die sich hier in der von mir übersetzten Ausgabe von GERHARDT (ver-mutlich nach dem Manuskript) vorfinden. Aber diese Bemerkung zu NEWTON findet sich sehr wohl dort:

„Ich sehe, daß dieser Lehrsatz schon damals dem hochberühmten ISAAC NEW-TON bekannt war, wie aus einem Bericht der ACTA<sup>103</sup> hervorgeht. Mit Verlaub allerdings, ich kann daraus nicht beurteilen, auf welche Weise er zu ihnen ( den Lehrsätzen ) gelangt ist.“<sup>104</sup>

<sup>100</sup> *Si mobile quod gravitatem habet, vel ad centrum aliquod trahitur, qualem planetam respectu Solis ponimus, feratur in Ellipsi (aut alii sectione conii) circulatione harmonica, sitque in foco Ellipseos centrum tam attractionis quam circulationis, erunt attractiones seu gravitatis sollicitationes ut quadrata circulationum directe, seu ut quadrata radiorum sive distantiarum a foco reciproce. Hoc ita invenimus non ineleganti specimine nostri Calculi differentialis vel Analyseos infinitorum.* (Hervorhebung von mir), Übers. LT S.122, Z. 34-42

<sup>101</sup> AITON, a.a.O., S.76/77 in den Fußnoten gegeben.

<sup>102</sup> „... per artic. 8 hujus Tentaminis, ideo denique (14<sup>to</sup>) sollicitationes gravitatis in mobili quod harmonica circulatione simulque motu paracentrico focum respiciente Ellipsin describit (quales sunt planetae circa Solem gyrantes) sunt in reciproca proportione duplicata distantiarum a foco tanquam circulationis et attractionis centro.

<sup>103</sup> Gemeint sind die ACTA ERUDITORUM, Juni 1688, S.303-315, wo eine Rezension von ISAAC NEWTONS „Principia“ anonym erschienen war. Er hatte (Angaben nach AITON, E.J., The celestial Mechanics of LEIBNIZ, Annals of Science, 1960, S 65) diese gelesen und vermutl. sofort seine Aufzeichnungen zu diesem Thema in Druck gegeben. TENTAMEN DE MOTUUM COELESTIUM erschien Feb. 1689 in den ACTA ERUDITORUM, zwei Jahre nach NEWTONS Hauptwerk. GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ blieb immer bei seiner Behauptung, er habe dies bei der Abfassung seines TENTAMEN nicht gekannt, sondern im April 1689 in Rom zum erstenmal zu Gesicht bekommen.

<sup>104</sup> *Video hanc propositionem jam tum innotuisse etiam Viro celeberrimo Isaaco Newtono. ut ex relatione Actorum apparet. licet inde non possim judicare. quomodo ad eam pervenerit. Ita habemus consensum pulcherrimum eorum quae supra a priori conclusimus ex lege radiationis attractoriae, et eorum quae nunc ex phaenomenis, id est natura motus Elliptici planetarum secundum areas ex Sole tanquam foco abscissas aequabilis a Keplero ex Tychonis et suis observationibus stabilita et a posteris comprobata sponte nascuntur.* (Hervorhebung von mir) S. auch Übersetzung LT §20 S.124, Z.16-25.

Die nachfolgenden Passagen finden sich nur bei GERHARDT.

In den folgenden Paragraphen gibt LEIBNIZ nun eine Beschreibung des Bahnverlaufs, der Geschwindigkeitszu- und abnahme, des Wechsels zwischen Abstieg zur Sonne und Aufstieg von ihr, die vollständig zutreffend ist:

„24. **Maximal ist die Geschwindigkeit des Planeten beim Absteigen zur Sonne oder beim Aufsteigen von ihr**, wenn  $W\odot$  sowohl wie  $X\odot$ , die Distanz des Planeten von der Sonne, gleich der Hälfte des latus rectum der Ellipse ist, woraus nämlich folgt ( gem. §19 oder §21 ), daß  $ddr = 0$ , weil  $r = a/2$ . Wenn somit aus der Sonne, gleichsam als Zentrum, mit der Hälfte des latus rectum,  $\odot W$ , als Radius ein Kreis beschrieben wird, so wird er die Ellipse des Planeten in zwei Punkten maximaler parazentrischer Geschwindigkeit,  $W$  und  $X$ , schneiden, wobei in  $W$  die der Annäherung, in dem anderen,  $X$ , die des Zurückweichens sein wird. Minimal, das heißt null, ist ( die parazentrische Geschwindigkeit ) im Aphel und im Perihel, also in jedem der beiden (Haupt-)Scheitel der Ellipse,  $A$  und  $W$ “<sup>105</sup>

Die verschiedenen Formen von Kegelschnitten, die die Bahn annehmen könnte, werden leicht aus dem Gegeneinander der beiden parazentrischen Kräfte erklärt. Hier damit, daß der Conatus centrifugus immer kleiner ist als die Solicitudio gravitatis.<sup>106</sup>

In § 27 wird nochmals in aller Ausführlichkeit die elliptische Bewegung und deren Erzeugung aus den drei Komponenten erklärt. Aber es tritt dann zusätzlich auch noch eine kosmogonische Komponente in LEIBNIZENS Denken auf, denn er fährt fort:

„Jenes aber ist von hervorragender Bedeutung, daß aus dem singulären Vorzug der harmonischen Zirkulation die physikalische Zusammensetzung der Bewegungen mit der geometrischen übereinstimmt. Denn wenn der Planet mit seinem tragenden Aether sich in einer anderen als der harmonischen Zirkulation bewege, könnten die Bewegungen des Planeten und die des Aethers nicht zusammenstimmen, sondern der Planet müßte- durch seinen früher empfangenen Impuls- entweder schneller oder langsamer als der umgebende Aether umlaufen, woher sich ein ewiger Konflikt, d.h. eine Störung der Bewegung, ergeben hätte. Und es kann zugrunde gelegt werden, daß es sich zu Anfang tatsächlich so zugetragen habe, bis nach gemeinsamem Kampf der Planet und der umgebende Aether zu gleichlaufenden Bewegungen übereinstimmten. Jetzt nämlich, was bewunderungswürdig ist, solange der Aether in harmonischer Bewegung ist, kann sich der Planet darin wie im Vakuum bewegen, so, als ob er sich nur durch Empfang des Impulses von früher mit Überlagerung der Erregung der Schwere bewege und das tragende Fluidum gar nicht da wäre.“<sup>107</sup> (Hervorhebung von mir)

<sup>105</sup> 24) Maxima est planetae velocitas accedendi ad Solem vel ab eo recedendi, cum  $W\odot$  vel  $X\odot$  distantia planetae a Sole est aequalis dimidio Ellipseos lateri recto, tunc enim (per 19 vel 21) fit  $ddr = 0$ , cum  $r = a : 2$ . Itaque si ex Sole tanquam centro, dimidio latere recto  $\odot W$  tanquam radio describatur circulus, is Ellipsin planetae in duobus punctis maximae paracentricae velocitatis  $W$  et  $X$  secabit, quae in uno ut  $W$  erit accendi, in altero  $X$  recedendi. Minima sive nulla est in Aphelio et Perihelio, sive in Ellipsis utroque vertice  $A$  et  $W$

<sup>106</sup> Semper in Ellipsi adeoque et semper in planeta conatus centrifugus recedendi a Sole seu conatus excursorius circulationis harmonicae minor est sollicitatione gravitatis seu attractione centrali Solis. S. Übersetzung LT §25 S.125, Z.12-18

<sup>107</sup> Illud autem egregium est, quod ex singulari privilegio- circulationis harmonicae compositio motuum physica consentit cum Geometrica, nam si planeta cum aethere deferente alia duam harmonica circulatione moveretur, non possent consentire motus planetae et motus aetheris, sed planeta ex impetu concepto pristino vel velocius vel tardius ipso aethere ambiente circularetur, unde perpetuus esset conflictus seu motuum perturbatio. Et supponi potest ita initio contigisse, donec post colluctationem planeta aetherque ambiens in motus conspirantes consensere. Nunc enim, quod mirabile est, dum aether circulator harmonice, planeta in eo perinde movetur ac in vacuo, tanquam solo concepto impetu pristino et superveniente gravitatis sollicitatione moveretur nec adesset deferens fluidum,...(GERHARDT, MW VI, 184). S Übersetzung LT § 27 S.125

Hier sieht man ganz deutlich, daß LEIBNIZ sich eine Entwicklung des jetzigen Zustandes vom Beginn an vorgestellt hat. Daß es eine Phase der gegenseitigen Einregulierung gegeben haben müsse. Er sagt schlicht „*es kann zugrunde gelegt werden.*“ In dieser Formulierung steckt keinerlei Zweifel. Die Vorstellung, die Verschiedenheit der Bewegung habe zu Anfang wohl sein können, läßt LEIBNIZ gelten. Aber im Laufe der Zeit, und es war zu jener Zeit durchaus schon deutlich, daß das mehr als die biblisch zugestandene Zeit sein mußte, mußten sich die Bewegungen gegenseitig so beeinflußt haben, daß sie nun ungestört voneinander ablaufen konnten. Auch hier sieht man einen Unterschied zu NEWTON, der sich um kosmogonische Fragen gar nicht kümmert, sondern beschreibt, was ist. Gleichzeitig ist diese Harmonie ja auch deshalb wichtig, weil die lange Beobachtungszeit der Regelmäßigkeit die Abwesenheit von Widerstand zwingend nahelegten. NEWTONS Vakuum aber war nicht akzeptierbar. Es mußte ein umgebendes Medium existieren, wie auch die Vermittlung aller Wirkungen mechanisch, d.h. nahwirkend, nachvollziehbar sein mußte.

Mit den üblichen Wiederholungen und Zusammenfassungen endet dann die Schrift, mit der verkürzten Autorenangabe „G.G.L.“. LEIBNIZ hat seine Vornamen (Gottfriedus Guilielmus) latinisiert:

82            ACTA ERUDITORUM

*fectum indicem hactenus Libris Symbolicis queratur defuisse, defectumque istum hic adimpletum affirmet Autor; laude tamen sua privandum non putamus Indicem locupletissimum, quo B. D. J. B. Carpovii Isagoge in Libros Ecclesiarum Lutherandarum Symbolicos, jamdudum est instructa.*

**TENTAMEN DE MOTUUM COELESTIUM**  
*causis, autore G. G. L.*

**C**onstat veteres, praesertim qui Aristotelis & Ptolemaei placita secuti sunt, nondum agnovisse naturae majestatem, quae nostro demum & nostrorum ingenio patebat.

Kopie des Titels der Schrift<sup>108</sup>

In eleganter knapper Form (auf nur 15 Seiten !) gab er eine vollständige Theorie der Planetenbewegung. Gleichzeitig nutzte er die Gelegenheit, seine neue Analysis in ihrer Wirksamkeit zu zeigen. Sicher hat sie mit dazu beigetragen, den kontinentalen Widerstand gegen das NEWTONSCHE Gedankengut zu stärken, aber letztlich hat dann doch die Einsicht gesiegt, es könne sich im Weltraum um Vakuum handeln. EULER hat völlig bewußt die Formeln von NEWTON verwendet und seine Physik darauf aufgebaut. Allerdings war er immer noch der Meinung, es müsse sich eine Erklärung in NAHWIRKUNG finden lassen. Seine Nachfolger haben offensichtlich auf die Erklärung der Wirkung keinen so großen Wert gelegt. Neue, erstaunliche Entdeckungen verlangten deren Aufmerksamkeit. Die Erklärung des Wirkmechanismus war dann auf einmal durch ein Axiom ersetzt und wurde nicht weiter hinterfragt. Bis Albert EINSTEIN kam und das Problem in die Geometrie des Raumes verschob.

<sup>108</sup>

ACTA ERUDITORUM, anno M DC LXXX IX publicata, Lipsiae

## JOHANN BERNOULLI (1667-1748)

Es sollen hier seine Darlegungen zum Planetensystem betrachtet werden, die er im Alter von 67 Jahren im Jahre 1734 in der Schrift

### Essay über eine neue Himmelsphysik<sup>109</sup>

gegeben hat. Der lange Untertitel entspricht der Preisfrage der Pariser Académie Royal des Sciences für das Jahr 1734, und die Schrift ist JOHANN BERNOULLIS Wettbewerbsbeitrag. Allerdings ging er hier weit über die gestellte Frage hinaus und stellte das gesamte System seines Denkens in bezug auf die Himmelsmechanik vor, wobei er in der Schrift meinte, er müsse so weit ausholen, um verstanden zu werden. Die Frage war 1732 schon einmal gestellt und damals kein Preis vergeben worden. Nunmehr war der verdoppelte Preis ausgeschrieben. JOHANN BERNOULLIS Sohn, DANIEL BERNOULLI, beteiligte sich ebenfalls an dem Wettbewerb, und die Preisrichter teilten den Preis zwischen Vater und Sohn. Für die psychologische Lage bei der Abfassung der Preisschrift verweise ich auf mein „Porträt JOHANN BERNOULLIS zum Zeitpunkt der Abfassung der Arbeit“ S.218.

### Einleitung: Wie ist die Erklärungslage ?

JOHANN BERNOULLIS Arbeit ist in Kapitel eingeteilt, die mit römisch notierten Zahlen numeriert sind; sie werden hier zur Zitierung benutzt. In Kap. II geht JOHANN BERNOULLI sogleich auf den Stand der Diskussion ein und nennt zwei existierende und miteinander konkurrierende Systeme, das der DESCARTESSCHEN Wirbel und das NEWTONS, das sich der Leere und der Anziehungskräfte bediene, also auf Fernwirkung gerichtet sei. Es sei klar, daß die Frage der Akademie nicht zur Zufriedenheit der Preisrichter beantwortet worden sei, weil jedes System Defizite habe und dem einen oder dem anderen hätte nachgegeben werden müssen. Hier also die Motivation, warum er ein neues System bringen müsse, denn jedes der Systeme habe nun einmal – neben seinen Schönheiten – auch seine schlechte Seite.<sup>110</sup> In Kap. III geht BERNOULLI auf die Literaturlage ein. Dabei zitiert er nicht immer die genaue Stelle, so daß man bei der Verifizierung z.T. kriminalistisch vorgehen muß. Dieses Übel aber teilt er mit vielen anderen Wissenschaftlern seiner Zeit. Es bleibt für mich offen, ob dies nicht auch zum Teil aus Absicht geschah, um nicht deutlich ausdrücken zu müssen, was man alles anderen verdankt.

<sup>109</sup> Essai d'une nouvelle Physique Céleste, servant à expliquer les principaux Phenomènes du Ciel, & en particulier la cause physique de l'inclinaison des Orbites des Planetes par raport au plan de l'Equateur du Soleil,  
in Prix 1735, Paris; hier: nach Johannis Bernoulli OPERA OMNIA tam ante sparsim edita quam hactenus inedita. Tomus Tertius, LA USANNE & GENEVAE MDCCXLII (1742) (N<sup>o</sup> CXLVI)  
(S. auch Übersetzung JBP S.129.)

<sup>110</sup> „Il n'y a eu jusqu'ici que deux systèmes de Physique, qui ayent fait grand bruit, & partagé les opinions des Physiciens: l'un est le fameux système des Tourbillons, introduit par M. DESCARTES; l'autre est celui de M. NEWTON, qui se sert de Vuide & des Attractions, fondé d'ailleurs sur deux loix que la Nature suit dans le mouvement des Planètes, & de leurs Satellites.  
L'un & l'autre de ces deux systèmes est très-bien imaginé, & chacun a ses beautez; mais aussi faut-il convenir qu'il y a de part & d'autre de grands défauts, & des difficultés que personne n'a encore entièrement levées: [...]“ (JBP II, Übers. S. 129, Z. 26- S.130, Z. 4)

## Warum zitiert BERNOULLI zuerst MAUPERTUIS ?

Zuerst nennt er ein Werk von MAUPERTUIS<sup>111</sup>, in dem sehr deutlich alle Schwierigkeiten aufgezeigt seien. Dieser Beginn mit MAUPERTUIS ist sicher kein Zufall<sup>112</sup>. Jener lebte nämlich 1729/30 als Pensionär und Schüler von JOHANN BERNOULLI in dessen Haushalt in Basel mit der Absicht, sich von Johann (I) in die Subtilitäten der Integralrechnung einführen zu lassen. MAUPERTUIS war vorher schon in London und wurde dort Mitglied der Royal Society of London (1728), kurz nach dem Basler Aufenthalt auch Mitglied der Pariser Akademie Royal des Sciences (1731). Von seinem England- Aufenthalt her stammt seine ausgesprochene Parteigängerschaft für die NEWTONSCHE Auffassung der Welt, wobei dies in den Pariser wissenschaftlichen Kreisen in der Frage kulminierte, welches die Gestalt der Erde sei, abgeplattet oder langgestreckt. Die Meridian- Messungen von 3 Generationen CASSINI hatten die langgestreckte Form gegen NEWTONS und HUYGENS Meinungen einer abgeplatteten Form vertreten. Sie wurden besonders von den Akademiemitgliedern FONTENELLE, DORTOUS de MAIRAN<sup>113</sup> und REAUMUR unterstützt. Die Akademie glaubte an dieser einen Stelle im komplizierten Gefüge der NEWTONSCHEN wissenschaftlichen Leistungen ihm einen Fehler nachweisen zu können, der dann sicher auf alle anderen Bereiche ausstrahlt hätte. MAUPERTUIS setzte eine erneute Überprüfung in Gestalt einer Expeditionsreise nach Lappland und einer zweiten nach Peru durch. Er selbst wurde Leiter der Lappland-Expedition (1736-1737). Weitere Mitglieder waren Alexis CLAIRAULT und Anders CELSIUS. Die Expedition erbrachte den Nachweis der Richtigkeit der NEWTONSCHEN Auffassung. Ihre Ergebnisse wurden aber von CASSINI (II) angezweifelt, auch MAIRAN war strikt gegen die Möglichkeit, die französische Messung könnte fehlerhaft sein. Erst nach einer weiteren Messung in Nordfrankreich gab CASSINI (III) de THURY dann ein verklausuliertes Eingeständnis der Polabplattung. Wie im vierten Teil der Arbeit JOHANN BERNOULLIS zu sehen ist, bildete die Erdgestalt (französische Art, langgestreckt) für ihn eine wesentliche Grundlage seiner Argumentation, die also schon kurz nach der Preisverleihung zusammenbrach.

### JOHANN BERNOULLI hatte von MAUPERTUIS eine hohe Meinung.

Natürlich mußte sich JOHANN BERNOULLI geschmeichelt fühlen, wenn ein ausgewiesener Mathematiker und Mitglied einer wichtigen wissenschaftlichen Vereinigung sich bei ihm als einfacher Student einschreibt, um von ihm zu lernen. BADINTER zitiert aus einem Brief JOHANN BERNOULLIS an de MAIRAN v. 10.Juli 1730 (Nach der Rückreise von MAUPERTUIS)<sup>114</sup>:

*„Er hatte recht abzureisen, denn er sah sehr wohl, daß er mir alles entnommen (puisé) hatte; wobei dies auch vielleicht ein wenig an ihm liegt; wo dies alles hätte ausreichen können, damit eine Person, die weniger fähig als Herr Maupertuis ist, einige Jahre zu beschäftigen; er ist jedoch so gut zu haben und von einer au-*

<sup>111</sup> MAUPERTUIS, Pierre Louis Moreau de, Discours sur les différentes figures des astres, avec une exposition des systèmes de Descartes et de Newton, Paris 1732.

Er war später Leiter der Akademie der Wissenschaften in Berlin und Entdecker des „Prinzips der kleinsten Wirkung“. Wegen dieses Prinzips wurde er dann von VOLTAIRE heftig angegriffen und verspottet.  
<sup>112</sup> Ich folge bei diesen Angaben über MAUPERTUIS der Darstellung in BADINTER, Elisabeth, Les Passions intellectuelles, I, Désirs de gloire, Paris 1999. Kapitel MAUPERTUIS ab p.50. Hier sind die verschlungenen Intrigen um die Polarexpedition und die französische Gradmessung zur Aufklärung der Erdgestalt gut dokumentiert und dargestellt.

<sup>113</sup> FONTENELLE und de MAIRAN waren nacheinander die ständigen Sekretäre (secrétaire perpétuel) der Pariser Académie Royal des Sciences

<sup>114</sup> zitiert nach BADINTER (aaO.) und dort nach der BERNOULLI Edition Basel LIa.661,f.35, Übersetzung von mir.

*berordentlichen Lebhaftigkeit des Geistes. Er verstand die Dinge schon bei der Andeutung und in fast so viel Minuten, wie ich Stunden gebraucht habe, um sie zu finden. Ich hoffe, daß er nach kurzer Zeit mein Meister wird und daß er mir dann seinerseits mit Zinsen zurückzahlt, was er bei mir gelernt haben kann.“*

Wenn man bedenkt, wie eitel sonst JOHANN BERNOULLI geschildert wird und wie leicht er sich in Konkurrenz zu anderen herausheben wollte, so ist dies doch schon ein äußerst brillantes Zeugnis. Wenn er nun dieses Buch als erstes zitiert, wobei auch zu bedenken ist, daß MAUPERTUIS Grundhaltung als NEWTONIANER von dem alten BERNOULLI zu mißbilligen ist, so ist dies sicher einerseits in seiner Wertschätzung des Autors begründet und zweitens wohl auch in der Darstellung der Vor- und Nachteile der zwei zur Debatte stehenden Systeme.

### Die Erklärungslage gemäß BERNOULLI.

JOHANN BERNOULLI kritisiert als erstes, daß NEWTON keine Ursache für sein Anziehungsprinzip nennt. Er sieht dabei NEWTON primär als Geometer. Er habe recht, daß man eine mathematische Beschreibung geben könne, doch sei dies keine Erklärung. Besonders wird dabei NEWTONS Aufrichtigkeit erwähnt, zu betonen, daß er einen Fakt bezeichne, aber keine Ursache. Genauso, betont BERNOULLI, sei das mit dem Begriff der Leere, den ein Geometer leicht bewältigen könne, weil er nicht genötigt sei, ihn zu erklären. Dann aber kommt die Polemik gegen die „*Parteigänger des Herrn NEWTON*“, die „*besser dem Beispiel ihres Meisters gefolgt wären, anstatt zu behaupten, daß Leere und Anziehung in der Natur der Dinge seien und Prinzipien der Existenz.*“<sup>115</sup> Dabei hat er in der Sache sicher z.T. recht, indem NEWTONS Nachfolger und Anhänger oft Interpretationen gaben, gegen die NEWTON sich wehrte oder gewehrt hätte.<sup>116</sup>

In Kap. IV kommen dann Grundsatzklärungen zur Aufgabe des Physikers:

*Es obliegt also dem Physiker, der die Ursachen der Fakten herausfinden will, Prinzipien der Existenz zu formulieren, und diese Prinzipien haben klar und einsichtig zu sein, so gut, daß sich ihre Möglichkeit (der Existenz) von selbst klarstellt. Ich denke nicht, daß das Prinzip der Anziehung solche Evidenz habe, wie das des Anstoßes: Ich sehe, zum Beispiel, mit völliger Evidenz, daß ein in Bewegung befindlicher Körper, der einen anderen in Ruhe trifft, diesen auch in Bewegung setzen muß, nicht nur, weil die Körper undurchdringlich seien, sondern weil*

<sup>115</sup> M. de MAUPERTUIS, dans l'excellent Discours sur les différentes figures des Astres, qu'il donna au public vers la fin de l'année dernière, expose très-distinctement tout, es les difficultés auxquelles les deux systèmes sont sujets, quoiqu'en qualité de Géomètre, il admette celui de M. NEWTON, à cause de l'exactitude avec laquelle la plûpart des Phénomènes celestes s'expliquent dans ce système, & non point à cause de l'évidence des principes qu'on y adopte. Il a raison de dire, que tout effet réglé, nonobstant que sa cause soit inconnuë, peut être l'objet des Mathématiciens; [...] Il remarque fort bien que M. NEWTON avoit assés de candeur, pour ne regarder jamais l'attraction comme une explication de la pesanteur des corps les uns vers les autres, & pour advertir qu'il n'employoit ce terme que pour désigner un fait, & non point une cause. Il n'en est pas autrement du Vuide parfait que M. NEWTON suppose; il lui est permis de le suposer, tant qu'il ne s'en sert que comme d'un milieu ou d'un fluide sans résistance, se mettant peu en peine si un tel milieu ou une tel vuide peut exister, ou non. Un Géomètre, entant que tel, n'est pas obligé d'expliquer l'origine des faits: il peut les supposer, pourvû que, pour en découvrir les propriétés, il raisonne juste sur les hypothèses établies. Il seroit à souhaiter que les partisans de M. NEWTON eussent suivi l'exemple de leur maître, & qu'au lieu de prétendre que la vuide & l'attraction sont des réalités dans la nature des choses, & que ce sont des principes d'existence, ils les eussent seulement envisagés comme des manieres de concevoir. (JBP III, Übers. S.130, Z.12 - 41)

<sup>116</sup> Als Beispiel sei R. COTES genannt. In seiner Einleitung zur 2. Auflage der Principia forcierte er den Gedanken, daß die Schwere, wie auch die Trägheit, eine Eigenschaft der Materie sei. Newton hat dies stets abgelehnt, obwohl er den Eindruck an einigen Stellen erweckte, als verhielte es sich so. (s. S.3, Anm. 4)

*der Stoß eine Aktion ist, und weil jede Aktion einen Effekt haben muß, der eine Veränderung im Zustand dessen, der ihn empfängt, bewirkt. Jedoch gibt es keinen anderen Effekt im gestoßenen Körper, als den, den Zustand der Ruhe zu verlassen, in dem er war, und sich in Bewegung zu setzen. Denn dies ist ein generelles Gesetz in der Statik und in der Mechanik, daß Körper, die an einer Seite mehr gedrückt werden als an der anderen, ausweichen müssen zur Seite, wo sie weniger gedrückt werden. Im übrigen, der Stoß erfolgt durch Druck; dies ist also eine Aktion, durch die ein Effekt bewirkt wird. Wer eine Aktion erfinden will ohne Effekt, der wird eine Chimaere erfinden.*<sup>117</sup>

Wir können also, beinahe ein halbes Jahrhundert nach der Publikation von NEWTONS „Principia“, und von LEIBNIZ‘ „Tentamen de motuum coelestium causis“, immer noch die gleichen Vorbehalte und Schwierigkeiten erkennen, die bei den Wissenschaftlern des Kontinentes herrschen. Dennoch wird mit MAUPERTUIS ja der Wissenschaftler zitiert, der auf dem Kontinent als Haupttriebfeder für die Anerkennung der Richtigkeit von NEWTONS System wirkte, und dies gar nicht lange vor und nach dem Datum von BERNOULLIS Arbeit. MAUPERTUIS war die Galionsfigur der NEWTONIANER in Paris, er hat VOLTAIRE<sup>118</sup> beraten und war auch Liebhaber der M.<sup>me</sup> de CHATELET,<sup>119 120</sup> welche die *Principia* ins Französische übersetzte.

Im weiteren Verlauf schreibt JOHANN BERNOULLI : „*Ich sehe .. nicht, wie zwei voneinander entfernte Körper in Ruhe sich gegenseitig anziehen können, was ja heißt, sich aus ihnen selbst heraus in Bewegung zu setzen.*“<sup>121</sup> Und wenn BERNOULLI weiter unten schreibt: „*Herr NEWTON hat diese Schwierigkeit wohl empfunden, wenn er zugibt, daß dieses Phänomen etwas Übernatürliches sei.*“<sup>122</sup>, so spielt er damit auf die „activ principles“ von NEWTON an. Sein Widerstand und die Zielrichtung seiner Kritik geht weniger gegen NEWTON selbst, den er immer als „M. NEWTON“ als „Herr NEWTON“ zitiert, sondern gegen NEWTONS Unterstützer, die als „die NEWTONIANER“ benannt werden, und gegen die sich sein Unmut richtet. Bei der Kritik der Wirbeltheorie DESCARTES‘ bringt BERNOULLI die Einwände vor, die schon seit langem als Argument vorgebracht wurden, nämlich die Schwere werde gegen die Körpermitte und nicht gegen die Körperachse ausgeübt. Es komme also ein Wirbel um die Erdachse nicht in Frage. Ferner seien für die Hauptplaneten gleiche Geschwindigkeit und gleiche Dichte wie die der Materiewirbel an ihrem Ort zu unterstellen, was keinesfalls überzeugend sei. Er vergleicht mit einem Schiff, das von der Strömung, sich selbst überlassen, mitgeführt werde. Es sei die Zentrifugalkraft, die der Planet erfahre, die gleiche, wie sie die Wirbelmasse an dieser Stelle habe. Durch das damit erreichte Gleichgewicht kön-

<sup>117</sup> „*C'est donc au Physicien, qui veut chercher les causes des faits, à établir des principes d'existence, & ces principes doivent être clairs & intelligibles, si bien que leur possibilité se manifeste d'elle-même. Je ne pense pas que le principe d'attraction ait autant d'évidence entière, qu'un corps en mouvement, qui en rencontre un autre corps en repos, doit le mouvoir aussi, non-seulement parce que les corps sont im-pénétrables, mais parce que le choc est une action, & que toute action doit avoir son effet, qui produit un changement dans l'état de celui qui le reçoit: mais il n'y a point d'autre changement d'état dans le corps choqué, que celui de quitter l'état de repos où il étoit, pour se mouvoir; car c'est une loi générale reçue dans la Statique & la Méchanique, que les corps pressés plus d'un côté que de l'autre doivent céder vers où ils sont le moins pressés. Or le choc se fait par pression; c'est donc une action dont il résulte un effet. Qui veut concevoir une action sans effet, il veut concevoir une chimère.*“ (JBP, IV, Übers. S.131, Z.2 - 15)

<sup>118</sup> BADINTER (aaO.), S.55

<sup>119</sup> BADINTER (aaO.), S.51

<sup>120</sup> Du CHATELET, Emilie, Marquise 1706-1749, war Gefährtin VOLTAIRES und verfertigte die erste französische Übersetzung der Principia. VOLTAIRE und die Marquise de CHATELET gelten als die Propogandisten NEWTONS in Frankreich.

<sup>121</sup> [...] *ainsi je ne vois pas comment deux corps éloignés & en repos peuvent s'attirer mutuellement, c'est-à-dire se mettre en mouvement d'eux-mêmes;*[...] (JBP IV, Übers. S. 131, Z.17-19)

<sup>122</sup> *M. NEWTON a si bien senti cette difficulté, qu'il avouë que ce phénomène est quelque chose de surnaturel.* (JBP V, Übers. S. 131, Z. 38-40)



ne somit kaum der Abstand zur Sonne geändert werden. Auch alles, was man ersonnen habe, um diesem Übel abzuhelpfen, scheine ihm nicht natürlich. Als Hauptargument nennt JOHANN BERNOULLI dann die Geschwindigkeiten der Wirbelschichten im Verhältnis zur Sonnenrotation, die er mit 25 ½Tagen angibt. In Kap. VII kommt BERNOULLI dann wieder auf MAUPERTUIS zurück und referiert die Widersprüche des DESCARTESSCHEN Systems mit den KEPLERSCHEN Gesetzen. Nach KEPLERS 3. Gesetz müssen die Periodenzeiten proportional zur 1,5fachen Potenz der Distanz zur Sonne sein. Nun müsse nach dem ersten<sup>123</sup> Gesetz die tatsächliche Geschwindigkeit der Wirbelschichten in umgekehrtem Verhältnis zur Distanz zur Sonne stehen, und dies sei die harmonische Bewegung nach LEIBNIZ. Es sei aber nach dem zweiten Gesetz zu folgern, daß sie im reziproken Wurzelverhältnis ihrer Distanzen stehen. Und darin bestehe der Widerspruch.<sup>124</sup>

Zu dieser Frage macht man sich leicht an einer Kreisbewegung klar, daß der Flächensatz bei gleichen Zeiten auf die Proportion  $\frac{v_1 \cdot r_1 \cdot t}{v_2 \cdot r_2 \cdot t}$  hinausläuft, somit  $\frac{v_1}{v_2} = \frac{r_2}{r_1}$ , also die Geschwin-

digkeiten sind umgekehrt proportional zu den Radien. Betrachtet man die Zentralbeschleunigungen unter Annahme des 3. KEPLERSCHEN Gesetzes, so findet man

$$\frac{v_1^2}{r_1} : \frac{v_2^2}{r_2} = \frac{r_1}{r_2} \cdot \frac{T_2^2}{T_1^2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} \text{ und unter Benutzung des ersten und des letzten Terms folgt}$$

$$\text{hieraus } \frac{v_1^2}{v_2^2} = \frac{r_2}{r_1}, \text{ also der behauptete Widerspruch, nämlich } \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{r_2}{r_1}}.$$

Die Merkwürdigkeit, daß LEIBNIZ von BERNOULLI nur hier zitiert wird.

BERNOULLI gibt bei der ersten Proportion den Hinweis auf die LEIBNIZSCHE harmonische Bewegung. Dies ist die einzige Stelle, an der JOHANN BERNOULLI auf LEIBNIZ eingeht. Er verläßt dann dieses Thema sofort, um sich lieber mit BULFFINGER<sup>125</sup> auseinanderzusetzen. Jener habe die Wirbel vermehrt, um dieses Problem zu lösen. Das aber könne man

<sup>123</sup> Die Numerierung der KEPLERSCHEN Gesetze bei BERNOULLI ist sehr eigenwillig. Er scheint nur zwei KEPLERSCHE Gesetze zu kennen. Hält er das Gesetz über die Ellipsenbahnen für trivial? Es hat KEPLER gewaltige Anstrengungen gekostet. Hier hebt er auf das, nach unserer Zählung, zweite Gesetz ab, den sog. Flächensatz und im Zusammenhang damit auf das dritte Gesetz, wonach der Quotient aus Quadrat des Abstandes und dritter Potenz der Umlaufzeit konstant ist.

<sup>124</sup> „*Mais ce qu'il ya de plus fort contre le système des Tourbillons, comme le remarque très-à-propos M. de MAUPERTUIS, résulte de l'incompabilité pour ce système entre les deux loix de KEPLER, qui s'observent pourtant generalement dans les cours des Planètes tant principales que secondaire. En vertu de la premiere de ces loix, les secteurs de l'Orbe elliptique d'une Planète, formés autour du foyer qu'occupe le Soleil, sont constamment proportionnels aux temps qu'elle employe à parcourir les arcs de l'Ellipse, compris dans ces secteurs. Par la seconde loi, il faut que les temps périodiques de différentes Planètes soient en raison sesquipliquée de leur distances moyennes au Soleil, ce qui s'étend aussi aux Satellites par raport à la Planète principale autour de laquelle ils font leurs revolutions. Si donc selon l'hypothèse commune de Tourbillons, la vitesse des Planètes se regle sur celle des couches de la matiere du Tourbillon, il faudroit, suivant la premiere loi des secteurs proportionnels aux temps, que les vitesses réelles des couches fussent en raison inverse des distances au centre, c'est en quoi consiste la circulation harmonique de M. LEIBNITS. Mais en conséquence de la seconde loi, qui veut que les temps périodiques de différentes Planètes soient en raison sesquipliquée des distances au centre, il faudroit que ces mêmes vitesses réelles des couches fussent en raison soûdoublée réciproque de leurs distances. [...]*“ (JBP, VII, Übers. S. 132, Z. 27- S. 133, Z. 4)

<sup>125</sup> vermutlich: BULFFINGER, De causa gravitatis physica generali disquisitio experimentalis, Paris 1728 Der Name BULFFINGER taucht in der Literatur auch als GEORG BERNHARD BILFINGER (oder auch als BÜLFINGER) auf. Er war Mitglied der Pariser Akademie und Professor in St. Petersburg und in Tübingen.

gleichsetzen mit der Vermehrung von Sphären und Epizyloiden, die nach der alten Himmelsmechanik zur Problemlösung verwendet worden sei.<sup>126</sup> Auch LEIBNIZ hat ja seine infinitesimalen harmonischen Bewegungen mit wechselnden Mittelpunkten gedacht und benutzt, gibt aber daraus eine Gesamtlösung an. JOHANN BERNOULLI geht, obwohl er intensiv mit LEIBNIZ zusammengearbeitet und korrespondiert hat und als sein mathematischer Propagandist gelten kann, nicht ausführlich auf die Arbeit LEIBNIZENS ein, ein höchst sonderbarer und für mich nicht nachvollziehbarer Vorgang, denn gekannt hat er offensichtlich die Arbeit doch, da er mit dessen „harmonischer Bewegung“ argumentiert. Mir erscheint die Art, wie JOHANN BERNOULLI schreibt und zitiert, sehr stark auf die Gewinnung des Preises abzu zielen. Es werden hauptsächlich Akademiemitglieder zitiert, kaum kritisiert, die ehrenwerten Herren Preisrichter werden mehrfach erwähnt. Es ist ja auch zu bedenken, daß neben dem Ruhm, den der Preisgewinn darstellte, auch eine beträchtliche Summe Bargeld zu gewinnen war. Der Preis betrug 2500 livres<sup>127</sup>.<sup>128</sup> Das heißt also, daß normales Preisgeld etwa das achtfache Jahreseinkommen eines Professors betrug (Der König als größter Steuerzahler zahlte im Jahr 1707 etwa 2000 livres Steuer). 1734 war aber das Preisgeld noch verdoppelt worden! Also sind durchaus Vergleiche mit dem heutigen Nobelpreis möglich. JOHANN BERNOULLI aber war durchaus dem Gelde nicht abhold.<sup>129</sup>

### BERNOULLI kündigt seine „neue Himmels- Physik“ an.

Als Konsequenz der Kritik der bestehenden Theorien nun JOHANN BERNOULLIS Lösung:

*„Daraus habe ich die Konsequenzen gezogen, die auf natürliche ungezwungene Weise folgten. Auf diese Weise habe ich danach getrachtet die schöne Seite der zwei Systeme zusammenzubringen und daraus ein neues zu machen. Ich lasse zu, daß es in dem neuen System zwei Arten von Wirbel gibt, die der Sonne und der Fixsterne und die speziellen um die Hauptplaneten. Ich gebe ihnen keine andere Bewegung als die, die sie vom gleichen Prinzip erhalten haben, was die Himmelskörper um ihre Zentren, das sie umgeben, rotieren läßt. Dies ist die einfachste Art, die Zirkulation eines Wirbels zu erzeugen.“<sup>130</sup>*

<sup>126</sup> [...] à peu près comme M. Bullfinger(sic) a voulu expliquer (d'une maniere plus ingénieuse que vraisemblable) l'effet de la pesanteur & sa tendance vers le centre de la Terre, en multipliant les Tourbillons. Mais c'est ici où l'on pourroit demander, si la simplicité des operations de la nature permet de prodiguer si liberalement des matieres & des mouvements, sans autre raison que le besoin qu'on en a. Il est vrai que c'est une liberté qui ne coûte rien, mais peu pardonnable que celles des anciens Astronomes, qui, pour suplérer à l'insuffisance de leurs hypothèses, n'ont point fait scrupule de créer de nouveau cieus crystallins, des épicycles, & d'autres ouvrages de cette nature, à mesure qu'on en avoit besoin pour expliquer de nouvelles irregularités qui se decouvroient dans le mouvement des Astres [...] Que n'auroient-ils pas encore fait, ces mêmes Astronomes, si déjà de leur temps on eût connu les merveilles du ciel, découvertes dans ces derniers siècles; que n'auroient-ils pas faits, dis-je, pour les expliquer à leur maniere: on ne verroit, je crois, qu'un labyrinthe d'une infinté de cercles nouveaux.. (JBP, VII, Übers. S. 133, Z. 10 – 25)

<sup>127</sup> Nach einem Brief Daniel BERNOULLIS an BOURGUET, empfangen am 28.5.1734 und zitiert nach Transkriptionen im Editionsarchiv der Bernoulli-Edition Basel, erhielt „jeder 2500 L.“, d.h. vermutlich livres (altfranzösische Silbermünze zu 20 Sous). (Louis Bourguet, schweizerischer Mathematiker aus Neuchâtel, seit 1732 „Dirigent“ des „Mercure suisse“)

<sup>128</sup> 1707 betrug das Pro-Kopf-Einkommen in Frankreich ca 120 livres pro Jahr, nach BRAUDEL Fernand, Sozialgesch. d. 15. bis 18.Jahrhunderts, Bd.3, S. 333, München 1986.

<sup>129</sup> Ich verdanke diesen Hinweis Herrn Michael LENARZ, Historiker am Jüd. Museum Frankfurt/M. s. Porträt JOHANN BERNOULLI zur Zeit der Preisverleihung S.225

<sup>130</sup> „Je reviens à nos deux systèmes donnés par DESCARTES & par M. NEWTON: de quelque côté que je me tourne, je rencontre dans chacun des difficultés presque insurmontables. J'ai donc cru qu'en voulant se dévouer aveuglément à l'un ou à l'autre de ces deux systèmes, on ne pourroit pas répondre d'une maniere satisfaisante à la question proposée. Un juste milieu entre les deux m'a paru le plus sûr: pour cette fin, j'ai choisi de l'un & de l'autre ce qu'il y a de plus naturel & de plus simple; j'ai abandonné

Auch NEWTONS Anziehungskraft wird verworfen und als Lösung des Problems nun BERNOULLIS „ZENTRALSTROM“ angekündigt. Damit ist das Ende der Einleitung erreicht, und die Darstellung der Theorie wird im ersten Teil mit Kap. IX eröffnet:

### Aller Himmelsmechanik Ursache:

Auch hier findet zuerst noch einmal die Auseinandersetzung mit den vorhandenen Theorien statt; zuerst nochmals mit DESCARTES und dem Problem, daß nach dessen Vorstellungen die Schwere gegen die Achse der Rotation wirken müsse. Dann zitiert er HUYGENS, der sich eine andere Sorte Wirbel erdacht habe, um dessen Schwierigkeiten zu entgehen. Hier führt er als Kritik an, daß die Teilchen durch Stoß kurzzeitig zur Ruhe kommen müßten, die Vorstellung nach HUYGENS also viel schwieriger zu verstehen sei als die Schwere selbst. Nun kann man sich in der Übersetzung HC im Anhang selbst davon überzeugen, daß HUYGENS nicht von Stößen ausgegangen war, sondern von Verdrängung, also einem mehr stetigen Vorgang, und überdies Aethermaterie benutzte, zu der ja anschließend auch JOHANN BERNOULLI seine Zuflucht nimmt. Überdies glaubte HUYGENS sich durch (wirklich durchgeführte) Experimente gut abgesichert zu haben.<sup>131</sup>

### Die Entwicklung der Materie erster und zweiter Art.

Ab Kap. X kommen nun die Vorstellungen JOHANN BERNOULLIS zur Darstellung. Zwei Sorten Materie im himmlischen Wirbel werden gefordert, er nennt sie später „**Materie de r ersten Art**“ und „**Materie der zweiten Art**“. In den anschließenden Kapiteln grenzt er dabei seine Definition gegen die von DESCARTES ab, wobei der Elementarteilchen-Charakter bei DESCARTES ein ganz wichtiges Abgrenzungskriterium ist. In Kap XIII/XIV gibt er dann seine Version:

*„Ich jedoch,[...] denke, daß die Härte der Körper, wie klein auch immer sie seien, eine (accidentielle) zufällige Qualität ist und keinesfalls inbegriffen in der Idee, die wir von einem Körper haben sollten. Die Kohäsion der Teile, sei sie vollkommen oder unvollkommen, ist ein Phänomen, das seinen Grund wie alle anderen Phänomene in der Natur hat. Wer Körper sagt, sagt nichts anderes, als daß er ausgedehnt, beweglich und undurchdringlich ist: Das ist alles, was die Idee des Körpers umschließen sollte. Es ist selbst nicht mehr notwendig, die Teilbarkeit in*

---

*dans chacun ceux des principent qui choquent ou la raison ou le bon sens, ne me servant que de ceux qui sont clairs & intelligibles; j'en tiré des conséquences, qui en découlent naturellement sans les forcer. De cette maniere, j'ai tâché de concilier ensemble les deux systèmes par leur beau côté, pour en former un nouveau. J'admets dans ce nouveau système les Tourbillons des deux especes, tant ceux du Soleil & des Etoiles fixes, que les particuliers autour des Planètes principales. Je ne leur donne point d'autre mouvement que celui qu'ils ont reçu du même principe qui a fait tourner les Astres sur leur centre qu'ils environnent. C'est la maniere la plus simple de concevoir la circulation d'un Tourbillon. [...]"* (JBP, VIII Übers. S.133, Z. 27-41)

<sup>131</sup>

*„[...] M. HUGUENS voulant obvier à cet inconvenient, a imaginé une autre sorte de Tourbillon, dont la matiere se meut en tout sens sur la surface sphérique de chaque couche dont il conçoit composé son Tourbillon; de-là il prétend faire voir pourquoi les corps pesant tendent directement au centre du Tourbillon: mais ce mouvement prétendu souffre de très-grandes difficultés, parce qu'on ne sauroit dire ce qui peut entretenir ce mouvement; d'autant qu'il semble que chaque particule du Tourbillon, étant rencontrée par une autre de masse & vitesse égale directement oposée, toutes les deux devroient s'arrêter tout court, à moins qu'on ne veuille suposer un ressort parfait dans ces corpuscules élémentaires, qui les repousse, sans pouvoir dire d'où leur vient ce ressort, & partant plus difficile à expliquer que la cause de la pesanteur elle-même.“* (JBP, IX, Übers. S.134, Z.32-42)

*die Definition des Körpers einzuführen, da sie schon inbegriffen ist in der einzigen Bemerkung über die Ausgedehntheit.*“<sup>132</sup>

Hier sieht man deutlich, daß die Vorstellung von der physischen Welt JOHANN BERNOULLI von der LEIBNIZENS<sup>133</sup> erheblich differiert. Auch in den weiteren Ausführungen JOHANN BERNOULLI kommt die ganze Radikalität des Mathematikers, der seine Ausgangsbedingungen beschreibt, zum Ausdruck, wenn er z. B. über das Riesenproblem der Kohäsion, das NEWTON völlig rätselhaft war, so einfach hinweggeht, als sei es gelöst:

*Dergestalt ist es deutlich, daß die Materie, nichts als Materie seiend, nicht nur teilbar bis ins Unendliche ist, sondern sofort nach ihrer Schöpfung kann sie wirklich bis ins Unendliche geteilt werden. Ich höre hier eine absolute **Unendlichkeit** von der Art, daß es nicht einmal unendlich kleine Teilchen gibt, oder um es auch so zu sagen, Differentiale der Materie, von denen man sagen könnte, daß sie eine notwendige Festigkeit haben. Denn, noch einmal; die Festigkeit gelangt nicht über die Natur der Körper in sie hinein und ist auf keinen Fall essentiell. Ich weiß sehr wohl, daß es Philosophen gibt, fast deren Mehrheit, die glauben, daß die elementaren Teilchen, die wahrnehmbare Körper bilden, von ihrer Natur her fest seien; als ob die Kleinheit die Natur der Körper ändern könnte: Dies ist ein reines Vorurteil, dessen man sich entledigen muß.*

*So entwerfe ich sehr klar, daß es ohne Widerspruch in der Welt eine solche Materie geben kann, wie ich sie gerade beschrieben habe. Diese werde ich, ganz in dem Sinne verstanden, **erste Materie** oder **Materie des ersten Elementes** nennen, deren Natur es ist, teilbar zu sein, oder, besser gesagt, eine Auflösung in Teile, die bis zur absoluten Unendlichkeit geht. Tatsächlich, was hindert mich daran, dieses erste Element zu unterstellen? Hätte doch der Schöpfer nach der Erschaffung der Materie im Allgemeinen nichts weiter zu tun, als einen Teil in ihrem ursprünglichen Zustand zu lassen, und dieser Teil sollte schon vom ersten Element sein, ohne daß der Schöpfer noch eine neue Qualität hinzufügen müßte.*<sup>134</sup>

<sup>132</sup> *Mais moi tout au contraire , je pense que la dureté des corps, quelque petits qu'ils soient , est une qualité accidentelle , qui n'est point comprise dans l'idée que nous devons avoir du corps. La cohésion des parties, soit parfaite ou imparfaite, est un phénomène qui a sa cause comme tous les autres phénomènes de la nature. Qui dit corps , ne dit autre chose que ce qui est étendu, mobile & impénétrable; voilà tout ce que l'idée du corps doit renfermer ; il n'est pas même nécessaire de faire entrer la divisibilité dans la définition du corps, comme étant déjà comprise dans la seule notion de l'étendu.* (JBP, XIII, Übers. S. 136, Z.4 - 11)

<sup>133</sup> vergl. z. B. die Transkription u. Übersetzung (noch unveröffentlicht) des Seminars (unter Leitg. v. Prof. WALTER SALTZER) der Handschrift „Geschichte des Kontinuumproblems“ im SS 98 und WS 98/99 am IGN der Joh. Wölg. v. Goethe- Universität. Eine von Fehlern strotzende Transkription dieser Handschrift wurde veröffentlicht: ALCOBA, Manuel Luna [Hrsg.], G.W.Leibniz: Geschichte des Kontinuumproblems, Studia Leibnitiana XXVIII, 1996, S. 183

<sup>134</sup> *Cela étant, il est visible que la matière, entant que matière, est non seulement divisible à l'infini , mais qu'immédiatement après sa création elle pouvoit être réellement divisée à l'infini, j'entends ici une infinité absolue, en sorte qu'il n'y a pas même des particules infiniment petites, ou pour parler ainsi, des différentielles de matiere, dont on puisse dire qu'elles ont-une solidité nécessaire ; car encore une fois la solidité n'entre pas dans la nature du corps, & n'en est point du tout essentielle. Je sais bien qu'il y a des Philosophes, & presque la plupart, qui croient que les corpuscules élémentaires qui composent les corps sensibles, sont solides de leur nature; comme si la petitesse pouvoit changer la nature du corps: mais c'est un préjugé Ainsi je conçois très-clairement , qu'il peut y avoir , sans contradiction , dans le monde, une matiere telle que je viens de la décrire, & que j'apellerai, prise dans ce sens, matière première, ou matière du premier élément, dont la nature est d'avoir une division, ou plutôt une dissolution de parties qui va à l'infini absolu. En effet, qu'est- ce qui m'empêche de suposer l'existence de ce premier élément? car après la création de la matiere en général, le Créateur n'avoir qu'à en laisser une*

JOHANN BERNOULLI löst die Kohäsionsfrage mit einem Federstrich. Aus der Materie des ersten Elementes wird „durch Zusammenballung“ ganz einfach Materie des zweiten Elementes, dessen „Teile von selbst zusammenhängend sind“. Mehr braucht es für alles weitere nicht. Über die Natur des Zusammenhanges muß seiner Meinung nach nicht groß nachgedacht werden. Es ist Beweis genug, daß sich daraus alle himmelsmechanischen Fragen lösen lassen.<sup>135</sup>

### JOHANN BERNOULLI benutzt NEWTONS Erkenntnisse.

Jetzt muß JOHANN BERNOULLI sich noch mit der Frage des fehlenden Widerstandes auseinandersetzen, und bei diesem hat natürlich NEWTON gute Argumente, indem er den leeren Raum, in dem sich die Himmelskörper bewegen, unterstellte. BERNOULLI also akzeptierte NEWTONS Widerstandsgesetze<sup>136</sup> und unterstellt für seine Materie des ersten Elementes einfach perfekte Widerstandslosigkeit, allerdings für Materie des zweiten Elementes kann dies nicht gelten, es fände sich ja sonst keinerlei Widerstand in der Welt.

### Die Entstehung eines himmlischen Wirbels.

Ab Kap. XVII wird nun die Entstehung eines himmlischen Wirbels (Tourbillon céleste) geschildert. Man entdeckt hier und häufiger noch an anderer Stelle, daß analoge Erfahrungen im Umfeld des Verfassers für die Konzeption seiner Modelle ganz wesentlich waren. Hier kommt das Bild des Weihrauchs, der, aus wenigen Körnchen erzeugt, mit seinem Duft ganze Räume erfüllt, oder das Bild der Färbung mit Koschenille<sup>137</sup>, wo ein Körnchen ein ganzes Glas färben kann. Analog dieser Bilder wird also die Materie des zweiten Elementes in der der Materie des ersten Elementes ultrafein verteilt und nimmt allmählich (betont) Zentrifugalkraft auf, verändert also ein wenig die Dichte durch Aufsteigen. Der Raum, der dadurch freigemacht wird (von Materie des zweiten Elementes), enthält nunmehr nur noch Materie des ersten Elementes, und diesen versteht JOHANN BERNOULLI als einen Fixstern<sup>138</sup>, beispielhaft solle die Sonne betrachtet werden, es gelte aber für alle anderen Wirbel genau so. Somit entsteht durch Materie des ersten Elementes, die in der Umgebung eines Fixsternes verdampft und aufsteigt, und deren Anreicherung zu Materie des zweiten Elementes in der Umgebung der den Fixstern umgebende Wirbel.

---

*partie dans son état naturel, & cette partie étoit déjà ce premier élément, fans que le créateur y adjoûtât une nouvelle qualité. (JBP, XIV, Übers. S.136, Z.13- 30)*

<sup>135</sup> *L'autre partie de la matiere aura été employée primitivement à en former des corpuscules, en prenant pour chacun une petite quantité de matiere du premier élément, ramassée ensemble, & qui par le seul mouvement conspirant dans tout ses points, fait une massule dont les parties sont par cela même cohérentes, sans dire qu'elles soient invinciblement dures. Ce sont donc ces corpuscules élémentaires que je qualifierai du titre de matiere du second élément [...] Mon but est seulement de faire voir que par la nature & par l'action de la matiere du premier & du second élément, tels que je les ai expliqués ici, je me trouve en état de rendre raison des principaux phénomènes célestes que l'Astronomie a observés, & partant aussi de celui qui fait le sujet de la question de l'illustre Académie. (JBP., XV, Übers. S136, Z.32-46).*

<sup>136</sup> Er bezieht sich dabei auf NEWTON, *Principia*, a.a.O., etwa in Lib. II Sect. I und Sect. II

<sup>137</sup> Koschenille= Kaktus- Schildlaus; wurde zum Rotfärben benutzt.

<sup>138</sup> *C'est cette matiere infiniment liquide, accumulée & renfermée dans l'espace central de chaque Tourbillon, qui fait ce qu'on appelle une Étoile fixe, ou le Soleil qui est au centre du Tourbillon Solaire, dont je veux entretenir mon lecteur; tout ce que j'en dirai pouvant être appliqué aux autres Tourbillons, dont chacun est parmi les autres, comme entouré de ceux qui lui sont les plus voisins tout à l'entour. (JBP, XXI, Übers. S. 138, Z. 31-35)*

Anschließend ist die Rotation des Fixsterns zu diskutieren. Denn die Sonnenrotation war bekannt<sup>139</sup> und wird bei BERNOULLI mit 25 1/2 Tagen angegeben, wobei Rotation als starrer Körper unterstellt wird.<sup>140</sup> Wichtig wird dann, wieder nach einem alltäglichen Bild, die Unruhe der Sonne, die sie von Anbeginn an in sich habe und die sich auch natürlich auf die in ihr befindliche Materie übertrage. Es ist folglich, das alltägliche Bild des Siedens benutzend, nur zu einsichtig, daß die Materie des zweiten Elementes sich aus der Sonne auch entfernt und sich in die Ebene des sich allmählich bildenden Wirbels begibt. Als Beleg dafür nennt er das Zodiakallicht ( von dem N. FATIO DE DUILLIER gegen Ende des 17. Jahrhunderts nachgewiesen hatte, daß es eine regelmäßige Erscheinung darstellt ), das durch Lichterscheinungen an Materie des zweiten Elementes in der Wirbelebene erklärt wird, eine Deutung, die auch heute noch in etwa gilt, wenn auch „Materie des zweiten Elementes“ durch „Staub“ ersetzt ist.<sup>141</sup> In Kap. XXVI wird nach JOHANN BERNOULLIS Meinung nun der Haupteinwand gegen die DESCARTESSCHEN Wirbel genannt. Sonne und deren Wirbel bildeten eine Einheit, woraus folge, daß auch die Äquatorebenen übereinstimmen sollten und auch die darin schwimmenden Körper müßten sich ganz so benehmen, wie Boote in einem Fluß. Und genau dies sei aber bei den Planeten nicht zu beobachten, sondern es existiere die Knotenlinie durch die Schnittpunkte der beiden Ebenen.<sup>142</sup>

Um also jetzt seinerseits jene Erscheinungen erklären zu können, muß JOHANN BERNOULLI sehr weit ausholen und erst sein gesamtes Himmelssystem darstellen, bevor er darauf zurückkommen kann. Ab Kap. XXVII wird notwendigerweise das System erst einmal weiter entwickelt. Es kommt so zum Hauptbild des siedenden Zustandes der Sonne („*Je regarde d'abord cette agitation comme la plus forte ébullition que l'on puisse concevoir*“). Die in der Materie des ersten Elementes untermischte Materie des zweiten Elementes sei im Vergleich zur Sonnenmasse quasi nichts, wie eine Prise Staub in einem Kessel siedenden Wassers.<sup>143</sup>

*Während nun diese Korpuskeln keinerlei Ursache verschiedener beachtenswerter Effekte, sei es innerhalb oder außerhalb der Sonne, sind, denn sie sind gezwungen sich der gleichen heftigen, konfusen Bewegung zu unterwerfen, können sie nur sich gegenseitig sehr häufig anstoßen mit einer großen Stoßkraft, wobei dann es dem Teil der größten und unregelmäßigsten gelingt, dem Auseinanderbrechen zu widerstehen, sich zusammenzuballen und endlich dicke Knäuel zu bilden, etwa so*

<sup>139</sup> Bei Bernoullis Behauptung, KEPLER habe eine Rotation der Sonne von 3 Tagen angenommen, ist der Bezug zu „Astronomia Nova, III. Teil Kap. 34“, Heidelberg 1609 zu sehen.. S. dazu meine Fußnote 373, S. 132 in der Übersetzung JBP, VII.

<sup>140</sup> CARRINGTON gibt 1864 einen Wert von 25<sup>d</sup> an. Heute findet man eine mittlere Rotationsdauer von 27<sup>d</sup>, spricht aber von differentieller Rotation, die sich so darstellt, daß verschiedenen Schichten der Sonne (parallel zu deren Äquator gedacht) mit verschiedener Geschwindigkeit rotieren. In Äquatornähe gibt man heute 25 1/2, in mittleren Breiten 27<sup>d</sup> und in Polnähe 36<sup>d</sup> an.

<sup>141</sup> *C'est peut-être de cette matiere qui s'échape du Soleil., que se forme une espèce d'atmosphère plate autour de cet astre , & particulièrement sur le plan de son équateur, puisque, c'est ici où le mouvement de circulation est le plus vite , & où par conséquent la force centrifuge est la plus grande. Ainsi il n'y a nul doute que ce ne soit cet atmosphère qui cause la lumière zodiacale, que M. CASSINI le pere observa, la première fois le soir du 18 Mars 1683 , comme il l'a annoncé lui-même dans le journal des Savants du 10 Mai de la même année. Après lui, M. FATIO DE DUILLIER remarqua aussi cette lumiere [...]* (JBP, XXV, Übers. S.139, Z.19-25)

<sup>142</sup> *[...] le Tourbillon & le soleil font un tout; ainsi la même force primitive, qui a fait tourner l'un & l'équateur de l'autre devoient être dans une même plan; donc aussi les Planètes, qui flottent tranquillement (selon l'idée de Descartes) dans la matiere du Tourbillon, devoient suivre absolument sa direction, tout comme un bateau dans une riviere abandonné à lui-même, est bien-tôt entraîné par l'eau, & dirigé suivant le fil du courant. Cependant les Planètes ne marchent pas sur les traces du courant du Tourbillon; elles s'en écartent, & décrivent des routes particulieres, dont les plans coupent le plan commun du Tourbillon & du Soleil dans la ligne de Noeuds qui passe par leur centre commun. Voilà le point capital de la difficulté.* (JBP, XXVI, Übers. S.139, Z 44 – S.140, Z.7)

<sup>143</sup> *[...] & n' y fera pas plus qu' une pincée de poussiere que je jetteroie dans un grand chauderon rempli d'eau bouillante.* (JBP, XXVII, Übers. S 140, Z. 17-19)

*wie es Schneelawinen machen, die anwachsen, wenn sie mit zunehmender Eile die hohen Berge hinabstürzen. Ohne Zweifel beziehen die Sonnenflecken hieraus ihre Ursache für die unterschiedliche Größe und Gestalt, die man auf der Sonnenscheibe beobachten kann, die wahrscheinlich nichts anderes als diese großen Knäuel sind, irgendwie auf die Oberfläche der Sonne herausgeschleudert und anschließend von Neuem verschluckt.*<sup>144</sup>

Das Bild des siedenden Wassers, aus dem Flüssigkeit ausgestoßen wird, hat JOHANN BERNOULLI veranlaßt sich nun die Materie des zweiten Elementes, vielleicht durch den Siedevorgang auch etwas „eingedickt“, als herausgeschleuderte Materie vorzustellen, die sich ihrerseits wieder neu kombiniert. BERNOULLI bringt jetzt das Bild der Schneelawine oder des Schneebrettes, das ihm als einem Bewohner alpiner Gebiete durchaus geläufig ist, zum besseren Verständnis seiner Gedanken. Es genügt übrigens schon der Anblick einer Dachlawine im Winter, um zu den gleichen Ideen zu kommen. Dieses Bild läßt sich zugleich gut dazu verwenden, die Vorstellungen mit Phänomenen zu verknüpfen. JOHANN BERNOULLI hebt auf die Sonnenflecken ab, die als Beleg für seine Zusammenballungen der Materie des zweiten Elementes gelten können. Während heute wohl stärker die Vorstellung von in Richtung des Beschauers herausgeschleudeter Sonnenmaterie vorherrscht, war für ihn das Phänomen ganz klar an der Oberfläche der Sonne fixiert. Überdies bedient er sich dieser Flecken, um seine spätere Beantwortung der Akademiefrage zu untermauern. Im weiteren Verlauf referiert er dann den Stand der Sonnenfleckenbetrachtung und die daraus gezogenen Folgerungen der Zeit. Insbesondere die aus den Beobachtungen resultierende gegenseitige Inkliniation der Bewegungsebenen bzw. Rotationsachsen sei daraus gesichert und dies sei eben der Anlaß der Akademiefrage. Aber ein paar vollmundige Worte für die Preisrichter und eine Demonstration des eigenen Selbstbewußtseins muß er noch anfügen: *„Jedoch bevor ich zur Lösung dieser wichtigen Frage komme, ist es notwendig, eine vollständige Erklärung meines Systems zu erreichen, damit die Beziehung zwischen allen Phänomenen, die damit so natürlich einhergeht, ins hellere Licht gebracht wird. Ich schmeichle mir, daß die Einfachheit genauso wie die Fruchtbarkeit des Prinzips, dessen ich mich bediene, all denen angenehm sein wird, die bevorzugen, daß ein System klar und einsichtig sei.“*<sup>145</sup> Sie bringen sicher einige Einwände weniger und einige Schritte näher zum Preis.

Nach den größeren Anteilen der Sonnenmaterie folgt jetzt der Übergang zu der feineren Materie. Es herrscht heftigstes Sieden und Kollisionen in der Sonnenmaterie, die feineren Teilchen müssen also noch mehr zerbrechen und „dadurch von einer Subtilität sein, die die Vorstellung übersteigt.“<sup>146</sup> Und weiter fährt Bernoulli fort: *„Also besteht das überaus helle Licht und die extreme Hitze der Sonne aus dieser unglaublich heftigen Bewegung und der fortwährenden Kollision dieser kleinen Masseteilchen. Nun bleibt nur noch zu begreifen, wie das eine und das andere aus der Sonne heraus gelangt und zwar in jene immense Distanz und mit dieser*

<sup>144</sup> *„Cependant ces corpuscules ne laissent pas d'être la cause de plusieurs effets considerables tant au dedans qu'au dehors du Soleil; car comme ils sont obligés de subir la même agitation confuse, ils ne peuvent que se choquer très-fréquemment avec une grande impétuosité, par où il arrive qu'une partie des plus grossiers & irréguliers, pouvant résister à la rupture, s'accrochent ensemble, & forment enfin de gros pelotons, à peu près comme se font les avalanches de neige, qui grossissent en roulant avec précipitation du haut d'une montagne. C'est de-là, sans doute, que tirent leur origine les taches de différente grandeur & figure, que l'on observe sur le disque du Soleil, qui vraisemblablement ne sont autre chose que ces gros pelotons, expulsés quelquefois vers la surface du Soleil, & ensuite derechef engloutis. [...]“* (JBP, XXVII, Übers. S.140, Z. 19-29)

<sup>145</sup> *[...] mais avant que d'en venir à la solution de cette importante question, il faut nécessairement achever d'expliquer mon système, afin que la liaison entre tous les phénomènes, dont l'explication en découle si naturellement, soit exposée dans un plus grand jour. Je me flatte que la simplicité, aussi bien que la fécondité des principes dont je me sers, sera agréable à tous ceux, qui aiment qu'un système soit clair & intelligible* (JBP, XXVII, Übers. 140, Z.43- Z.49)

<sup>146</sup> Natürlich denkt der heutige Mensch an Plasma. Aber für BERNOULLI war die Materie einfach beliebig fein teilbar. Offenbar waren aber alle Teile und das Geteilte untereinander äquivalent.

außerordentlichen Geschwindigkeit.“<sup>147</sup> Die Vorstellung, daß Licht, Erwärmung und Bewegung gekoppelt sind, ist eine damals allgemein anerkannte Tatsache. Aber natürlich war auch der Wunsch zu wissen, welcher Träger für dieses Phänomen in Frage komme. Denn daß es einen solchen geben müsse, war wiederum allgemein anerkannt. Es mußte sich quasi der „Aether“ als Begriff entwickeln. Er hat sich ja auch in der Physik lange genug erhalten.

### Die Sonne sendet Materiestrahlen radial aus.

JOHANN BERNOULLI steigert nunmehr die Ereignisse in der Sonne zu Explosionen, die die Teilchen aus der Sonne herausschleudern, natürlich radial und bis ans Ende aller Oberflächen. Wieder wird ein Bild benutzt, das einer mehr bekannten Situation entspringt, der Herstellung hochprozentiger Alkohole in der Chemie, wobei es der entstehende Duft ist (vermutlich bei der Liqueur-Herstellung beobachtet, schließlich ist die Kirschwasserherstellung unweit Basels eine alte Kunst), der das Bild stützt, weil dieser sich so weit und so subtil verbreitet. Schlußfolgerung also: *„Ich denke mir also, daß diese Ströme, die von der Sonne ausgehen, ohne Unterlaß in gerader Richtung durch den Effekt einer sehr heftigen Explosion, das sind, was man die Sonnenstrahlen nennt, die zu allen Stellen, die sie treffen, das Licht und die Wärme bringen, in der Art wie man jetzt genugsam weiß und bei der ich mich lange Zeit aufgehalten habe.“*<sup>148</sup>

Aus diesen Strahlen werden sich später alle weiteren Erklärungen entwickeln, auch die der Erklärung der Schwere. Der Vergleich mit LEIBNIZ zeigt, daß jener offenbar das Modell gefunden hatte, denn aus den Bemerkungen weiter oben war schon zu ersehen, daß JOHANN BERNOULLI seine Arbeit über die Planetenbewegung gekannt hat. Im folgenden Kapitel werden die naheliegenden Einwände abgehandelt: Warum versiegen diese Strahlen nicht, und warum wird die Bewegung nicht langsamer?

### Einwände gegen diese Materiestrahlen aus der Sonne.

Beide Einwände sind nach BERNOULLI einfach zu widerlegen, besonders der zweite, mit dem er beginnt. Die Lösung liegt in den besonderen Eigenschaften der Materie des ersten Elementes, die natürlich keinerlei Widerstände bietet, und der geringen Wahrscheinlichkeit auf Materie des zweiten Elementes zu treffen. Für den ersten Einwand wird auf später verwiesen. Dort wird in Zusammenhang mit seinem Hauptbegriff „ZENTRALSTROM (Torrent central)“ der Fall durch Rekombination erledigt.

Ab Kap. XXXI setzt sich dann JOHANN BERNOULLI mit der Lichtgeschwindigkeit, deren Größe und der Kritik, die Huygens daran geübt hat, auseinander. BERNOULLI geht von OLAF RØMERS Messung der Lichtgeschwindigkeit<sup>149</sup> aus, die er mit  $16 \frac{2}{3}$  Erddurchmessern

<sup>147</sup> [...] je vois avec une évidence entiere, que ceux-ci ne pouvant pas résister à l'impetuosité & frequente collision, sans se rompre de plus en plus, deviendront d'une subtilité qui surpasse la force de l'imagination. C'est donc dans l'agitation incroyablement violente, & la collision perpétuelle de ces petites massules, que consiste la lumiere éclatante, & la chaleur excessive du Soleil. Il n'y a qu'à voir comment l'une & l'autre est portée au dehors du Soleil à une distance immense, & avec une rapidité prodigieuse. (JBP, XXVIII, Übers. S.141, Z.5-11)

<sup>148</sup> „[...] Je conçois donc, que ces effluves qui sortent du Soleil, sans cesse, en ligne droite, par l'effet d'une explosion très-violente, sont ce qu'on appelle les rayons du Soleil, qui portent sur tout ce qu'ils rencontrent la lumiere & la chaleur, de la maniere qu'on sait assés, sans que je m'y arrête long-temps.“ (JBP, XXIX, Übers. S.141, Z.25-28)

<sup>149</sup> Gemäß Krafft, Meyer-Abich, Große Naturwissenschaftler, Frankfurt 1970, hat RØMER den Wert von 42000 Meilen pro Sekunde gefunden. Welche Meile aber war gemeint? Die Angaben zu den Größen der „Meile“ im 19.Jahrh. schwanken von 1000m bis 10688,5m. Nimmt man Dänemark, so findet man 7522,7m. damit aber wäre der Wert für die Lichtgeschwindigkeit zu groß. (Quelle:Trapp, Kl. Handb. d. Maße, Zahlen, Gewichte und der Zeitrechnung, Stuttgart 1998 S.231/232)



angibt. Dies ist ein nach heutiger Erkenntnis zu kleiner Wert, der aber immer noch ungeheuer groß ist, sodaß seine Folgerungen aus dieser Größe der Geschwindigkeit bestehen bleiben können. In der Folge zitiert er dann HUYGENS<sup>150</sup>, mit dessen Kritik an einer mechanischen Erklärung der Lichtausbreitung. Die Darstellung, die BERNOULLI davon gibt, erinnert sehr stark an die von DESCARTES<sup>151</sup>. In einer gewissen ironischen Weise spricht er auch davon, daß dies seinerzeit tatsächlich sehr einfallsreich gewesen sei.<sup>152</sup> Im weiteren Referat der Einwände von HUYGENS gegen Licht als ausgestoßene Partikel zeigt sich BERNOULLI kritisch gegen die von jenem vorgeschlagene Fortpflanzung in Wellen. Zuerst bringt er Einwände gegen die geradlinige Fortpflanzung gemäß HUYGENS vor, wobei er meint, die Materie müsse sich längs gerader Linien anordnen und betont die Unwahrscheinlichkeit dieses Faktes. Genau dies trifft aber die HUYGENSSCHE Theorie nicht, was heutzutage nicht mehr breit dargelegt werden muß. HUYGENS vergleicht lediglich die Fortpflanzung in jeder Richtung so, als wäre sie linear. Hier hat BERNOULLI sicher den HUYGENSSCHEN Text mißverstanden. Die beigegefügte Zeichnung einer Kugellinie hat wohl auch dazu beigetragen. Ein zweiter Einwand wird darin gesehen, daß die als Träger fungierenden Massen die hohe Elastizität unmöglich haben könnten, die eine solche Geschwindigkeit, wie sie die Lichtgeschwindigkeit darstelle, verlangte. Er müsse also diese Elastizität als Hypothese fordern und sei damit fast noch obskurer als die Herren NEWTONIANER selbst, indem er Zuflucht bei einer Physik der Chimaeren suche.<sup>153</sup>

<sup>150</sup> Huygens, Christian, TRAITE DE LA LUMIERE. Leiden 1690. Nachgedruckt in Soc. Holl. d. Sciences [Hrsg.], Oeuvre complètes de Christian Huygens, La Haye 1937; Tome XIX Die Darstellung, auf die JOHANN BERNOULLI abhebt, ist auf S. 474.

<sup>151</sup> Tripp [Hrsg.] von Descartes, Le Monde ou Traité de la Lumière, Weinheim 1989, Chap. XIII. Alles wird durch Stoßvorgänge der Materie erster und zweiter Art zurückgeführt.

<sup>152</sup> „[...] Une telle vitesse, qui est six cent mille fois plus grande que celle du son, a paru à M. Huguens trop énorme, pour croire que la propagation de la lumiere se fasse par un transport actuel d'une matiere, qui depuis l'objet lumineux s'en vienne jusqu'à nous. Il a donc mieux aimé concevoir cette propagation sur le pied que se fait le son, qui s'étend par des ondes sphérique, comme on le voit dans son Traité de la Lumiere, d'ailleurs très-ingénieux; où il prétend que les particules qui composent le rayon sans sortir de leur place, se poussent successivement, comme feroient de petites boules élastiques mises bout à bout sur une longue file en ligne droite, dont la premiere en mouvement choque la seconde, celle-ci la troisieme, & ainsi de suite, tout le mouvement de la premiere boule seroit transmis à la dernière par les boules intermédiaires.“ (JBP, XXXI, Übers. S.142, Z. 20- 30)

<sup>153</sup> „Mais sans parler de l'impossibilité du hazard, qui demanderoit que toutes ces petites boules fussent mises très-exactement & à la rigueur géométrique en ligne droite; car ce qu'il dit, que si une des boules en rencontroit à la fois trois ou plusieurs autres, la communication du mouvement en ligne droite ne laisseroit pas de se faire sur les suivantes avec la même vitesse, est très faux, & contre les règles de la communication du mouvement; sans parler donc de cet inconvénient, on voit bien que par-là il ne gagneroit rien pour sauver la difficulté qu'il y auroit à comprendre cette énorme vitesse, qu'il faut supposer en statuant que la matiere des rayons se transporte effectivement depuis l'objet rayonnant jusqu'à la plus grande distance où la lumiere se porte; car quand on lui accorderoit cette sorte de transmission de mouvement d'une boule à l'autre, ne faut-il pas que chacune reçoive successivement de l'une à l'autre n'est-elle pas plus incompréhensible, que si la vitesse une fois imprimée à chacune des boules ne fait que perseverer, puisqu'il n'y arien en leur chemin qui leur résiste, comme nous avons fait voir? Outre cela, l'élasticité des boules d'où leur viendroit-elle, vù que les corps sont naturellement sans ressort, & s'ils en ont, il faut qu'il y ait une cause qui le produise; car certainement l'idée que l'on a du corps ne renferme pas celle de l'élasticité; autrement tout corps devoit être élastique, ce qui est contre l'expérience; donc, selon M. HUGUENS, il faudroit supposer encore un autre genre de matiere, qui fût incomparablement plus subtile que ces boules qui composent les rayons de lumiere, lesquelles sont déjà d'une si grande subtilité, qu'elles passent librement les pores les plus étroits, tels que sont ceux du verre, du cristal, du diamant: ce seroit donc cette autre matiere, qui entrant avec rapidité inconcevable dans les globules de la lumiere, leur devoit procurer cette parfaite élasticité. Ainsi M. HUGUENS, bien loin d'éviter la difficulté, qui, selon lui, se rencontre en suposant un transport effectif des globules de lumiere avec si grande vitesse, est reduit à suposer dans la matiere, qui leur donne le ressort, une vitesse infiniment plus grande; ou veut-il peut-être que l'élasticité leur soit innée ou essentielle, sans qu'on ait besoin de suposer pour cela une cause étrangère ? mais ce seroit attribuer à la matiere une qualité aussi incompréhensible que l'est la vertu attractrice que donnent si liberalement

## Materiestrahlen und deren Ausbreitungsgesetz (Optik).

Mit Kap. XXXIII kommt nun JOHANN BERNOULLIS Version zum Vorschein, seine grundlegende Konstruktion, mit der er dann alles erklärt. Es werden also die kleinen Massen aus Materie des zweiten Elementes mit Lichtgeschwindigkeit aus der Sonne herausgejagt und verbreiten sich in einem kontinuierlichen Strom radial bis in jede Entfernung. Treffen sie auf Hindernisse, so sind dies Körper mit Poren, die hinreichend groß sind, um die „Strahlen“ einzulassen und evtl. abzulenken, aber keineswegs zu bremsen. Durch die Ablenkung sei das Licht „beendet“, da es Geradlinigkeit verlange. Manchmal dringe es auch durch die Beschaffenheit des getroffenen Körpers tiefer ein, der Körper sei dann durchscheinend. Aber die Strahlen finden weiter ihren Weg durch die Körper, reiben sich auch in den Poren an dem Körper und erzeugen damit die Wärme, verlieren aber keine Geschwindigkeit. JOHANN BERNOULLI hat also das Gefühl, mit seiner Konzeption, die einfach und klar zu verstehen ist, alles auf ganz natürliche Weise erklärt zu haben, während andere offenbar zu Chimaeren ihre Zuflucht nehmen müssen. Er beendet die Optik dann abrupt, da es nicht seine Aufgabe sei, sich über diese beiden Effekte zu verbreiten, er sei nur gerade im Zuge seiner kleinen Erklärung seines Systems darauf gestoßen.<sup>154</sup> In seiner Erklärung fortfahrend wird nun die quadratische Abnahme mit der Entfernung erläutert. Die Strahlen träten dicht durch die Oberfläche der Sonne und verfolgten ihren Weg geradlinig. Infolge des größer werdenden Raumes müsse dann ihre Seltenheit (*rareté*) zunehmen. Eine einfache Proportion erklärt dann den Rest.

## Der Übergang zum ZENTRALSTROM (Torrent central)

Ab Kap. XXXVI wird dann ein weiterer Effekt geschildert. Es müsse nämlich „*sehr wahrscheinlich und moralisch gesichert*“ Zusammenstöße zwischen gleichen Massen geben, da diese sich aus den Fixsternen austretend bis in jede Entfernung begäben. Bei diesen direkten Zusammenstößen von Massen ohne Elastizität (jene war ja bei der Kritik der HUYGENSSCHEN Darstellung keine Körpereigenschaft) kleben die Körper kurzzeitig zusammen und verlieren nach den Stoßgesetzen ihre Bewegung. Es entstehen also neue Masseteilchen doppelter Größe und in Ruhe. In logischer Weiterentwicklung können diese wieder von zwei Teilchen aus entgegengesetzter Richtung getroffen werden, und es gibt Teilchen vierfacher Größe in Ruhe. Wird aber ein Treffer von nur einer Seite erzielt, dann setzt sich die Masse in Bewegung. Es entstehen also ungerade Vielfache der primitiven Masseinheit in Bewegung und gerade Vielfache in Ruhe. Damit entstehen radiale Masseströmungen ungerader Vielfachheit, wenn man nur lange genug diese Entwicklung laufen läßt. Geschwindigkeit und Masse regeln sich nach den Stoßgesetzen.

Die ruhenden Massen bleiben außer Betracht, bis diese durch Treffer in Bewegung gesetzt werden.<sup>155</sup> Es gibt also einen Regen von oben: „*Auf diese Weise stellen wir uns vor, daß kon-*

---

*aux corps Mrs. les Newtoniens, se mettant peu en peine qu'on l'entende ou non. En fait de Physique, on a raison de rejeter la coûtume de ceux, qui pour expliquer quelque phénomène, ont recours à des principes chimériques, plus obscurs que ce qui est en question.*“ (JBP, XXXII, Übers. S.142, Z.32- S.143, Z.23)

<sup>154</sup> „*Ce n'est pas mon dessein de m'arrêter plus long-temps sur l'explication de ces deux effets, j'entends de la lumiere & de la chaleur; je n'en eusse même point du tout parlé, comme hors mon sujet, si la petite description de mon système (que je dois préliminairement avant que de donner une solution probable de nôtre question) ne m'eût conduit directement.*“ (JBP, XXXIV, Übers. S.144, Z.4- 8)

<sup>155</sup> *Cependant confiderons maintenant un autre effet qui doit arriver à la matiere des rayons, lorsqu'elle est portée à (extrémité de son Tourbillon , & qu'elle est prête a entrer dans celui qui le touche immédiatement: il est très-probable, & moralement certain, que parmi tant de millions -de milliards de ces massules, qui se présentent à chaque instant sur toute la superficie du Tourbillon , & dont le plus grand nombre passe*

*tinuierlich vom Himmel ein im Überfluß vorhandener, ungestümer Regen von Knäueln herabsteigt, die in die Tiefe zurückgestoßen werden durch Masseteilchen, die aus den benachbarten Wirbeln stammen.“<sup>156</sup>*

### Die Definition des ZENTRALSTROMS.

Damit sind wir bei JOHANN BERNOULLIS zentraler Definition des ZENTRALSTROMS (Torrent central) angelangt. Wieder wird die Definition durch Sprachbilder aus der alltäglichen Anschauung angereichert:

*„Ich werde jetzt nun meine Überlegungen über die Natur und den Effekt dieser Flut von Knäueln darlegen, der aus allen Teilen der Wirbeloberfläche aufs Zentrum hin stürzt und den ich deshalb den **ZENTRALSTROM** nennen werde. Denn sein Gehalt an Materie ist tatsächlich reichlich genug, wenn sie sich mit hoher Geschwindigkeit wie ein andauernder Strom auf die Sonne stürzt. Genau aus dieser Materie ergänzt die Sonne ihre Nahrung, um den Verlust auszugleichen, den sie ohne Unterlaß durch die Aussendung der Massefäden, ich will sagen, der Strahlen, erleidet. Das ist ungefähr so, wie der Wasserverlust des Ozeans, sei es durch Verdampfung oder durch Versickerung in den Poren der Erde auf die eine oder die andere Weise. Jedenfalls löst sich alles in Dampf auf, gleicht die Hitze aus, und endlich bilden sich aus einigen Teilen Tropfen, die in Form von Regen wieder zur Erde fallen oder aus erhöhten Stellen der Erde heraustreten, um kleine Bäche zu bilden, die ihrerseits auf ihrem Lauf die großen Ströme formen, bevor sie das Meer zurückgewinnen.*

*Oder könnte man nicht auch diesen anderen Vergleich ziehen, indem wir uns von dem, was wir vom Rauch sehen, anregen lassen, der Rauch, der sich von brennbarer Materie erhebt und von dem ein Teil sich am Rauchfang des Kamins anlagert, Ruß bildet, welcher nach und nach durch Vereinigung mit kleinen Partikeln des Rauchs eine immer fettere Konsistenz bekommt, bis er sich schließlich löst und auf den Herd zurückfällt. So also antworte ich auf den ersten Einwand, den ich im § XXX formuliert habe. Oder, es ist auch, ohne daß ich es sage, einigermaßen einsichtig, daß die in die Sonne zurückgekehrten Knäuel zuerst gezwungen sind, der konfusen und heftigen Bewegung zu folgen, die in der gesamten Sonnenmasse herrscht, so daß es nicht lange dauert, bis sie durch die häufigen Zu-*

---

*plus outre, il y en a pourtant aussi une multitude très- considerable, qui font rencontrées par tout autant de massules semblables , lesquelles chassées du fond des Tourbillons qui. environnent le notre , viennent fondre fur les premières avec la même force. D'où il s'enfuit que ces massules n'ayant naturellement point de ressort , comme je l'ai dit ci-dessus, il faut que toutes les fois que deux de ces massules de différents Tourbillons viennent à se choquer directement , elles perdent toutes deux leur mouvement, & s'arrêtent tout court colées ensemble , & forment ainsi une nouvelle massule en repos deux fois plus grosse que chacune n'étoit auparavant. Il peut même arriver, fans beaucoup de hazard , que plusieurs de ces nouvelles massules en repos viennent à être choquées à la fois par deux autres primitives , l'une d'un côté , & l'autre du côté opposé ; auquel cas il est derechef manifeste par les règles de la communication du mouvement des corps fans ressort, que ce second choc détruisant le mouvement opposé de ces deux nouvelles massules , & les cotant aux deux premières, il s'en formera un petit peloton en repos, & quatre fois plus gros qu'une des massules primitives. (JBP, XXXVI, S.144, Z.33 – S.145, Z.5)*

<sup>156</sup>

*„De cette maniere nous concevons qu'il doit descendre continuellement du ciel une pluie abondante & impétueuse de pelotons repoussés en bas par le choc des massules, qui sortent des Tourbillons circonvoisins.“(JBP, XXXVII, Übers. S.145, Z.22-24)*

sammenstöße in ihren früheren Zustand von Kleinheit reduziert sind, das heißt in die Form von Masseteilchen, die wieder geeignet sind, die notwendige Explosion zu erleiden für das Herausschleudern von Strahlen, ganz wie der Ruß, wenn er zurückgefallen ist ins Feuer, wieder brennt, sich auflöst und ein zweites Mal in Rauch aufgeht und aufsteigt.“<sup>157</sup>

Es bleibt jetzt nur noch auf den möglichen Einwand zu antworten, die Strömungen könnten sich gegenseitig stören und beim Absteigen behindern. Aber auch dagegen ist bei der Definition der Materie des ersten Elementes schon vorgesorgt worden. Sie ist unendlich klein und unendlich teilbar. Dadurch lassen sich die Störungen leicht vermeiden. JOHANN BERNOULLI beschließt seinen ersten konzipierenden Teil mit den Worten:

*Auf diese Weise werden wir leicht verstehen, daß der Sturm bis zur Oberfläche der Sonne absteigen wird, ohne daß sich die Strukturen berühren. Es ist wahr, damit dies geschehe, müssen Knäuel von extremer Subtilität unterstellt werden, ungeachtet dessen, daß der kleinste unter ihnen eine Masse habe, die drei mal so groß wie die eines Masseteilchens der Sonnenstrahlen sei. Die unendliche Teilbarkeit der Materie erlaubt, den Partikeln eine solche Subtilität zu geben, die man als passend erachtet. Es gibt also keinen Widerspruch festzustellen, daß unsere Knäuel die gesamte Oberfläche des Wirbels bedecken und so eng untereinander zusammengepackt sind, wie man will. Sie können dennoch, wenn sie zur Sonne gelangen, genug Raum auf der Oberfläche finden, um dort weithin zu lagern, ohne daß eines das andere berühre.*<sup>158</sup>

Selbstverständlich trug JOHANN BERNOULLIS jahrzehntelanger Umgang mit den neuen Gedanken der LEIBNIZSCHEN Analysis mit dazu bei, die Vorstellung der beliebigen Kleinheit von Materie zu entwickeln. Er kann sie mit solcher Subtilität ausstatten, wie es passend ist. (Die entsprechenden Textstellen wurden von mir hervorgehoben.)

<sup>157</sup> „Je vais faire à present mes reflexions sur la nature & l'effet de ce déluge de pelotons, qui tombe de toute part de la circonférence du Tourbillon vers le centre, & que j'appellerai pour cela Torrent central parce qu'effectivement sa matiere est assés copieuse pour qu'elle se jette avec précipitation comme un Torrent perpetuel fur le Soleil. C'est donc de cette matiere que le Soleil recouvre sa nourriture, pour réparer la perte qu'il fait sans, cesse par. l'émanation des files de massules, je veux dire par les rayons; à peu près comme les eaux qui sortent. de. l'Océan, soit par l'évaporation, ou par la filtration par. les pores de la terre, lorsque de maniere ou d'autre, moyennant la. chaleur, elles se résolvent en vapeurs, dont ensuite plusieurs parcelles, se joignent ensemble en gouttes, retombent en forme de pluye, ou sortent des lieux élevés de la terre pour composer de petits ruisseaux, qui eux-mêmes par leur concours forment de grands fleuves pour regagner les mers.  
Ou bien ne pourroit on pas faire cette autre comparaison, prise de ce que nous voyons que la fumée, qui s'éleve de la matiere combustible, & dont une partie s'attache au tuyau de la cheminée, & fait la suye, laquelle reprenant peu à peu par la réunion des petites particules de la fumée une consistance plus grossi ère, se détache enfin, & retombe au foyer. C'est donc ainsi qu'on répond à la; premiere objection formée dans le §. XXX. Or il est assés intelligible, sans que je le dise, que les pelotons rentrés dans. le Soleil, sont d'abord contraints de suivre la violente agitation confuse, qui se trouve dans toute la masse du Soleil, & ne feront pas long-temps dans 'être réduits par. la frequente collision dans. leur premier état de petitesse c'est-à-dire, dans la forme des. massules propres a subir l'explosion nécessaire pour le dardement des rayons, tout: comme la suye retombée dans le feu, se brûle, & se dissout une seconde fois en fumée, & remonte: ( JBP, XXXVIII ) (Hervorhebung i. Orig.) Übers. S.145, Z.26 – S.146, Z.7.

<sup>158</sup> [...] de cette maniere nous comprendrons aisement que le Torrent descendra jusqu'au Soleil, sans que les files viennent à se toucher. Il est vrai que pour que cela soit, il faut que les pelotons soient suposés d'une subtilité extrême, nonobstant que le plus petit d'entr'eux ait une masse trois fois plus grosse, qu'une massule du rayon solaire. La divisibilité de la matiere à l'infini permet de donner aux particules une telle subtilité que l'on jugera convenable. Il n'y a donc point de contradiction de statuer que nos pelotons occupant toute la surface du Tourbillon, & serrés entr'eux si près que l'on voudra, ils pourront néanmoins, étant transportés sur le Soleil, trouver assés d'espace sur la surface, pour y être situés au large, & sans se toucher les uns les autres. ( JBP, XXXVIII ) (Hervorhebung von mir) Übers. S.146, Z. 25 – 34.

## Die Erklärung der Gravitation aus dem ZENTRALSTROM.

Im Teil II wird als erstes die Theorie der Gravitation in Angriff genommen. Dazu ist es sinnvoll, den ZENTRALSTROM (Torrent central) erst noch einmal mathematisch zu beschreiben. Das ist hier sehr leicht. BERNOULLI betrachtet Massen der Materie des zweiten Elementes von ungeraden Vielfachen der Partikel der Materie des ersten Elementes. Die Stoßgesetze sind bekannt und werden für unelastische Körper formuliert. Dabei sind die Ideen von SADI CARNOT, THOMPSON, R. MAYER und HELMHOLTZ noch 100 Jahre entfernt, der Energiebegriff und der damit verbundene Energiesatz längst nicht formuliert. Verluste in Wärme durch die Stöße werden also keineswegs angenommen. JOHANN BERNOULLI formuliert also: Eine Partikel der Masse **A** und der Geschwindigkeit **m** trifft auf eine Partikel der Masse **B** und der Geschwindigkeit **n** (die Wahl der Variablennamen ist aus heutiger Sicht unglücklich). Es entsteht die neue Partikel der Masse **A+B** und der Geschwindigkeit **v**. Es gilt für **v** nach der Erhaltung der Bewegungsgröße:

$$A \cdot m + B \cdot n = (A + B) \cdot v \Leftrightarrow v = \frac{A \cdot m + B \cdot n}{A + B}$$

Wenn auch diese Geschwindigkeit kleiner als die Lichtgeschwindigkeit der Materie des ersten Elementes ist, so ist sie für JOHANN BERNOULLI noch hinreichend groß genug, um die Gravitation mit seinem ZENTRALSTROM zu erklären:

*Denn wenn auch diese Geschwindigkeit tausendmal kleiner sei, als die eines einzelnen Masseteilchens, welche ja die der Lichtgeschwindigkeit ist, so würde diese Geschwindigkeit des ZENTRALSTROMS immer noch jene sehr beachtlich sein lassen, denn, gemäß dessen, was wir schon angemerkt hatten (§ XXXI), sie würde immer noch hinreichend groß sein, um in der Zeit von einer Minute die Länge des gesamten Erddurchmessers zurückzulegen. Der ZENTRALSTROM mit einer solchen Geschwindigkeit wird in der Lage sein, um einen solchen speziellen Effekt auf einen Körper auszuüben, den er auf seinem Weg antrifft, und dieser Effekt ist genau die Gravitation der Planeten bezüglich der Sonne:<sup>159</sup>*

Natürlich muß er auch erklären, wieso der ZENTRALSTROM wirken kann. Dies wird einfach dadurch erreicht, daß mit der Größe der Teilchen argumentiert wird:

*„Die Poren und Zwischenräume zwischen den irdischen elementaren Teilen, die die Planeten bilden, sind hinreichend groß, um die Strahlen von Masseteilchen, die von der Sonne ausgehen, ohne Widerstand passieren zu lassen. Jedoch später, wenn sie zurückkehren, hat eine ansehnliche Menge von den gleichen Masseteilchen sich in kleinen Knäueln gruppiert, die die Materie des ZENTRALSTROMS darstellen, und von denen das kleinste mindestens dreimal so groß ist, wie ein Masseteilchen. Es ist damit hinreichend einsichtig, daß die Knäuel nicht mehr so leicht die gleichen Poren der irdischen Körper passieren: Daher kommt es, daß der ZENTRALSTROM eine kontinuierliche Wirkung auf den Planeten ausübt, auf den er trifft, die ihn tiefer gegen das gemeinsame Zentrum des Wirbels stößt, in gleicher Weise wie ein Wasserstrom, der gegen ein Hindernis strömt, gegen die-*

<sup>159</sup>

[...] Car quand même cette rapidité seroit mille fois plus petite que celle d'une seule massule, qui est celle de la lumiere; cette rapidité dur Torrent central ne laisseroit pas d'être encore très-considerable, puisque selon ce que nous avons remarqué (§XXXI) elle seroit assez grande pour parcourir dans le tems d'une minute la longueur d'un diametre entier de la terre. Le Torrent central avec une telle vitesse sera donc en état de produire un effet tout particulier sur un corps qu'il rencontre dans son chemin, & cet effet est précisément la gravitation des Planètes vers le Soleil:[...] (JBP, XL, Übers. S.147, Z.32-39)

*ses eine konstante Anstrengung unternimmt, die gleich der Kraft ist, mit der das Hindernis widersteht.*<sup>160</sup>

Auch hier wieder ein Bild aus der alltäglichen Erfahrung: Das Bild eines Baches, der einen Stein umströmt und gegen diesen eine Kraft bewirkt. Diese Kräfte werden ausschließlich durch die Materie des zweiten Elementes bewirkt, die der Zentralstrom mit sich führt. Die Materie des ersten Elementes geht ungehindert durch die Poren gegen das Zentrum der Sonne. Bei der Materie des zweiten Elementes bleiben natürlich einige Partikel, die durch Stöße ihre Bewegung verloren haben, unbeweglich in der Atmosphäre und werden durch weitere Zusammenstöße dann allmählich beseitigt. Der Hauptanstrom aber trifft die äußere Oberfläche des Planeten, dort ist ja auch ein deutlicher Übergang infolge verkleinerter Passage.

Die Gravitation ist proportional reziprok zum Quadrat des Abstandes vom Zentrum.

Mit Kap. XLII krönt JOHANN BERNOULLI nun seinen Triumph über das NEWTONSCHE System. Man muß den ganzen Text hier zitieren, denn auch in der Diktion liegt eine unglaubliche Siegesgewißheit. Gelingt es doch BERNOULLI, die Gravitation proportional reziprok zum Quadrat des Abstandes vom Zentrum zu formulieren:

*„Ich glaube, daß man nicht noch mehr verlangen könnte, um die Ursache der Schwere der Planeten gegen die Sonne zu erklären. Die kurze, aber klare Erklärung, die wir dafür gegeben haben, beinhaltet alle Verdeutlichungen, die man für die diversen Besonderheiten und Umstände, die die Natur dieser Gravitation begleiten, verlangen kann. Denn man sieht,*

*1. daß nicht allein der gesamte Planetenkörper schwer sein muß, sondern auch jedes seiner Teile in seiner speziellen Art es auch im Verhältnis zu seiner Masse sein muß, denn die Materie des ZENTRALSTROMS durchdringt und wirkt auf dem Planeten in all seinen Dimensionen, in seinen inneren Partien genauso wie auf die äußeren. Man bemerkt,*

*2. warum die Gravitationskräfte, welchen die Herren NEWTONIANER eine anziehende Eigenschaft zuschreiben, dies untereinander im umgekehrten Verhältnis des Quadrats des Abstandes zur Sonne sein müssen. Ist es doch evident, daß die Ausläufer des STROMES nach den Seiten hin schmaler werden, und zwar in dem Maße, wie sie sich der Sonne nähern, und daß ihre Dichte, von der die Berechnung ihrer absoluten Kräfte abhängt, diese gleiche Proportion einhält, ganz wie auch die Strahlen ein Licht produzieren, dessen Lebhaftigkeit sich wie deren Dichte verhält, das heißt umgekehrt zum Quadrat des Abstandes zum leuchtenden Punkt. Es ist ferner*

*3. klar, daß die elementaren Partikel der dickeren Körper ( ich meine die kleinsten, die solide sind und ohne Poren ) nur Einwirkung der Schwerkraft an der Oberfläche erhalten. Da nämlich diese Partikel keine Poren haben, kann keine Materie des STROMES in das Innere dringen, die die Schwere verursachen könnte.*<sup>161</sup>

<sup>160</sup> *Les pores & les interstices entre les parties élémentaires terrestres qui composent les Planètes font suffisamment larges pour laisser passer sans obstacle les files des massules qui partent du Soleil; mais après qu'à leur retour une bonne quantité de ces mêmes massules se sont accumulées en petits pelotons, qui fournissent la matière au Torrent central, & desquels le plus petit est pour le moins trois fois plus gros qu'une massule; il est déjà assés évident que les pelotons n'enfileront plus si aisément les mêmes pores des corps terrestres: d'où il arrive, que le Torrent central fait un effort continuel sur la Planète qu'il rencontre, pour la pousser en bas vers le centre commun du Tourbillon, de la même manière qu'un courant d'eau, donnant contre un obstacle, fait pour l'entraîner un effort continuel, égal à la force avec laquelle cet obstacle résiste. (JBP, XLI, Übers. S.147, Z. 42 – S. 148, Z.6)*

<sup>161</sup> Hier habe ich durch aufzählende Heraushebung und Verbesserung des Druckfehlers bei der Numerierung die Argumentation BERNOULLIS verdeutlicht.

BERNOULLI weist nach, daß NEWTON ein anderes Kraftgesetz angeben mußte.

*„Mir scheint, daß allein schon diese Betrachtung klar die Nichtigkeit der vorgeschlagenen Anziehung sichtbar macht. Denn wenn die Körper von Natur aus diese essentielle Qualität hätten, daß sie sich einer den anderen anziehen, dann ist es sicher, daß die elementaren Partikel schwer auf Grund ihrer Solidität wären und nicht infolge ihrer Oberfläche. Und so würde eine solche elementare Partikel bei einer Verdoppelung der Entfernung vom Körper, von dem er angezogen ist, eine Kraft erhalten, die nicht die zweite Wurzel, sondern die achte Wurzel aus der bei einfacher Entfernung wäre. Denn die Dichte, oder die Vielzahl der Strahlen, die von dem anziehenden Körper ausgehen und die Partikel treffen, müßte nach der Menge seiner Masse und keinesfalls der Größe seiner Oberfläche geschätzt werden. Hieraus folgt, daß sich die Kraft der Anziehung mit der dreifachen Potenz wie beim Würfelvolumen, und auf keinen Fall wie das Quadrat der Entfernungen verringern würde: Hieraus könnte man leicht herleiten, daß die gesamten Massen des Planeten keine andere Gravitation gegen die Sonne hätten, als die ihrer elementaren Partikel, deren Verringerung (der Anziehungskraft) sich in der dritten Potenz der Entfernungen ermitteln ließe.*

*Was wird aus dem System des Herrn NEWTON in bezug auf die Physik werden, wenn sein Fundamentalgesetz in Ruinen fällt? Ich erstaune darüber, daß nicht einer seiner übertriebenen Parteigänger bemerkt hat, welche Schwierigkeit aus der Hypothese der Anziehungskraft resultiert, die man wie eine essentielle Qualität nicht nur den größeren Körpern, sondern auch ihren elementaren Partikeln ohne Poren zuschreiben will. Diese (Hypothese) kann nicht fortbestehen, so wie wir es demonstriert haben, mit dem Gesetz, nachdem die Gravitation der Planeten sich im Verhältnis zur Entfernung von der Sonne verändern soll, damit sie elliptische Umlaufbahnen um diesen Stern, der in einem ihrer Brennpunkte plaziert ist, beschreiben.“<sup>162</sup>*

<sup>162</sup>

*„Je ne crois pas qu'on puisse rien prétendre de plus pour la cause de la pesanteur des Planètes vers le Soleil; l'explication courte, mais claire, que nous en avons donnée, comprends tous les éclaircissements qu'on pourroit demander sur diverses particularités & circonstances qui accompagnent la nature de cette gravitation. Car on voit 1°. que non seulement les corps de la Planète, pris dans son total, dois être pesant, mais que chacune de ses parties en son particulier le doit être aussi à proportion de sa masse, parce que la matiere du Torrent central pénètre & agit sur la Planète selon toutes ses dimensions sur les parties intérieures aussi-bien que sur les extérieures. On s'aperçoit 3°(sic). pourquoi les forces de la gravitation, que M<sup>rs</sup>. les NEWTONIENS attribuent à une vertu attratrice, doivent être entr'elles en raison réciproque des quarrés des Distances au Soleil, puisqu'il est évident, que les filets du Torrent se rétrécissent par les côtés, à mesure qu'ils s'aprochent du Soleil, & partant que leur densité, dont dépend l'estimation des forces absolus, observe cette proportion, tout comme les rayons aussi produisent une lumière dont les vivacités sont comme leur densité, c'est-à-dire, réciproquement comme les quarrés des distances du point lumineux. Il est clair 3°. que les particules élémentaires des corps grossiers (j'entends les plus petites, qui sont solides & et sans pores) ne reçoivent l'action de la pesanteur que par leur surface; puisque ces particules n'ayant point de pores ne peuvent pas admettre dans leur intérieur la matiere du Torrent, qui doit les rendre pesantes.*

*Il me semble que cette seule consideration fait voir clairement la nullité de la prétenduë attraction. Car fi les corps avoient de leur nature cette qualité essentielle de s'attirer l'un l'autre, il est certain que les particules élémentaires seroient pesantes en raison de leur solidité, & non pas de leur surface; & qu'ainsi une même particule élémentaire, à un éloignement double du corps dont il est attiré, en recevrait une force qui ne seroit pas sous-quadruple, mais sous-octuple de celle qu'elle reçoit à une distance simple; puisque la densité, ou la multitude des rayons qui partent du corps attirant, & qui saisissent la particule, devroit être estimée par la quantité de sa masse & non point de sa surface; d'où il s'enfuit que la force de cette attraction diminueroit en raison triplée comme. les cubes, & point du tout comme les quarrés des distances: delà on peut démontrer aisément, que les masses entieres des Planètes n'au-*

Nichts weiter ist ihm gelungen, als ein (nicht gerade unkompliziertes) Gegen- Denkmodell zu formulieren. Der Hinweis auf die Eigenschaft „Solidität an Stelle der Oberfläche“, läßt nur schwer erkennen, was er gemeint haben könnte. Ganz sicher aber hat NEWTON dies als Eigenschaft der Masse und nicht als der der Oberfläche konzipiert, das wird schon aus der Proportionalität zur Masse deutlich. Die Oberfläche wiederum lag aber BERNOULLI nahe, damit er das richtige Gesetz für die Planetenbewegung benutzt. Schließlich weiß er, der nachgewiesen hat, daß man Kegelschnitt- Bahnen nur nach dem NEWTONSCHEN Kraftgesetz erhält, ganz genau, wie wichtig also diese Eigenschaft ist. Überdies will er das Ganze auch noch gegen NEWTON richten, indem er einfach behauptet, wenn sich alles nach der Masse bemesse, sei die dritte Potenz in Rechnung zu bringen, da das Volumen dann eine Rolle spiele. Hier ist deutlich zu erkennen, daß alle Argumente zusammenkommen, wenn ein Mensch von der Widerlegbarkeit einer These überzeugt ist. Da hilft denn auch ein brillanter Verstand nichts.

### BERNOULLIS Auseinandersetzung mit dem Modell VILLEMOTS.

Das gleiche Prinzip wird nun auch auf die Planeten angewendet. Auch hier wird „siedende Materie des ersten Elementes“ unterstellt. Vermutlich - BERNOULLI geht nicht näher darauf ein - ist die Erfahrung der Erdwärme der Anlaß, gar nicht nach der Wärmequelle zu fahnden. Das wird hier ganz kurz gesagt und unter Hinweis auf mögliche Langeweile beendet.<sup>163</sup> Die Kapitel XLIV bis XLVI enthalten eine Auseinandersetzung mit einem Text von VILLEMOT<sup>164</sup>. Die Zitate aus diesem Text und deren Widerlegung sind glaubhaft und einsichtig. Insbesondere wird die Hydrostatik im Zusammenhang richtig benutzt. Auch die Experimente, die als Widerlegung ausgedacht werden, ergeben Sinn. VILLEMOT begeht noch einen weiteren Fehler (in BERNOULLIS Sinne), indem er annimmt, daß die Erde ein abgeflachtes Sphäroid sei mit der Nord-Süd-Achse als der kürzeren Achse. Dies passt, wie man weiter hinten sehen wird, ganz und gar nicht in BERNOULLIS Gedankengang. Er benötigt sogar das Gegenteil, also die Erdgestalt als langgestrecktes Sphäroid. Es ist logisch, daß er jetzt VILLEMOT erneut angreifen muß. Die von BERNOULLI favorisierte Erdform war überdies die in Paris in der Akademie herrschende Lehre, die es gegen die hauptsächlich von den NEWTONIANERN vorgebrachte abgeflachte Form zu verteidigen galt.<sup>165</sup> Die von CASSINI (le fils)<sup>166</sup> durchgeführte Messung war fehlerhaft. Sie wurde aber heftig verteidigt, und erst gegen Ende des Jahrhunderts ist das erste aus der Pariser Akademie stammende Eingeständnis der heute allgemein anerkannten Erdform zu finden.

---

*roient point d'autre gravitation sur le Soleil, que celle de ses particules élémentaires, dont la diminution se seroit en raison des cubes des distances.*

*Que deviendra donc le système de M. NEWTON par rapport à la physique, si son Fondement principal tombe en ruine ? Je m'étonne que pas un de ses partisans outrés ne se soit aperçu de l'inconvénient qui résulte de l'hypothèse des attractions, que l'on veut attribuer, comme une qualité essentielle, non seulement aux corps grossiers, mais aussi à leur particules élémentaires dépourvues de pores ; ce qui ne peut subsister, ainsi que nous l'avons démontré, avec la loi suivant laquelle la gravitation des Planètes doit varier par rapport aux éloignements du Soleil, pour qu'elles décrivent des orbites elliptiques autour de cet astre placé dans leurs foyers.“* (JBP, XLII, Übers. S. 148, Z. 23 – S.149, Z.16)

<sup>163</sup> „[...] Car naturellement chaque Planète principale, comme, par exemple, la Terre, qui tourne sur son propre axe, sera munie d'un Tourbillon particulier, & aura dans son centre une espèce de petit Soleil, je veux dire un amas de cette matière parfaitement liquide & bouillante, laquelle, avec les autres circonstances, doit produire en petit ce que la force du Soleil fait dans un degré beaucoup plus éminent.[...]“ (JBP, XLIII, Übers. S.149, Z.21 – 25)

<sup>164</sup> Villemot, Philippe, Nouveau système ou nouvelle explication du mouvement des planètes, Lyon 1707  
<sup>165</sup> s. auch meine Ausführungen zu MAUPERTUIS weiter vorne (S.42)

<sup>166</sup> Der Zusatz „le fils“ steht ausdrücklich bei der Autorennennung in den „mémoires“ der Pariser Akademie. S. auch Fußnote 418 in JBP S.150/151.



## Nachweis, daß die Planeten nicht von dem tragenden Wirbel bewegt werden.

Die von BERNOULLI als weiteren Beleg herangezogene Arbeit von DE MAIRAN<sup>167</sup>, einem Mathematiker und Mitglied der Pariser Akademie, geht sehr ausführlich auf die Erdgestalt ein. Ich komme an späterer Stelle auf sie zurück. BERNOULLI deutet ja auch in Kapitel XLVI an, daß er seinen ZENTRALSTROM für noch weitere Zwecke nutzen will.

Die Kapitel XLVII bis XLIX dienen zur Berechnung der Umlaufgeschwindigkeit der gesamten Wirbelmaterie im Verhältnis zur Bahngeschwindigkeit der Planeten. Die angegebenen Zahlenwerte sind nach heutiger Sicht nur ungefähr richtig. BERNOULLI gibt für den mittleren Erdbahnradius, von mir nach heutigem Maß umgerechnet, 140 360 000 km gegenüber 149 597 870 km an. Der Wert ist also ca. 6% zu klein. Auch der anschauliche Vergleich mit den 100 Erdradien ist um 8% zu klein. Es kam aber offenbar auf eine Abschätzung an. Da machen diese Abweichungen nicht sehr viel aus. Viel wichtiger dabei sind Rundungen auf natürliche (und möglichst kleine) Zahlen. BERNOULLI berechnet für die Erddistanz den Zahlenwert der Umlaufgeschwindigkeit flüssiger Materie in einem Wirbel, der von der rotierenden Sonne angetrieben wird, und ermittelt dann die Zahlen für die anderen Planeten aus einfacher Proportion. Natürlich ist es mathematisch klar, daß der Faktor für jeden Planeten 230 ist. Das ist also kein neu gefundenes Gesetz, sondern von BERNOULLI in die Berechnung hineingesteckt worden. Die Rechnung dient hauptsächlich zum Beleg dafür, daß die Geschwindigkeiten der Planeten auf ihren Bahnen NICHT durch die im Kreis bewegte Materie verursacht worden sein können, wenn diese Materie als Flüssigkeit betrachtet wird. BERNOULLI sagt zu Recht, daß keine größere Geschwindigkeit erreicht werden kann, als diejenige, die die Flüssigkeit selbst hat. Mit großem Vergnügen stimmt JOHANN BERNOULLI nun NEWTON zu, daß die Geschwindigkeiten der Planeten primär seien und von Anbeginn an eingepreßt. Physikalisch bedenklicher ist es schon, daß er meint, sie dauerten auch bis zum Ende der Welt an. Natürlich war es sein Bestreben, hier nicht in Widerspruch zu NEWTON zu geraten.<sup>168</sup>

## Erneuter Hinweis auf Unzulänglichkeiten bei NEWTON.

In den Kapiteln L-LI haben wir dann eine erneute Attacke auf NEWTON. Er zitiert NEWTON aus dem Scholium Generale (Ende 2. Buch) (s. JBP, L. im Anhang und Fußnote), wonach er angesichts der Regelmäßigkeit der Bewegungen der Planeten und Satelliten und der Unregelmäßigkeit der Kometenbewegung gar nicht anders gekonnt habe, als zu bekennen, daß die Anziehungskraft ein Wunder sei. Insbesondere habe er selbst (JOHANN BERNOULLI) nachgewiesen, daß aus der Anziehungskraft nach der Proportionalität mit  $\frac{1}{r^2}$  die Bahnkurve als Kegelschnitt folge.<sup>169</sup> NEWTON könne weder die Ursache der Anziehung nennen, noch sei er in der Lage die Bewegung der Planeten in einer Richtung im ZODIAK zu erklären. NEWTON hat also in diesen Punkten nach Meinung JOHANN BERNOULLIS versagt, was gegen sein System spricht. Gründe, die nicht mechanisch seien, seien folglich nicht natür-

<sup>167</sup> De Mairan, Dortous de, Recherches Géométriques sur la Diminution des degrés terrestres. In: Mémoires de l'Académie Royale de Paris 1720, S. 231

<sup>168</sup> [...] „Il faut donc que la grande vitesse, avec laquelle les Planètes circulent autour du Soleil, ait un autre principe; c'est pourquoi je ne fais point de difficulté de statuer ici, avec M. NEWTON, que cette vitesse est primitive, qui leur été imprimée des le commencement de leur formation. Cette vitesse dure encore aujourd'hui, & durera sans doute jusqu'à la fin du monde, sans que la résistance de la matière du Tourbillon puisse lui causer le moindre retardement sensible:[...]“ (JBP XLIX, Übers. S.153, Z.26-36.)

<sup>169</sup> Extrait de la Réponse de M. Bernoulli à M. Hermann, datée de Basle le 7, Octobre 1710, Mémoires de l'Académie Royale Paris, 1710, pp.521-533

lich und nicht physikalisch. Es sei eines großen Philosophen unwürdig, zu Wundern seine Zuflucht zu nehmen.<sup>170</sup>

### Die Entstehung der allgemeinen (Himmels-) Bewegungsrichtung.

Anschließend (Kap. LII- LIV) folgt JOHANN BERNOULLIS Erklärung der zu beobachtenden allgemeinen Rechtläufigkeit der Planeten und Satelliten, indem alles zuerst in beliebiger Bewegung gewesen sei (wie heute noch bei den Kometen zu sehen sei), durch den Rotationsseinfluß des Wirbels aber nach und nach in diese Richtung gezwungen worden sei. Dies vor allem deshalb, weil die Planeten quasi nie die Region des Wirbels verließen, die Kometen jedoch sehr stark gegen die Ekliptik geneigte Bahnen hätten und sich damit die meiste Zeit außerhalb der Wirbel aufhielten. Die Argumentation ist allerdings mathematisch ziemlich notleidend. Erstens spricht JOHANN BERNOULLI von „senkrecht zum Sonnenleitstrahl“ als Bewegungsrichtung. Dies ist angesichts einer Ellipse etwas merkwürdig, zumindest wäre zu erwarten, daß er die annähernde Kreisgestalt der Bahnen als eines Kommentars würdig betrachtet hätte. Stärker aber ist zu kritisieren, daß er die beobachtete leichte seitliche Ablenkung von Geschossen als Analogie benutzt. Bei der konstanten Richtung seines Zentralstroms kann er damit kaum die Umlenkung auf Gegenkurs erklären, denn die ablenkende Komponente wird permanent kleiner mit erreichtem Ablenkwinkel. Spätestens bei 90° ist sie null. Als Beleg wird HALLEY und der Komet von 1680 zitiert. Anschließend bringt er noch eine etwas gewagte Vorhersage, die den sog. HALLEYSCHEN Kometen betrifft: Sein Wiedererscheinen würde von HALLEY für 1758 vorhergesagt. Dessen Orbit habe eine Inklination von 17°56' (gegenüber der Inklination von 60° des als Beleg benutzten Kometen von 1680). Nach BERNOULLIS Theorie werde es sich zeigen, daß beim Wiedererscheinen 1758 dessen Inklination abgenommen habe. Dies geschehe, weil der periodische Komet so häufig in den Bereich des Wirbels eintauche. Wenn dies zu messen sei, fühle er seine Theorie vollkommen bestätigt<sup>171</sup>. Damit endet der zweite Teil von JOHANN BERNOULLIS Werk.

### Die Erklärung der Rotation der Himmelskörper.

Zu Beginn des dritten Teils beschäftigt sich JOHANN BERNOULLI zuerst mit der Rotationsrichtung von Westen nach Osten, wobei die Frage im Vordergrund steht, warum alle Planeten und deren Satelliten diese Rotationsrichtung einhalten. [ Hier ist anzumerken, daß bei weitem noch nicht alle Satelliten bekannt waren. Insbesondere waren bei Saturn nur 5 Monde bekannt und gerade der 6. entdeckte (von heute nachgewiesenen 18 Monden und 2 vermuteten) ist gegenläufig ]. BERNOULLI findet es passend, zuerst ein etwas abstruses Beispiel von Theorie von DE MAIRAN<sup>172</sup> durch ein durchaus elegantes Gedankenexperiment zu widerlegen. Es ist im Text deutlich zu spüren, daß er gar nicht daran denkt, das Experiment wirklich auszuführen, denn das Ergebnis kennt er ja bereits. Aber es paßt stilistisch hier hin, denn BERNOULLI benutzt die Widerlegung als Einleitung zu seiner Lösung durch den ZENTRAL-

<sup>170</sup> „[...] Si ces causes ne sont pas mécaniques, elles ne sont donc pas naturelles ou physiques; mais sied-il bien à un grand Philosophe de crier au miracle, quand il s'agit de donner l'explication d'un phénomène que la nature nous présente.(JBP, L Übers. S.154, Z11-14)

Par la théorie que je viens d'établir, on trouve un expédient assés facile, pour montrer la cause de la dite régularité du mouvement des Planètes, & de l'irregularité de celui des Cometes [...] Mais ces forces centripètes, qui sont, dans ma thérie, les pressions du Torrent central, étant en réciproque de quarré des distances au Soleil, il est visible, par la démonstariion indirecte de M. NEWTON, & par celle qu'on en a donnée ensuite a priori, que cette orbite doit être une Ellipse, dont un des foyers est dans le centre du Soleil.“ [...] (JBP, LI) (Unterstreichung von mir). Übers. S. 154, Z.16 - 34

<sup>171</sup>

<sup>172</sup>

„Si cela arriveroit, ma conjecture deviendroit une vérité certaine“ (JBP, LIV, S.157, Z.15)  
de MAIRAN, Dortous de, Nouvelles Conjectures sur la cause du mouvement diurne de la terre sur son axe d'occident en orient, Mémoires de l'Académie Royale des Sciences 1729

STROM. Der Gedankengang beginnt in Kap. LVII und entwickelt die Genese der Bewegung des Planeten. Zuerst wird der Planet ohne Rotation und in Ruhe gedacht. Der ZENTRALSTROM wirkt und drückt ihn mit einer Beschleunigung reziprok zum Quadrat des Sonnenabstandes gegen die Sonne. Daraus resultiere keinerlei Rotation. Wenn aber der Planet eine seitliche Bewegung hat, wie bereits dargestellt, dann besteht kein Gleichgewicht mehr. Die Seite des Planeten in Richtung seiner Seitwärtsbewegung gäbe nach, und die andere Seite werde von den zu verlassenden Teilen des ZENTRALSTROMES angeschoben und bewege sich umgekehrt. Und dies lasse sich sowohl auf die tägliche Bewegung, wie auch auf die Jahresbewegung anwenden, womit das Problem erläutert wäre.<sup>173</sup> Das folgende Kap. LVIII dient nochmals der Erläuterung. Erstens wird deutlich gemacht, daß sich der oben geschilderte Vorgang in allen Schichten des Planeten abspiele. Zweitens wird erneut ein alltägliches Bild zur Verdeutlichung vor Augen gestellt: Der Katarakt (Wasserfall), der ein Mühlrad bewegt. Hier wird offensichtlich noch nicht auf die Rolle der befestigten Achse und den auftretenden Zwangskräften eingegangen, sondern nur darauf, daß, in Abweichung vom Beispiel hier, durch den Zentralstrom ein zweiter Wasserfall auf der Gegenseite des Mühlrades gedacht werden müsse, die Wirkung auf der Kraftdifferenz beruhe.<sup>174</sup> Da JOHANN BERNOULLI die ganze Bewegung als in langer Zeit ablaufend und den heutigen Zustand schließlich als Ergebnis dieser langzeitigen Einwirkung betrachtet, muß er die Unterschiede, die immer noch bestehen, erklären. Das findet in Kap. LIX-LXII statt. Er zählt alle die verschiedenen Parameter auf, wobei ihm die Rotationsgeschwindigkeit und die Dichte der Planeten besonders wichtig sind. Als Beleg dient ein Vergleich zwischen Jupiter und Erde<sup>175</sup>, wobei BERNOULLI natürlich gerne auf Daten zurückgreift, die NEWTON in seinem Werk gegeben hat.

<sup>173</sup> „[...] l'équilibre & le parallélisme du mouvement des Parties ne peut plus se soutenir: la raison en est manifeste; car il est très-clair que les parties antérieures de la Planète, qui se trouvent du côté où elle tend, vont en quelque façon au devant & à la rencontre des filets du Torrent que la Planète est prête à traverser, au lieu que les parties de l'autre côté fuient en quelque manière ceux des filets qu'elles vont quitter; ce qui fait que la Planète est frappée sur le devant avec plus de force que sur le dos. Il faut donc que le côté antérieur cede au Torrent, c'est-à-dire, qu'il descende, & que la côté postérieur monte contre l'action du Torrent; & cela continuant toujours, la Planète à mesure qu'elle avance sur son orbite, est obligée de pirouetter avec une vitesse proportionnée à cet excès de force. On voit donc d'abord, sans l'expliquer davantage, que ces deux mouvements, le diurne & l'annuel, doivent se faire en même sens, savoir d'Occident en Orient. (JBP, LVII; s. Übers. S. 159, Z. 27 - 39)

<sup>174</sup> „[...] Cette force du Torrent central, qui frappe avec plus d'énergie la partie antérieure de la Planète & de son Tourbillon particulier à la force d'eau d'une cataracte, laquelle se précipitant sur les ailes d'une roue de moulin la fait tourner sur son axe; car quand même, à l'opposé de cette cataracte, il y en auroit une autre, mais moins forte, tombant sur les ailes diamétralement opposées, celle-ci feroit à la vérité un effort sur la roue pour la faire tourner à contre-sens; mais la première, l'emportant sur l'autre, ne laisseroit pas de faire pirouetter la roue de son côté, quoiqu'avec moins de vitesse qu'elle ne feroit sans son antagoniste.“ (JBP, LVIII, Übers. S. 160, Z.9-17.

<sup>175</sup> Die Berechnungen Bernoullis seien hier kurz wiedergegeben: Als erstes vergleicht BERNOULLI die Dichten von Erde und Jupiter. Hierbei werden sehr wohl NEWTONS Werte übernommen. Es erhöht sogar den Reiz, mit den Werten des Gegners seinen eigenen Beweis zu untermauern. Nach dem Abstandsverhältnis (alle anderen Größen werden erst konstant gehalten) ergibt sich zuerst ein Verhältnis zwischen den Planeten von 4:1. Nun kommt das Dichteverhältnis hinzu (NEWTONS Werte). BERNOULLI nimmt 5:1, nach heutigen Werten hätte man  $5,514:1,33 = 4,15$ . Dies verändert das Verhältnis zu 20:1. Jetzt kommen die Achseninklinationen in die Berechnung. BERNOULLI gibt  $23,5^\circ$  gegen  $0^\circ$ . (Heutige Werte  $23,45^\circ$  gegen  $3,07^\circ$ ). Der Widerstand wird jetzt nach BERNOULLIS Arbeit „Es sai d'une Nouvelle Théorie de la Manoeuvre des Vaisseaux“, Basel 1713, ausgerechnet. Der Widerstand wird vom Quadrat des Sinus des Komplementwinkels beeinflusst. Also wird gerechnet:

## Die Regel für die Rotationsgeschwindigkeiten der Planeten.

Aus der vorgestellten Rechnung für dieses Planetenpaar zieht er dann eine allgemeine Regel:

*„Man muß folgende vier Verhältnisse dividieren oder multiplizieren, welche sind: das umgekehrte Verhältnis des Quadrates der Distanzen zur Sonne; das direkte Verhältnis des Quadrates des Durchmessers; das umgekehrte einfache Verhältnis der Dichten und das direkte Verhältnis des Quadrates des Sinus des Komplementwinkels (cosinus, Übers.) der Inklination der Achsen zu den Ebenen des Umlaufs: Das Ergebnis wird das Verhältnis der Rotationsgeschwindigkeiten der jeweiligen Äquatoren ergeben.“*

Dies führt über eine weitere („wahrscheinliche“) Überlegung zu einer neuen Regel:

*„Die Dichten der planetarischen Körper sind reziprok proportional ihrer Distanzen zur Sonne. Und die gleiche Regel sollte auch für deren Satelliten in bezug auf die Entfernungen zu ihren Hauptplaneten gelten.“<sup>176</sup>*

Es ist erstaunlich, wie leicht aus wenig Daten und viel Phantasie Regeln geschöpft werden können.

## Merkwürdige Fehleranalyse bei der Überprüfung der Regel.

In Kap. LXII wird die Theorie nochmals auf Venus übertragen. Hier wird auf die Astronomischen Daten zurückgegriffen. Der zitierte Autor, FRANCESCO BIANCHINI, war auswärtiges Mitglied der Pariser Akademie, Canonicus und Sekretär des späteren Papstes Alexander VI. II.<sup>177</sup> Die Neigung der Venusachse gegen die Bahnebene mit etwa 3° ist wohl noch unbekannt. Statt dessen werden die Werte verwendet, mit der wir auf VENUS schauen, was absurde Größen von einem Wert zwischen 90° und 75° liefert. Es ist also ein Mittelwert gefragt. Es wird 80° genommen. Eine Begründung dafür gibt es nicht. Die Rechnung liefert einen zu kleinen Wert von 20 <sup>1</sup>/<sub>3</sub> Tagen Umlaufzeit. Eine kleine Fehlerbetrachtung zeigt, daß 81° einen zu großen Wert liefern würde. Voller Freude konstatiert BERNOULLI, er habe es zu einer solch großen Präzision gebracht, daß Abweichungen von weniger als 1° in Betracht gezo-

Für Jupiter gilt  $\sin 90^\circ = 1$ , das Quadrat also auch 1

Für die Erde ist  $\sin(90^\circ - 23,5^\circ) = 0,917$ ; das Quadrat somit 0,841.

$5/6 = 0,833$ , ist ungefähr gleich 0,841.

Damit haben wir den Faktor 5/6 und das resultierende Verhältnis 24:1.

Jetzt spielt noch das Verhältnis der Durchmesser eine Rolle. BERNOULLI nimmt 10:1 (heutige Werte 142796:12756=11,2) und heraus kommt, daß die Sache mit den Beobachtungen übereinstimmt.

<sup>176</sup> *„[...] Il faut composer ou multiplier ensemble ces quatre raisons, savoir, la raison inverse du carré des distances au Soleil; la raison directe du carré des diamètres; la raison simple inverse de densités; & la raison directe du carré des sinus du complément des inclinaisons des axes sur les plans des orbites: le produit donnera la raison des vitesses rotatives des équateurs.*

*Mais n'y ayant aucune observation qui puisse nous apprendre les densités des Planètes, il faudra se contenter de quelque conjecture probable. Or si on veut accepter ce que M. Newton a trouvé par sa supputation, que la densité de Jupiter est à celle de la terre à peu près comme 1 est à 5, c'est-à-dire, réciproquement comme leur distances au Soleil; & comme d'ailleurs il paroît fort probable, que les Planètes les plus denses occupent les plus basses régions dans le Tourbillon solaire; on seroit porté à établir pour un principe general, que les densités des corps planétaires sont réciproquement proportionnelles à leurs distances au Soleil. La même chose devoit s'entendre des Satellites, par raport aux distances à leurs Planètes principales.[...]*“(JBP, LXI; Kursivsatz im Original, Hervorhebungen durch Unterstreichung von mir, Übers. S. 161, Z.41 – S.162, Z.8)

<sup>177</sup> BIANCHINI, Francesco, Hesperii et Phosphori nova phenomena, sive Observationes circa planetam Veneris, Roma 1728.

gen werden müßten. Das ist also alles für ihn zufriedenstellend. Und zum Schluß noch ein kleiner Hieb gegen NEWTON: Vielleicht handele es sich ja auch um die von NEWTON behauptete Nutation, wenn es denn eine gäbe. Diese sei „so unfühlbar, daß sie kaum Aufmerksamkeit verdient“.<sup>178</sup> Die Neigung der Rotationsachse wird durch ungleiche Massenverteilung um das Zentrum der Gravitation, „*welches ich lieber vielmehr das Zentrum der Trägheit nennen möchte*“;<sup>179</sup> erklärt. Hier findet sich der feine Unterschied zwischen Schwere und Trägheit, auf dem auch NEWTON schon bestanden hatte. JOHANN BERNOULLI hatte vor der Abfassung dieser Arbeit sich schon einmal zum Thema geäußert und dabei eine Position viel näher zu NEWTON bezogen als an dieser Stelle.<sup>180</sup>

### Neue Kritik an NEWTON.

In Kap. LXVI wird dann eine neue Kritik an NEWTONS System vorgebracht. In seiner Forderung nach leerem Raum um die Himmelskörper habe er bei der Erklärung der Bewegung der Apsidenlinien zu gegenseitigen Einflüssen der Planeten untereinander seine Zuflucht nehmen müssen. Dem sei schon entgegeng gehalten worden, daß z.B. Jupiter als der größte beeinflussende Planet diese Bewegung der Apsidenlinie teils nach Osten teils nach Westen abweichend gestalten müsse. Es sei aber zu beobachten, daß auch diese Bewegung sich stets in der gleichen Richtung vollziehe. BERNOULLI bricht dann in Kap. LXVII in den Ausruf aus:

*„Unsere Theorie dagegen versieht uns mit einer Erklärung dieses Phänomens, welches sehr einfach und sehr natürlich ist, wenn auch unterschiedlich von der, die ich an anderer Stelle gegeben habe. Hier also diese neue Erklärung, die aus den Prinzipien begründet ist, die ich in diesem Diskurs dargestellt habe.“*

Zuerst werden nochmals die Theorien der Vorgänger und deren Schwierigkeiten vorgebracht, um dann die eigene angekündigte Erklärung zu geben, nicht ohne am Ende auch noch eine kleine Verbeugung vor den Preisrichtern zu machen:

*„Da er aber nach wie vor von Westen nach Osten zirkuliert und niemals aufhört, wird seine Wirkung nicht nur darin bestehen, die Geschwindigkeit des Planeten fühlbar zu ändern, sondern auch wenigstens darin, ein wenig jeden Punkt des Orbits nach vorne zu verschieben. Daraus folgt offensichtlich, daß der Orbit selbst sich in einer gleichmäßigen Bewegung zu befinden scheint, aber sehr langsam, um seinen Brennpunkt, wobei folgerichtig die Scheitel in genau der gleichen, unformen Langsamkeit mitgenommen werden in der gleichen Richtung von Westen nach Osten.*

*Da haben wir also eine Erklärung, die, wie mir scheint, einfach und nicht weniger klar ist, für dieses Phänomen, das durch seine Bedeutung würdig gefunden wurde, der Gegenstand des Preisausschreibens der berühmten Akademie im Jahre 1730 zu sein.“<sup>181</sup>*

<sup>178</sup> „[...] si ce n'est peut-être cette petite nutation ou libration, s'il y en a une, dont parle M. NEWTON, mais qui est si insensible, qu'elle ne mérite point d'attention.“ (JBP, LXII, Übers. S.163, Z. 8-10)

<sup>179</sup> „[...] si les parties heterogènes d'une Planète sont trop inégalement distribuées autour du centre du globe, en sorte que le centre de gravité (que je nommerois plutôt le centre d'inertie) de toute la masse, differe beaucoup du centre de figure, je dis que c'est justement cette inégale distribution, qui est la cause de l'obliquité de l'axe de rotation, ou qui fait pencher cet axe sur le plan de son orbite; voici la maniere dont je conçois la chose. (JBP, LXIII, Übers. S.163, Z. 23-28)

<sup>180</sup> BERNOULLI, Jean, De causis physicis ellipticarum figurarum, (Nouvelles pensées sur le système de Descartes et la maniere d'en déduire les orbites et les aphélie des planetes), prix, Paris 1730

<sup>181</sup> „[...] Mais comme il circule toujours d'Occident en Orient, & ne cesse jamais; son effet sera, non pas de changer la vitesse sensible de la Planète, mais au moins d'en faire anticiper un peu la direction en chaque point de l'orbite; d'où il s'ensuit visiblement que l'orbite elle-même paroitra circuler d'un mouvement uniforme, mais très-lent, autour de son foyer, & transporter par conséquent les apsides avec la même lenteur uniforme, & dans la même direction d'Occident en Orient.

Damit schließt der dritte Teil der Arbeit. Im vierten Teil wird dann endlich die Preisfrage angegangen.

### JOHANN BERNOULLI wendet sich der eigentlichen Preisfrage zu.

Dies kann JOHANN BERNOULLI aber nicht tun, ohne sich vorerst einmal selbst zu loben und dabei auch etwas der Akademie und den Preisrichtern zu schmeicheln. Dabei plädiert er für sich, daß seine Vorschläge als physikalische Gründe zumindest als sehr wahrscheinliche Entwürfe zu gelten hätten. Sie seien nämlich einfach und klar. Darauf findet er fließend den Übergang zu einigen schmeichelhaften Bemerkungen über die Preisrichter.<sup>182</sup> Weitere Vorreden und schmeichelhafte Bemerkungen folgen noch.

Zuerst kommt nochmals eine Auseinandersetzung mit den Gedanken von DESCARTES und den CARTESIANERN, daß der gesamte Wirbel nicht die gleiche Geschwindigkeit haben könne.

### Die Neigung der Planetenbahnen ist eine „Abtrift“. Eine nautische Erklärung.

Dann leitet JOHANN BERNOULLI seine Gedanken über zur Begründung seiner Antwort auf die Preisfrage. Seine Antwort ist aus der Nautik entnommen und lautet verkürzt: „Es handelt sich um eine Art Abtrift, also eine Abweichung des schwimmenden Körpers vom Ruderkurs, ein seitliches Versetzt-werden“. BERNOULLI bezieht sich dabei auf ein von ihm als Buch veröffentlichtes Werk<sup>183</sup> zur Handhabung und Theorie von Schiffen. Alle Erklärungen verlaufen dort über die unterschiedlichen Widerstände der Schiffsflächen parallel oder quer zum Kiel. Der Widerstand wird dabei in Proportionalgleichungen ausgedrückt. Die heutige Darstellung über Vektoren der beteiligten Kräfte findet nur indirekt Eingang über Dreiecke, meist rechtwinklige Dreiecke, die sozusagen in der damaligen Sprache die Komponentenzerlegung darstellen. Ich zitiere (in Übersetzung) die ersten beiden Kapitel seiner Schrift, die seine hier verwendeten Überlegungen wiedergeben:

*„I. Die jeweiligen Kräfte, mit denen eine flüssige Materie Widerstand ausübend auf verschiedene ebene Oberflächen schlägt, die in verschiedenster Weise gegen die Stromlinien geneigt sein können, haben alle eine senkrechte Richtung zu jeder Oberfläche. Ferner stehen sie im quadratischen Verhältnis der Sinus der „Inzidenzwinkel“<sup>184</sup>, wenn diese Oberflächen gleich sind. Dies ist eine von aller Welt akzeptierte Wahrheit, die sich auch leicht demonstrieren läßt: Wenn man z.B. die Flüssigkeit wie eine Anhäufung von kleinen Kugeln ansieht, deren Bewegung uniform und parallel ist, dann sieht man klar, daß jede Kugel die Oberfläche, die sie trifft, längs der geraden Linie durch ihren Mittelpunkt und den Anstoßpunkt stößt. Diese ist aber immer senkrecht zur Oberfläche. Oder auch: die Zahl dieser Kugeln, die eine bestimmte Oberfläche in einer gegebenen Zeit stoßen, stehen im*

---

*Voilà une explication, ce me semble, bien simple & pas moins claire, d'une phénomène, qui par son importance fut trouvé digne par illustre Académie d'être proposé pour le sujet du prix de 1730.“ (JBP LXVII, Übers. S. 165, Z. 45 – S.166, Z.3)*

<sup>182</sup> „[...] les raisons physiques, que j'ai tirées de ma théorie pour expliquer ces faits, me paroissent telles qu'on les pourra envisager pour le moins comme des conjectures très-probables, sur-tout à cause de la simplicité & de la clarté des principes sur lesquels j'ai bâti mon système. J soumets cependant le tout à la décision de mes Juges, sages & éclairés, accoûtumés à ne prononcer leur sentence qu'en faveur de la solidité du raisonnement....“ (JBP, LXVIII, S.166, Z. 7 - 13)

<sup>183</sup> BERNOULLI, Jean, ESSAI D'UNE NOUVELLE THEORIE DE LA MANOEUVRE DES VAISSEAUX; Basel 1714. Abgedruckt in OPERA OMNIA, Tome II, P.10 ff

<sup>184</sup> Unter dem Inzidenzwinkel (l'angle d'incidence) versteht BERNOULLI offensichtlich, wie aus anderem Zusammenhang hervorgeht, den Winkel zwischen der Einwirkungsrichtung der Kraft und der (Tangential-) Ebene der Oberfläche, auf die die Kraft wirkt.

*Verhältnis des Sinus des Inzidenzwinkels, und die Kraft, mit der jede Kugel stößt, steht ebenfalls in dem gleichen Verhältnis gemäß gemeinsamer Prinzipien. Es ist klar, daß das Verhältnis der Gesamtkräfte, oder auch der Relativkräfte, mit denen zwei ebene Oberflächen gestoßen werden, auch wenn sie verschieden geneigt sind zur Stromrichtung, im quadratischen Verhältnis der Sinus stehen muß. II. Wenn aber die Oberflächen nicht gleich sind, dann also sind die Einwirkungen, die sie von der flüssigen Materie empfangen, im Verhältnis des Produktes aus dem Quadrat der Sinus der Inzidenzwinkel und der einfachen Größe der Oberflächen.“*

Wie man sieht, ist die Komponentenzerlegung richtig, auch der Wasserwiderstand in etwa richtig, wobei die Flüssigkeit allerdings, wie auch bei NEWTON, in stark idealisierter Form unterstellt wird.

### Die Ursache der „Abtrift“ liegt in der Form des Planeten.

Da nun Planeten nicht von Rudern dirigiert werden, muß nach BERNOULLI, die Ursache in den Planeten selbst gesucht werden und wird von ihm in ihrer Form gefunden. Zuvor kommt noch ein kurzer Ausblick zu den Vorläufern, hier zu KEPLER:

*„[...] Aber muß man vielleicht seine Zuflucht zu einer anderen Ursache nehmen, die von weitem auf den Planeten einwirkt, um ihn von der Richtung des Wirbels abzulenken, wie nach dem Gefühl von KEPLER und einigen anderen nach ihm, die eine Art von immateriellem Magnetismus, der aus der Sonne stammen soll, eingeführt haben, der fähig wäre, Lage und Kurs der Planeten zu ändern? Aber diese Vision, die nicht wertvoller als die Anziehungskräfte ist, ist genau so obskur wie okkulte Qualitäten.*

*Gehen wir also nicht so weit und suchen den wahren Grund unseres Phänomens in dem Körper des Planeten selbst. Man wird ihn sicher dort finden, was viel leichter anzunehmen ist, da er nicht nur die Tatsache selbst erläutert, sondern auch die Umstände, die ihn begleiten, gestützt auf Beobachtungen der exaktesten Art, und dies ist ein unzweifelbares Kennzeichen, daß es sich hier um etwas mehr, als nur einen plausiblen Entwurf handelt.“<sup>185</sup>*

Im oben zitierten Buch spielt bei allen Untersuchungen die Form des Schiffes eine wesentliche Rolle, was ja auch dem Gegenstand entsprechend völlig einsichtig ist. Da die Planetenbewegung in ähnlicher Weise betrachtet wird, muß die Form des Planeten jetzt wieder in den Vordergrund treten. Zufällig kulminiert zur gleichen Zeit die wissenschaftliche Debatte um die Form der Erde, wobei wieder der Gegensatz zwischen britischer Insel und Kontinent eine Rolle spielt. JOHANN BERNOULLI zitiert auch die Vertreter der Erdform „abgeplattetes Ellipsoid“, NEWTON und HUYGENS, die sich auf Pendelmessungen, sowie auch auf Beobachtungen am Jupiter stützen. Es genügt für ihn, erst einmal festzustellen, daß die Erde unstreitig ein Ellipsoid ist. In der Folge allerdings benötigt er für seine Theorie, daß dieses Ellipsoid ein langgestrecktes Ellipsoid ist, daß also der Erddurchmesser von Pol zu Pol größer ist, als der des Erdäquators. Damit steht er im Widerspruch zu NEWTON und HUYGENS,

<sup>185</sup>

*„[...] Mais faut-il peut-être recourir à une autre cause, qui agisse de loin sur la Planète, pour la détourner de la direction du Tourbillon, selon le Sentiment de KEPLER, & de quelques autres après lui, qui ont introduit une espece de magnétisme immaternel émanant du Soleil, & capable de changer la situation & le cours des Planètes? mais cette vision, qui ne vaut pas plus que les attractions, est aussi obscure que les qualités occultes.*

*N'allons donc pas si loin, & cherchons la véritable cause de nôtre phénomène dans le corps même de la Planète; on l'y trouvera sûrement, d'autant plus recevable, qu'elle ne developpe pas seulement le fait, mais aussi les circonstances qui l'accompagnent, indiquées par les observations les plus exactes; marque indubitable, qu'il y a ici quelque chose de plus qu'une simple conjecture plausible.“ (JBP, LXXI, Übers. S. 168, Z40 - 50)*

aber im Einklang mit dem französischen Mathematiker Dortous de MAIRAN und dem Direktor der Pariser Sternwarte Jaques CASSINI (le fils), sowie weiteren dortigen „CARTESIERN“.

Zuerst also untersucht JOHANN BERNOULLI in den Kap. LXXVI – LXXXV welche Abtrift nach seiner Theorie ein abgeplattetes Ellipsoid mit geneigter Achse erfahren müßte, wobei die aus den verschiedenen Bahnen resultierenden Knoten eine wichtige Rolle spielen. Er findet, daß der nördliche und südliche Knoten der Erdbahn so beschaffen sind, daß die Figur der Erde nur ein langgestrecktes Ellipsoid sein kann, denn nur bei diesem passen die Richtungen der Übergänge von Süden nach Norden mit den Beobachtungen überein. Dies ist am besten nachzulesen in den entsprechenden Kapitel von JBP im Anhang, dort sind auch die Zeichnungen wiedergegeben, an denen JOHANN BERNOULLI seine Theorie erläutert.

### BERNOULLI ist sicher, daß die Erde die Gestalt eines langgestreckten Ellipsoides hat.

Nun ist BERNOULLI, wie er glaubt, in der glücklichen Lage, zu wissen, welche Gestalt die Erde hat, bzw. falls man seine Theorie akzeptiert, den Streit zu entscheiden. Zwar gibt er zu, daß NEWTON und HUYGENS gute Gründe für die Gestalt eines abgeplatteten Ellipsoides anführen, aber, und jetzt kommen wieder die Pfeile in Richtung Insel, da ist Herr CASSINI, der 1713 in den „Mémoires“<sup>186</sup> seine Messungen über die Gestalt der Erde publizierte, im gleichen Jahr, so fügt JOHANN BERNOULLI an, in dem NEWTON die zweite Auflage seiner „Principes Phil.“ (Diktion BERNOULLI) herausgab, allerdings ohne CASSINI irre machen zu können. Überdies wiederholt doch dieser NEWTON nicht nur seine irrigen Behauptungen, sondern fügt auch noch zusätzlich eine Liste von Messungen bei, nach denen die Erde ein abgeplattetes Sphäroid sei. Als ob so etwas schon eine beschlossene Tatsache sei<sup>187</sup>. Nun gab es erfreulicherweise noch weitere Schützenhilfe durch den schon erwähnten Mathematiker de MAIRAN<sup>188</sup>.

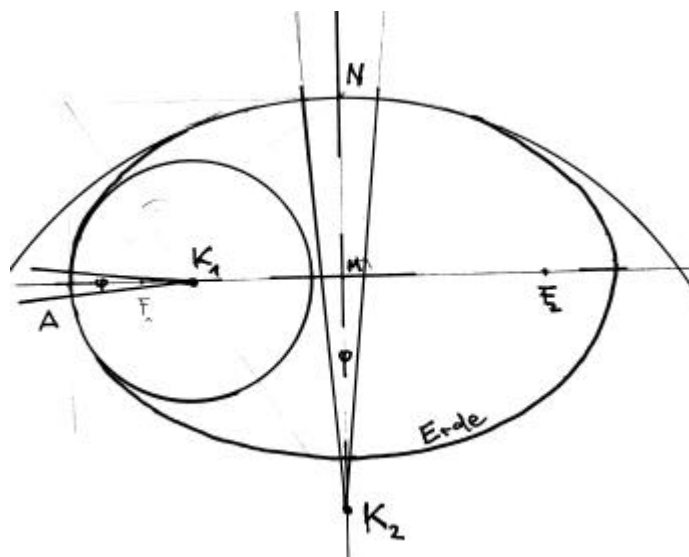
<sup>186</sup> CASSINI (le fils), de la figure de la terre, mémoires de l'Académie des Sciences Paris, 1713, p. 188. Dies wurde auch noch 1718 als Monographie veröffentlicht unter dem Titel: „De la grandeur de la terre et de sa figure“. Die französischen Messungen wurden von G.D. CASSINI mit Hilfe von MARALDI, GIACOMO FILIPPO, 1665- 1729, seinem Neffen, und de la HIRE vorgenommen. Die Vermessung wurde von seinem Nachfolger und Sohn Jacques CASSINI(II), 1677-1756, fortgesetzt. CASSINI (II) ist es, auf den sich BERNOULLI bezieht. Dieser veranlaßte auch 1733, dem Jahr der vermutlichen Niederschrift dieser Arbeit BERNOULLIS hier, daß eine große trigonometrische Vermessung Frankreichs begonnen wurde, die wiederum dessen Sohn Domenico 1793 vollendete). Der Streit um die Erdgestalt wurde durch Vermessungen in Peru 1736-43 und in Lappland (MAUPERTUIS) zu entscheiden versucht und entschieden. Leider erwies sich, daß die anfänglichen Messungen fehlerhaft waren.

<sup>187</sup> „La piece, que M. CASSINI a donné sur la figure de la Terre dans les Mémoires de 1713, pag. 188, mérite une attention particuliere, par la solidité de ses raisonnements, pour établir le spheroid allongé; & il ne semble pas que cet illustre Auteur ait été ébranlé dans son sentiment par la seconde édition des Pricipes Phil. de M. NEWTON, qui parut la même année 1713, où M. NEWTON ne persiste pas seulement dans son opinion contraire, fondée sur inégalité des pendules à secondes, mais il donne encore, pag. 383, une liste (qu'on ne trouve point dans la premiere édition,) de la mesure d'un degré pris consécutivement sur le méridien, par où il prétend faire voir que leurs longueurs vont en augmentant depuis l'équateur jusqu'au pole; comme si c'étoit une affaire décidée, que l'accourcissement des pendules fût une marque infailible que les parties de la Terre sont plus élevées vers l'équateur que vers les poles, au lieu qu'on n'en peut conclurre autre chose, tout au plus, sinon que la Terre est un spheroïde moins allongé, qu'elle ne le seroit si elle étoit encore dans son état primitif; cela veut dire, sans le mouvement diurne: ce que M. DE MAIRAN a très-bien expliqué dans ses excellentes Recherches géométriques [...]“ (JBP, LXXXVI, Übers. S. 176, Z.8 - 24)

<sup>188</sup> MAIRAN, (Dortous de), RECHERCHES GEOMETRIQUES SUR LA DIMINUTION DES DEGRE'S TERRESTRES En allant de l'équateur vers les Poles, Hist. de l'académie Royale DCCXX, avec les Mémoires de Matématique & de Phisique pour la même Année, p.231-277



Zuerst aber soll eine von mir angefertigte kleine Zeichnung, die ich nachstehend beifüge, dazu verhelfen, einzusehen, daß tatsächlich die Vermessung von ein Grad Breite längs des Meridians Aufschluß geben kann, welche Gestalt denn nun vorliegt.



Skizze der Erde als Ellipse mit Hauptscheitel- Krümmungskreisen<sup>189</sup>

In jedem Krümmungskreismittelpunkt ist ein Winkel von  $10^\circ$  eingezeichnet. Die Krümmungskreise helfen sehr gut bei der Zeichnung einer Ellipse, auch wenn heute meist Programme zur Konstruktion herangezogen werden. Überdies habe ich die Krümmungskreismittelpunkte eingezeichnet, weil sie in der Arbeit MAIRANS eine Rolle spielen. Als Ursache kann man die Zentrifugalkraft nur dann heranziehen, wenn man sich den Planetenursprung als flüssige oder zumindest plastische Masse vorstellt. Der Beweis mit dem Sekundenpendel allerdings ist zwingend und wird auch von BERNOULLI durchaus richtig dargestellt. Dies stellt also aus seiner Sicht sicher die größte zu widerlegende Hürde dar.

### BERNOULLI benutzt den mathematischen „Beweis“ zur Schwere von de MAIRAN.

Schon deshalb muß sich BERNOULLI mit Begeisterung auf den von ihm zitierten Artikel von DE MAIRAN beziehen. In dieser Arbeit von 49 Seiten mit vielen Zeichnungen wird von dem Mathematiker DE MAIRAN eine neue Theorie der Gesetze der Schwere (pesanteur) aufgestellt, die HUYGENS Beobachtung der Verringerung der Länge des Sekundenpendels in Äquatornähe bestätigen, sowie dessen und NEWTONS Erklärung des Phänomens widerlegen soll. DE MAIRAN beginnt damit, die Ellipsen- Evolute<sup>190</sup> (nicht ganz richtig)<sup>191</sup> einzuzichnen. Alsdann wird eine Vielzahl von geometrischen Sachverhalten und Hypothesen erörtert, bevor DE MAIRAN sein Gesetz der Schwere bekannt gibt. Er will ein Gesetz formulieren, das nicht so absurd ist, daß in ihm Linien vorkommen, denen ein Körper (seiner Meinung nach) nicht folgen würde, wenn er ins Erdinnere eindringen könnte, wohl aber NEWTONS Gesetz quantitativ ähnelt. Also spekuliert er auf einen Alternativentwurf zu NEWTON und benutzt die verschiedenen Krümmungsradien, die sich einzeichnen lassen, falls es sich nicht

<sup>189</sup> Konstruktionsvorschrift für Krümmungskreise der Ellipse: Die beiden Scheitel A (Hauptscheitel=Äquator) und N (Nebenscheitel=Nordpol) werden verbunden. Fällt man nun vom Schnittpunkt der beiden Tangenten in A und N das Lot auf diese Verbindung, so schneidet dies die Haupt- und die Nebenachse in den Mittelpunkten der Krümmungskreise,  $K_1$  und  $K_2$ .

<sup>190</sup> Evolute einer Linie ist der geometrische Ort der Mittelpunkte der Krümmungskreise dieser Linie.

<sup>191</sup> S. die Lage des Punktes  $K_2$ . in meiner Skizze.

um eine perfekte Kugel handelt. Anstelle der NEWTONSCHEN Distanz zum Massenmittelpunkt wird dann in seinem Gesetz die Länge des Krümmungsradius und die Länge der darin liegenden Strecke bis zur Rotationsachse als Produkt in den Nenner gesetzt. Und dann findet man alles in schönem Einklang mit den Beobachtungen, die nicht bezweifelt werden können, wenn die Erde ein langgestrecktes Sphäroid ist.

Zur Verdeutlichung seien hier die beiden Zeichnungen 12 und 13<sup>192</sup> aus seinem Artikel wiedergegeben:

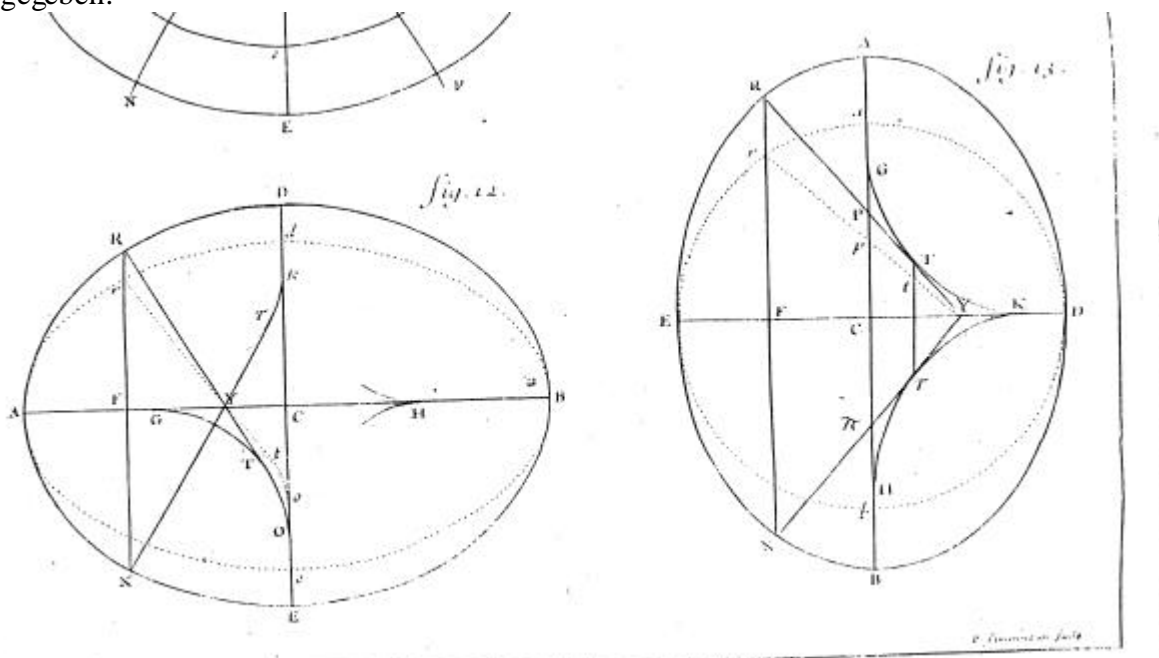


Fig. 12 zeigt das LANGGESTRECKTE Sphäroid.

und Fig. 13 zeigt das ABGEPLATTETE Sphäroid.

Der Pol der Rotation ist in 12 der Punkt A.

Der Pol der Rotation ist in 13 der Punkt E.

In R liegt jeweils der Körper, der der Gravitation unterworfen ist.

Der Punkt T ist in beiden Fällen der Krümmungsmittelpunkt.

Der Punkt Y ist der Schnitt von RT mit dem

Der Punkt Y ist die Verlängerung von RT bis zum

Krümmungsmittelpunkt T.

Das Kraftgesetz ist in heutiger Formelsprache durch

$$F \sim \frac{1}{RY \cdot RT}$$

wiedergzugeben.

Nach DE MAIRAN ist ersichtlich, warum im linken Bild die Kraft gemäß der Beobachtung sich ändern muß, wenn man vom Pol zum Äquator schreitet, denn

links ist  $RY = RT - TY$ ,

und rechts ist  $RY = RT + TY$ .

Offensichtlich ist de MAIRAN ein Anhänger der Theorien, die die Pariser Akademie und JAQUES CASSINI favorisieren. Er liefert hiermit eine scheinbar mathematische Rechtfertigung ab und bricht in gewisser Weise mit dem NEWTONSCHEN Attraktionsgesetz, an dessen größtmäßiger Richtigkeit allerdings um 1734 niemand mehr zweifelte. BERNOULLI zitiert die Arbeit wohl hauptsächlich wegen der Verteidigung der langgestreckten Form, weniger wegen der „überzeugenden“ Formeln. Ich betrachte die Arbeit de MAIRANS als ein

<sup>192</sup>

Im Text sind sie XII und XIII numeriert.

Beispiel der Benutzung von Mathematik zum (scheinbaren) Beweis einer vorgefaßten Meinung. Man findet sie selten, so wie hier, in klassischer Form, sondern häufiger in statistischen Begründungen empirischer Befunde, wo sich leicht der Eindruck gewinnen läßt, daß so lange nach einer anderen Testmethode gesucht wurde, bis eine Testmethode zur gewünschten signifikanten Abweichung führt.

### Intermezzo: Die Erdgestalt und JOHANN BERNOULLIS Reaktion darauf.

Die Franzosen haben erst sehr viel später durch den Sohn von Jaques CASSINI, César François CASSINI de THURY, zugegeben, daß diese Messungen falsch waren. Im Jahre 1738 veranlaßte eben jener dritte CASSINI, als Nachfolger seines Vaters Direktor der Pariser Sternwarte, und auf Drängen der CARTESIANER, eine erneute Vermessung, die dann sein Sohn Jean Dominique, Graf von CASSINI, vollendete und deren Ergebnisse in der „Carte topographique de France“ mündeten. 1740 wurde zum erstenmal in verklausulierter Form aus dem Munde von CASSINI de THURY zugegeben, daß die Erde wohl an den Polen abgeplattet sei. Die von MAUPERTUIS geleitete Expedition nach Lappland erbrachte 1737 den Nachweis für die Richtigkeit der NEWTONSCHEN Auffassung.<sup>193</sup> Schon am 7. Sep. 1737 schreibt de MAIRAN an JOHANN BERNOULLI: *„Wissen Sie, daß unsere Herren aus Lappland zurück sind, und daß sie, nach Vermessung von ungefähr einem irdischen Grad, die sie nahe Tornea vorgenommen haben, die Erde abgeplattet an den Polen gefunden haben... CASSINI wird nicht nachgeben, angesichts der Delikatesse der Beobachtungen...“*. In BERNOULLIS Antwort findet sich: *„Ich glaube mit Ihnen, daß die Eitelkeit der Newtonianer lächerlich ist, wenn sie glauben... einen großen Sieg errungen zu haben, denn ... es ist sicher, daß immer die Akademie von Frankreich (de France) von allem die Ehre hat. H. Newton ist nur das Echo von H. Huygens, würdiges Mitglied dieser Akademie, der als erster auf die Abplattung der Pole geschlossen hat; so sehe ich nicht, welchen Grund die Engländer hätten, daraus einen Triumph zu machen.“* In einem weiteren Brief vom 7. Nov. 1737 wird dann deutlich, was aus experimentellen Erkenntnissen werden kann. BERNOULLI schreibt: *„Sie wissen mein Herr, daß gemäß meinem in meiner „Physique céleste“ erklärten System, welche das Glück hatte, den Preis von 1734 zu erhalten, die Erde die Gestalt eines langgestreckten Ellipsoides haben muß, in Übereinstimmung mit den Beobachtungen von H. Cassini... Einige glauben vielleicht, daß mein System völlig bis zum Grund zerstört sei durch die Beobachtungen der Herrn Beobachter von Lappland. Jedoch nichts weniger als das, wenn ich auch anerkenne, daß diese Beobachtungen sehr exakt sind und mit letzter Präzision angestellt wurden..., denn ich werde stets das Recht haben, zu vertreten, daß die innere Erde vermöge meiner gut begründeten Prinzipien eine langgestreckte Figur haben muß“. (Unterstreichungen von mir.)*

### JOHANN BERNOULLI beweist die langgestreckte Erdgestalt aus Beobachtungen.

Nach einer erneuten Lobpreisung der Präzision der Messungen von CASSINI gibt JOHANN BERNOULLI noch einen weiteren „Beweis“ (er läßt also nichts unversucht, seine Position zu untermauern) seiner Theorie. Eine weitere Mitteilung von CASSINI aus dem Jahre 1703 über Beobachtung von Sonnenflecken zwischen dem 24. Mai 1703 bis zum 3. Juni 1703 ist von

<sup>193</sup> Man lese die eingehende Schilderung der Aufregung und des Widerstandes der CARTESISCHEN Fraktion in der Pariser Akademie gegen die Ergebnisse der Expedition in: BADINTER, Elisabeth, (aao) S. 91 – 140. Dort findet sich auch der Originaltext der Briefauszüge aus der BERNOULLI Edition Basel, die ich oben übersetzt habe.

einem Stich begleitet, der die Wanderung der Sonnenflecken zeigt. (s. Abbildung auf der folgenden Seite). Er schreibt:

*Eine Übereinstimmung im Beweis ergibt sich gegenwärtig aus meiner Theorie, die zugunsten des verlängerten Sphäroids entscheidet. Denn das, was ich in den §§ LXXIX, LXXX demonstriert habe, folgt notwendigerweise, wenn man beobachtet, daß ein Planet in der Zeit seines Sommersolstitiums in der Umgebung seines absteigenden Knotens ist, dieser Planet muß die Gestalt eines länglichen Sphäroids haben. [...]*

*Denn man muß nur seine Augen auf die Figur lenken, die der Beobachter hat gravieren lassen, um die Bewegungsspur dieser zwei Flecken vom 24. Mai 1703 bis zum darauf folgenden 3. Juni wiederzugeben.*

*Diese Spur ist deutlich eine gerade Linie, wenn man sich eine Parallele durch das Zentrum der Scheibe gezogen denkt, dann repräsentiert diese Parallele den Äquator der Sonne, und es ist sichtbar, daß von der westlichen Seite, diese Linie (der Sonnenfleckenspur, Übers.) unterhalb der in der Figur markierten Ekliptik verläuft, wobei sie zusammen einen Winkel von 8 Grad bilden. Und dies ist die Neigung der Ebene der Ekliptik oder der der Umlaufbahn der Erde gegen die Ebene des Sonnenäquators. Der Schnitt dieser beiden Linien auf der Scheibe, d.h. also des Äquators und der Ekliptik, bezeichnet den aufsteigenden Knoten der letzteren in bezug auf den Sonnenäquator. Wenn man nun in Gedanken eine gerade Linie vom Zentrum der Sonne durch diesen Knoten bis zum terrestrischen Orbit zieht, dann wird der Punkt, wo diese Gerade ihn treffen wird, der aufsteigende Knoten der Erde sein.*

*Es ist also der aufsteigende Knoten oder BOREALIS, den die Erde am 28. Mai 1703 passierte, der Tag, der von Herrn CASSINI auf S. 112 markiert wurde als der, der den Lauf der Flecken durch die Mitte seiner gezeichneten Parallelen brachte. Also war die Sonne im 8. Grad des II. Quadranten, d.h. 22 Grad oder ungefähr ebenso viele Tage vor dem Sommersolstitium.*

*Daher muß ich schließen, meiner Theorie folgend, daß die Gestalt der Erde in Wahrheit ein verlängertes Sphäroid ist, in Übereinstimmung mit dem Resultat der in Frankreich aktuell vorgenommenen Messungen. Ich schmeichle mir, daß diese Übereinstimmung den Herren Beobachtern nicht mißfallen wird, um so mehr, als dadurch der Verdacht, es könnten sich etwelche Ungenauigkeiten in ihre Maßnahmen eingeschlichen haben, ausgeräumt wird, und dies ist das einzige Gegenargument derer, die für das abgeplattete Sphäroid der Erde sind.<sup>194</sup>*

194

*Un surcroît de preuve se tire présentement de ma Théorie, qui décide en faveur du Spheroï de allongé: car de ce que j'ai démontré aux §§ LXXIX, LXXX, il suit nécessairement que quand on observe qu'une Planète dans le temps de son solstice d'été est aux environs de son noeud ascendant, il faut que cette Planète ait la figure d'un Spheroï de oblong; [...] car il n'y a qu'à jeter les yeux sur la Figure que l'observateur a fait graver pour tracer la route qu'on tenuë ces deux taches, depuis le 24 Mai 1703 jusqu'au 3 Juin suivant.*

*Cette route étant sensiblement une ligne droite, si on conçoit une parallele tirée par le centre du disque, cette parllle représentera l'équateur du Soleil, & il est visible que du côté d'Occident elle ira au dessous de l'écliptique marquée dans la Figure, faisant ensemble un angle de 8 degrés, qui est l'angle de l'inclinaison du plan de l'écliptique ou de l'orbite de la Terre sur le plan de l'équateur solaire; de sorte que l'intersection de ces deux lignes sur le disque, c'est-à-dire, de l'équateur & de l'écliptique, désigne le noeud ascendant de cette dernière par raport à l'équateur solaire. Par ce noeud, si par la pensée on tire du centre du Soleil une ligne droite jusqu'à l'orbite terrestre, le point, où cette droite la rencontre sera le noeud ascendant de la Terre.*

*C'est donc par le noeud ascendant ou boreal que la Terre passa le 28 Mai 1703, jour marqué par M.CASSINI, p.112, pour le passage de la tache par le milieu de son parallele, le Soleil étant alors dans le 8<sup>me</sup> degré de II, c'est-à-dire, 22 degrés ou à peu-près autant de jours avant le solstice d'été.*

*D'où je dois inferer, suivant ma théorie, que la figure de la Terre est à la vérité celle d'un spheroï de al-*

(Darstellung, die zum Zitat gehört, auf der nächsten Seite)

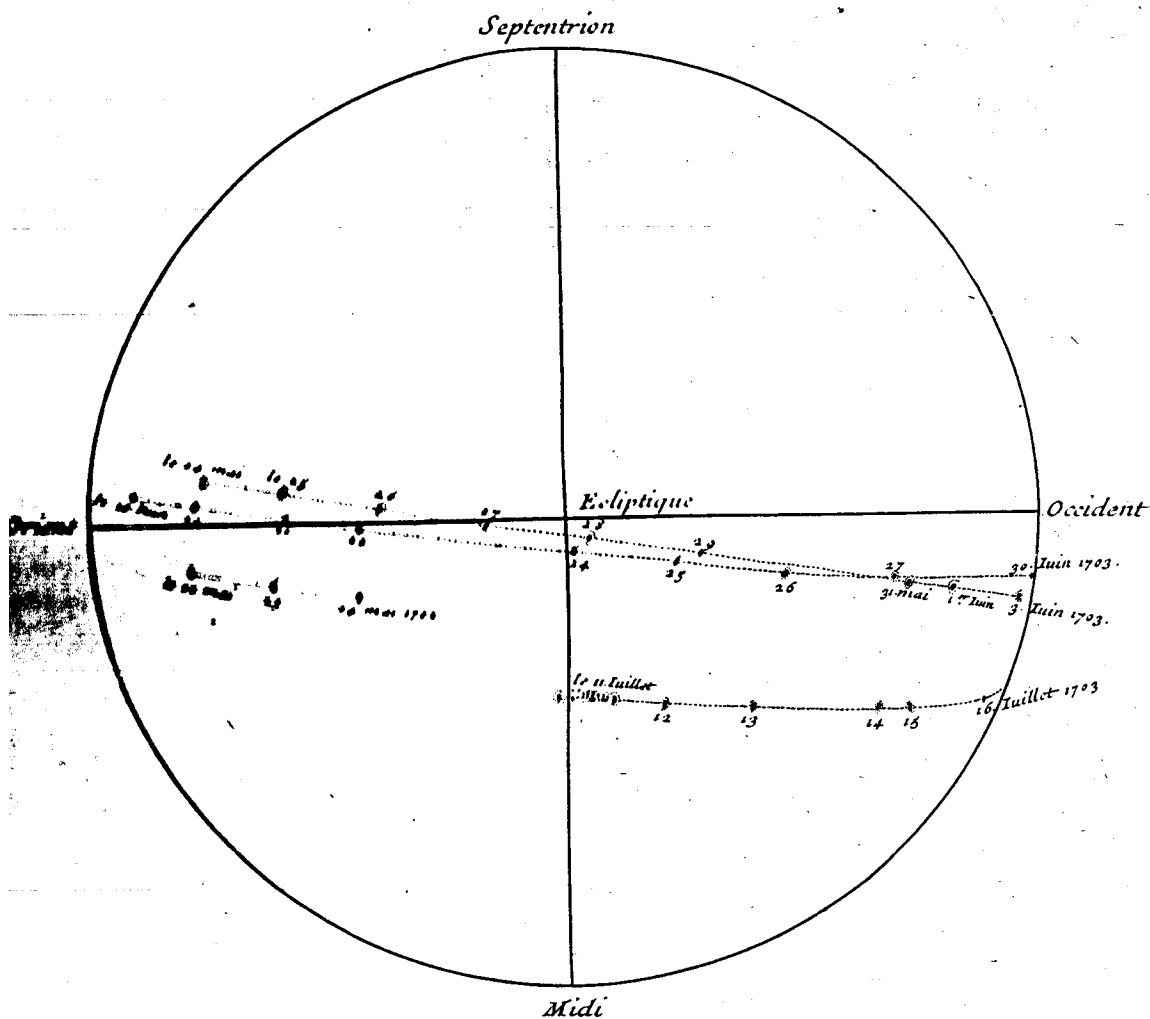
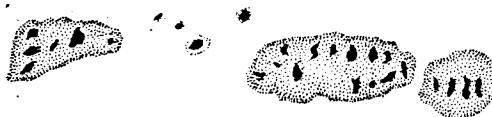


Figure de la Tâche qui a paru aux mois de May et de Juin 1703.  
Le 26. May à 8.<sup>h</sup> du matin.



Figure d'une Tâche qui a paru au mois de Juillet 1703.  
Le 11. Juillet à 7.<sup>h</sup> du soir.



Stich, der die Mitteilung von CASSINI 1703 begleitet

Ganz geschickt läßt BERNOULLI am Ende nochmals Schmeicheleien einfließen, gibt aber durch seinen Text auch zu erkennen, daß sich durchaus oppositionelle Stimmen, was die Erdgestalt angeht, gemeldet haben. Aber JOHANN BERNOULLI muß auf dieser Gestalt beharren, will er nicht in genau der Frage scheitern, die vom Preisgericht gestellt ist. In der Folge

longé, conformément au résultat des observations faites en France par des mesures actuelles. Je me flatte que cette conformité ne déplaira pas à M<sup>rs</sup>. les observateurs, d'autant qu'elle détruit le soupçon de quelque inexactitude glissée dans leurs operations, prétexte unique de ceux qui sont pour le sphéroïde aplati de la Terre. (JBP, LXXXVII, S.176, Z.38 – S.177, Z.25)

wird das bisher schon Dargestellte nochmals rekapituliert und im Jahreslauf betrachtet; zuerst der zu widerlegende Fall und dann der, den BERNOULLI für den richtigen hält. Wieder wird der Einfluß der Flüssigkeitskräfte auf den oberen Teil des Planeten im Widerstreit zu dem Einfluß auf den unteren Teil gezeigt. Da diese Kräfte nach BERNOULLIS Meinung die Abtrift verursachen, muß also in jeder Bewegungsphase eines Planeten die resultierende Richtung der Kraft gefunden werden.

Einige weitere Himmelserscheinungen werden mit dem ZENTRALSTROM erklärt.

Das Ausmaß der Wiederholungen war zur Zeit der Entstehung der Preisschrift auch als didaktisches Mittel für die Preisrichter zu sehen, die ja in der Lage sein mußten, alles zu verstehen. Es ist sicher leichter, demjenigen den Preis zuzuerkennen, den man verstanden hat. Die ganze Rekapitulation schließt dann mit einer selbstgefälligen Bemerkung und einem erneuten Lob für die Messungen CASSINIS:

*Nach dieser glücklichen Übereinstimmung unserer Theorie mit den Beobachtungen am Himmel, kann man da noch länger der Erde die Gestalt eines gestreckten Sphäroids verweigern? Begründet allerdings wird dies vor allen Dingen auf die Größe der Meridiangrade, unternommen<sup>195</sup> und ausgeführt wurde deren Messung durch den gleichen Herrn CASSINI mit einer unvorstellbaren Genauigkeit.<sup>196</sup>*

Anschließend gibt BERNOULLI auch noch die Erklärung der Präzessionsbewegung der Erdachse als vom Widerstand der Flüssigkeit verursacht. Die Langsamkeit dieser Bewegung stört ihn dabei nicht, im Gegenteil, es wird dadurch deutlich, daß die subtile Flüssigkeit einen subtilen Widerstand erzeugt und alles nur ganz langsam bewirkt. Nach Anrufung von Tycho BRAHE und Johannes KEPLER folgt dann noch die zufriedene Feststellung: „*Das Einfachste ist immer dem vorzuziehen, was weniger Einfachheit hat, wenn es sich um Erklärungen von Ursachen in der Natur handelt.*“<sup>197</sup>

Damit wäre die Antwort auf die Akademie-Frage abgeschlossen, aber, da es nun einmal ein ganzes System darzustellen gilt, kann auf ein paar weitere Details zusätzlich eingegangen werden.

### Wie erklärt sich die Mondbahn ?

Da wäre noch die interessante Frage, wie sich die Mondbahn um die Erde erklärt. Dort beträgt die Knotenwanderung nämlich 19°. Hier spricht er lieber noch etwas über die **Lenkung** der Satelliten durch die Wirbel der Hauptplaneten. Die unterschiedlichen Neigungen der Mondbahn um die Erde und der Erdbahn um die Sonne wird nun in einer gewissen Einflußnahme des Sonnenwirbels auf den Mond- bzw. Erdwirbel gesehen. Der Mond muß sich mehr der Richtung anpassen, die die Erde insgesamt nehmen muß, darf sich also, kann sich also, solche Freiheiten wie größere und entferntere Planeten nicht nehmen. Nun untersucht er noch die zur damaligen Zeit zweite bekannte Satellitenfamilie, die des Saturn (auf Jupiter kommt er später zu sprechen). Es paßt ganz gut in BERNOULLIS Konzept, daß sich die Saturnmonde, soweit sie damals bekannt waren, ziemlich regulär verhalten. Sie zirkulieren fast alle (THETYS, DIONE, RHEA, TITAN) in der Ebene des Ringes und auf fast vollkommenen Kreisen. Lediglich IAPETUS macht die auch von BERNOULLI diskutierte Ausnahme und besitzt eine andere Rotationsebene. Dies läßt sich in gewisser Weise noch erklären durch die große Entfernung

<sup>195</sup> Es fehlt im Text „deren Messung.“ und wurde hier eingesetzt.

<sup>196</sup> „Après cette heureuse conformité de nôtre théorie, avec les observations célestes, peut-on plus longtemps refuser à la Terre la figure de spherøi de oblong, fondé d'ailleurs sur la dimension des degrés de la méridienne, entreprise & exécutée par le même M.CASSINI, avec une exactitude inconcevable?“ (JBP, XCIII, Übers. S 182, Z.17 – 21)

<sup>197</sup> „Le plus simple, dans l'explication des causes de la Nature, est toûjours préférable à ce qui a moins de simplicité.“ (JBP, XCVI, Übers. S. 184, Z.3-5)

tationsebene. Dies läßt sich in gewisser Weise noch erklären durch die große Entfernung des Saturn von der Sonne und der damit verbundenen fehlenden eventuellen Reichweite des Sonnenwirbels. JOHANN BERNOULLI prophezeit denn auch, daß in der Entfernungslücke ganz sicher die von HUYGENS vermuteten weiteren Satelliten von Saturn zu entdecken seien, und deren Bahnneigung sei dann sicher geringer. Keinesfalls aber hat man für die als 6. und 7. Mond von HERSCHEL entdeckten Mimas und Enceladus einen Radius in der erwähnten Lücke gefunden. Und noch größer wäre die Verlegenheit BERNOULLIS gewesen, wenn er erfahren hätte, daß der Mond Phoebe, 1898 von PICKERING entdeckt, auch noch rückläufig ist. Zur Zeit (Januar 2001) sind uns 18 Saturnmonde bekannt, numeriert und mit Namen versehen, weitere 4 Objekte sind „mondverdächtig“, d.h. sie sind zwar fotografiert, aber noch ist nicht genug bekannt, um sie eindeutig als Saturnmonde zu katalogisieren<sup>198</sup>. Es ehrt BERNOULLI, daß er die Schwierigkeiten, die er mit seiner Theorie bei der zweiten damals bekannten Satellitenfamilie (Jupiter) hat, auch artikuliert. Er wird in seiner Diktion zunehmend gewunden und verschiebt alles auf die Größe der beiden Planeten:

*„Um einige Vernunft in die Sonderbarkeit dieses Phänomens zu bringen, will ich anfügen, daß Saturn und Jupiter, aufgrund der enormen Größe dieser Himmelskörper verglichen mit der Erde, auch ihre speziellen Wirbel viel weiter ausgedehnt haben sollten, als dies bei der Erde der Fall ist. Die Richtung der Bewegung ihrer Wirbel wird folglich bei einer hinreichend großen Entfernung von der Oberfläche dieser riesigen Körper kaum fühlbare Abweichungen durch den Einfluß des Hauptwirbels erleiden. Sie sind aber gezwungen, der allgemeinen Richtung der Rotation dieser beiden Planeten zu folgen, so wie der Hauptwirbel selbst der Richtung der Rotation der Sonne folgt.“<sup>199</sup>*

### Am Schluß wird nochmals NEWTON geehrt.

Es ist interessant, daß JOHANN BERNOULLI seine Arbeit mit einem Zitat aus NEWTONS *Principia* beendet, allerdings ohne irgendwelche versteckte Aggression.

*Ich entscheide nichts weder über die Gestalt des fünften, noch über die des Mondes, (den Herr NEWTON in seinen Princ. Natur. Teil III, prop. 38, begründet auf der Hypothese der Attraktion, für ein längliches Sphäroid hält, von dem er will, daß dessen Achse stets gegen die Erde gerichtet sei), da ich schon deutlich gemacht habe, daß die Inklinasion ihrer Umlaufbahnen stattfinden kann, auch wenn beide Körper von vollkommener Kugelgestalt wären. Denn sie befinden sich so weit draußen in den Extremen der Wirbel von Saturn und Erde, wo die Richtung ihres Laufes durch die Heftigkeit des großen Sonnenwirbels geändert werden kann, dessen Richtung unterschiedlich von der ihren ist.<sup>200</sup>*

<sup>198</sup> Nach Veröffentlichungen im Internet, <http://planetescapes.com/solar/germ/saturn.htm>

<sup>199</sup> „Pour rendre quelque raison plausible de la bizarrerie de ce phénomène, je remarque que Saturne & Jupiter, à cause de l'énorme grosseur de leur corps par rapport à la Terre, doivent avoir aussi leurs Tourbillons particuliers d'une étendue beaucoup plus vaste que celui de la Terre, tellement qu'à une distance assés grande, depuis la surface de ces gros corps, la direction du mouvement de leurs Tourbillons ne souffre point d'altération sensible par l'influence du Tourbillon general, mais qu'ils sont obligés de suivre la direction commune du mouvement de rotation de ces deux Planètes, comme le Tourbillon general lui-même suit la direction de la rotation du Soleil." (JBP, CIII, S. 186, Übers. Z. 33- 40)

<sup>200</sup> „Je ne décide rien sur la figure du cinquieme, ni sur celle de la Lune ( que M. NEWTON dans ses Princ. Natur. Part.III, prop.38, fondé sur l'hypothèse d'attraction prend pour un spheröi de oblong, dont il veut que l'axe se dirige toujours vers la Terre ) ayant déjà fait voir que l'inclinaison de leurs orbites peut avoir lieu, quand même ces deux corps seroient parfaitement sphériques; savoir, parce qu'ils se trouvent si avant vers les extrémités des Tourbillons de Saturne & de la Terre, où la direction de

An der angegebenen Stelle<sup>201</sup> steht: „*Eaque de causa figura Lunae sphaeroidis esset, cujus maxima diameter producta transiret per centrum terrae, & superaret diametros perpendiculares excessu pedum 186. Talem igitur figuram Luna affectat, eamque sub initio induere debuit. Q.E.I.*“<sup>202</sup> Für mich bleibt interessant, daß die Arbeit, die sonst durchaus von Rhetorik und sprachlichen Floskeln gekennzeichnet ist, so unvermittelt und eindrucklos schließt.

---

*leurs cours peut être alterée par la violence du grand Tourbillon Solaire, dont la direction est différente de la leur.*“ (JBP, CIV, Übers. S.187, Z.22- 29).

<sup>201</sup>

<sup>202</sup>

*principia*, a.a.O., III, S. 111. Die ganze Propositio trägt den Titel „*Invenire Figuram corporis Lunae.*“ (Eigene Übersetzung) Aus diesem Grund ist die Gestalt des Mondes die eines Sphaeroids, dessen größter Durchmesser verlängert durch den Mittelpunkt der Erde ginge & die dazu senkrechten Durchmesser um 186 Fuß überträfe. Solcherart ist also die Gestalt, die der Mond hat, und diese mußte er von Anfang an angenommen haben.Q.E.I. (Was zu finden war.)



## DANIEL BERNOULLI (1700-1784)

Es sollen hier seine Darlegungen zum Planetensystem betrachtet werden, die er im Jahre 1734 in der Preisschrift der Pariser Akademie

### Physikalische und Astronomische Untersuchungen<sup>203</sup>

*über das zum zweiten Mal von der Académie Royale des Sciences de Paris vorgeschlagene Problem*

gemacht hat. Der Preis war verdoppelt worden, weil die Ausschreibung der gleichen Frage im Jahre 1732 keine preiswürdige Antwort erbracht hatte. DANIEL BERNOULLIS Schrift wurde preisgekrönt, gleichzeitig mit der Einreichung seines Vaters JOHANN BERNOULLI; der Preis wurde zwischen beiden geteilt. DANIEL BERNOULLI schreibt mehrfach in seiner Arbeit, er habe sie in großer Eile angefertigt. In der Tat war sein Leben damals im Umbruch. Nach zwei erfolglosen Versuchen, einen Lehrstuhl in Basel zu erhalten (zuerst eine Professur der Anatomie und Botanik, dann eine für Logik; es war dort üblich, unter den Bewerbern das Los zu werfen, welches nicht für ihn günstig war) wurde ihm und seinem Bruder Nicolaus (II) ein Lehrstuhl für Mathematik in St. Petersburg angeboten (1725), den sie akzeptierten. Leider starb sein Bruder kurz nach deren Ankunft dort. DANIEL BERNOULLI vereinsamte und litt unter dem für ihn rauhen und anstrengenden Klima. Dies besserte sich, als JOHANN BERNOULLI seinen besten Schüler LEONHARD EULER veranlaßte, ebenfalls in St. Petersburg zu arbeiten. Aber DANIEL BERNOULLI sehnte sich nach Basel zurück, wo er auch endlich eine Professur in Anatomie und Botanik erhielt. Er war also 1733 im Umzug von St. Petersburg nach Basel und in der Aufnahme einer neuen, von ihm eigentlich nicht so sehr geliebten Lehrverpflichtung. Außerdem hatte er gerade seine große Arbeit „*Hydrodynamica*“, die seinen Namen berühmt machte, verfaßt. Allerdings erschien diese erst 1738. Es ist also mehr als glaubhaft, daß die Schrift für die Akademie in Eile verfertigt wurde. Auch EULER war in einem Brief an DANIEL BERNOULLI dieser Meinung.<sup>204</sup>

Zur Zeit der Niederschrift war DANIEL BERNOULLI wohl auf dem Höhepunkt seiner Schaffenskraft. Der Text liest sich flüssig, die Sprache ist präzise und die Argumentation originell. Der Unterschied zur Schrift seines Vaters ist verblüffend und dokumentiert auch deutlich den Zeitfortschritt, den JOHANN BERNOULLI wohl nicht ganz hatte mitvollziehen können. Der alte Stil, dessen er sich bedient, wird bei seinem Sohn durch geglättetes und flüssiges Französisch abgelöst. Schon das beigegebene Motto:

„Virtutum pretium in ipsis est, & rectè facti merces est fecisse.“<sup>205</sup>

kennzeichnet den weitaus nüchterneren Stil des Sohnes im Vergleich zu dem seines Vaters, der aus OVIDS Schrift FASTI (zu den Festkalendern der Römer) einen relativ hochtrabenden

<sup>203</sup> RECHERCHES PHYSIQUES ET ASTRONOMIQUES sur le probleme proposé pour la seconde fois par l'Académie Royale des Sciences de Paris. Quelles est la cause physique de l'inclinaison des Plans des Orbites des Planetes par rapport au plan de l'Equateur de la revolution du Soleil autour de son axe; Et d'où vient que les inclinaisons de ces orbites sont differentes entre elles. in Prix 1735, Paris; hier: nach Daniel Bernoulli, Werke Bd. 3 Seite 303 – 326, Basel 1987 (IVb.1-St.24); Traduite en François (sic) par son Auteur. (S. auch Übersetzung DBR S.188-206)

<sup>204</sup> Brief von DANIEL BERNOULLI an EULER v. 16.März 1737 in Correspondences, S. 438-439: „[...] Zur ferneren Antwort auf Dero geehrtes vom 19.November, kann nicht übergehen Dero nicht sonderlich favorables judicium über meine überschickte pièce über inclinations orbitarum. **Sie sagen, man sehe wohl, dass ich sie mit Eil verfertiget**; aber ich sehe auch, dass sie solche mit Eil überlesen. [...]“ (Herhebung v. mir).

<sup>205</sup> Der Wert der Tugenden liegt in ihnen selbst, & bei richtig gemachten Dingen ist der Lohn, sie gemacht zu haben.

Text zitiert.<sup>206</sup> Außerdem geht DANIEL BERNOULLI in der „Preface“ auf seinen Vater ein<sup>207</sup>: „Ich bitte den Leser hier, keinesfalls den Stil schlecht zu finden, den ich benutzte, um von meinem Vater zu sprechen; ich habe mich seiner bedient, um mich stärker vor den Akademikern zu verbergen.“<sup>208</sup> Das schwierige Verhältnis DANIEL BERNOULLIS zu seinem Vater wird hier quasi öffentlich. Es kann nicht nur die Angst sein, daß die Leserschaft glaube, er habe wegen der Beziehungen seinen Preis bekommen. Er will offensichtlich auch dem Vater etwas mitteilen. Denn die Veröffentlichung erfolgte ja erst 1735, ein Jahr nach der Preisverleihung. Jedenfalls ist einfach nicht zu glauben, die Mitglieder der Preisverleihungskommission hätten nicht gewußt, wen sie als Autor vor sich hatten. Er spricht zweimal von seinem Vater, indem er ihn zitiert. Das erstmal in §.VII., wenn er über die Rotationsgeschwindigkeiten in den verschiedenen Schichten der rotierenden Wirbel spricht, das zweitemal erwähnt er seinen Vater in §.XIV., und da im Zusammenhang mit seinen Problemen bei der Akzeptanz der Wirbeltheorie.

Hier besteht offensichtlich ein großes Problem für DANIEL BERNOULLI bei den Voraussetzungen zu seinem Beitrag. Die offizielle Theorie auf dem Kontinent war der unabdingbare Grundsatz, daß etwas mechanisch erklärbar sein muß, Übermittlungen durch Druck oder Stoß zu erfolgen haben. Dieser Theorie stand die Auffassung NEWTONS entgegen, daß zwischen den Himmelskörpern leerer Raum sei, daß die Anziehungskräfte bestünden und über die Vermittlungen Hypothesen nicht gegeben würden. DANIEL BERNOULLI war ganz klar von NEWTON fasziniert, und er bezeichnet ihn gegen Ende seiner Schrift als den „größten Philosophen unseres Jahrhunderts“<sup>209</sup>. Gleichzeitig stellte aber sein Vater, der erklärter Anhänger der Wirbeltheorie war, und die ganze Akademie, die diese Theorie unterstützte, ebenfalls eine starke Autorität dar. Was macht dann ein junger Mann, der auch noch um einen (sehr hohen) Preis konkurriert? Er schließt irgendwie einen Kompromiß, gibt seiner Bewunderung und seinen Bedenken Ausdruck und argumentiert im Sinne der über den Preis befindenden Akademie. Sollte sich herausstellen, daß NEWTON recht hatte, so hat er seine Bedenken in diesem Sinne auch schon geäußert, sollte die alte Theorie bestehen bleiben, so hat er in ihrem Sinne argumentiert. Zwar ist ein solches Verhalten vielleicht nicht gerade das edelste, wünschbarste, aber es ist in meinen Augen ein menschlich verstehbares. Überzeugende Größe gewinnt natürlich das radikale Denken, das sich über alle Konventionen hinwegsetzt und das Richtige radikal behauptet. Bei KEPLER trat es zutage, aber auch da kann man sehen, wie er sich quält, bis er sich zur Ellipse als Planetenbahn durchringt. Bei DANIEL BERNOULLI jedenfalls dauert es noch einige Zeit, bis er sich schließlich als NEWTON- Anhänger zu erkennen gibt (in seiner 1738 erschienen Arbeit „Hydrodynamica“, die seinen Ruhm begründete, u. dann später in einer weiteren Preisschrift 1740)<sup>210</sup>, und sein Zerwürfnis mit dem Vater hat sicher auch darin eine Wurzel. Allerdings ist der hochfahrende und etwas eitle Charakter des Vaters, der die Konkurrenz des Sohnes nicht ertragen kann, sicher eine stärkere Ursache. Aus heutiger Sicht ist eine solche Vater- Sohn- Beziehung nur schwer verstehbar. Immerhin

<sup>206</sup> s. Übersetzung und Text in JBP S.129, Anm 364.

<sup>207</sup> **Bei Zitaten aus dem Text Daniel Bernoullis behalte ich die Vokabeln und die Rechtschreibung des Originals bei. Auch die Groß- und Kleinschreibung, sowie Hervorhebungen im Text werden analog wiedergegeben, wenn nicht anders angegeben.**

<sup>208</sup> „Je prie ici le lecteur, de ne point trouver mauvais le stile que j'ai affecté en parlant de mon père; je m'en suis servi pour me cacher davantage aux Academiciens.“

<sup>209</sup> „Le plus grand Philosophe de notre siecle“ (DBQ XXVI)

<sup>210</sup> Von 1733 bis 1734, also zur Zeit der Abfassung der Preisschrift JOHANNIS (I), wohnte MAUPERTUIS als Schüler von JOHANN(I) BERNOULLI bei diesem und befreundete sich mit den Söhnen Johann (II) und Daniel. MAUPERTUIS war der Verfechter der NEWTONSCHEN Auffassung bei der Pariser Akademie. DANIEL BERNOULLI hat seine Schrift vermutlich in St. Petersburg noch verfaßt und MAUPERTUIS erst danach kennengelernt. Beide standen dann auch im Briefwechsel miteinander. Diese Darstellung hier nach:

BADINTER, Elisabeth, Les passions intellectuelles, I. Désirs de gloire (1735-1751), Paris 1999. Kapitel Maupertuis p.50 -57

mag sie aber auch heute noch vorkommen. Jedenfalls geht meine Lebenserfahrung dahin, daß Väter glücklich sind, wenn ihre Kinder großartige Leistungen erbringen.

Die Arbeit DANIEL BERNOULLIS hat etwa 3 Abschnitte. Im ersten Abschnitt wird die Frage der Akademie als relevant nachgewiesen, im zweiten Abschnitt wird die Differentialgleichung für die Sonnenatmosphäre, die für ihn als Ursache der in Frage stehenden Erscheinungen gilt, entwickelt und untersucht, im dritten Abschnitt werden noch einige Himmelserscheinungen betrachtet, die ebenfalls für die entwickelte Theorie sprechen.

DANIEL BERNOULLIS Denkansatz ist durchaus der eines anwendenden Naturwissenschaftlers. Es wird die Wahrscheinlichkeit untersucht, daß die Phänomene erstens kein Zufall sind und zweitens eine gemeinsame Ursache haben. BERNOULLI spricht immer vom Grade der Wahrscheinlichkeit (*degré de probabilité*) und hat etwa folgendes probabilistisches Modell: Er betrachtet die Inklinationen der Planetenbahnen untereinander und die Winkel, die sie mit der Ebene des Sonnenäquators bilden, als zufällig verteilt, wobei bei ihm die Winkel zwischen null und neunzig Grad liegen müssen. Daraus ist ersichtlich, daß Gegenläufigkeit bei keinem Himmelskörper angenommen wird, es war ja auch zu diesem Zeitpunkt noch keine beobachtet worden. Er mußte stetige Zufallsgrößen handhaben, von den BERTRANDSCHEN<sup>211</sup> Paradoxien war noch nichts bekannt. Also wurde auch von ihm nicht vorher dargestellt, was er denn nun als gleichwahrscheinlich betrachte. Man darf annehmen, daß er das Ereignis „Ein Winkel von  $x$  Grad gegen den Sonnenäquator wird eingenommen;  $0 \leq x \leq 90$ “ betrachtete. Die Berechnung verläuft nun in etwa so, daß die Bahnen, wie sie nun einmal verlaufen, einen gewissen Bereich der vorgestellten Himmelskugel überdecken. Diesen Bereich schätzt er ab und nimmt dessen Flächeninhalt, den er mit dem gesamten Flächeninhalt dann vergleicht, um auf diese Weise eine Proportion zu erhalten. So nimmt er die am weitesten streuende Bahn, markiert den Kugelring, in dem sie liegt und gewinnt im Verhältnis zur gesamten Kugel den oberen Wert der „Wahrscheinlichkeit“  $1/17$ . Mit dieser Wahrscheinlichkeit kann dann die Kombination aller Paare von Umlaufbahnen und deren gemeinsame Lage abgeschätzt werden, was zu einer sehr geringen Gesamtwahrscheinlichkeit führt. Natürlich ist diese Rechnung wissenschaftlich wertlos (aus heutiger Sicht), dennoch besteht ihr Wert darin, daß DANIEL BERNOULLI versucht, diese Rechnung anzustellen. (Dies ist also ganz im Sinne seines von ihm vorangestellten Mottos.) Mathematisch ist es unbedeutend, für ein Ereignis die Wahrscheinlichkeit des Eintretens zu berechnen, nachdem es eingetreten ist. In der Testtheorie wird verlangt, daß man vor dem Test das Ereignis, dessen Wahrscheinlichkeit betrachtet wird, festlegt<sup>212</sup>. Dieses Verfahren ist aber hier unmöglich. Mit §.V. endet etwa der erste Abschnitt.

Aus allen Daten, die bekannt sind, nimmt DANIEL BERNOULLI an, daß sich die Bahnen der Planeten und auch die der Satelliten um ihren Planeten, hinsichtlich ihrer Lage in einer Entwicklung befinden, die einem gewissen Endzustand zustrebt, diesen aber nicht erreicht hat und auch niemals völlig erreichen wird. Auf jeden Fall wird das momentan Seiende als prozeßhaft Gewordenes begriffen. Wir beobachten also nach BERNOULLIS Meinung den Momentzustand eines Prozesses, der schon lange läuft und noch lange laufen wird. Diese angestrebte Grenzlage muß nun mitten in den Umlaufbahnen sein und auch einen gewissen Bezug zu diesen haben. Dies kann also nur die Ebene des Sonnenäquators sein (so weit man die Ph-

<sup>211</sup> BERTRAND, Joseph Louis François, (1822 – 1900), Calcul de probabilités, 1888, Sekretär der Pariser Akademie 1874-1900. Bei den BERTRANDSCHEN Paradoxien handelt es sich um eine von ihm erfundene Aufgabe mit von ihm erfundenen Lösungen, die alle verschiedene Wahrscheinlichkeiten produzieren, aber alle richtige Lösungen sind, da jeweils eine andere Voraussetzung über „gleichwahrscheinliche Ereignisse“ gemacht wird. Notwendig ist eine stetige Wahrscheinlichkeitsverteilung.

<sup>212</sup> Statistische Absicherungen von Versuchsergebnissen sind oft schon deshalb zweifelhaft, weil nie nachweisbar ist, wann die Experimentatoren das Verfahren und die Experimente festgelegt haben, von dem dann nachgerechnet wird, daß es eine „signifikante“ Erscheinung darstelle. Dies in den Fällen, wo wenigstens Zufallsversuche beteiligt sind.

neten betrachtet).<sup>213</sup> In §.VII. nun setzt sich DANIEL BERNOULLI mit HUYGENS auseinander, der behauptete, daß der Mond keine Atmosphäre habe<sup>214</sup>. Nun hat HUYGENS seine Behauptung gut begründet mit den Beobachtungen bei Sternbedeckungen. Aber BERNOULLI führt an, daß diese Meinung zur jetzigen Zeit generell verbannt sei<sup>215</sup>. Begründungen gibt er nicht. Ich nehme an, sie passt ihm einfach nicht in den Kram. Denn: Es ist die Sonnenatmosphäre, von der DANIEL BERNOULLI überzeugt ist, daß es sie gibt, die diese physikalische Wirkung auf die Planetenbahnen ausübt.<sup>216</sup> Und diese Sonnenatmosphäre erstreckt sich weit hin, auf jeden Fall bis über die Erde hinaus. Denn kurz nach obiger Bemerkung bezweifelt DANIEL BERNOULLI, daß sich die Erdatmosphäre bis zum Mond erstreckt. Eben aber hat er noch dafür gekämpft, daß es eine Atmosphäre um den Mond gebe. Diese ist also die Sonnenatmosphäre.

Es folgt nun ein im heutigen Sinne vernünftiger Ansatz, die Eigenschaften der Erdatmosphäre zu betrachten, um sie dann, wenn möglich, auf die Sonnenatmosphäre zu übertragen. Die Erdatmosphäre wird dabei als eine Flüssigkeit betrachtet, eine Bezeichnung, die zu jener Zeit völlig gebräuchlich war. Da er eine Sonnenatmosphäre unterstellt, geht DANIEL BERNOULLI davon aus, daß die Erdatmosphäre dort ihr Ende findet, wo sie von der Sonnenatmosphäre im Gleichgewicht gehalten wird. Ferner wird deutlich nochmals dargelegt, warum angenommen werden muß, daß die Atmosphären sich mit ihren Himmelskörpern bei der täglichen Bewegung mitdrehen, und dies bei allen Schichten. Hier kommt nun die Stelle, in der er seinen Vater zitiert: „*Es war Herr Jean Bernoulli, der uns die wahren Gesetze dieser Bewegung für alle Hypothesen in bezug auf die Veränderung der Dichten gezeigt hat, nämlich in seiner schönen Dissertation, die die Akademie mit dem Preis des Jahres 1730<sup>217</sup> gekrönt hat, wahrhaft würdig dieser gloriosen Belohnung.*“ An dieser Stelle erweist er dem DESCARTESCHEN Wirbelsystem die erste Reverenz. Sein Schwanken in dieser Frage sollte noch 6 Jahre andauern, bevor er sich 1740 als uneingeschränkter Anhänger der NEWTONSCHEN Theorien erklärte, übrigens in einer erneuten UND SOGAR PREISGEKRÖNTEN Wettbewerbsarbeit der Pariser Akademie<sup>218</sup>. Da er seiner französischen Übersetzung Bemerkungen angefügt hat, die über seine Denkweise Aufschluß geben, erfahren wir, daß er sich ausgerechnet hat, daß die Dichte der Erdatmosphäre „in der Höhe einer deutschen Meile“ (Ich weiß nicht, welche Höhe er genau meint. Im übersetzten Text im Anhang habe ich einige Quellen angegeben, die aber leider nicht gestatten, genau zu wissen, welche Entfernung er damit meinte.) praktisch so klein sei, so daß sie in Mondnähe praktisch null sei. Seine Rechnung habe ich nachzuvollziehen versucht:

<sup>213</sup> „[...] *ce plan est situé au milieu des Orbites, & enfin qu'il est, selon toutes les apparences, le même que celui de l'E'quateur solaire, tant parce que le plan de cet E'quateur traverse effectivement le milieu des Orbites, autant qu'on en peut juger par les observations faites sur les taches du Soleil, que parce que c'est le seul plan qui puisse fournir une raison physique de ce point. [...]*“ (DBQ, VI, Übers. S.191, Z.30-34)

<sup>214</sup> Huygens, *Cosmotheoros*, Den Haag 1698- Oeuvres Tome XXI, p. 793  
 „[...] *Porro nec aere aut atmosphaera Lunam cingi, qualis circum Tellurem hanc ambit, manifestum est. Quia si qua talis existeret, non posset extrema Lunae ora tam praecise circumscripta spectari, quam subeunte stella aliqua saepe animadversa est; [...]*

<sup>215</sup> „[...] *je crois pourtant que cette opinion est maintenant généralement bannie*“ (DBQ VII, S. 191, Z.43-45)

<sup>216</sup> *Comme je suis assuré, toutes choses bien considérées, que c'est de l'atmosphère qui environne le Soleil, qu'il faut tirer la solution de notre Problème, il ne sera pas hors de propos d'indiquer ici les propriétés principales de l'atmosphère de la Terre, pour les appliquer à celle du Soleil.* Übers. 192, Z.3-7

<sup>217</sup> Joh. (I) BERNOULLI, CXXXVIII, *Nouvelles pensées sur le Système de Descartes & sur la manière d'en déduire les Orbites & les Aphélies des Planetes*, Prix Paris 1730- Opera Tomus III, p.131.  
 „*C'est M. Jean Bernoulli, qui nous a montré les véritables loix de ce mouvement pour toutes les hypotheses par rapport aux variations des densités, dans sa belle Dissertation, que l'Académie a couronnée du Prix de l'an 1730, digne de cette glorieuse récompense.*“ Übers. S.193, Z.4-7

<sup>218</sup> Nach einer Bemerkung von D. SPEISER im Kommentarteil der Werke BERNOULLIS.

Als Variablen sind genannt:  $x$  = Höhe (bzgl. Seenniveau);  $y$  = Dichte;  $a$  = Konstante

DANIEL BERNOULLI gibt an  $\log \frac{1}{y} = \frac{x}{a} \Leftrightarrow y = e^{-\frac{x}{a}}$ . Nach heutiger Schreibweise:

$$p = p_0 e^{-\frac{h-h_0}{RT}}; \text{ wobei } RT = a \text{ zu sehen ist.}$$

Zur Berechnung von  $a$  wird von ihm angegeben, daß in Höhe von 63 Fuß der Druck um  $1/336$  abgenommen habe. Nimmt man diese Werte und setzt sie ein, so hat man

$$\frac{335}{336} = e^{-\frac{63}{a}} \Leftrightarrow a = \frac{63}{\ln\left(1 + \frac{1}{335}\right)}$$

Hieraus findet man DANIEL BERNOULLIS Lösung von  $a = 63 \cdot 335$ , wenn man die Ersetzung von

$$\ln\left(1 + \frac{1}{335}\right) = \frac{1}{335} \text{ macht,}$$

was dezimal  $0,0029806 = 0,0029851$  bedeutet, eine Ersetzung, die sich in Zeiten ohne Rechenmaschinen geradezu anbot. Den halben Druck dann berechnend gibt DANIEL BERNOULLI den Wert von 14600 Fuß<sup>219</sup> an, welche Abschätzung er durch „1 deutsche Meile“ ersetzt. Er bemerkt „für exakte Werte hatte ich nicht die Zeit“ und verweist auf ein demnächst erscheinendes Werk (*Hydrodynamica, sive de viribus et motibus fluidorum commentarii, Strasbourg 1738*). Diese Arbeit brachte ihn vollends in Konflikt mit seinem Vater, der seinerseits ebenfalls eine Arbeit „Hydraulica“ veröffentlichte, die nach Meinung der Experten zum guten Teil auf der Arbeit seines Sohnes basiert. Diese Arbeit datierte JOHANN BERNOULLI (obwohl wahrscheinlich 1739 erschienen) auf 1732 zurück, um das Primat der Gedanken für sich beanspruchen zu können.<sup>220</sup>

Jetzt kommt der Übergang zur Sonnenatmosphäre, die seiner Meinung nach ähnlich unserer Erdatmosphäre aufgebaut sein muß<sup>221</sup>. Folgende Variablen werden verwendet:

r    Sonnenradius;            x    beliebiger Ort;  
E    Druck (*élasticité*)  
D    Dichte(*densité*)

<sup>219</sup> Nach TRAPP, Kl. Handb. der Maße, Zahlen, Gewichte und der Zeitrechnung, Stuttgart 1998, wird der Pariser Fuß mit 32,47325 cm (u. der Bemerkung: „Amtliche Umrechnung“, was immer das heißen soll) angegeben. Nimmt man dieses Maß, so gilt 14600 Fuß = 4 741,0945 m. Nach DANIEL BERNOULLI ist eine „deutsche Meile“ noch viel länger.

<sup>220</sup> Nach einer Bemerkung von D. SPEISER im Kommentarteil der Werke BERNOULLIS.

<sup>221</sup> „*De ces propriétés que nous connoissons de l'atmosphère de la Terre, nous concluons que le Soleil est de même environné d'un fluide pareil à notre air, pesant vers le centre du Soleil, doué d'une force élastique, qui sans doute se renforcera, la chaleur du Soleil étant augmentée; ce fluide aura donc aussi ses différentes densités dans ses différentes distances de la surface du Soleil, tellement que s'il y avoit par tout un même degré de chaleur, & que la pesanteur fût aussi en tous lieux la même, les densités deviendroient proportionnelles aux appliquées d'une logarithmique, les distances depuis la surface du Soleil étant exprimées par les abscisses; mais comme l'un & l'autre décroissent en s'éloignant du Soleil, les variations des densités suivront une autre loi, que nous allons examiner ci-dessous.*  
*L'atmosphère solaire s'étendra tant que son élasticité devienne égale à celle d'une autre atmosphère, que nous ne connoissons pas, dans laquelle la solaire peut être enveloppée, comme l'atmosphère de la Terre l'est dans celle du Soleil.*“ Übers. 194, Z.10-23

T Temperatur (*chaleur*).

Als Randwert hat er : Zu  $r=1$  (Sonnenoberfläche) gehört  $D=1$  und  $E=1$ .

Die Dichte ist proportional dem Gewicht der überlagerten Atmosphäre und umgekehrt proportional der Temperatur. Die Temperatur wiederum ist proportional  $r^2$  und umgekehrt proportional  $x^2$ , wie bei der Gravitation. Woraus sich folgende Formel ergibt:

$$D = E \cdot \frac{x^2}{r^2}$$

Jetzt kommt der neue Analysiskalkül in Anwendung: Eine unendlich kleine Veränderung von  $E$  ergibt sich durch

$$-dE = \frac{n \cdot r^2 \cdot Ddx}{x^2}, \text{ wobei } n \text{ eine konstante Zahl ist.}$$

Die Einsetzung von  $D$  liefert  $-dE = nEdx$

Durch Trennung der Variablen

$$\frac{1}{E}dE = -ndx, \text{ woraus}$$

$$E = e^c \cdot e^{-nx} \text{ und für den Randwert } (x/E) = (r/1) \text{ hat man}$$

$$e^{nr} = e^c \Rightarrow c = nr$$

$$E = e^{n \cdot (r-x)}$$

Durch Einsetzen von  $E$  in der Gleichung von  $D$  hat DANIEL BERNOULLI nun  $D$  als Funktion von  $x$ ,  $f(x)$ :

$$D = e^{n(r-x)} \cdot \frac{x^2}{r^2}$$

DANIEL BERNOULLIS Fragestellung ist nun: Wo ist das Extremum von  $D$ ?

Also wird nach  $x$  differenziert

$$\frac{dD}{dx} = \frac{e^{n(r-x)} \cdot x}{r^2} (2 + x(-n))$$

$$\frac{dD}{dx} = 0 \text{ liefert } x = \frac{2}{n} \text{ als nichttriviale Lösung.}$$

(s. Übers. d. Textes im Anhang §.X und XI)

Indem nun die Extremalstellen erkannt sind, versucht BERNOULLI durch Einsetzen des Parameters  $n$  die Folgen der Kalkulation abzuschätzen. Der Versuch, dies bei der Venus (150 Sonnenradien) stattfinden zu lassen, führt zu wenig befriedigenden Zahlen, worauf der Mars als nächster Kandidat eine Tabelle liefert, die ihm besser gefällt, da bei dem Versuch mit Jupiter die Tabelle zu uniform würde.

Ab §.XIV. werden nun die Phänomene betrachtet, die sich nach DANIEL BERNOULLIS Meinung durch die Sonnenatmosphäre erklären lassen.

Die erste Frage, die sich stellt, ist, ob die Sonnenatmosphäre die Ursache für die Beibehaltung der Umlaufbahnen der Planeten sein kann. Unter Berufung auf NEWTON<sup>222</sup> wird dies mit dem Hinweis auf die viel zu geringe Dichte der Sonnenatmosphäre abgelehnt. Ein weiteres Indiz spricht noch dagegen: Die beobachtete Sonnenrotationsdauer von  $25\frac{1}{2}$  Tagen verträgt

<sup>222</sup>

NEWTON, *Principia*, a.a.O., II, S. 414 Lib.II, PropXXXVIII. Theor.XXX, „Globi, in fluido compresso, infinito, & non elastico uniformiter progredientis, resistentia est ad vim, qua totus ejus motus, quo tempore octo tertias partes diametri suae describit, vel tolli possit vel generari, ut densitas Fluidi ad densitatem Globi quamproxime.“

sich nicht mit dem 3.KEPLERSCHEN<sup>223</sup> Gesetz. Es müßte nämlich ein Satellit der Sonne dicht über der Sonnenoberfläche den Umlauf in etwa 3 Stunden vollführen<sup>224</sup> (Was sich aus den Erddaten in etwa errechnen läßt). DANIEL BERNOULLI unterstellt aber immer, daß die Atmosphäre bei der Drehbewegung mitgeführt wird. Also kann die Sonnenatmosphäre nicht die Ursache der Planetenbewegung sein, sie rotiert in 25½Tagen. Erneut entsteht eine Überlegung, die ihn mit den Ausführungen seines Vaters und dem System der Wirbel in Schwierigkeiten bringt. Er sagt:

*„Ich steige hier nicht tiefer in die Untersuchung ein, falls dieses Argument nicht dem System der Wirbel gänzlich entgegengesetzt ist, was ich hier nicht widerlegen will.*

*Es gibt also einen anderen Grund, der die Planeten auf ihren Bahnen hält, und der ihre Zentrifugalkraft ausgleicht. Dieser Grund, welcher auch immer es sei, stößt die Körper gegen das Zentrum der Sonne, denn die Ebenen der Umlaufbahnen gehen durch dieses Zentrum. Wenn man findet, daß die dahintragenden Wirbel diesen Dienst den Planeten und der Erde leisten können, so will ich mich nicht dagegen sperren, daß man solche Wirbel etabliert, die die Atmosphäre durchqueren, & dies scheint mir nicht gegensätzlich zu dem, was ich gesagt habe, zu sein, nämlich, daß die Atmosphäre selbst diese Funktion nicht übernehmen kann. Ich bekenne aber durchaus, selbst nachdem ich aufmerksam die Dissertation des Herrn Jean Bernoulli gelesen habe, die ich oben schon zitiert habe, daß mir noch mehrere Bedenken gegen das System der Wirbel bleiben. Jedoch die große Eindringtiefe des berühmten Autors und die durchaus alles überragende Autorität der Akademie, deren Zustimmung er sogar selbst in dieser Materie erhalten hat, erlauben mir nicht, meine Einwände mit Überzeugung vorzutragen. Ich leide weiter an der Aussage, daß die Atmosphäre, die sich um die Sonne bewegt, gerade der tragende Wirbel der Planeten sei. Wenn es anderen möglich erscheint, daß dies sein könne, was mich betrifft, mir erscheint dies nicht so. Insbesondere ist die Hypothese, die ich für mein System benötige, eine Sache, von der wir aus Erfahrung wissen, daß sie existiert, & daß sie nicht in Zweifel gezogen wird, nämlich **daß es eine Ursache, die ich Sonnenschwere (pesanteur solaire) nennen werde, gibt, die die Zentrifugalkraft ausgleicht & die fortwährend die Planeten & die Erde gegen das Zentrum der Sonne stößt.**“<sup>225</sup>*

<sup>223</sup> KEPLER, Harmonices Mundi, Linz 1619, pp. 189-190. Abgedruckt in Frisch, a.a.O. Bd.V S.279: „[...] proportio quae est inter binorum quorumcunque Planetarum tempora periodica, sit praecise sesquialtera proportionis mediarum distantiarum, id est Orbium ipsorum;...“

<sup>224</sup> KEPLER führt eine Rechnung in *Astronomia Nova*, 34. Kapitel durch. Zuerst wird argumentiert, daß die Sonne selbst kreisen müsse, alsdann wird abgeschätzt, wie schnell sie wohl rotiere. Da sie die Planeten in verschiedener Geschwindigkeit „mitreißt“, müsse sie schneller als jeder Planet sein, woraus (Merkur) folge, daß sie mindestens einmal in 3 Monaten rotiere. danach wird unter Bezug auf *Mysterium Cosmographicum* über die Abstände der Planeten eine Proportionalrechnung durchgeführt, die als Ergebnis hat, daß die Sonne wohl mindestens den 30. Teil von 88 Tagen (Translationsdauer) für ihre Rotation haben müsse. das führt zu 3 Tagen. Die Überlegung wird mit der Bemerkung abgeschlossen, er, KEPLER, würde auch akzeptieren, wenn man unter Betrachtung einer Regelung irdischer Verhältnisse durch die Sonne, auch der Sonne eine Rotationsdauer von 1 Tag zuwiese. D.Bemoulli benutzt aber wohl das 3. KEPLERSCHE Gesetz, woraus man mit den heutigen Werten etwa 2,78 h Umlaufzeit um den „Massepunkt“ Sonne in Entfernung ihres Radius erhält.

<sup>225</sup> „Je n'entre pas ici dans l'examen, si cet argument n'est pas contraire au système des Tourbillons en général, que je ne veux pas réfuter.  
Il y a donc une autre cause qui retient les Planetes dans leurs Orbites, & qui contrebalance leur force centrifuge; cette cause, quelle qu'elle soit, pousse les corps vers le centre du Soleil, puisque les plans des Orbites passent par ce centre. Si l'on trouve que les Tourbillons déferants puissent rendre cet office aux Planetes, & à la Terre, je ne m'opposerai point qu'on établisse de tels Tourbillons, qui traversent l'atmosphère, & cela ne

In diesem Zusammenhang geht BERNOULLI noch mit der Idee von HUYGENS um, daß die Zahl der verschiedenen Wirbel sehr groß ist, und daß alle diese Wirbel räumlich so beschränkt sind, daß sie sich gegenseitig nicht stören oder daß sie sich gegenseitig durchdringen können. HUYGENS äußert dies am Ende seiner Arbeit COSMOTHEOROS<sup>226</sup>, die posthum erschienen ist. BERNOULLI meint, daß er sich mit dieser Idee durchaus befreunden könne. Am Ende sagt er noch: „*Alles dies trägt dazu bei zu glauben, daß man sich ohne Absurdität eine große Zahl von Wirbeln einer Schwere- erzeugenden (gravifique) Materie vorstellen könnte, die sich frei durchqueren, verschiedene Achsen haben und alle durch das Zentrum der Sonne gehen. Derart gäbe es keine bekannte Eigenschaft der Schwere, sei es die, die sich zur Erde auswirkt, sei es die, die ich Sonnenschwere nenne, die nicht sehr natürlich sich aus dieser Hypothese ableiten ließe. Da dies aber nicht zu unserer eigentlichen Aufgabe gehört, will ich mich weiterer Ausführungen enthalten.*“<sup>227</sup> Von da an bleiben seine Argumentationen durchaus im Rahmen der Wirbeltheorie, so, als ob er schon zu viel gesagt habe.

In DANIEL BERNOULLIS Erklärung der Lage der Umlaufbahnen der Planeten kommt jetzt ein Tenor, der eigentlich zu ihm als moderneren Wissenschaftler nicht passt. Nach seiner Meinung ist die **Sonnenatmosphäre** die **Hauptursache**. Sie bewirkt, wobei er nicht sagt, wie, daß die Umlaufbahnen ihre Neigung allmählich verlieren. Für die Einhaltung der Bahnen selbst ist die ‚Sonnenschwere‘ (*pesanteur solaire*) zuständig. Die Planetenbahnen befinden sich nach ihm nicht in der Ebene des **Sonnenäquators**, aber dieser ist ihr **unwandelbarer natürlicher Ort**, zu ihm streben sie, wenn auch in extremer Langsamkeit hin. Sie werden diesen Ort nie erreichen, oder, was dem entspricht, sie werden ihn erst nach unendlicher Zeit erreichen. Es ist die **Natur** der Körper, die in dieser Umgebung bewegt werden, Widerstand zu leisten und abgelenkt zu werden. Das Beispiel, das DANIEL BERNOULLI jetzt noch hinzufügt, erinnert sowohl nach Inhalt als auch nach Methode doch sehr stark an seinen Vater, JOHANN BERNOULLI: Das Geschoß, das im Vakuum eine Parabel beschreiben würde, erleidet in der Luft eine Krümmung der Bahn, die sich einer Geraden nähert, sie aber nie erreicht.<sup>228</sup>

---

sera pas contraire à ce que j'ai dit, que l'atmosphère elle-même ne peut pas faire cette fonction; j'avoue pourtant, que même après avoir lû attentivement la Dissertation de M. Jean Bernoulli, que j'ai citée ci-dessus, il me reste encore plusieurs difficultés contre le système des Tourbillons. Mais la grande pénétration de ce célèbre Auteur, & sur-tout l'éminente autorité de l'Académie, dont il a peut-être emporté les suffrages justes dans cette matiere, ne me permettent pas de dire mon sentiment avec confiance. Je souffrirai encore qu'on dise, que l'atmosphère mûë autour de l'axe du Soleil, est précisément le Tourbillon déferant des Planetes, s'il paroît aux autres que cela puisse être, quoiqu'à moi cela ne me paroisse pas. Car l'hypothese dont j'ai besoin pour mon système, est une chose dont nous sçavons par expérience qu'elle existe, & n'est plus révoquée en doute; sçavoir, *qu'il y a une cause, que j'appellerai pesanteur solaire, qui contrebalance la force centrifuge, & qui pousse continuellement les Planetes & la Terre vers le centre du Soleil.*“(DBQ, XIV Übers. S. 196, Z33 – S.197, Z.14; **Hervorhebung im Original**)

<sup>226</sup> HUYGENS Christian, ΚΟΣΜΟΘΕΩΡΟΣ sive De terris Coelestibus, earumque ornatu, CONJECTURAE, Bibliopolam MDCXCVIII

<sup>227</sup> „*Tout cela me portoit à croire que l'on pouvoit, sans absurdité, supposer un grand nombre de Tourbillons d'une matiere subtile gravifique, se traversant librement & sur differens axes, qui passent tous par le centre du Soleil; & de cette maniere il n'y auroit aucune propriété connue de la pesanteur, soit de celle qui se fait vers le centre de la Terre, soit de celle que j'appelle solaire, qui ne coulât très naturellement de cette hypothese. Mais comme cela n'appartient proprement pas à notre propos, je ne m'y arrêterai pas davantage.*“(DBQ, XV, Übers. S.197, Z.41 – Z.47 )

<sup>228</sup> „*Il paroît donc, en considerant l'action de l'atmosphère, & la pesanteur solaire ensemble, que la direction naturelle & immuable des corps qui se meuvent autour du Soleil, doit être telle, qu'elle satisfasse aux deux points que nous venons d'exposer; ce qui ne peut se faire sans que les Orbites soient dans*



Im folgenden Teil des Textes wird der Gedanke des Prozesses, den alle Gegenstände der Natur durchlaufen, einer Entwicklung, die sich in – wenn auch langen – Zeiträumen abspielt, noch vertieft. Es wird verworfen, daß man mit Konstanz der Beobachtungen argumentieren könnte, indem auf die ungeklärte Frage der Genauigkeit der alten Beobachtungen und die gleichfalls ungeklärte Frage des Tempos der Veränderung verwiesen wird. Wörtlich sagt DANIEL BERNOULLI: „*Indessen glaube ich nicht, daß es jemand gibt, der noch unterstützt, daß die Himmelskörper keinen Änderungen unterworfen seien. Denn die Welt ist nicht seit Ewigkeit, weder wird sie ewig dauern, noch wird sie in dem gleichen Zustand beharren, solange sie dauert.*“<sup>229</sup> An diesem Satz sieht man deutlich, wie sehr das Prozeßhafte aller Naturvorgänge sich schon im Gedankengang festgesetzt hat. Der Gegensatz zu den Gedanken des Vaters, JOHANN BERNOULLI, wird auch deutlich, der von gewissen Unwandelbarkeiten überzeugt ist. Denn bei ihm (Johann) heißt es: „*Diese Geschwindigkeit hält auch heute noch an und wird ohne Zweifel bis zum Ende der Welt andauern, ohne daß die Materie des Wirbels ihr die mindeste fühlbare Verlangsamung verursachen könnte*“<sup>230</sup>, wobei er hier der Meinung des Herrn NEWTON zustimmt.

Ein weiterer Einwand gegen DANIEL BERNOULLIS System könnte aus der Mondbewegung abgeleitet werden, was ihn sofort zu dessen Widerlegung führt. Er meint, man sehe an der Bewegung der Knoten der Mondbahn und deren Pendeln, daß hier ein anderer Grund vorliegen müßte, auch wenn vielleicht die Sonnenatmosphäre bis zum (Erd-) Mond reicht. Hier könne es nur so sein, daß sich der Mond dem Erdäquator näherte, falls denn die Erdatmosphäre bis zum Monde reiche, woran er zweifle. In der anschließenden Bemerkung, die er bei der Übersetzung beifügte, erläutert DANIEL BERNOULLI dann noch die Bewegung der Knoten der Sonne (noeds solaires). Es sei ersichtlich, daß die Sonnenatmosphäre diese Knoten bewege. Es sei auch ohne Zweifel, daß die Bewegung der Erdbahn den Äquator permanent in anderen Punkten der Ekliptik schneiden ließe. Von daher könne man auch die Bewegung der Äquinosen verstehen (das, was heute die Präzessionsbewegung der Erde heißt).<sup>231</sup>

DANIEL BERNOULLI untersucht nun in §.XIX. die beiden bekannten anderen Systeme, Jupiter und Saturn. Es kann nicht ausbleiben, daß auch er die günstige Situation bei Jupiter für seine Theorie und die Lage der Satellitenbahnen, sowie die Ausnahme des fünften Satelliten bei Saturn bemerkt. Wichtig für ihn ist die Tatsache, daß die Äquatorebenen der beiden Planeten einen großen Winkel miteinander bilden. Dies ist ein Indiz für ihn, daß es **nicht** die Sonnenatmosphäre ist, die hier als Ursache für die Lage der Satellitenebenen in Frage kommt. Also ist die Ursache wieder in der eigenen Atmosphäre der beiden Planeten zu suchen. Und, was den fünften Saturn-Satelliten angeht, so erklärt BERNOULLI dessen Lage mit der fehlenden Reichweite der Saturnatmosphäre. Dies ist ferner ein weiteres Argument für ihn, daß

---

*l'E'quateur solaire. Si elles ne sont pas réellement dans cet E'quateur, qui est leur situation naturelle & immuable, elles s'en approchent, & cela fort sensiblement, lorsqu'elles en sont beaucoup éloignées; mais au contraire avec une extrême lenteur, lorsque les mêmes Orbites se confondent presque avec ledit E'quateur; aussi-bien n'y arrivent elles tout-à-fait qu'après un temps infini. C'est-là la Nature des corps mûs dans des milieux, soit résistans, soit déferants. Ainsi, par exemple, les corps, qui projetés dans le vuide, décrivent une parabole, font dans les milieux résistans une courbe, laquelle approche d'abord fort vite d'une ligne verticale, sans pourtant jamais l'atteindre tout-à-fait.“ (DBQ XVI; Hervorhebung von mir, Übers. S.198 Z.13- 25*

<sup>229</sup> „[...]Cependant je ne crois pas qu'il y ait personne, qui soutienne encore les corps célestes n'être sujets à aucuns changements; car le monde n'est pas depuis l'éternité, ni ne durera éternellement, ni ne demeurera enfin toujours dans le même état, tant qu'il dure.“ (DBQ, XVIII, Übers. S. 199, Z.4 - 7)

<sup>230</sup> „[...] Cette vitesse dure encore aujourd'hui, & durera sans doute jusqu'à la fin du monde, sans que la résistance de la matiere du Tourbillon puisse lui causer le moindre retardement sensible [...]“ (JBC, XLIX, Übers. S. 153 Z. 29-31)

<sup>231</sup> „[...]C'est aussi sans doute le mouvement de l'Orbite de la Terre, qui fait que l'équateur coupe continuellement en d'autres points l'écliptique; d'où il faut tirer le mouvement des points équinoctiaux, qu'on croit faire le tour dans 25000 ans, ou environ.“ (DBQ, XVIII, Übers. S.200, Z. 2-5).

dieser Saturnmond stets die gleiche Seite dem Saturn zuwendet<sup>232</sup>, wie das unser Mond zur Erde hin ebenfalls zeigt. Es sei, so meint er, nicht zu zweifeln, daß diese beiden Satelliten außerhalb der Atmosphäre ihrer Planeten seien.

In §.XX. wird nun eine physikalische Begründung (qualitativer Art) dafür gegeben, daß (im widerstrebenden Medium, dies ist ja seine Grundvoraussetzung) ein in geneigter Bahn kreisender Planet eine Winkeländerung der Achse der Bahnrotation erfahren muß, die sie in Richtung zur Senkrechten zur Äquatorebene bewegt. Die Herausgeber von DANIEL BERNOULLIS Werken geben im Kommentar eine Berechnung von Prof. L.Bossy (I.R.M. Uccle, Belgien) an, die diesen Gedanken von DANIEL BERNOULLI quantitativ bestätigen.<sup>233</sup> Dieser sieht im folgenden Text vor allem die Schwierigkeit, die Lage des Sonnenäquators exakt zu bestimmen. Er gibt eine Tabelle der Inklinationen der Bahnen der Planeten mit dem Sonnenäquator, die er wieder mit der gleichen Methode wie in §.IV. gefunden hat. Infolge der Unsicherheit der Lage des Sonnenäquators kann er zeigen, daß sich leicht auch eine völlig andere Tabelle hätte ergeben können.

Nun wird DANIEL BERNOULLIS Aufmerksamkeit auf die Kometen gelenkt. Er bedient sich dabei einer Aufstellung von HALLEY, gibt aber nicht an, welchen Mittelwert er zu berechnen gedenkt. Hier darf also unterstellt werden, daß der volkstümlichste Mittelwert genommen wird, das arithmetische Mittel. Durch Nachrechnen findet man, daß dies  $43^{\circ}16'18''$  beträgt, DANIEL BERNOULLI gibt  $43^{\circ}39'$  an. Geht man von vernachlässigbaren Rechenfehlern aus, so hat er also das arithmetische Mittel berechnet und den Erwartungswert auf  $45^{\circ}$  abgeschätzt. Der HALLEYSCHEN Komet kommt in seiner Tabelle dreimal (1531, 1607 und 1682) vor. Immerhin war die Vorhersage HALLEYS, daß es sich jeweils um den gleichen Kometen mit elliptischer Bahn handele, der 1758 wieder erscheinen werde, schon jahrelang bekannt. Aber auch wenn man die Werte des Kometen zweimal aus der Tabelle herausnimmt, nähert sich der arithmetische Mittelwert der Zahlen nicht dem von DANIEL BERNOULLI angegebenen Wert. Im schon zitierten Kommentarteil<sup>234</sup> zu DANIEL BERNOULLI wird ganz richtig vermerkt, daß der Erwartungswert keineswegs  $45^{\circ}$ , sondern durch

$$q = \frac{\int_0^{\frac{p}{2}} a \sin a da}{\int_0^{\frac{p}{2}} \sin a da} = 1 \text{ rad} = 57^{\circ}18'$$

gegeben ist. Aber in der Frühzeit statistischer Betrachtungen kann man nicht erwarten, daß DANIEL BERNOULLI dies hätte bemerken müssen, zumal er ja auch noch überzeugt davon war, daß die Kometen keine Annäherung an die Ekliptik zeigen würden, sie mußten also im Mittel in der Nähe des Erwartungswertes sein.

Im nächsten Abschnitt befaßt sich DANIEL BERNOULLI mit der Exzentrizität der Himmelskörper. Es ist auffällig, daß die Kometen eine große Exzentrizität zeigen, während sie bei den Planeten fast null ist. Auch dies führt er auf die Sonnenatmosphäre zurück, die er als Verursacherin der geringen Exzentrizität der Planeten ansieht, die sich, seiner Auffassung nach, ständig darin aufhalten. Er ist überzeugt, daß sich auch hier ein Grenzwert zeigt, derart, daß alle Planeten dazu tendieren, als Bahn einen Kreis zu haben. Im schon erwähnten Kommentar<sup>235</sup> wird zitiert, daß dieser Satz von POINCARÉ vollständig bewiesen wurde. Seine Intuition für physikalische Zusammenhänge ist richtig, sie vollständig auszuarbeiten, dafür fehlten ihm sicherlich die mathematischen Mittel.

<sup>232</sup> Für DANIEL BERNOULLIS Belegstellen, wobei er allerdings meint, die Begründungen dort seien schwach, siehe die Bemerkungen zu §.XIX. in der Übersetzung (S.200)

<sup>233</sup> Speiser, David [Ed.], Die Werke von DANIEL BERNOULLI, Basel 1987, S.245-46.

<sup>234</sup> Speiser, David [Ed.], Die Werke von DANIEL BERNOULLI, Basel 1987, S.249

<sup>235</sup> vergl. vorige Fußnote, Poincaré H., Leçons sur les Hypothèses Cosmogoniques, Paris 1911, p. 117-129.

In §.XXVI. kommt nun nochmals DANIEL BERNOULLIS Sicht einer sich seit langer Zeit entwickelnden Welt und dem prozeßhaften Geschehen, das wir beobachten, zum Ausdruck:

*„Ist es nicht besser, diese Prinzipien zu gebrauchen, als auf den unmittelbaren Willen des Schöpfers zurückzugreifen, wie es gemacht wird in bezug auf mehrere Phänomene von denen, die alles ableiten wollen aus der einfachen gegenseitigen Gravitation von Körpern, die sich im Leeren bewegen? & kann es sein, daß der Wille Gottes durchaus keinen Einfluß hatte? Wenn er gewollt hätte, daß die Umlaufbahnen der Planeten in der gleichen Ebene lägen, ohne daß sie es vollständig seien, daß sie kreisförmig seien, ohne daß sie es vollständig seien, & so in mehreren anderen Punkten, auf die man Bezug nehmen muß, daß die Erde und alle Planeten sich in der gleichen Umlaufrichtung bewegen, & herausgehoben derjenigen der Sonne, die sich um ihre Achse dreht, & daß es das gleiche ist bei den Monden des Saturn und des Jupiter, dies alles sind Dinge, die, auch wenn sie noch verborgen waren, uns nun unsere Theorie erhellt hat, während Herr Newton selbst, der größte Philosoph unseres Jahrhunderts, in seiner *Optique*<sup>236</sup> erklärt, daß man dafür keinerlei mechanische Ursache angeben könne.“<sup>237</sup>*

Seine Bewunderung für NEWTON ist offensichtlich, die für dessen Weltanschauung aber wohl nicht so sehr. Zweifellos ist auch „*Opticks*“ leichter zu lesen als die „*Principia*“. DANIEL BERNOULLI war aber aus der neuen Generation, war ein auf dem Kontinent im Lichte der Aufklärung erzogener Wissenschaftler (man bedenke, daß er als Dr. der Medizin promoviert war, einen Lehrstuhl für Mathematik in St. Petersburg innehatte und entscheidende Beiträge zur Physik geleistet hat). Es ist einfach nicht möglich für einen Menschen seines Horizontes, sich von religiösen Dogmen einsperren zu lassen. Hier mußte er anders denken, auch anders als sein Vater, der offensichtlich mehr der abgeklärten Frömmigkeit anhing, wie sie LEIBNIZ zeigte.

Hat man einmal ein wirksames Prinzip der Erklärung zur Hand, so neigt man dazu, möglichst viel damit erklären zu wollen oder zu können. Auch DANIEL BERNOULLI läßt sich nun darauf ein, die tägliche Bewegung der Planeten ebenfalls durch die Sonnenatmosphäre erklären zu wollen. Da die verschiedenen Schichten verschiedene Geschwindigkeiten haben, üben sie auf die verschiedenen Hemisphären der Planeten verschiedene Wirkung aus und drehen sie auf diese Weise. Er sagt aber auch: „Ich weiß keine andere Erklärung dafür.“<sup>238</sup> Die Nei-

<sup>236</sup> Newton, *Opticks, or a Treatise of the reflections, refractions, inflexions of light*, 3<sup>rd</sup> edition, London 1721, Qu.28: „[...] we have the Authority of those the oldest and most celebrated Philosophers of Greece and Phoenicia, who made a Vacuum, and Atoms, and the Gravity of Atoms, the first principles of their Philosophy; tacitly attributing Gravity to some other Cause than dense Matter. Later Philosophers banish the Consideration of such a Cause out of natural Philosophy, feigning Hypotheses for explaining all things mechanically, and referring other Causis to Metaphysicks: Whereas the main Business of natural Philosophy is to argue from Phaenomena without feigning Hypotheses, and to deduce Causes from Effects, till we come to the very first Cause, which certainly is not mechanical; [...] And though every true Step made in this Philosophy brings us not immediately to the Knowledge of the first Cause, yet it brings us nearer to it, and on that account is to be highly valued“. (aus Query 28, p.369-370)

<sup>237</sup> *Ne vaut-il pas mieux employer ces principes, que de recourir à une volonté immediate du Créateur, comme le font par rapport à plusieurs phenomenes ceux qui veulent tout déduire de la simple gravitation mutuelle des corps mûs dans un vuide? & peut-il se faire que la volonté de Dieu n'ait pas tout son effet? qu'il ait voulu que les Orbites planetaires fussent dans un même plan, sans qu'elles le soient parfaitement; qu'elles fussent circulaires sans qu'elles soient tout-à-fait telles; & ainsi de plusieurs autres points, ausquels il faut rapporter que la Terre & toutes les Planetes se meuvent d'un même sens, & nommement de celui duquel le Soleil se tourne autour de son axe; qu'il en est de même dans les Mondes de Saturne & de Jupiter, lesquelles choses sont telles, que si elles étoient encore cachées, notre theorie nous les dicteroit, pendant que M. Newton même, le plus grand Philosophe de notre siecle, declare dans son *Optique*", qu'on n'en sçaurait donner aucune raison mechanique. Übers. S. 205, Z.13-24.*

<sup>238</sup> „[...] je ne vois point d'autre maniere d'expliquer le mouvement des Planetes autour de leur axe [...]“ (DBQ, XXVII, S.205, Z.32)

gung der Achsen will er durch Inhomogenitäten in der Massenverteilung der Planetenkörper (vielleicht) erklären.

Eine kleine Reverenz zum Schluß beschließt diese Abhandlung:

*„Dies ist also das, was ich zum Problem zu sagen habe, das von der Akademie vorgeschlagen wurde. Seit langem hege ich diese Überlegungen, jedoch war ich gezwungen, sie in großer Hast niederzuschreiben. Ich hoffe deshalb, wenn ich einige Rechenfehler oder Positionsfehler in den Zahlen habe, über die sich die Astronomen einig sind, oder die sie leicht herleiten, daß man mir verzeihe. Die Hast hat mich zur Kürze gezwungen, sonst hätte ich ohne diese noch mehrere andere Bemerkungen anfügen können oder meine Darlegungen breiter ausgestalten können, was auf diese Weise der vorliegenden Dissertation ein größeres Volumen gegeben hätte. Ich schmeichle mir dennoch, daß das, was ich gesagt habe, den Intentionen, die die Akademie bei ihrem Problem hatte, genügen wird.“<sup>239</sup>*

---

<sup>239</sup>

*„Voilà ce que j'avois à dire sur le Probleme proposé par l'Academie. Il y a long-temps que j'ai fait ces meditations, mais j'ai été obligé de les mettre par écrit fort à la hâte. J'espere donc, s'il y avoit quelques erreurs de calcul ou de position dans les nombres, sur lesquels les Astronomes conviennent, ou qui s'en déduisent facilement, qu'on me les pardonnera; la hâte m'a obligé à la brieveté, sans cela j'aurois pû alleguer plusieurs autres remarques, & étendre davantage celles que j'ai alleguées, & donner de cette maniere un plus grand volume à la presente Dissertation. Je me flatte pourtant que ce que j'ai dit suffira pour l'intention que l'Academie a eüe dans son Probleme.“ (DBQ, XXVIII, Übers. S.206, Z. 5-14)*

## Leonhard Euler (1707 – 1783)

### LEONHARD EULERS Situation bis 1770.

LEONHARD EULER war 7 Jahre jünger als DANIEL BERNOULLI und ebenfalls ein Schüler JOHANN BERNOULLIS, eigentlich könnte man sagen, sein Meisterschüler. In EULER bewundern wir den eleganten Umformer mathematischer Terme, er konnte unglaublich geschickt mit ihnen umgehen. Auch ihm war es, wie DANIEL BERNOULLI, nicht vergönnt, einen Platz als Professor an der Basler Universität zu erringen, denn auch ihm war das Los ungünstig. JOHANN BERNOULLI überredete ihn, nach St. Petersburg zu gehen (Dort fühlte sich DANIEL BERNOULLI schlecht und einsam. Sicher hat der gemeinsame Aufenthalt dort ihre Freundschaft befestigt.), was dazu führte, daß er 1727 als „Adjunct“ an der St. Petersburger Akademie anfing, dann 1731 als Nachfolger BÜLFINGERS Professor für Physik an der Akademie in St. Petersburg wurde, und nach dem Wegzug DANIEL BERNOULLIS, den es zurück nach Basel trieb, auch wenn er dort nur Professor für Anatomie und Botanik wurde, folgte er 1733 auf dessen St. Petersburger Lehrstuhl für Mathematik nach. 1741 übersiedelte LEONHARD EULER dann nach Berlin und folgte damit einem Ruf Friedrichs II. an die Akademie der Wissenschaften. 1766 führte ein Zerwürfnis mit dem Preußischen König zu seiner Rückkehr nach St. Petersburg.

Die Schrift „*DE CAUSA GRAVITATIS*“<sup>240</sup> kann erst seit jüngerer Zeit sicher zu EULERS Werken gerechnet werden; im „Eneström- Verzeichnis“ v. 1910-13 ist sie nicht aufgenommen. KLEINERT hat erst in der Werkausgabe 1996 die fehlenden Details veröffentlicht.<sup>241</sup>

Sie sind ganz amüsant und seien deshalb hier kurz referiert: Die Schrift erschien anonym. Daraus, daß sie überhaupt erschien, war allerdings klar, daß sie von einem der Akademie nahestehenden Verfasser stammen mußte. Nun glänzt sie im Anfangsteil mit scharfen Angriffen gegen die Anhänger der Attraktionstheorie. Aus einem Brief LEONHARD EULERS wissen wir, daß er die Pariser Akademiemitglieder ebenfalls zu deren Anhängern zählte und gerade einen Wettbewerbsbeitrag über Magnetismus<sup>242</sup> eingereicht hatte, in dem er sich auch schon, wenn auch gemäßigter, in dieser Richtung geäußert hatte. Er befürchtete, daß er deshalb wohl kaum mit einem Preis rechnen könne. Also hat er wohl (dies ist Vermutung) den noch stärker gewürzten hier betrachteten Beitrag anonym publiziert. Wie aber kann die Schrift LEONHARD EULER zugeordnet werden? Dies ist auf dem Umweg über den Genfer Wissenschaftler George-Louis LE SAGE möglich. In den 60er Jahren des 18. Jahrhunderts machte dieser wohl eine größere Literaturrecherche über Beiträge zur Gravitations theorie, denn er hatte seinerseits eine solche Theorie verfaßt, die er gerne anerkannt gehabt hätte.<sup>243</sup> Im Zuge dieser Recherche stieß er auf die Arbeit von 1743 und fand sofort die dort verwendete Formel derjenigen gleich, die LEONHARD EULER in seiner Preisschrift über den Magnetismus verwendet hatte. Er hat ihn daraufhin angeschrieben, und aus EULERS Antwortbrief wissen wir nun, daß er tatsächlich der Autor war.

In LE SAGES Brief wird EULER wohl klargemacht, daß sein „Aether“ nicht in der Lage ist, sowohl die Lichtfortpflanzung als auch die Gravitation zu erklären, und LEONHARD EU-

<sup>240</sup> In MISCELLANEA BEROLINENSIA 7, 1743

<sup>241</sup> „DE CAUSA GRAVITATIS“ in LEONHARDI EULERI OPERA OMNIA Ser. III, Vol. 31, Basel 1996 S. 373-378

KLEINERT, ANDREAS, in der Einleitung hierzu , Introduction LXXXVII.

<sup>242</sup> s. Fußnote 251 S. 91

<sup>243</sup> Die Hauptgedanken dieser Theorie, in der Le Sage mit einer besonderen Sorte Korpuskeln, die er „*ultramondain*“ nannte, operierte, sind nachzulesen in der Schrift „LE SAGE, G.-L., Essai de Chymie mécanique, Rouen 1758“, die zwar gedruckt, nicht aber verkauft wurde.

LER gibt diesen Fehler zu.<sup>244</sup> Interessanterweise fällt dieser Briefwechsel in die Zeit zwischen dem Verfassen und dem Veröffentlichenden der „*Briefe an eine deutsche Prinzessin*“<sup>245</sup> über verschiedene Gegenstände aus der Physik und Philosophie“. Diese erschienen erstmals im Druck 1768. Vielleicht hat das Erlebnis mit LE SAGE mildernd auf ihn gewirkt. Denn in den veröffentlichten „Briefen“ ist EULER viel moderater und vorsichtiger und auch weniger von sich selbst überzeugt. Dies wird im Folgenden noch näher zu betrachten sein. Macht man sich aber LEONHARD EULERS Lebensumstände deutlich, so stammt „*DE CAUSA GRAVITATIS*“ aus einer Lebenszeit (zwischen 30 und 40), wo man noch keinerlei Kraftverlust zu verspüren pflegt, auch wenn Euler schon sein rechtes Auge infolge einer Infektion eingebüßt hatte (1737). Die *Briefe* stammen aus der Zeit des reifen Mannes (Mitte der 50), ihre Veröffentlichung liegt 3 Jahre vor dem Verlust auch des noch verbliebenen Auges (1771) und damit der totalen Erblindung. Es ist unglaublich, daß LEONHARD EULER dann trotzdem noch 13 Jahre produktiv sein konnte und Werke wie „*Théorie complète de la construction et de la manœuvre des vaisseaux*“, die *Dioptrik* und „*institutiones calculi integralis*“ als Blinder verfaßte. Es mußte alles diktiert werden, und der gesamte Text inklusive der Formeln mußte im Gedächtnis gehalten werden. Von der *vollständigen Anleitung zur Algebra* gibt es widersprüchliche Berichte zur Entstehungszeit. In meiner RECLAM-Ausgabe aus dem vorigen Jahrhundert wird in der anonymen „biographischen Einleitung“ berichtet, dies sei das erste, was er nach seiner Erblindung verfaßt habe. Bei Andreas SPEISER<sup>246</sup> ist dies in der Zeittafel zu den Briefen anders. Nach ihm ist die *Algebra* 1770 entstanden.

Nun zu den hier zu betrachtenden Schriften:

## 1. DE CAUSA GRAVITATIS.<sup>247</sup>

Die Schrift ist anonym 1743 abgedruckt worden. Zu der Zuordnung zu EULER habe ich mich schon oben geäußert. Hätte man alle Arbeiten EULERS durchgesehen, dann hätte man schon früher auf den Autor stoßen müssen, denn im Jahre 1862 wurde von FUSS in den *OPERA POSTUMA* 2 schon EULERS Schrift „ANLEITUNG ZUR NATURLEHRE WORIN DIE GRÜNDE ZU ERKLÄRUNG ALLER IN DER NATUR SICH EREIGNENDEN BEGEBENHEITEN UND VERÄNDERUNGEN FESTGESETZT WERDEN“<sup>248</sup>, welche auf

<sup>244</sup> In dem Brief von EULER an LE SAGE v. 8.9.1765 heißt es: « ...Sans entrer dans une discussion de vos corpuscules ultramondains, je reconnois que vous avez solidement réfuté l'explication de la gravité, que j'avois hasardée autrefois ;... Je soutiens donc, qu'il se trouve dans le monde, outre l'éther, encore une autre fluide incomparablement plus subtil et plus élastique, où il faut sans doute chercher la cause de la gravitation universelle... Ainsi vous m'excusez, Monsieur, que je sens encore une très grande répugnance pour vos corpuscules ultramondains, et j'aimerois toujours mieux d'avouer mon ignorance sur la cause de la gravité, que de recourir à des hypothèses si étranges.... » Eigene Übers. :

(„Ohne in eine Diskussion Ihrer ultramondainen Korpuskeln einzutreten, erkenne ich an, daß Sie die Erklärung der Gravitation, die ich einst gewagt hatte, solide widerlegt haben; ... Ich unterstütze also (den Gedanken), daß sich in der Welt, außer dem Aether, noch eine andere Flüssigkeit befindet, subtiler und elastischer, in der man ohne Zweifel die Ursache der universellen Gravitation suchen muß. ... So entschuldigen Sie mich also, mein Herr, daß ich einen sehr großen Widerstand gegen Ihre ultramondainen Korpuskeln empfinde, und ich immer lieber meine Unwissenheit über die Ursache der Schwere bekennen, als Zuflucht zu solch merkwürdigen Hypothesen zu nehmen. ...“; zitiert nach: PREVOST, Pierre, Notice de la vie et des écrits de Georges-Louis Le Sage de Genève, Genève 1805.

<sup>245</sup> Originalschreibweise, die aber von mir nicht in dem fortlaufenden Text übernommen ist.

<sup>246</sup> Speiser, Andreas [Hrsg.], Briefe an eine deutsche Prinzessin, Braunschweig 1986. Nachdruck der deutschen, vermutlich von Euler besorgten, Ausgabe von 1769-73, Zeittafel S. 297-298

<sup>247</sup> Zum als Quelle benutzten Text s. Fußnote 241. Alle Seitenzahlen beziehen sich darauf.

<sup>248</sup> (Ennestroem 842) abgedruckt in:

BERNOULLI, Eduard, BERNOULLI, Rudolf, RUDIO, Ferdinand, SPEISER, Andreas [Hrsg.] LEONARDI EULERI OPERA OMNIA, Ser. III, Vol.1, Commentationes physicae ad physicam generalem, LIPSIAE et BEROLINI MCMXXVI (1926).

Deutsch verfaßt ist, abgedruckt, die mit der bemerkenswerten Definition beginnt: „*Die Naturlehre ist eine Wissenschaft, die Ursachen der Veränderungen, welche sich an den Körpern ereignen, zu ergründen.*“ (Hervorhebung von mir) Das dortige Kapitel (S.149) heißt: „*Von der Schwere und den Kräften so auf die himmlischen Körper wirken.*“ Es beginnt mit dem Satz:

*Die Schwere entsteht aus dem ungleichen Druck des Aethers, welcher in einer grössern (sic) Entfernung von der Erde immer grösser wird; daher die Körper stärker gegen die Erde als von derselben weggetrieben werden, und dem Ueberlusse dieser drückenden Kräfte ist das Gewicht des Körpers gleich<sup>249</sup>.*

Damit hat man quasi das Programm des hier zu betrachtenden Aufsatzes, allerdings ohne die Argumentationen an dessen Anfang. Der mathematische Teil, eingeschlossen die Skizze und die entsprechenden Formeln, findet sich fast genau so wieder. Einige Buchstabenbezeichnungen sind vertauscht. Ich komme deshalb nach Betrachtung von *DE CAUSA GRAVITATIS*, der ich mich hier erst zuwenden will, nochmals auf diese Schrift zurück.

Auf ganz wenigen Seiten, von denen die Hälfte neben Angriffen auf die Anhänger einer Attraktion ein Kolleg über wissenschaftlich richtiges Verhalten ist, gibt er eine Theorie über die Ursache der Gravitation, stellt eine Formel über deren Größe auf und kann durch leichte Umformung daraus das Gesetz über die umgekehrte Proportionalität der Kraft zum Quadrat des Abstandes vom Zentrum des Körpers herleiten.<sup>250</sup> Die Idee zu dieser Darstellung entstand bei einer anderen Gelegenheit. LEONHARD EULER hatte eine Arbeit über den Magnetismus bei der Pariser Akademie eingereicht<sup>251</sup>, in der er eine Theorie über dessen Ursache aufstellte.

Dabei fiel ihm auf, daß die Gravitation auch so erklärt werden könnte, und dies schrieb er in diese Arbeit mit hinein. Er erhielt auch mit zwei anderen Wissenschaftlern den Preis der Akademie. Vermutlich war ihm die Umsetzung der Idee nochmals eine Publikation wert. Anonymität bei der hier betrachteten Arbeit zog er deshalb vor, weil er seine Aussichten, den Preis zu gewinnen, nicht noch durch seine Angriffe gegen die „*Attractionisten*“ gefährden wollte. War er doch der Meinung, die Mitglieder der Pariser Akademie gehörten zu diesen.

Nun, erstens war er unter den Preisträgern und zweitens bestand die Mitgliedschaft aus genügend Wissenschaftlern, die ich auch durchaus als Cartesianer und Anhänger der kontinentalen Theorien einschätze. Fast alle hier in dieser Arbeit von mir im Kapitel „*JOHANN BERNOULLI*“ zitierten Wissenschaftler waren auch Akademiemitglieder, DANIEL BERNOULLI schätzte die Akademie 1734 ebenso ein. Es war einfach so, daß es sich etwa zur Mitte des Jahrhunderts herausgestellt hatte, daß NEWTONS mathematische Darstellung der Gesetze bei Berechnungen Ergebnisse lieferte, die mit der Beobachtung **bestens** übereinstimmten. **Also bediente man sich ihrer**, hatte aber erhebliche Vorbehalte, den leeren Raum zu akzeptieren. Dieser mußte durch Aether gefüllt werden und mechanische Erklärungen der Wirkung liefern. Gerade LEONHARD EULER scheint mir der Prototyp dieser pragmatischen Haltung zu sein und wird deshalb auch von mir als solcher hier vorgestellt.

## Die Einleitung zur Arbeit: Wie beobachtet man Gravitation?

Jede anständige Abhandlung aus dieser Zeit beschreibt zuerst die Phänomene. Dies geschieht auch hier durch LEONHARD EULER. Allerdings kann er sich hierbei kurz fassen und kommt direkt zur Erwähnung der von ihm zu bekämpfenden Theorie, indem er bei der Angabe der Beobachtung der Phänomene der Gravitation zugleich erwähnt, daß von vielen Wissenschaftlern die Gravitation zu den Ureigenschaften (*primae proprietates*) der Materie gerechnet werde. Als solche Eigenschaften werden Ausdehnung (*extensio*) und Trägheit (*iner-*

<sup>249</sup> Originalschreibweise beibehalten.

<sup>250</sup> s. Übersetzung S 207-212

<sup>251</sup> Dissertatio de magnete ab illustr. Academia Regia Paris. Scient. praemio condecorata A. 1744, in Opera omnia III, 10 Basel (in Vorber.)

tia) mitgenannt.<sup>252</sup> Es wird durch den Verfasser dargelegt, daß an der Tatsache, daß die Körper um die Erde gegen das Erdzentrum eine Gravitation erfahren und daß die Himmelskörper gegen die Sonne eine solche erfahren, keinesfalls zu zweifeln sei. Damit ist die Haltung der Wissenschaftler in dieser Zeit vollständig beschrieben. Die Phänomene der Gravitation sind geklärt, ihre Gesetze durch NEWTON beschrieben. Denn es folgt sofort auch die Überleitung LEONHARD EULERS zu NEWTON:

Der aggressive Teil: Die Anhänger der „Attractio“ kennen deren Ursache nicht.

Die Ausführungen wenden sich dagegen, daß die Anhänger der Attraktionstheorie die Eigenschaft „schwer“ zu sein als eine Grundeigenschaft der Materie darstellen, für die eine Ursache nicht angebar sei. Sie wendet sich nicht gegen deren Benutzung als geeignete Darstellung und Lieferantin von guten Ephemeriden. *„Es ist vernünftig, daß in der Astronomie der Gebrauch der Hypothese der Anziehungskraft mit Nutzen angewandt wird, um die Phänomene der Gravitation zu erklären. Demgemäß beobachtet man, daß sich Planeten und Kometen so bewegen, als ob sie einerseits von der Sonne, andererseits wechselseitig voneinander angezogen würden, und sie schreiten nach ebendenselben Gesetzen fort, die ihnen dieser erhabene Mann, Herr NEWTON, aus dieser Hypothese (der Anziehung) vorgeschrieben hat.“*<sup>253</sup> Es ist also völlig korrekt, sie zu benutzen, und EULERS Bewunderung für NEWTON ist ungeboren. Der Mathematiker, so lesen wir, darf derlei ohne weiteres. Nicht aber der Physiker, dieser habe Verpflichtungen korrekt vorzugehen und, wenn er Phänomene als Ursachen anführt, die Ursachen für diese Phänomene anzugeben:

*„Für den Mathematiker ist es zur Bestimmung der Größe von Effekten und Kräften keinesfalls nötig, daß er die Qualitäten und Ursachen dieser Dinge erkennt und er deshalb mit Recht den Begriff der Anziehung zur Erforschung der Ursache benutzt, auch wenn er diese fürderhin nicht kennt. Und weil in der Natur eine Wirkung die Ursache einer anderen ist, ist der Physiker, wenn er die Ursache eines Effektes, von einem anderen her, dessen Ursache selbst fehlt, angeben soll, gehalten, diesen als Ursache dessen anzugeben, also für die Anziehung als unzweifelhaftem Phänomen die Ursache anderer Phänomene bereitzustellen. Selbst wenn die wahrste (meist einleuchtendste) Ursache der Anziehung aufgedeckt wäre, wäre dennoch der Grund für die Erklärung ihrer einzelnen Effekte nicht von jener fernliegenden Ursache her zu nehmen, sondern er sollte mit Recht von ihrem beobachtbaren Effekt als gleichsam der nächstliegenden Ursache abgeleitet werden.“*<sup>254</sup>

<sup>252</sup> *Gravitatio corporum in se mutua tam latissime patet, ut plurimi philosophi non dubitaverint eam ad primas materiae proprietates, cuiusmodi sunt extensio et inertia, referre, mutuamque corporum sese attrahentium actionem a viribus insitis deducere* (DCG S.373, Übers. S.207, Z.7-10).

<sup>253</sup> *Sane in Astronomia attractionis hypothesis utiliter adhibetur in explicandis gravitatis phaenomenis. Planetarum enim et Cometae perinde moveri observantur, acsi cum a sole tum a se mutuo attraherentur, iisdemque legibus progrediuntur, quas eis ex hac hypothesis Vir summus NEWTONUS praescripsit.* (DCG, 373; Übers. S.207, Z.19-25)

<sup>254</sup> *Mathematico ad determinandam quantitatem effectuum et virium minime opus est, ut qualitates et causas earum rerum perspectas habeat, adeoque omni iure utitur termino attractionis ad indigitandam causam, etsi hanc prorsus ignoret. Cumque in natura effectus unus sit causa alterius effectus, Physicus rationem effectus ab alio, cuius causa ipsum fugit, redditurus, hunc eius causam allegare, adeoque ex attractione tanquam ex indubitabili Phaenomeno aliorum Phaenomenorum rationem reddere tenetur. Imo etiamsi vel maxime vera attractionis causa detecta fuerit, non tamen in explicandis singulis eius effectibus ab ista causa remota ratio petenda esset, quae ab effectu eius observabili tanquam a proxima merito derivatur.* (DCG, 373; Übers. S.207, Z. 25-35).



In der Folge wird EULER immer polemischer. Er spricht von „unnützem Hin- und Hergerede“ (battologica), was seit DESCARTES erfreulicherweise aus der Philosophie entfernt worden sei; von den „an der Untersuchung des Grundes der Gravitation Verzweifelnden“, welche versuchten „den Gordischen Knoten zu zerschneiden“, indem sie zu primären Materieeigenschaften Zuflucht nähmen:

„Doch das von DESCARTES glücklich überwundene unnütze wiederholte Gerede (battologia) führen jene Spätheimkehrer, (wie sie glauben) mit Recht, wieder in der Philosophie (Wissenschaft) ein, verschließen sich und anderen den Weg zu einer solideren Erkenntnis naturwissenschaftlicher Dinge, wie oft auch immer sie, um die Erforschung der Ursache der Schwere verzweifelnd, den Gordischen Knoten zu durchschlagen versuchen, und deshalb kühn (acriter) fordern, daß die Anziehung eine den Körpern inhärente primitive Kraft sei.“<sup>255</sup>

Der analysierende Teil: Was ist wissenschaftlich korrektes Vorgehen? Worin besteht der Fehler der Anhänger der falschen Theorie?

Die beobachteten Phänomene sind EULERS Meinung nach auf eine Kraft als Ursache zurückzuführen. Als Ursache für jene dürfe dann nicht wieder eine Kraft, die Anziehung, genommen werden. Man vermische damit unzulässig die Begriffe und gehe wissenschaftlich unkorrekt vor. Als Ergebnis habe man einen Zirkelschluß. Definiens und Definiendum dürfen nicht vermischt werden, und beim Begriff der Ursache muß auch der Begriff des Prinzips enthalten sein:

„Es ist aus den Prinzipien der Philosophie (Wissenschaft) d.h. aus allgemeinrichtigen Begriffen, aus denen alle Axiome bestehen, bewiesen, daß beim Begriff der Ursache der Begriff des Prinzips enthalten ist, der weder zugelassen noch fingiert werden darf, wenn nicht aus seinen Bestimmungsstücken, mit deren Hilfe er konzipiert wird, ein davon abhängender Effekt erklärbar ist. Andernfalls wäre dem Philosophen gestattet, irgendetwas nach Belieben (als Prinzip) zu fingieren. Deshalb unterscheiden sich die Ursache und das Prinzip vom Effekt und dem vom Prinzip Gesetztem, wie das Bestimmende vom Determinierten. [...] Völlig unterschiedlich sind jene Feststellungen und die Dinge, durch die sie dargestellt werden; die Seiten eines Dreiecks, die die Winkel festlegen, sind selbst keine Winkel. Also sind weder Anziehung noch Schwere als Phänomene, die diesen Namen verdienen, deren Gründe.“<sup>256</sup>

Und jetzt kommen weitere Beispiele, die belegen, daß eine solche Vorgehensweise Unsinn erzeugen muß:

„In dieser Hypothese nämlich produziert die Anziehung alle ihre Wirkungen ohne jeden Zusammenhang oder Impuls und ohne Mitwirkung irgendwelcher eigener Materie als aus den Körpern hervorbrechend, gleichsam ohne irgendwelche materielle Vermittlung: Es wird damit selbstverständlich in Realität sogar eine viel

<sup>255</sup> *Ast battologiam a CARTESIO feliciter profligatam in Philosophiam iure quasi postliminii reducunt, sibi que et aliis viam ad solidiorem rerum naturalium cognitionem praecludunt, quotquot de investiganda gravitatis causa desperantes nodum gordium secare conantur, dum attractionem vim primitivam corporibus inhaerentem esse, acriter contendunt.* (Übers. DCG, 373; Übers. S. 207, Z. 35-41)

<sup>256</sup> *Ex primis Philosophiae principiis, seu ex notionibus communibus, quibus axiomata omnia constant, demonstratum est, in causae notione contineri notionem principii, quod nec admitti nec fingi debet, nisi ex eius determinationibus, per quas concipitur, effectus inde dependens sit explicabilis; [...] Admodum diversae sunt istae notiones, resque per illas repraesentatae; trianguli latera, quibus anguli determinantur, non sunt ipsi anguli. Ergo nec attractio et gravitas seu phaenomena, quae hoc nomine compellantur, sunt eorum causa.* (DCG, 374; Übers. S.208, Z.5-14)

*größere Möglichkeit der Fernwirkung (actio in distans) zugelassen, als es ohne jeden Kontakt als möglich gedacht werden könnte. Nicht allein, daß der Schall an meine Ohren ohne Vermittlung der Luft getragen werden könnte, ich könnte auch Objekte wahrnehmen, die an unendlich weit entfernten Orten durch meine Sinnesorgane nicht erreichbar wären.*“<sup>257</sup>

Damit trifft er genau gegen die „actio in distans“, die man sich zu dieser Zeit auch auf jeden Fall instantan dachte. Der Wirkmechanismus mußte verstanden werden, das war ungeschriebenes Gesetz auf dem Kontinent. Diese Linie zieht sich durch alle Kritik von LEIBNIZ über die BERNOULLIS bis LEONHARD EULER. Keinem aber ist es eingefallen, solch ein Beispiel zu konstruieren wie ihm:

*„Kräuter, die auf dem Planeten Saturn wachsen, könnten durch die in sich unverständliche Anziehung in meinem Körper irgendwie heftige Brechbewegung der Eingeweide auslösen, obwohl sie weder durch die Nasenlöcher noch durch den Mund irgendwie eingesaugt werden.*“<sup>258</sup>

Der Planet Saturn mußte deshalb genommen werden, weil er der weitest entfernte (bekannte) in der damaligen Zeit war. Und fremdartige Kräuter mußten auch Brechreiz auslösen. EULER war zwar für die damalige Zeit weit gereist, aber er kannte die Mentalität seiner Leser. Die Polemik endet etwa mit dem Satz: *„Die Beschützer der Anziehung erlauben, daß die Körper, weil sie gänzlich aus Ausdehnung und Bewegung (entia composita extensa et mobilia) bestehen, beim Zusammentreffen durch Kontakt entsprechend den Gesetzen der Bewegung unendlichen Veränderungen unterworfen seien und sie deshalb gleichsam als Maschinen betrachtet werden können oder müssen.*“<sup>259</sup> Jetzt wird eine methodische Belehrung eingeschoben.

### Über die logisch zugelassenen Methoden.

Zuerst wird konstatiert, daß jede Veränderung eines Körpers durch Bewegungen bewirkt und deshalb aus den Bewegungsgesetzen begründet werden kann. Folglich sind die Bewegungsgesetze zu referieren, deren Hauptprinzip sei, ohne okkulte Qualitäten auszukommen. Ein Körper verharre in seinem Zustand (Ruhe oder gleichförmige Bewegung), solange er nicht durch auf ihn einwirkende Kräfte beeinflußt werde.<sup>260</sup> Dies ein fast wörtliches Zitat, nämlich des ersten Bewegungsgesetzes, aus NEWTONS *Principia*.<sup>261</sup> Jetzt folgt ein kleiner Einschub über Axiome und die darüber errichtete „kühne Struktur“ der Bewegungslehre. Als nächstes

<sup>257</sup> *In hac enim hypothesi attractio producit omnes suos effectus absque omni contractu et impulsu et sine ullo concursu sive materiae propriae ex corporibus emanantis, sive alterius materiae intermediae: Stabilitur itaque eo ipso realitas adeoque multo magis possibilitas actionis in distans, quae fieri concipitur absque ullo contactu. Non ergo repugnat Sonum ad aures meas deferri sine aeris interventu; conspici a me objecta, quae ob infinitam locorum intercapedinem organa mea sensoria tangere nequeunt.*(DCG, 374; Übers. S. 208, Z.17-25)

<sup>258</sup> *herbas in planeta Saturno crescentes vi attractrice in se incomprehensibili in corpore meo vomitus aliosque vehementes intestinorum motus excitare, etiamsi neque nares neque os quicquam inde hauerint.*(DCG, 374; Übers. S.208, Z.25-28)

<sup>259</sup> *Concedunt attractionis patroni, corpora eo quod sint entia composita extensa et mobilia, in conflictu adeoque per contactum iuxta regulas motus infinitis mutationibus obnoxia esse, eamque ob causam ea tanquam machinas considerari posse ac debere.*(DCG, 374; Übers. S.208, Z.30-34)

<sup>260</sup> *Harum legum prima est, quod corpus unumquodque perseveret in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum suum mutare. Quoniam veritas istius propositionis per exempla patet, sumunt eam Mathematici instar axiomatis, illique tanquam firmissimae basi arduam motus Scientiam superstruunt.* (DCG, 375; Übers. S.208, Z.45 bis S.209, Z.1, s. auch der Vergleich des NEWTONSCHEN Textes in der folgenden Fußnote).

<sup>261</sup> Zitat aus NEWTONS *Principia*, a.a.O., Lex I. S.13. Dort steht: *„Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum suum mutare.*“ Die hervorgehobenen Teile stimmen genau überein.

kommt jetzt die „Arroganz“ in LEONHARD EULERS Text zur Sprache, die darin bestehe, im Körper einen zweiten Mechanismus zu etablieren, der in der Lage ist, aus der Ferne eine andere Masse wahrzunehmen und auf diese Wahrnehmung zu reagieren.<sup>262</sup> Und mit einem letzten Anflug von „besserem Wissen“ sagt EULER dann, daß also die Verteidiger, ohne irgendeinen Ausweg aus dem Labyrinth, in ihrer letzten Bastion säßen und einfach fragten, ob vielleicht jemand einen physikalischen Grund nennen könne. Versuchen wir es doch, was kann es schaden?<sup>263</sup> Mit diesem Satz kommt er nun zur Darstellung seiner Lösung:

### Welche Ursache hat, nach EULER, die Gravitation?

Es kommt zuerst ein kleines Kolleg über die Gesetze der Bewegung, aus denen abzuleiten sei, daß Kraftübertragungen für Bewegungen notwendig seien, Kraftübertragungen aber nur durch direkten Kontakt möglich seien. Bei einem Phänomen wie der Schwere sei aber eine dauernde Bewegungsänderung von Körpern in der Umgebung der Erde zu beobachten, also müsse auch in der Umgebung der Körper sich dauernd etwas ändern. Der dauernd wahrgenommene Druck dürfe nicht von einem dritten Grund verursacht sein, das würden auch die Verteidiger der Anziehungskraft (*attractionis patroni*) verlangen, sie wüßten aber selbst nicht, woher diese Anziehungskraft käme.<sup>264</sup> Dabei, so EULER, ist durch umgebende Wirbel diese Kraft sehr leicht erklärbar, welcher als Medium „Aether“ enthalte:

*„Unter dem Namen Aether verstehe ich die subtilste universale Flüssigkeit, die den Raum der Welt derart ausfüllt, daß kaum Poren von ihr frei sind: Die Existenz dieser Flüssigkeit beweisen unter anderen Gründen sowohl die Emission als auch die Ausbreitung des Lichtes auf das augenscheinlichste. Zugleich ist aus diesem Phänomenen zu ersehen, daß der gesamte Aether in den Zustand maximaler Kompression versetzt ist; betreffs der Ursache dieser Kompression – wenn es jemanden weniger richtig erscheint, sie den Kleinwirbeln zuzuweisen – so möge dieser wenigstens zugeben, der Aether sei gleichsam ein Wasser, das allerorts mit größter Kraft zusammengedrückt wäre.“<sup>265</sup>*

<sup>262</sup> *Evanescit itidem evidentia utriusque axiomatis in conceptu attractionis instar vis primitivae, corpori insitae, quippe per supra notata attractio seu gravitatio Phaenomenon tantum nihilque praeterea denotat, causam vero mentitur termino inani, cui nulla notio, id est nihilum respondet, nisi fingendi licentiam tibi arrogans in gratiam attractionis corporibus animam quandam inque ea appetitum, si non rationalem, saltem sensitivum, amorem vel instinctum, consequenter in corpore duplicem Mechanismum concipere velis, quorum unus ex mechanicis explicabilis legibus contiguitatem et contactum necessario requirit, alter vero absque contactu motum adeoque mechanismum immaterialem generat. (DCG, 375; Übers. S.209,Z.4-18).*

<sup>263</sup> *Etsi autem ex hoc labyrintho exitus nullus pateat. attractionis tamen quidam defensores in eo ultimum praesidium quaerunt, quod nemo adhuc causam physicam gravitationis, quae omnibus phaenomenis satisfaciat, detegere potuerit. Fatentur nihilominus iniquissimam atque Philosopho indignam sententiam esse, cuius effectus causam assignare nequeunt, eiusdem omnino causam dari negare. Videamus igitur an gravitatis causa mechanica indicari possit? Quid tentasse nocet? (DCG, 375; Übers. S.209, Z.25-32).*

<sup>264</sup> *Tertium causae mechanicae modum dari non suspicantur attractionis Patroni. Verum gravitatem ab allisione materiae subtilis deorsum incurrentis oriri recte negant, neque fere minori iure explicationes a vorticibus petitas, in quibus corpora per vim centrifugam deorsum pellantur, reprehendunt, quoniam hac ratione vel phaenomenis non fit satis, vel ipsi vortices tam complicati excogitari debent, ut simplicitati, quam natura constanter affectat, nimium adversentur. (DCG, 376; Übers.S. 210, Z.1-8).*

<sup>265</sup> *Sub aetheris nomine intelligo fluidum subtilissimum universum mundi spatium ita implens, ut vix dentur pori ab eo vacui: cuius fluidi existentiam praeter alias rationes radiorum lucis sive emissio sive propagatio evidentissime comprobant. Simul vero ex his phaenomenis perspicitur, universum aetherem in statu maximopere compresso versari, cuius compressionis causa, si cui minus recte vorticulis tribui videatur, is saltem aetherem. tanquam aquam undique maxima vi comprimi concedet (DCG, 376; Übers. S. 210, Z.16-23).*

Nach EULER ruht nun die ganze Erklärung in diesem Aether, der auf alle Körper einen Druck ausübe, welcher auch nicht für eine kurze Zeit andauern könne, denn dann würde er sich sofort ausgleichen. Er sei also fortwährend vorhanden, würde damit sogleich die Härte und die Kohäsion erklären und sich auf alle in ihm befindlichen Körper auswirken. Diese bewegen sich so lange nicht, so lange der Druck von allen Seiten gleich ist, tritt aber Ungleichheit ein, dann folgen die Körper der Richtung zum geringeren Druck.<sup>266</sup> Ist aber irgendwo der Druck ungleich geworden, dann werden die Körper angeregt, sich dorthin, wo er geringer ist, hinzubewegen. Die Ursache der Gravitation findet sich dann im geringeren Druck des Aethers in Nähe der Erdoberfläche. Damit ist dann die Ursache und die Richtung bezeichnet. Er verweist auf Beobachtungen in der Luft oder im Wasser, wobei Bewegung ebenfalls durch Druckunterschiede beobachtbar ist. Auch die magnetischen Eigenschaften der Erde könnten so erklärt werden. Dies ist die Umkehrung der Geschichte seines Gedankenganges.<sup>267</sup> Die Anhänglichkeit an den Aether hat LEONHARD EULER sein ganzes Leben lang weiter durchgehalten. Eine Idee, die er an der einen Stelle hatte, benutzt er sofort an anderer Stelle, um ähnliche Phänomene zu erklären. Fast könnte man versucht sein, an Kreisbewegungen wissenschaftlicher Erklärung zu denken, wenn 150 Jahre nach KEPLER und dessen Erklärung der Anziehung der Himmelskörper durch eine Art Magnetismus jetzt wieder die Nähe von Magnetismus und Schwerkraft auftaucht. Natürlich mußte es faszinierend sein, zu beobachten wie magnetische Wirkungen Substanzen durchdringen können und „in die Ferne wirken“, wie das bei der Schwerkraft erlebt wird. Es ist also psychologisch völlig verständlich, daß die beiden Phänomene in ihrer Erklärung zusammengebracht werden. NEWTON hat mit seinem Kraftgesetz eine Beschreibung geliefert, und er blieb auch fest dabei, es sei eine Beschreibung und nicht eine Erklärung, deren sich dann alle bedienen haben, deren Vermittlung aber einfach im Dunkeln blieb; fast hat man das Gefühl, daß das Problem in Vergessenheit geriet. Und dies geschah einfach dadurch, daß alle Welt annahm, NEWTON habe die Anziehung als Eigenschaft der Materie konzipiert.

### Die mathematische Beschreibung der Anziehungskraft.<sup>268</sup>

Die mathematische Seite der Angelegenheit ist hier in gewisser Weise primitiv. LEONHARD EULER führt für den absoluten, noch nicht verminderten Druck des Aethers den Wert  $c$  ein, für den Abstand von dem Zentrum der Erde den Wert  $x$ , und für den dort herrschenden Druck wird gesagt, daß es notwendig sei, wenn die Schwere bei der Annäherung an die Erde mit dem Quadrat der Annäherung wachse, daß der Druck sich im einfachen Verhältnis zum Abstand verringere.<sup>269</sup> Man sieht dann an der Formel, die er aufstellt, wie er dies gemeint hat:

<sup>266</sup> *Cum igitur aether vehementer sit compressus, omnia corpora, quae in eo versantur, undique ingenti vi comprimantur necesse est, a quo effectu duritiem et cohaesionem corporum oriri verisimillimum videtur; corpus autem sic undique compressum ad motum non ciebitur, nisi pressiones, quas quaquaversus sentit, fuerint inaequales. Quamobrem si aether ubique aequali vi esset compressus, in corporibus nullus prorsus motus generaretur; sin autem compressiones aetheris fuerint inaequales, tum utique corpora sollicitari deberent eam regionem versus, ubi compressio aetheris fuerit minor. (DCG, 376/377); Übers. S.210, Z.28-37)*

<sup>267</sup> *Cum igitur valde sit probabile, aetherem circa terram in continuo motu esse positum, quod cum plurima alia phaenomena suadent, tum vero maxime virtus terrae magnetica evincit, nihil, quod legibus motus non sit conforme, assumere mihi equidem videor, si aetheris compressionem prope terram minorem statuam, quam in regionibus a terra remotis, ubi iste aetheris motus minus viget. (DCG, 377; Übers. S.211, Z. 10-16)*

<sup>268</sup> Die nachfolgenden Betrachtungen finden sich analog in den „Handreichungen zur Naturlehre“

<sup>269</sup> **Quo autem gravitas** ad terram appropinquando **creseat in ratione duplicata** vicinia a centro, quam legem phaenomena indicant, **necesse est, ut diminutiones compressionis** aetheris in **ratione distantiarum simplici decrescant**, quae ratio cum sit omnium simplicissima, simul veritatem huius explicationis non mediocriter confirmat. (DCG, 377; Übers. S.211, Z.28-32, Hervorhebung von mir)

$C = c - \frac{cg}{x}$ . Der Gesamtdruck  $C$  wird aus  $c$  gebildet, verringert durch eine Größe, die einen Bruchteil von  $c$  enthält, der Nenner besteht aus  $x$  (also ist die Größe der Entfernung umgekehrt proportional), im Zähler ist ein Proportionalitätsfaktor  $g$  angebracht. Da er unter dem Druck offensichtlich eine Kraft verstand, muß die Dimension von  $g$  die einer Strecke sein. Hier liegt eine typische Rechnung vor, die vom (zu beweisenden) Ziel ausgehend entwickelt wurde. In ähnlicher Weise wie man rechnerische Begründungen des Auftriebs in Flüssigkeiten sehen kann, wird hier aus der Differenz zwischen Druck von oben und Druck von unten auf einen Körper eine Formel für die Kraft ( $vis$ ) gefunden, die die gesicherte Erkenntnis widerspiegelt, daß sie mit dem Quadrat der Entfernung vom Erdzentrum abnimmt. Dazwischen ist nur ein bißchen Näherungsrechnung und Bruchrechnung.

### Schlußbemerkung zu den Arbeiten aus den vierziger Jahren des 18. Jahrh..

Es ist genau diese Formel, an der LE SAGE den Autor dann erkannt hat. Auch die Schrift „*Anleitung zur Naturlehre.*“ enthält die entsprechenden Formeln und dient damit quasi zur Bekräftigung der Autorenschaft. Am Schluß des dortigen Kapitels 19 können wir dann lesen:

<sup>270</sup>*Wenn wir also nur den Grund dieser in der elastischen Kraft des Aethers sich ereignenden Verminderung ausfindig machen könnten, so hätten wir eine vollständige Erklärung aller Kräfte, von welchen die himmlischen Körper getrieben werden. Ungeachtet wir aber hier stehn bleiben müssen und kaum hoffen können, jemals die wahre Ursache dieser Verminderung der elastischen Kraft des Aethers zu ergründen, so kann man sich doch damit leichter begnügen, als wenn man blosserdings vorgiebt, alle Körper seien von Natur mit einer Kraft begabt, einander anzuziehen. Denn da man sich von diesem Anziehn nicht einmal einen verständlichen Begriff machen kann, so kann man im Gegentheile zum wenigsten überhaupt einsehen, wie es möglich sei, dass die elastische Kraft einer flüssigen Materie vermindert werde, und man begreift auch, dass dieses auf einer den Gesetzen der Natur gemässe Art geschehen könne. Es beruht aber alles auf folgenden zwei Stücken: erstlich warum der Druck des Aethers von einem darin befindlichen groben Körper vermindert werde? und zweitens, warum diese Verminderung um so viel grösser werde, je näher man dem Körper kommt? Der Grund hiervon muss also augenscheinlich in der groben Materie, aus welcher der Körper besteht, gesucht werden, und die grobe Materie muß in dem Aether eine Bewegung veranlassen, wodurch das Gleichgewicht gehoben wird. Wenn man erst so weit gekommen, so ist leicht zu zeigen, dass solchergestalt der Druck des Aethers vermindert werden müsse.*

Offensichtlich ist *DE CAUSA GRAVITATIS* aus der Arbeit an dieser vergessenen Schrift hervorgegangen und schnell geschrieben worden, vielleicht wollte er seinem Gedanken eine gewisse Priorität sichern und schnell publizieren. Im weiteren Schaffen EULERS spielt dies aber keine große Rolle mehr, und Folgen hatte die Schrift auch keine, vielleicht außer der, daß EULER durch die Intervention des Genfer Wissenschaftlers LE SAGE in seinen Äußerungen etwas vorsichtiger wurde und die *Briefe an eine Prinzessin* etwas ausgewogener. Betrachten wir also EULERS Ausführungen zur Gravitation dort etwas näher:

---

<sup>270</sup>

Wiedergabe der originalen Schreibweise.

## 2. Briefe an eine Deutsche Prinzessin über verschiedene Gegenstände aus der Physik und Philosophie.<sup>271</sup>

Die Prinzessin, an die EULERS Briefe gerichtet sind, war Markgräfin Friederike Charlotte Ludovica Luise, geb. 1745, also zum Zeitpunkt der Briefe 15 bis 17 Jahre alt. Ihr Vater Markgraf Friedrich Heinrich von Brandenburg Schwedt war mit EULER befreundet. Dieser unterrichtete schon seit 1759 die Tochter in Mathematik. Das Mädchen wurde schon mit 10 Jahren zur Klosterkarriere bestimmt, ab 1765 war sie Äbtissin des Stiftes von Herford. Sie starb 1808. Im Hintergrund spielen sich Intrigen zwischen den Eltern und Friedrich II. von Preußen ab, der die Gelegenheit eines Zerwürfnisses zwischen den Eheleuten und die Tatsache, daß es nur Töchter in der Erbfolge der Brandenburg Schwedts gab, nutzte, um selbst Schwedt zu erben. Er verbot sowohl die Scheidung als auch die Versöhnung des Paares und verbannte die Markgräfin nach Kolberg.<sup>272</sup> Auf jeden Fall darf davon ausgegangen werden, daß man dem (aus meiner Sicht) bedauernswerten Mädchen schon früh ihre Bestimmung einprägte, wozu mit Sicherheit auch eine gewisse Kenntnis der Philosophie gehörte. Die naturwissenschaftlichen Details gehen sicher mehr auf die Beziehung des Vaters mit EULER zurück, der vermutlich der Auffassung war, daß naturwissenschaftliche Grundkenntnisse unabdingbare Gegenstände einer Äbtissinnen- Bildung zu sein haben.

LEONHARD EULER erweist sich in den Briefen als ein sehr geschickter Erklärer. Ich finde auch, daß es ihm gelungen ist, die teilweise doch komplizierten Dinge in einer Form darzustellen, der es einem jugendlichen Menschen, falls er sich überhaupt damit befassen will, erlaubt, sie zu verstehen.

### Die Einführung des Begriffs „Schwere“ und Erläuterung der Fragestellung.

*Ew. H. haben gesehen, daß die Schwere eine allgemeine Eigenschaft aller Körper ist die wir kennen, und daß sie in einer Neigung besteht, die sie durch eine unsichtbare Gewalt gegen die Erde treibt. Die Philosophen streiten sehr darüber: ob es wirklich eine solche Kraft gebe, die unsichtbar auf alle Körper wirkt und sie nach unten treibt; oder ob es vielmehr eine immer in dem Wesen aller Körper selbst liegenden Eigenschaft, und gleichsam eine Art von Instinkt sey die sie treibt, sich gegen die Erde zu bewegen. Diese Frage läßt sich auf eine andere bringen: ob die Ursache der Schwere in der Natur jedes Körpers selbst, oder ob sie außer ihm existirt, so daß, wenn sie aufhörte zu wirken, der Körper aufhören würde schwer zu seyn. Oder kürzer und leichter. Man fragt: ist die Ursache der Schwere in oder außerhalb den (sic) Körpern selbst befindlich?<sup>273</sup>*

Mit einem ganz klaren Satz wird die Schwere eingangs hier vorgestellt. Allerdings schreibt LEONHARD EULER „Eigenschaft aller Körper“, womit er eine Position einnimmt, die er eigentlich gar nicht vertritt. Er hätte vielleicht schreiben sollen: „... eine Eigenschaft, die in

<sup>271</sup> LEONHARD EULER, Briefe an eine Deutsche Prinzessin [sic] über verschiedene Gegenstände aus der Physik und Philosophie, Leipzig 1769-1763; nachgedruckt in Sexl, U. und v. Meyenn, K. [Hrsg.], Edition Vieweg Bd. 3, Braunschweig 1986. Das französische Original findet sich in Euler, Leonhard, Opera Omnia, Ser. III, 11, 12, Basel 1960. Ich habe alle zitierten und viele andere Briefe verglichen. Die Übersetzung ist so hervorragend, daß ich annehme, sie ist von EULER selbst. Ich benutzte deshalb die vorstehende deutsche Ausgabe.

<sup>272</sup> Ich folge hier einer Darstellung Andreas Speisers in Euler, Opera Omnia Ser.III, 11, Basel 1960. Inwieweit es rechtlich möglich war, eine Versöhnung zu verbieten, ist mir unklar. Offensichtlich aber war die Klosterlaufbahn seinen Plänen durchaus förderlich. Friedrich der Große war „Haupt der Familie“, eine Stellung, die offensichtlich die Machtausübung, insbesondere über die weiblichen Familienmitglieder, begünstigte.

<sup>273</sup> 46. Brief, 25. Aug. 1760:

*der Welt herrscht, ...*“. NEWTON selbst hat darauf bestanden, daß es **keine** Eigenschaft der Körper sei, er wisse darüber nichts. Seine Anhänger und Nachfolger haben dies allerdings sehr bald so formuliert, und diese sind es, die EULER angreift, in der Schrift „*de Causa Gravitatis*“ genau so wie hier in den *Briefen*. Für den Streitpunkt braucht dann EULER ebenfalls nur einen Satz, um ihn klar vor Augen zu stellen. Das Wort „*Instinkt*“ beschreibt dabei genau die Darstellung, die EULER besonders bekämpft, die Darstellung, welche die Materie quasi beseelt, sie mit Wahrnehmung und Reaktionen darauf ausstattet. Den folgenden Brief leitet er mit den Worten ein:

*„Die Schwere oder das Gewicht scheint uns so nothwendig zu dem Begriffe eines Körpers zu gehören, daß es uns sogar unmöglich ist, einen Körper zu denken, der nicht schwer sey. Diese Eigenschaft hat auch bey allem, was wir mit den Körpern vornehmen, ihren Einfluß.“*<sup>274</sup>

Hier hat er subtil formuliert, „... *scheint uns notwendig zu dem Begriffe eines Körpers zu gehören...*“. Dies ist genau die Beschreibung, die EULER bevorzugen sollte, denn er will auf jeden Fall darauf hinaus, daß die Schwere **von außen** an die Körper herangebracht wird, wie im Folgenden noch zu sehen sein wird.

### Saubere begriffliche Arbeit bei der Herausarbeitung.

Ganz klar ist die Schwere eine „Kraft“, darauf hat LEONHARD EULER auch schon in der vorstehend besprochenen Schrift bestanden. Auch hier für seine Schülerin wird auf die Begriffsklärung nicht verzichtet. Die Kunst der Didaktik besteht zwar darin, zu vereinfachen, aber auch faßbar zu machen, ohne zu verfälschen. Und diese Kunst ist bei EULER hoch entwickelt. Es wundert überhaupt nicht, daß die „*Briefe an eine Deutsche Prinzessin*“ sein größter Bucherfolg geworden sind und eine sehr große Gesamtauflage erreicht haben. Die Kunst, Natur- Wissenschaft einem breiten Publikum erfolgreich zu vermitteln, ist keinesfalls eine häufige Erscheinung. Nach EULER ist es meines Erachtens erst wieder HELMHOLTZ, dem im deutschen Sprachraum Entsprechendes gelang. LEONHARD EULER leitet also zur Begriffsklärung (wir würden sagen: „Unterschied zwischen Masse und Gewicht“) mit den Worten ein:

*„Ew. H. sind also jetzt von einem großen und wichtigen Stücke, der Wirkung der Schwere meyne ich, unterrichtet; nämlich, daß alle Körper, die sich auf der Erde befinden, durch ihre Schwere gegen den Mittelpunkt der Erde, oder perpendicular auf die Oberfläche derselben getrieben werden, welches die Richtung der Schwere heißt. Man hat Grund, die Schwere der Körper eine Kraft zu nennen, weil alles, was vermögend ist, einen Körper in Bewegung zu setzen, Kraft genannt wird.“*<sup>275</sup>

Diese Definition der Kraft wird heute noch in den Physiklehrbüchern unserer Schulen genau so verwendet. Natürlich ist es heute, im Zeitalter, in dem für jedes Schulkind deutlich ist, daß sich Menschen unter Einfluß der Schwerelosigkeit bewegen können (zumindest wird ihnen das so gesagt und durch Bilder vermittelt), nicht schwer, Schüler davon zu überzeugen, daß Masse (Euler sagt „Körper“) und Schwere verschiedene Größen sind. Er mußte sich schon etwas mehr Mühe geben:

*„Durch sehr gewisse Erfahrung ist man überzeugt worden, daß einerley Körper, wenn er gegen den Aequator gebracht wird, etwas weniges leichter wird, als er um die Pole herum ist. Diesen Unterschied kann man durch keine Waage, auch nicht die allergenaueste, entdecken, wie Ew.H. sehr wohl einsehen werden. Denn die Gewichte, mit denen man die Körper wägt, sind alsdenn eben der Veränderung unterworfen. So würde ein Gewicht, das hier 100 Pfund wiegt, auch unter dem Aequator noch 100 Pfund heißen; aber die Gewalt, mit der es fällt, würde ge-*

<sup>274</sup> 47. Brief, 29. Aug. 1760

<sup>275</sup> 50. Brief, 1. Sept. 1760

*ringer seyn als bey uns. Man hat diese Veränderung durch die Wirkung, die eigentlich von der Schwere abhängt, ich meyne den Fall, erkannt; und man hat beobachtet, daß ein solcher Körper unter dem Aequator etwas langsamer fällt als bey uns.*<sup>276</sup>

Durch Gedankenversuch wird durch LEONHARD EULER anschließend geklärt, daß ein Körper im Mittelpunkt der Erde kein Gewicht haben kann, daß Größe und Richtung der Schwere sich verändern können. Über den Gedankenversuch mit dem Erdmittelpunkt kommt er zwanglos zum Gedankenversuch, sich über die Erde bis zum Monde zu erheben. Da auch die Schwere dort durch real vorgestellte Experimente nicht erlebbar wird, leitet er ganz organisch zu der NEWTONSCHEN Mondrechnung über. Seine Erläuterungen sind allerdings leichter zu lesen, als die NEWTONS. EULER verschweigt keinesfalls den Namen dessen, der dies zuerst überdacht und publiziert hat.

### EULER über NEWTON.

Am Ende der EULERSCHEN Ausführungen über die Schwere wird dann der Gedankengang ins Philosophische gewendet, die Theorie allmählich entwickelt:

*„Die Schwere ist demnach eine Eigenschaft aller Körper auf der Erde und selbst des Mondes. Durch die Schwere wird der Mond gegen die Erde getrieben und seine Bewegung bestimmt, eben so wie die Schwere die Bewegung einer Kannonkugel oder eines mit der Hand geworfenen Steins bestimmt. **Diese wichtige Entdeckung haben wir dem berühmten Newton zu danken.....***

*Eben **dieser Philosoph hat durch die Stärke seines Verstandes das Mittel gefunden, die Bewegung der Körper zu bestimmen, wenn man die Kraft kennt, welche sie nach einem gewissen Mittelpunkte treibt. Da er also einmal die Kräfte entdeckt hatte, mit denen die Planeten gegen ihren Mittelpunkt getrieben werden, so war er auch im Stande ihre Bewegung genau zu erklären. In der That befand man sich vor diesem Philosophen in einer tiefen Unwissenheit in Ansehung der Bewegung der himmlischen Körper; und nur ihm sind wir das große Licht schuldig, welches wir jetzo in der Astronomie finden.**“*<sup>277</sup>

Natürlich wird davor und danach noch von der berühmten Apfelgeschichte erzählt. Sie stammt wohl von VOLTAIRE<sup>278</sup>, der sich auf NEWTONS Nichte beruft. Dort sieht NEWTON Obst herabfallen, bei LEONHARD EULER fällt es ihm auf den Kopf; er hat durch Zunahme der Plastizität sicher durch die Erwähnung hier kräftig zur Verbreitung der Geschichte beigetragen. Aber schöner kann man NEWTONS Leistung eigentlich kaum würdigen. EULER ist ersichtlich ein Bewunderer NEWTONS. Auch im nächsten Brief beginnt er mit einer Eloge über Newton:

*Ew. H. sehen wohl ein, daß das Newtonsche System viel Aufsehens gemacht haben muß, und das mit Recht; denn **niemand hatte noch eine so glückliche Entdeckung gemacht, und die so viel Licht über alle Wissenschaften ausgebreitet hätte. Dieses System ist unter verschiedenen Namen bekannt, die man wissen muß, weil man oft in Gesprächen davon reden hört. Man nennt es das System der allgemeinen Gravitation.***<sup>279</sup>

Es ist direkt liebenswürdig, wie er sich über NEWTON äußert. Kein Zweifel, ihn will er nicht angreifen. EULERS Angriffe richten sich gegen die Interpretatoren des Werkes, das jener hinterlassen hat.

<sup>276</sup> 50. Brief, 1. Sept. 1760

<sup>277</sup> 52. Brief, 3. Sept. 1760. **Hervorhebung** von mir.

<sup>278</sup> VOLTAIRE, Werke Bd. 15, Eléments de la Philosophie de NEWTON (1734), Oxford 1992, S. 418

<sup>279</sup> 53. Brief, 5. Sept. 1760. **Hervorhebung** von mir.



## Der Wirkmechanismus zu den dargestellten Phänomenen fehlt.

Zur Ursache der Phänomene gehört auf jeden Fall die Angabe eines Wirkmechanismus. Dieser kann, so stellt es EULER dar, auf zwei Weisen gedacht werden:

*Das ist also eine durch die festesten Gründe bewiesene Sache, daß unter allen himmlischen Körpern eine allgemeine Gravitation herrsche, durch die sie gegen einander getrieben werden; und daß diese Kraft desto größer sey, je näher sie einander sind. Das Factum kann nicht geleugnet werden; aber nun fragt sich, ob man es eine Impulsion oder eine Attraction nennen soll; ob es durch einen Stoß oder durch ein wirkliches Anziehen geschehe. **In der Sache selbst ändert zwar der Name nichts. Die Wirkung ist dieselbe, ein Wagen mag von hinten gestoßen oder von vorne gezogen werden: eben so bekümmert sich der Astronom, der bloß auf die Wirkungen dieser Kraft aufmerksam ist, nicht, ob die himmlischen Körper gegen einander gestoßen, oder von einander angezogen werden; so wie der, der nur bloß die Erscheinungen auf unserer Erde untersucht, nicht darnach fragt, ob die Erde die Körper die Erde an sich zieht, oder ob die Körper gegen sie durch eine unsichtbare Ursache gestoßen werden. Aber wenn man in das Innere der Natur eindringen will, so ist es von großer Wichtigkeit, zu wissen, ob die himmlischen Körper durch den Stoß oder durch das Anziehen auf einander wirken; ob es eine feine und unsichtbare Materie gebe, die auf die Körper stößt, und sie gegen einander treibt, oder ob diese Körper irgend eine verborgene und geheime innere Kraft haben, durch die sie sich einander wechselweise anziehen. Die Philosophen sind darüber sehr getheilt. Die, welche die Bewegung durch den Stoß annehmen, nennen sich Impulsionairs; und die Anhänger der Attraction, Attractionisten. 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; noch weniger finden sie zwischen der Sonne und der Erde etwas, wovon sie glauben könnten, die Sonne bediene sich dasselben, die Erde an sich zu ziehen.....*** <sup>280</sup>

Er stellt der Prinzessin die „Impulsionairs“ gegen die „Attractionisten“ vor und gibt sogleich zu, daß der Name nichts an der Sache ändere und es für viele Fälle gleichgültig sei, welcher Mechanismus da am Werke sei. Aber, und nun taucht das EULERSCHE Modell wieder auf: **„Aber wenn man in das Innere der Natur eindringen will, so ist es von großer Wichtigkeit, zu wissen, ob die himmlischen Körper durch den Stoß oder durch das Anziehen auf einander wirken;“**. In das Innere der Natur eindringen, heißt bei EULER das völlige Verständnis eines Vorgangs, vom Phänomen bis zum Modell, einschließlich des Wirkmechanismus. Die hier angegebenen beiden Alternativen sind für ihn die einzigen, mechanisch denkbaren. Er fährt in dem Satz fort und stellt die beiden konkurrierenden Ansichten einander gegenüber: **„ob es eine feine und unsichtbare Materie gebe, die auf die Körper stößt, und sie gegen einander treibt, oder ob diese Körper irgend eine verborgene und geheime innere Kraft haben, durch die sie sich einander wechselweise anziehen.“** Das ist genau das Modell, welches wir schon von der Schrift „De Causa Gravitatis“ kennen. Auch fast 20 Jahre nach dieser Schrift, wenn man die Zeit bis zur Veröffentlichung hinzurechnet, gar 30 Jahre ist seine Ansicht immer noch unwandelbar die gleiche. In diesem Brief und den folgenden 5 Briefen macht er dann die Prinzessin mit allen Erkenntnissen der Attraktion bekannt, erläutert das planetarische System, erzählt von den Messungen der Gravitationsdefekte in Peru, gibt eine Wertetafel und verdeutlicht das quadratische Abstandsgesetz, kurz er führt alles an, was zu jener Zeit bekannt war und was das System der Attraktion stützt. Darin eingestreut ist auch ein kleines philoso-

<sup>280</sup>

54. Brief, 19. Sept. 1760. **Hervorhebung** von mir.

phisches Kolleg über FONTENELLES „mehrere Welten“<sup>281</sup>, welches GOTTSCHED 1727 ins Deutsche übersetzt hatte:

*„Indessen, wenn die Philosophen darüber streiten, ob diese Welt die beste sey oder nicht: so setzen sie nothwendig mehrere Welten als möglich voraus; eben weil sie behaupten, daß unter den mehrern möglichen Welten die eben so gut hätten existiren können, die, welche wirklich da ist, die beste sey. Sie stellen sich Gott wie einen Baumeister vor, der bey Erschaffung der Welt mehrere von einander unterschiedene Plane (sic) vor sich gehabt, und unter diesen den besten, den, in welchem die meisten Vollkommenheiten im höchsten Grade vereinigt waren, gewählt habe, den er auch alsdann mit Ausschließung aller übrigen ausgeführt hätte. Diese Meynung scheint durch die Geschichte der Schöpfung bestätigt zu werden, wo ausdrücklich gesagt wird: daß alles sehr gut war. Aber die große Anzahl der Uebel, die sich in der Welt finden, und die von der Bosheit der Menschen ihren Ursprung nehmen, veranlaßt einen sehr wichtigen Zweifel, nämlich: ob es nicht möglich gewesen wäre, eine Welt ohne Uebel zu erschaffen? Nach meinem Urtheile muß man zwischen Entwürfen zu einer Welt, die nur Körper enthält, und einer Welt, die denkende und frey handelnde Wesen enthält, unterscheiden. Im ersten Falle hätte die Wahl des Besten keine Schwürigkeit (sic); aber im andern, wo freye und vernünftige Geschöpfe den vornehmsten Theil der Welt ausmachen, geht die Beurtheilung des besten weit über unseren Verstand; und vielleicht trägt das Verderben der freyen Wesen selbst etwas zur Vollkommenheit der Welt auf eine unbegreifliche Art bey.*

*Es scheint, daß die Weltweisen auf diesen wichtigen Unterschied nicht Acht genug gehabt haben. Aber ich fühle mein Unvermögen mich in eine so schwere Untersuchung einzulassen“<sup>282</sup>*

In ganz versöhnlicher und verständiger Weise bringt dabei EULER erstens das Problem vor und zweitens seine Lösung, die die Streitereien über diesen Gegenstand leicht zum Verstummen bringen. Danach fährt LEONHARD EULER fort, weiter Wirkungen der Attraktion an Beispielen zu belegen und zu erläutern und diskutiert in den folgenden Briefen die Theorie zur Erklärung der Gezeiten.

### Der alte Gegensatz wird wiederum dargestellt.

Im Anschluß an die Gezeitentheorie kommt nun EULER auf die Darstellung zurück, die er auch schon in „*De Causa gravitatis*“ gegeben hat. Der Brief sei vollständig hier wiedergegeben, weil damit nochmals mit Eulers deutschen Worten seine Argumentation in leicht faßlicher Weise dargestellt ist. Er trägt im Inhaltsverzeichnis die Erläuterung „*Umständlichere Erzählung des Streitens der Philosophen über die allgemeine Gravitation*“:

*Nachdem ich Ew. H. einen allgemeinen aber vollständigen Begriff von den Kräften gegen habe, welche die vornehmsten Erscheinungen in der Welt verursachen, und auf welche die Bewegung aller himmlischen Körper sich gründet: so ist es nöthig die Kräfte genau zu untersuchen, die das System der Attraction annimmt. Man nimmt in diesem Systeme an, daß alle Körper sich nach dem Verhältnisse ihrer Massen und ihrer Entfernungen, dem oben erklärten Gesetze zu folge, an sich ziehen. Die glückliche Erklärung der meisten Erscheinungen der Natur, die man daraus herleitet, beweist hinlänglich, daß diese Hypothese vollkommen wahr sey; so daß man es für die ausgemachteste Erfahrung halten kann, daß alle Körper sich wechselweise anziehen. Jetzo kommt es darauf an, **die wahre Quelle dieser***

<sup>281</sup> FONTENELLE, Bernard le Bovyer de, *Entretiens sur la pluralité des mondes*, Paris 1686.

<sup>282</sup> 60. Brief, 19. Sept. 1760

**anziehenden Kräfte zu entdecken**, welches aber eigentlich mehr für die Metaphysik als Mathematik gehört; und **ich kann mir nicht schmeicheln, daß mir dieß eben so gut gelingen wird.**

Da es ausgemacht ist, daß jede zwey Körper, die man sich denkt, gegen einander angezogen werden: so ist es natürlich, nach der Ursache dieser gegenseitigen Neigung zu fragen. Die Englischen Philosophen behaupten, daß es eine wesentliche Eigenschaft aller Körper sey, sich wechselweise 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. Andere Philosophen sehen diese Meynung für ungereimt und den Grundsätzen einer gesunden Philosophie widersprechend an. Die Sache selbst leugnen sie nicht, sie geben sogar zu, daß es wirklich in der Welt Kräfte gebe, welche die Körper gegen einander stoßen; aber sie behaupten, daß die Kräfte von außen auf die Körper wirken; und daß diese im Aether, der feinen Materie, die alle Körper umgiebt, liegen; so wie wir sehen, daß ein im Wasser untergetauchter Körper eine Menge Eindrücke von demselben bekommen kann, wodurch er in Bewegung gesetzt wird. Also hat nach den erstern, die Attraction ihren Grund in den Körpern selbst und in ihrer eigenen Natur; nach den letzteren liegt er außer den Körpern in der feinen flüssigen Materie, die sie umgiebt. In diesem Falle wäre das Wort Attraction eigentlich nicht richtig; man müßte vielmehr sagen, daß ein Körper gegen den andern gestoßen würde. Aber weil die Wirkung einerley ist, es mögen zwey Körper gegen einander gezogen oder gestoßen werden: so macht das bloße Wort Anziehung keinen Unterschied, wenn man nur dadurch nicht die Natur der Ursache selbst bestimmen will. Um alle Verwirrung zu vermeiden, die der Ausdruck hervorbringen könnte, sollte man aber doch lieber sagen: **die Körper bewegen sich so als wenn sie einander anzögen. Dadurch ließe man unausgemacht, ob die Kräfte, die auf die Körper wirken, in oder außer ihnen ihren Sitz haben.** Wir wollen bey den Körpern, die wir auf der Oberfläche der Erde finden, stehen bleiben. Niemand kann zweifeln, daß alle diese Körper herunter fallen, sobald sie nicht mehr unterstützt werden; also ist nun die Frage: Welches die wahre Ursache dieses Falles sey? Die einen sagen, daß es die Erde sey, welche diese Körper durch eine Kraft anziehe, die ihr vermöge ihrer Natur zukäme. Die andern sagen, daß es der Aether oder eine andere feine und unsichtbare Materie sey, welche die Körper nach unten stoße, so daß in beiden Fällen der Erfolg einerley ist. Die letzte Meynung gefällt denen mehr, die **in der Philosophie helle und begreifliche Grundsätze** lieben; weil sie nicht sehen, wie zwey von einander entfernte Körper auf einander wirken können, ohne daß etwas zwischen ihnen sey. Die andern berufen sich auf die göttliche Allmacht, und behaupten, daß Gott alle Körper mit der Kraft, andere Körper an sich zu ziehen, begabt habe. Unerachtet es gefährlich ist, über das, was Gott möglich oder unmöglich sey, zu streiten, so ist doch gewiß, daß, wenn die Attraction ein unmittelbares Werk der göttlichen Allmacht wäre, ohne in der Natur der Körper gegründet zu seyn: dieß eben so viel heißen würde, als wenn man sagte, daß Gott unmittelbar die Körper gegen einander stieße, welches also beständige Wunder wären. Wir wollen setzen, es wären von der Erschaffung der Welt nichts als zwey von einander entfernte Körper hervor gebracht, außer ihnen existirte nichts, und beyde wären in Ruhe. Wäre es wohl möglich, daß der eine sich dem andern näherte, oder daß sie eine Neigung hätten, einander näher zu kommen? Wie würde aber eines das andere in der Entfernung gewahr werden? Wie, die Begierde bekommen, sich mit ihm zu vereinigen? Dieß sind **Begriffe, welche die Vernunft wider sich aufbringen.** Aber sobald man annimmt, daß der Raum zwischen den Körpern mit ei-

*ner feinen Materie angefüllt ist: so sieht man gleich ein, daß diese Materie auf die Körper, durch den Stoß, wirken kann, und die Wirkung daraus beynahe eben dieselbe seyn muß, als wenn sie sich wechselweise anzögen. Da wir nun wissen, daß in der That eine solche flüßige Materie vorhanden ist, welche den Raum zwischen den himmlischen Körpern ausfüllt, ich meine der Aether: 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. Die alten Philosophen haben sich begnügt, die Erscheinungen in der Welt durch solche Ursachen zu erklären, die sie Qualitates occultas nannten. So sagten sie das Opium habe eine Qualitas occulta, die es fähig mache den Schlaf zu erregen. Das hieß in der That nichts erklären, oder es hieß vielmehr seine Unwissenheit verbergen. Wenn man also die Attraction für eine innere Eigenschaft der Körper ausgiebt, so muß man sie ebenfalls für eine Qualitas occulta ansehen. Aber da man heute zu Tage die Qualitates occultas aus der Philosophie verbannt hat, so muß es die Attraction, in diesem Verstande genommen, auch seyn.*<sup>283</sup>

Zuerst kommt es darauf an, „die wahre Quelle dieser anziehenden Kräfte zu entdecken“. Damit kommt er auf die alte philosophische Fragestellung zurück, um zugleich anzufügen: „...ich kann mir nicht schmeicheln, daß mir dieß eben so gut gelingen wird.“ Der Vergleich bezieht sich dabei darauf, daß diese Frage nach LEONHARD EULERS Ansicht weniger in der Mathematik, als in der Metaphysik angesiedelt sei. Er ist sich einfach sicher, daß er die richtige Antwort weiß. Habe ich ihn weiter oben noch wegen seiner Formulierung kritisiert, so kann man hier lesen, daß er sich der richtigen Formulierung sehr wohl bewußt ist. Er schreibt: „...die Körper bewegen sich **so als wenn sie einander anzögen**. Dadurch ließe man unausgemacht, ob die Kräfte, die auf die Körper wirken, in oder außer ihnen ihren Sitz haben.“ (**Hervorhebung** von mir.) Es ist für ihn einfach nur ein Wortspiel und eines Kampfes nicht wert, ob sie nun gezogen oder gestoßen werden, und seine Formulierung ist überzeugender als die von mir vorgeschlagene. Er stellt nun beide Parteien in ihren Ansichten vor und läßt erkennen, welcher Ansicht **er selbst** zuneigt: „Die letzte Meynung gefällt denen mehr, die **in der Philosophie helle und begreifliche Grundsätze lieben**“. (**Hervorhebung** von mir.) Einsichtige Grundsätze verlangt er, und Einsicht ist für EULER untrennbar mit Verständnis des Wirkmechanismus verbunden. Das Bild von der „Begierde“, welche die Körper zueinander haben müssen, taucht ebenfalls wieder auf, und „Dieß sind Begriffe, welche die Vernunft wider sich aufbringen“ läßt er sich vernehmen. Die kontinentale „ratio“ verweigert sich andern unter Anerkennung des großen Nutzens, den ansonsten NEWTONS Vorstellungen bringen. Deshalb also seine Erklärung der Phänomene, die wir schon kennen: „Da wir nun wissen, daß in der That eine solche flüßige Materie vorhanden ist, welche den Raum zwischen den himmlischen Körpern ausfüllt, ich meine der Aether: 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.“ Aber hier ist ein deutlicher Unterschied sichtbar: „wenn man auch die Art dieser Wirkung nicht einsieht“ liest man. Das Modell ist für ihn noch das gleiche, aber die genaueste Erklärung, die er noch 1743 durch die umgebenden Wirbel, durch die Formel für ihren Druck, angab, die ist hier weggelassen. Eine durchaus abgeklärtere Formulierung taucht auf und eine nachgeschobene Auslegung noch dazu: Besser eine solche Erklärung, bei der die Wirkart noch fehlt, aber sonst alles einsichtig ist, als seine Zuflucht zu der „ganz unverständlichen“, den Körpern eigenen, Attraktion (in diesem Sinne verstanden) zu nehmen. Nach diesem Ausflug EULERS in die Metaphysik (so seine Auffassung) wird wieder eifrig solideste Physik betrieben und die Grundsätze der Mechanik erklärt und diskutiert.

283

68. Brief, 18. Oct. 1760. **Hervorhebung** von mir.

## Die Erklärung der Mechanik für eine Prinzessin wird abgeschlossen.

Über die Grundsätze wird die junge Dame genauestens belehrt, philosophisch abweichende Meinung (*Wolfische Philosophen* und deren „*Spitzfindigkeiten*“) <sup>284</sup> untersucht, und schließlich formuliert LEONHARD EULER das wahre „Principium der Bewegung“:

*„Der erste Satz: Ein Körper, wenn er einmal in Ruhe ist, bleibt ewig in Ruhe, wenn er nicht durch eine äußere oder fremde Ursache in Bewegung gesetzt wird. Der andere: Ein Körper, wenn er einmal in Bewegung gesetzt ist, behält ewig diese Bewegung mit gleicher Richtung und Geschwindigkeit; oder seine Bewegung geschieht gleichförmig und nach einer geraden Linie, wenn er nicht durch eine äußere Ursache gestört wird. Auf diesen beiden Sätzen beruht die ganze Wissenschaft der Bewegung, die man Mechanik nennt.“* <sup>285</sup>

Nach einer Erläuterung der Trägheit, die das „*einzigste ist, was uns die Materie sinnlich macht*“ <sup>286</sup> und einer Definition von „*Kraft*“: „*So oft der Zustand eines Körpers verändert wird, muß man die Ursache davon nicht im Körper, sondern außer ihm suchen; und diese Ursache ist eben das was man eine Kraft nennt.*“ <sup>287</sup> kommt LEONHARD EULER zur metaphysischen Frage zurück.

*„Wenn wir also einen Körper in Bewegung sähen, der nach einer geraden Linie gleichförmig fortgienge, das heißt, einerley Richtung und Geschwindigkeit behielte: so würden wir nicht sagen, daß die Ursache von der Fortsetzung dieser Bewegung außer dem Körper liege, sondern daß sie in der Natur des Körpers selbst, und in der Trägheit desselben sey.“* <sup>288</sup>

Und später fährt er fort:

*„So oft wir also einen Körper seinen Zustand verändern sehen, entweder, indem er aus der Ruhe sich zu bewegen anfängt, oder in der Bewegung seine Richtung und Geschwindigkeit ändert: so müssen wir diese Veränderung einer Ursache außerhalb dem Körper zuschreiben. [ ... ] es ist eine fremde Kraft und zwar eben die, welche man die Schwere nennt: folglich ist die Schwere keine innere Kraft der Körper, sondern die Wirkung einer außer ihnen existirenden. Dieß ist geometrisch gewiß, ob wir gleich diese äußern Kräfte nicht kennen....“* <sup>289</sup>

Schon die Formulierung des Kraftprinzips zwingt EULER dazu, diese Kraft nach außen zu verlegen. Es bleibt aber dabei, wie am Ende des Zitats zu sehen, die äußere Kraft ist unbekannt. Das Problem wird in weiteren Beispielen umkreist, die Himmelsmechanik nochmals aufgegriffen, Trägheit und Kraftwirkung nochmals dargestellt.

*„Wir kennen die Kräfte, durch die er (der Zustand des Planeten; Verf.) verändert wird, das sind nämlich die anziehenden Kräfte, mit denen die himmlischen Körper aufeinander wirken. Diese Kräfte kann man, wie ich schon bemerkt habe, als Wirkungen der feinen Materie ansehen, die alle himmlische Körper umgiebt, indem sie den ganzen Raum des Himmels ausfüllt. Aber wenn man auch die andere Meynung annimmt, daß die Attraction eine der Materie inhärirende Kraft sey; so bleibt diese Kraft doch dem Körper, auf den sie wirkt, fremde. . [ ... ] Unterdessen ist diese Meynung, daß die anziehende Kraft der Materie wesentlich sey, so vielen Schwierigkeiten unterworfen, daß es kaum möglich ist, ihr in einer vernünft-*

<sup>284</sup> Wolff, Christian Freiherr von, 1679–1754, ein Schüler von LEIBNIZ. Begründete eine deutsche philosophische Schule des Rationalismus. Fast alle seine Schriften fangen mit „Vernünftige Gedanken über...“ an. Seine Nachfolger dürften hier gemeint sein. Der Einfluß der „Wolffischen Philosophen“ blieb auf Deutschland beschränkt.

<sup>285</sup> 73. Brief vom 4. Nov. 1760; **Hervorhebung im Original**.

<sup>286</sup> 74. Brief vom 8. Nov. 1760.

<sup>287</sup> ebd.

<sup>288</sup> 75. Brief vom 11. Nov. 1760.

<sup>289</sup> 75. Brief vom 11. Nov. 1760; **Hervorhebung** von mir.

*tigen Philosophie eine Stelle zu geben. Es ist immer sicherer, zu glauben, daß das, was man Attraction nennt, eine in der feinen Materie, die den ganzen Himmelsraum erfüllt, liegende Kraft sey, ob man gleich die Art und Weise ihrer Wirkung nicht kennt. Man muß sich einmal daran gewöhnen, seine Unwissenheit über eine Menge wichtiger Sachen zu bekennen.*<sup>290</sup>

Die ganze Haltung ist eine deutlich bescheidenere. Immer wieder wird betont, daß die Ursache „außerhalb“ liegen muß und in der „feinen Materie“ zu lokalisieren sei. Der letzte Satz dieses Briefes ist schon fast ein Seufzer. Ich werde den Verdacht nicht los, daß dies in den, leider verloren gegangenen, Originalen etwas anders steht. Zwischen der Abfassung der Briefe und der Veröffentlichung liegen 8 Jahre und die Korrespondenz mit LE SAGE. Der Bescheidene Seufzer läßt sich besonders gut am Schluß anfügen. Alsdann ist es wieder Zeit, sich der Philosophie zuzuwenden, EULER setzt sich nochmals mit WOLFF auseinander und kommt zu dem Schluß:

*„Es ist also ein bloßer Mißbrauch, wenn einige Schriftsteller der Trägheit, die diese Eigenschaft ist, den Namen der Kraft belegen, und sie die Kraft der Trägheit nennen [ ... ] Die Absicht seiner (des Systems der Monaden; Verf.) Anhänger ist, die Elemente der Körper in eben die Klasse von Dingen zu bringen, zu denen die Seelen und die Geister gehören, die ohne Widerspruch eine Kraft haben ihren Zustand zu verändern [ ... ] Setzen Ew. H. noch den unendlichen Unterschied dazu, der zwischen dem Zustande des Körpers, welcher aus nichts als der Richtung und der Geschwindigkeit der Bewegung besteht, und zwischen den Vorstellungen einer Seele ist: und Sie werden von der Unrichtigkeit der Meynungen der Materialisten völlig überzeugt werden; die einen Geist nur zu einer gewissen Mischung von Materie machen. Diese Art Leute haben gar keinen Begriff von der wahren Natur der Körper; ob dieß gleich die Meynung beinah aller starken Geister ist.*<sup>291</sup>

Aber immer wieder kommt er auf physikalische Erscheinungen und deren Deutung zurück. In den folgenden Briefen wird die Undurchdringlichkeit der Körper in ihren Variationen diskutiert, das MAUPERTUISCHE<sup>292</sup> Prinzip der kleinsten Wirkung erläutert. Alsdann kommt EULER wieder zur „Attraction“ zurück:

*„Zwey von einander entfernte Körper können jeder in seinem Zustand fort dauern, ohne daß ihre Undurchdringlichkeit dabey verletzt werde; und es ist also keine Ursache, warum einer auf den andern, und noch dazu durch eine Anziehung wirken sollte. Wenigstens würde die Anziehung zu einer dritten Art von Kräften gerechnet werden müssen, die weder geistig noch körperlich wären. Es ist aber wider die Regel einer gesunden Philosophie, neue Arten von Kräften einzuführen, ehe ihre Wirklichkeit unwidersprechlich bewiesen ist. [ ... ] Gäbe es in der Welt einen einzigen Fall, wo zwey Körper sich anzögen, ohne daß der Raum zwischen ihnen mit einer feinen Materie angefüllt wäre, so müßte man allerdings die Wirklichkeit der Attraction zugeben. Aber so einen Fall giebt es nicht.“*<sup>293</sup>

<sup>290</sup> 75. Brief vom 11. Nov. 1760; **Hervorhebung** von mir.

<sup>291</sup> 76. Brief vom 15. Nov. 1760

<sup>292</sup> Pierre Louis Moreau de MAUPERTUIS, 1698-1759. 1746 versuchte er als Präsident der Berliner Akademie die Mechanik auf das Prinzip der kleinsten Wirkung zu gründen (unter Wirkung verstand er das Produkt aus Masse, Weg und Zeit). Als er 1750 in dem „Essai de Cosmologie“ das Dasein Gottes mit Hilfe seines Prinzips zu beweisen suchte, handelte er sich eine Gegenschrift VOLTAIRES, Diatribe du docteur Akakia, medecin du Pape, 1752, ein, die ihn lächerlich machte. Dabei hatte dieser MAUPERTUIS einst bewundert.

Der Titel ist übersetzt etwa: „Gelehrte Untersuchung des Doktor Ohne-Arg, Arzt des Papstes“ („Akakia“ geht auf den Arzt von Franz I. zurück, der seinen Namen „Sans-malice“ ins Griechische übertrug.)  
<sup>293</sup> 79. Brief vom 25. Nov. 1760

Der letzte Satz legt nahe, daß für EULER das Aether-Postulat unabdingbar ist. Nur durch experimentellen Nachweis mit Bedingungen, die unrealisierbar sind, wäre er zu überzeugen, eine **Wirklichkeit** der Attraktion zuzugeben. Nach einigen Wiederholungen, die der Prinzessin die gedankliche Wegstrecke, die sie durch die Lektüre der Briefe zurückgelegt hat, nochmals vor Augen führen, wird, auf die falschen Philosophen eingehend, versichert, daß selbst wenn man ihnen Erfahrungen über den Stoß der Körper und den durch diesen bewirkte Veränderung an deren Zustand vor Augen führe, diese doch antworteten, daß es ein Betrug der Sinne sei, wenn wir den Stoß als Ursache ansähen. Er schließt den ersten Teil des Briefes mit:

*Sie rühmen sich deswegen sehr der Erhabenheit ihrer Philosophie, die der Pöbel nicht begreifen könne. Ew. H. sind nunmehr selbst im Stande darüber den Anspruch zu thun.*<sup>294</sup>

Als guter Lehrer überläßt es LEONHARD EULER seiner Schülerin selbst, sich ein eigenes Urteil zu bilden. Es ist nach dieser deutlichen und geschickten Belehrung völlig klar, wie es ausgefallen sein wird.

In den Briefen an eine Deutsche Prinzessin haben wir LEONHARD EULER in seiner eigenen Wortwahl und in einer etwas bescheideneren Haltung dem Problem der Gravitation gegenüber erlebt, als er uns in „*De Causa Gravitatis*“ entgegengetreten ist. Aber in der Sache hat er seine Auffassung keineswegs geändert. Während in der frühen Schrift das Problem gleichsam chirurgisch herauspräpariert wurde und in Chirurgenart mit scharfem Schnitt erledigt wurde, ist hier die ganze Angelegenheit didaktisch angerichtet und mit gewissen Ausschmückungen versehen präsentiert worden. Die Haltung LEONHARD EULERS in dieser Sache ist die Haltung der Physik bis ins 20. Jahrhundert hinein geblieben. Der Aether wurde einfach durch Erkenntnisgewinn modifiziert, bis durch EINSTEINS Beitrag alles etwas anders gesehen werden mußte.

---

<sup>294</sup>

79. Brief vom 25. Nov. 1760

## Zusammenfassung

In der Betrachtung dieser Arbeit werden hauptsächlich die vier Geistesgestalten der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts, nämlich G. W. LEIBNIZ, JOHANN BERNOULLI (I), DANIEL BERNOULLI, und LEONHARD EULER in ihrem Verhältnis zur Gravitation bzw. zu NEWTONS Gravitationstheorie gewürdigt. Die herangezogenen Arbeiten wurden von mir aus dem Lateinischen bzw. dem Französischen übersetzt.

Es wird dargestellt, daß sowohl LEIBNIZ als auch JOHANN BERNOULLI Darstellungen gegeben haben, die beanspruchen, die gesamte Himmelsmechanik zu erklären. DANIEL BERNOULLI wird hauptsächlich in bezug auf seine Konkurrenz mit dem Vater in seiner Preisschrift betrachtet, und EULER liefert neben einer fulminanten Kritik an der fehlenden Ursachenerklärung NEWTONS eine Version von Gravitationserklärung, von der er später wieder Abstand nehmen mußte.

Allen kontinentalen Gelehrten ist gemeinsam, daß sie auf einer nahwirkenden Ursache als Erklärung der Gravitation bestehen und sich damit deutlich von ISAAC NEWTON absetzen. Fast gemeinsam allerdings ist ihnen auch die Achtung vor NEWTON, insbesondere dadurch, daß sie (bis auf LEIBNIZ) dessen Ergebnisse aus den *principia* durchaus verwenden. Sie sind nur mit dessen „Fernwirkungstheorie“ nicht einverstanden.

LEIBNIZ hebt sich insofern ab, als er in seiner Arbeit sich nicht mit der NEWTONS auseinandersetzt, sondern sein eigenes Konzept verfolgt. Er kannte NEWTONS Arbeit nicht und publizierte seine Version ziemlich bald nach Erscheinen der *principia*. Dabei benutzt er seine neu entwickelte Analysis und leitet aus Prämissen, die er angibt, die Eigenschaften der Planetenbewegung ab. Zur Erklärung der Schwere dient ihm ein schon von HUYGENS angegebene Modell der Schwereerzeugung durch Rückstoß und Verdrängung im Wirbel. Die Planetenbewegung wird dann bei ihm durch Zentrifugalbewegung und „parazentrische“ Rückstoßbewegung in radialer Richtung und durch „harmonische“ Kreisbewegung in tangentialer Richtung infinitesimal zusammengesetzt.

JOHANN BERNOULLI erfindet eine eigene „Himmelsphysik“, indem er nach eigener Äußerung das Beste aus beiden System, dem von DESCARTES und dem NEWTONS, zusammenführt. Bei ihm wird alles aus Stößen und nach den Stoßgesetzen erklärt. Die gesamte Spekulation verwendet subtile Materie des ersten Elementes, die durch eine Art Siedevorgang aus dem Zentralgestirn (jeweils) austritt, durch Stöße und Anlagerungen im Laufe der Zeit zur Materie des zweiten Elementes verdichtet wird und schließlich als „Zentralstrom“ zurückgestoßen, auf jeden Himmelskörper einwirkend, für alle Phänomene verantwortlich gemacht wird. Seine Spekulationen sind großartig formuliert und aus Alltagsbildern wie Sieden, Destillationen, Weihrauch- Wahrnehmung, Lichtausbreitung, Schneelawinen, Flammruß-Erscheinungen und ähnlichem entnommen.

Seine von der Pariser Akademie preisgekrönte Arbeit teilte sich den Preis mit der Arbeit seines Sohnes DANIEL BERNOULLI, der sich aber darauf beschränkt, die spezielle Fragestellung der Preisaufgabe zu bearbeiten und dabei nur erkennen läßt, was er von den Ursachen der anderen Himmelserscheinungen denkt. Während sein Vater sich als strenger CARTESIANER gibt und die Preisaufgabe nur dadurch bewältigen kann, daß er sich den Erdglobus als langgestrecktes Ellipsoid, im tragenden Medium schwimmend, vorstellt, benutzt Daniel die Vorstellung einer sich überall erstreckenden Sonnenatmosphäre, um deren Einwirkung für seine Lösung nutzbar zu machen. Aus seinen Bemerkungen über NEWTON und über Wirbeltheorien schimmert schon durch, daß er sich als Anhänger NEWTONS eher verstehen kann, denn als Anhänger der Wirbeltheorien.

Bei LEONHARD EULER handelt es sich vermutlich um den Menschen, der die Physik, insbesondere die Mechanik, im 19. Jahrhundert am meisten beeinflußt hat. Zwei Schriften von ihm werden betrachtet, von denen die erste anonym erschien und erst 1996 ihrem Verfasser



sicher zugeordnet werden konnte. Nach meiner Übersetzung hier und dem Vergleich mit einer posthumen Arbeit, „Handreichungen zur Naturlehre“, kann diese jetzt sicher datiert werden als zu Beginn der vierziger Jahre des 18. Jahrhunderts entstanden. Die anonyme Arbeit, „De causa gravitatis“ enthält in komprimierter Form eine fundamentale Kritik der Fernwirkungstheorie NEWTONS mit zum Teil sehr plastischen Beispielen der Ablehnung dieser Theorie. Daran anschließend wird der Aetherdruck, der in der Nähe der Planetenoberfläche geringer als weiter draußen sei, als Ursache der Gravitation vorgestellt. Es wird sogar eine Formel für die Druckverteilung angegeben.

In der zweiten betrachteten Arbeit EULERS zeigt sich, daß LEONHARD EULER von der Erklärung der Ursache der Schwere Abstand nimmt. Allerdings beharrt er darauf, daß eine solche, mechanische Ursache existieren müsse und sie vermutlich im Aether zu suchen sei. Solche Vorsicht erschien ihm angeraten, nachdem LE SAGE ihm gezeigt hatte, daß der Aether als Erklärung für alle Phänomene der Optik, des Elektromagnetismus und der Mechanik nicht herangezogen werden konnte.

So kam es denn dazu, daß man NEWTONS Gesetze zum Rechnen gerne benutzte, seine Weigerung, Gravitation als Masseeigenschaft zu definieren, einfach nicht mehr zur Kenntnis nahm und LEONHARD EULER folgte, der wohl der erste war, der aus der Definition NEWTONS, Kraft sei die Änderung der „*quantitas motus*“, die Formulierung Kraft sei gleich Masse mal Beschleunigung machte. Es brauchte auf dem Kontinent fast ein ganzes Jahrhundert seit NEWTONS Arbeit, bevor, auf diese Art abgeändert, NEWTON als Säule der neuen Wissenschaft „Physik“ installiert war.

Es wird mit dieser Arbeit gezeigt, daß die Modellbildung, die Vermittlung einer Vorstellung, auch für die ausgewiesene Elite der Wissenschaft einen hohen Stellenwert hatte. Das Funktionalisieren eines mathematischen Modells ist zwar wichtig und als Mittel der Arbeit unabdingbar, aber erst ein befriedigendes, vorstellbares, und damit mechanisches, Modell sichert ein Phänomen als „verstanden“ ab. Unsere Probleme heute mögen zwar andere sein, in dieser Hinsicht aber hat sich die Wissenschaft auch heute noch nicht gewandelt und wird sich auch nicht wandeln. Es bleibt also bei der Frage: „Was ist ein befriedigendes Modell?“

## Übersetzungen:

### TENTAMEN DE MOTUUM COELESTIUM CAUSIS (II):

5 von GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ ( Zweite Bearbeitung )

### VERSUCH ÜBER DIE URSACHEN DER HIMMELS - BEWEGUNGEN

10 Übersetzung der wesentlichen Teile des Textes bei GERHARDT, Leibniz' mathematische Werke VI, S. 161 – 187.

Es steht fest, daß die Alten, besonders die, welche den Lehrmeinungen von Aristoteles und Ptolemaeus gefolgt sind, die Majestät der Natur noch nicht zur Genüge erkannt haben, welche  
 15 erst in unserer und der voraufgehenden Epoche, deutlich (näher) erstrahlt ist, wodurch man fand, daß die Hypothese, die die Hauptplaneten sich um die Sonne bewegen lässt<sup>295</sup>, mit den Phänomenen schön in Einklang ist ( den Phän. trefflich genügt ). Dies wird wundervoll illustriert durch die Beobachtungen TYCHOS, denen, in ihrer ungewöhnlichen Genauigkeit, sich jener (Tycho) als erster gewidmet hat und dabei den Apparat fester Trägersphären, der so wenig  
 20 passend war, aus dem Himmel verbannte.<sup>296</sup> Wenn er auch aus seinen HERCULEISCHEN Anstrengungen nicht genug Ertrag für sich ziehen konnte, teils, weil er sich durch gewisse Vorurteile (selbst davon) ausschloß, teils weil der Tod ihm zuvorkam, so ist es doch durch göttliche Vorsehung geschehen, daß seine Beobachtungen und Leistungen in die Hände eines unvergleichlichen Mannes kamen, für den das Schicksal es aufbewahrt hatte, „**das rechte Verhalten von Himmel und Natur und die (Bewegungs-) Gesetze der Göttlichen Gestirne**“<sup>297</sup> den Menschen als erster kundzutun. Dieser fand also, daß jeder Hauptplanet eine elliptische Bahn beschreibe, in deren einem Brennpunkt sich die Sonne befindet, und daß er sich nach diesem Gesetz bewege, wonach durch die von der Sonne zum Planeten gezogenen Strahlen (Radialvektoren) immer den Zeiten proportionale Flächen abgeschnitten würden. Außerdem entdeckte er, daß mehrere Planeten des gleichen Systems Umlaufzeiten haben, die im Verhältnis der  $3/2$  fachen Potenz der mittleren Distanz zur Sonne stehen. Auf wunderbare Weise in der Tat, würde er noch triumphiert haben, hätte er gewußt (was CASSINI löblichst bemerkt hat), daß auch die Monde des Jupiter und Saturn dieselben Gesetze hinsichtlich ihrer  
 30 Primärplaneten beachten, wie jene in bezug auf die Sonne. Jedoch, die Ursachen dieser gewaltigen und so konstanten Wahrheiten konnte er, noch nicht, angeben, teils weil er seinen Geist durch ( die Annahme) von Intelligenzen und unerklärlichen Strahlen von „Sympathiekräften“ behindert hielt, teils weil zu seiner Zeit die höhere Geometrie und die Wissenschaft der Bewegung (Kinematik) noch nicht dahin fortgeschritten waren, wo sie sich jetzt befinden. Und dennoch hat er auch den Zugang zum Aufspüren der (wahren) Gründe eröffnet. Denn ihm wird das erste Indiz eines physikalischen Gebrauchs (Verständnisses) dieses Naturgesetzes geschuldet, an dem entweder die Schwere hängt oder wenigstens wunderbar illustriert wird, daß ( nämlich ) rotierende Körper tangential vom Zentrum zu entfernen streben. Und folglich, wenn Spreu- oder Strohteilchen im Wasser schwimmen, das Wasser durch Rotation des Gefäßes in Wirbelbewegung gebracht und, da es dichter als die Spreuteilchen ist und demgemäß stärker als diese von der Mitte fortgestoßen wird, verstößt es die Spreuteilchen  
 40 zum Zentrum hin, wie er, ( KEPLER ) es selbst an zwei und mehreren Stellen in der EPITOMAE ASTRONOMIAE dargestellt hat, wiewohl er doch weiter Zweifel hegte, und in Un-

<sup>295</sup> wörtlich: „um die Sonne führt“

<sup>296</sup> wörtlich: „hinwegnahm“

<sup>297</sup> VERGIL- Halbvers: jura poli rerumque fidem legesque Deorum

kenntnis der ihm zur Verfügung stehenden Mittel war er sich auch nicht genügend bewußt, wie viel daraus sowohl in der Physik als auch speziell in der Astronomie folgte. Aber später machte CARTESIUS hervorragenden Gebrauch seiner Erkenntnisse, wenn er auch wie gewöhnlich dessen Autor versteckte. Ich habe mich oft gewundert, weshalb CARTESIUS nicht einmal ansatzweise unternommen hat, Gründe für die von KEPLER gefundenen Gesetze der Himmelskörper zu geben; sei es (daß er meinte), er könne sie (die Gesetze) nicht genügend in Einklang bringen mit seiner Lehrmeinung, sei es, daß ihm der Segen dieser Entdeckung unerkannt blieb oder er nicht glaubte, daß sie (die Gesetzesentdeckung) so genau von der Natur beachtet würde.

5

10 Ferner, da es kaum physikalisch<sup>298</sup> erscheint- ja der bewundernswürdigen Erfindungen Gottes unwürdig- den Gestirnen besondere Intelligenzen als Wegweiserinnen<sup>299</sup> zuzuordnen, als ob Gott die Vernunft fehlte, dasselbe durch körperliche Gesetze zuwege zu bringen, **die soliden Sphären** aber längst dahin sind. Sympathie aber, Magnetismus und andere abstruse Eigenschaften dieser Art<sup>300</sup> sind entweder nicht erkennbar, oder, wo man sie erkennt, wurden sie als

15 Erscheinungen eines Effektes körperlicher Eindrücke beurteilt, so bleibt, jedenfalls nach meinem Urteil, nichts anderes übrig, als daß die Ursache der Bewegung der Himmelskörper durch die Bewegung eines Aethers, bzw., um es astronomisch auszudrücken, durch tragende Sphären (Kugeldurchschnitte), aber freilich **flüssige** entsteht. Diese Meinung ist uralte, jedoch (leider) mißachtet. Denn LEUCIPPUS hat sie so weit zum Ausdruck gebracht, daß er bei der

20 Herausbildung des Weltsystems den Namen **δίνη** („Wirbel“) verwandte, und wir haben gehört, wie KEPLER die Schwere durch das in Wirbelbewegung versetzte Wasser angedeutet (skizziert) hat. Und aus dem Tagebuch des MONCONISIUS erfahren wir, daß bereits TORRICELLI der Meinung gewesen sei ( und ich vermute auch GALILEI, dessen Schüler jener ja war ), daß, wie schwimmende Stroh- und Spreuteilchen, so auch die Gestirne je näher sie dem

25 Zentrum sind, desto schneller umlaufen. Aber diese allgemeineren ( Überlegungen ) sind dem Geist leichter zugänglich. Uns aber obliegt es, die Bewegungsgesetze selbst genauer zu erklären, was eine weit tiefere Erforschung bedeutet, wie sich zeigen wird. Und weil in dieser Sache uns ein gewisses Licht aufgegangen ist und die Untersuchung bislang bequem und ganz natürlich fortgeschritten zu sein scheint, so bin ich in dieser Hoffnung bestärkt worden, den

30 wahren Ursachen der Bewegungen der Himmelskörper mich angenähert zu haben! Es ergibt sich auch aus den hervorragenden Erwägungen des GILBERTUS<sup>301</sup>, daß jeder größere Himmelskörper, so weit uns bekannt, eine magnetische Natur zeigt, und außer einer nach gewissen Polen zielenden Richtungskraft eher eine anziehende Kraft besitzt, verwandte Körper in seine Sphäre hineinzubringen, die wir in irdischem Plan „**Schwere**“ nennen und in einer gewissen Analogie auf die Gestirne übertragen. Aber es steht nicht zur Genüge fest, was

35 die wahre Ursache für dieses so weithin bekannte Phänomen ist und ob es dieselbe (Ursache) ist, wie im Magneten! Obgleich uns dieses Problem nicht durch einen ( eindeutigen ) Beweis gelöst werden kann, haben wir dennoch etliches,<sup>302</sup> das untereinander wunderbar zusammenpaßt und durch ein großes Maß an Wahrscheinlichkeit sich empfiehlt. Jedoch ( fürwahr ) kann

40 versichert werden, daß die Anziehung schwerer Körper durch eine gewisse körperliche Strahlung geschieht; denn Immaterielles darf bei der Erklärung körperlicher Phänomene nicht herangezogen werden. Ferner ist es einsichtig, daß es im Körper einer Sphäre ( globii ) eine Tendenz zu Herausschleudern von Materie gibt, die nicht passend bzw. störend ist oder sich an einem Ort befindet, der nicht genügend angemessen ist, Bewegung frei vonstatten gehen

<sup>298</sup> wörtlich: „minimalphysikalisch“

<sup>299</sup> „Intelligenzen“ oder „Sympathien“ hießen im ausgehenden Mittelalter die „engelartigen, personifizierten Kräfte, die die Bewegung der Himmelsphaeren besorgten“(Hinweis von Prof.W.Saltzer)

<sup>300</sup> gemeint sind generell „Fernwirkungen“

<sup>301</sup> Vermutlich Gilbert, William, 1540 –1603, „DE MAGNETE, MAGNETISQUE CORPORIBUS ET DE MAGNA MAGNETE TELLURE, PHYSIOLOGIA NOVA (1600)

<sup>302</sup> Indizien oder ähnliches

zu lassen, weshalb dann durch rotierende Stoßbewegung<sup>303</sup> andere passende Materie angezogen wird, bzw. dieselbe Bewegung hat, sodaß sie die innere Bewegung des anziehenden Körpers ( der anziehenden Materie ) weniger stört, nach dem Beispiel der Flamme, bei der uns die Sinne selbst das Herausstoßen der einen und die Anziehung der anderen ( Materie ) lehren!

5 Und wenn jemand diese Dinge noch tiefer zu erfassen wünschte, der möge sich vorstellen, diese Sphäre sei flüssig gewesen und in sich eine variable innere Bewegung dergestalt gehabt haben- wobei sie sich ( als ganze ) den Bewegungen des umgebenden Mediums angepasst habe und nach dem Beispiel eines Öltropfens in Wasser abgerundet worden sei- daß die Umgebung ( das sie umgebende Medium ) möglichst wenig gestört würde, und dann sei sie auch

10 allmählich ausgehärtet, sei aber durchlässig geblieben, und habe die passenden Bewegungen, passend zu den Bewegungen des örtlichen Fluidums, beibehalten. Und in der Tat ist es das Wesen des Fluidums, verschiedene innere Bewegungen zu haben, welche, so bald sie von den umlaufenden ( äußeren Bewegungen ) gezügelt werden, damit die Materie nicht davon fliege, zu sich selbst zurückkehren und kommen so in Kreisbewegungen und bilden auf diese Art

15 große Kreise ( Kreisbahnen ), weil sie so die maximale Fliehtendenz ( conatus recedendi ) bewahren. Durch diese Fliehtendenz ( conatus recedendi ) werden nun jene Körper nach unten gestoßen ( herabgestoßen ), in denen weniger von diesem Fluidum eingeschlossen ist, d.h. in denen der conatus recedendi, die Fliehtendenz geringer ist. Deshalb, wenn aus KEPLERS Idee ( Ansatz, Inventum ) Zentrifugalkraft anzuwenden ist, so darf diese ( die Zentrifugalkraft ) nicht abgeleitet werden aus einer Bewegung eines Aethers auf den Äquator und den

20 Parallelkreisen, der dann ( die Körper ) zu der Erdachse hin stoßen würde, sondern, wie ich mich erinnere bereits einst angemerkt zu haben, eines ( Aethers ) auf Großkreisen, die mit der Erde dasselbe Zentrum haben, wie es eben die Meridiane sind, nach dem Beispiel jener Bewegung, die in der Atmosphäre ( dem Umfeld ) eines Magneten erscheint. Man muß nämlich wissen, daß in Flüssigkeiten die Bewegung kreisförmig in allen Teilen ist, in was auch immer für Großkreisen, und nichts steht entgegen, daß es gewisse Pole gibt, durch deren Meridiane eine Bewegung einer ( Aether- )Materie vonstatten geht, wie es für das System angebracht ist<sup>304</sup>. Und so sind die verschiedenen bezeichneten Ursachen untereinander kompatibel in dieser Erklärweise, und wir haben also zugleich eine sphärische Strahlung, die Anziehung des

25 Magneten, die Explosion eines Störmediums<sup>305</sup>, die interne Bewegung eines Fluidums, schließlich die Rotation einer ( Aether - ) Atmosphäre, die eine Zentripetalkraft<sup>306</sup> erzeugt. Aber, was immer die Ursache der Schwere sei, uns kann es genügen, daß der anziehende Globus ( Erde ), materielle Strahlung analog dem Licht ausstößt, bzw. 'Impulslinien' emittiert, die vom Zentrum aus in jede Richtung sich entfernen; nicht daß notwendigerweise Teilchen

30 von der Erde bis zu dem schweren Körper gelangen, sondern daß diese Materie, die dicht anliegende Materie stoßend, den Impuls ausbreitet, wie beim Licht, dem Schall und bei bewegten Flüssigkeiten. Indeß haben die sich geirrt, die überzeugt waren, daß die Ausbreitung irgendeines wahrnehmbaren Effektes instantan geschehen könnte. Die Strahlen aber, die ich sozusagen als Magnetische bezeichne, bzw. durch welche Anziehung bewirkt wird, bestehen

35 in einer Flieh- Tendenz<sup>307</sup> eines gewissen nicht wahrnehmbaren Fluidums, bis ins Feinste teilbar, aber von äußerster Dichte; wenn nun poröse Körper, wie es die irdischen sind, in dieses Fluidum plaziert werden, die, auf dasselbe Raumstück bezogen, nicht so viel von der Materie enthalten, die sich vom Zentrum wegzubewegen strebt und so mit geringerer Leichtigkeit ausgestattet, [ also schwerer sind ], so ist es notwendig, weil das emittierte Fluidum vor-

<sup>303</sup> „circumpulsio“

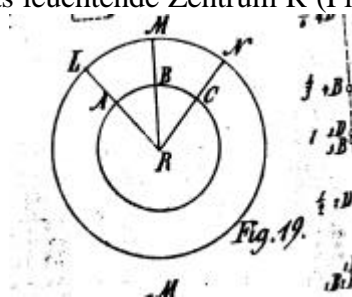
<sup>304</sup> Am Pol (Meridiantreffen) ist die Bewegung s.E. wohl heftiger.

<sup>305</sup> „...explosionem **medii** perturbantis...“, „medii“ wurde sinngemäß ergänzt.

<sup>306</sup> „vim centrifugam“ wurde in „vim centripetam“ geändert, um den dargestellten Sinn zu retten. Die Abweichung kann leicht durch Irrtum des Herausgebers erklärt werden. Schließlich handelt es sich um sehr spezielle physikalische Sachverhalte, die dem Herausgeber GERHARDT nicht unbedingt geläufig sein mußten.

<sup>307</sup> „conatus recessivus“ = einem Rückzugs- Streben, -Effekt

herrscht, daß die irdischen Körper zum Zentrum gestoßen werden. Hieraus wird ersichtlich, daß es noch eine andere fluide Materie als jenes Fluidum geben muß, das die Schwere erzeugt, und von dem wir sagten, daß es vom Zentrum aus fortgeschleudert wird. Und diese ( neue ) Materie ist noch feiner und folgt deren Bewegungsrichtung nicht, sondern führt ihre eigenen Bewegungen aus, nicht weniger, als es die magnetische Materie in der Luft oder dem Wasser tut. Denn es ist nötig, daß eine gewisse andere Materie durch noch kleinere aber häufigere Poren der irdischen Körper strömt, die die frühere ( Schwere erzeugende Materie ) ausschließen. Und je größer der Anteil eines irdischen Körpers ist, der für diese frühere Materie undurchdringlich ist und nur jene andere weit feinere Materie zuläßt, desto **spezifisch schwerer** d.h. als um so dichter ( solider ) muß er angesehen werden. Es könnte aber auch sein, daß alle irdischen Körper aus einer homogenen Masse bestünden, die dazu die feineren Poren überall gleich verteilt hätte, die größere oder kleinere spezifische Schwere aber aus der größeren oder kleineren Menge ihrer Lücken und jener größeren, für das Schwere-erzeugende Fluidum durchlässigen Porositäten entstünde, so daß geradezu aus dem selben Metall Körper von verschiedenem spezifischen Gewicht geformt werden könnten, von denen die einen, entsprechend dem Unterschied in der Porenzahl, im Wasser untergingen, die anderen aber darauf schwämmen. Unter sonst gleichen Bedingungen bei Existenz derselben spezifischen Schwere, wird indessen die größere oder kleinere Erregung zum Zentrum zu tendieren, entsprechend der Quantität der Strahlung sein, die gemäß dem Beispiel des Lichtes zu errechnen ist. Und weil also schon längst von gelehrten Männern bewiesen ist, daß die Körper von einer Lichtquelle im reziprok quadratischen Verhältnis der Abstände beleuchtet werden, so ist also auch zu sagen, daß angezogene Körper um so weniger gravitieren, um so größer das Quadrat des Abstandes vom anziehenden ( Körper ) ist. Von jedem der beiden ( Fälle ) ist derselbe Grund manifest. Werden nämlich um das leuchtende Zentrum R ( Fig. 19 )



Kopie der orig. Figur

konzentrische sphärische Oberflächen durch A und durch L gezeichnet, sowie die Geraden RAL, bzw. RBM gezogen, die rotierend um die Strahlungsachse bzw. den Radius RBM, der beide schneidet, gedacht sind, so werden daraus ähnliche und gleich gelagerte Kugelkappen<sup>308</sup> ABC und LMN ausgeschnitten. Ferner ist das Licht bzw. die anziehende Kraft durch jede Oberfläche gleichmäßig verteilt, derart, daß gleiche Teile dieser Oberfläche in gleicher Weise durchleuchtet bzw. angeregt werden. Daher verhält sich das gesamte Licht bzw. die Kraft der Oberfläche ABC zum Licht wie auch zur Kraft der Oberfläche LMN wie das Produkt der Intension oder Beleuchtung mit der Ausdehnung bzw. den Oberflächen. Es ist aber genau so viel Licht, somit auch Anziehungskraft, in der Oberfläche ABC wie in der Oberfläche LMN; also ergibt sich, daß die Einstrahlungen sich reziprok zu den Ausdehnungen<sup>309</sup> verhalten. Das heißt, daß die Beleuchtung, genau so wie die Erregung der Schwere<sup>310</sup>, sich reziprok zu der Oberfläche verhält. Nun aber stehen die Oberflächen ABC und LMN im Verhältnis der Quadrate der Radien RA und RL. Folglich stehen die Beleuchtungen, genau so wie die Erregungen

<sup>308</sup> „arcubus“ wurde hier sinngemäß mit dem heute richtigen mathematischen Wort übersetzt.

<sup>309</sup> Sprachlich wird das Gegensatzpaar extensio  $\leftarrow \rightarrow$  intensio verwandt, die Intensitäten verhalten sich reziprok zu den Ausdehnungen

<sup>310</sup> „solicitationes gravitatis“, im Plural steckt die Integration der infinitesimalen Teile

der Schwere, in reziprotem Verhältnis zum Quadrat der Abstände vom Zentrum der Strahlung oder der Anziehungskraft. Dies von uns a priori erfaßte wird bald noch einmal ( aus eigenem Antrieb ), unabhängig a posteriori durch ( den analytischen CALCULUS ) Analysis aus den allgemeinen Phänomenen der Planeten hergeleitet, zum Vorschein kommen, in wunderbarer Übereinstimmung von Theorie ( ratio ) und Beobachtung als ein sicheres Zeichen für Wahrheit. Was nämlich hieraus gefolgert wird, besteht nicht aus Hypothesen<sup>311</sup>, sondern ist aus den Phänomenen gemäß der Gesetze der Bewegung gefolgert. Sei nun eine Anziehung des Planeten<sup>312</sup> durch die Sonne gegeben oder nicht gegeben, es genügt für uns, diese Annäherung oder Entfernung festzustellen, also die Vergrößerung oder Verkleinerung des Abstandes, den er haben mußte. Und ob er sich nun in Wahrheit um die Sonne bewegt oder nicht bewegt, es genügt, daß er seinen Ort in Bezug auf die Sonne so ändert, als ob er sich in harmonischer Zirkulation bewegte, und daß demgemäß wunderbar einfache und fruchtbare **Erkenntnisprinzipien** gefunden wurden, von denen ich nicht weiß, ob dies Menschen je zu hoffen gewagt hätten. Aber wieviel von dort her über die eigentlichen Gründe der Bewegung zu folgern sein mag, überlassen wir der Klugheit jedes einzelnen zu würdigen; aber vielleicht ist die Sache schon so weit durchgeführt, wie ein kluger Poet es den Astronomen nicht weiter zu sagen gewußt hat:

*Talia frustra  
Quaerite quos agitat mundi labor, at mihi semper  
Tu quaecunque paret tam crebros causa meatus  
Ut superi voluere late.*<sup>313</sup>

1. Damit wir also darangehen können, die Sache selbst aus den Phänomenen zu erledigen, so kann vor allem gezeigt werden, daß gemäß den Naturgesetzen **alle Körper, welche in einer Flüssigkeit eine Kurvenlinie beschreiben, von der Flüssigkeit selbst in Bewegung gebracht werden**. Alle nämlich, die eine Kurve beschreiben, versuchen von dieser abzugehen in Richtung der Tangente ( aus der Natur der Bewegung ). Es ist also etwas vorhanden, was sie zwingt und die Ursache der Krümmung stets erneuert. Wenn aber nichts „Kontingentes“<sup>314</sup> ist außer dem Fluidum ( gemäß Hypothese ) und kein Zwang ausgeübt wird außer von der Umgebung und der Bewegung ( aus der Natur des Körpers ), dann ist es also notwendig, daß die Flüssigkeit selbst in Bewegung ist.
2. Hieraus folgt, daß die Planeten von ihrem eigenen Äther bewegt werden und daß sie fluide und bewegende Trägerkreise ( orbes )<sup>315</sup> besitzen. Nach Übereinstimmung aller nämlich beschreiben sie Kurvenbahnen, und es ist nicht möglich, die Phänomene zu erklären, wenn man ausschließlich geradlinige Bewegungen zugrunde legt. Damit werden sie von der umgebenden Flüssigkeit bewegt ( wie aus dem Vorstehenden hervorgeht ). Dies kann anders auch hieraus erklärt werden, daß die Planetenbewegung nicht gleichförmig ist, daß in gleichen Zeiten gleiche Strecken zurückgelegt werden. Somit ist es auch notwendig, daß sie ( die Planetenbewegung ) von der Bewegung ihrer Umgebung beeinflusst wird. Und weil wir erfahren, daß alle Planeten fast in derselben Region des Himmels und in dieselbe Richtung sich bewegen, ist es vereinbar, daß eine gemeinsame Ursache für diesen

<sup>311</sup> Vermutlich kleine Spitze gegen NEWTON ( „hypothesis non fingo“ ).

<sup>312</sup> „planetarum“ wurde aus sprachlichen Gründen durch „planetae“(Singular) ersetzt.

<sup>313</sup> „Solches sucht ihr umsonst, ihr die euch die Mühe der Welt(erklärung) antreibt.

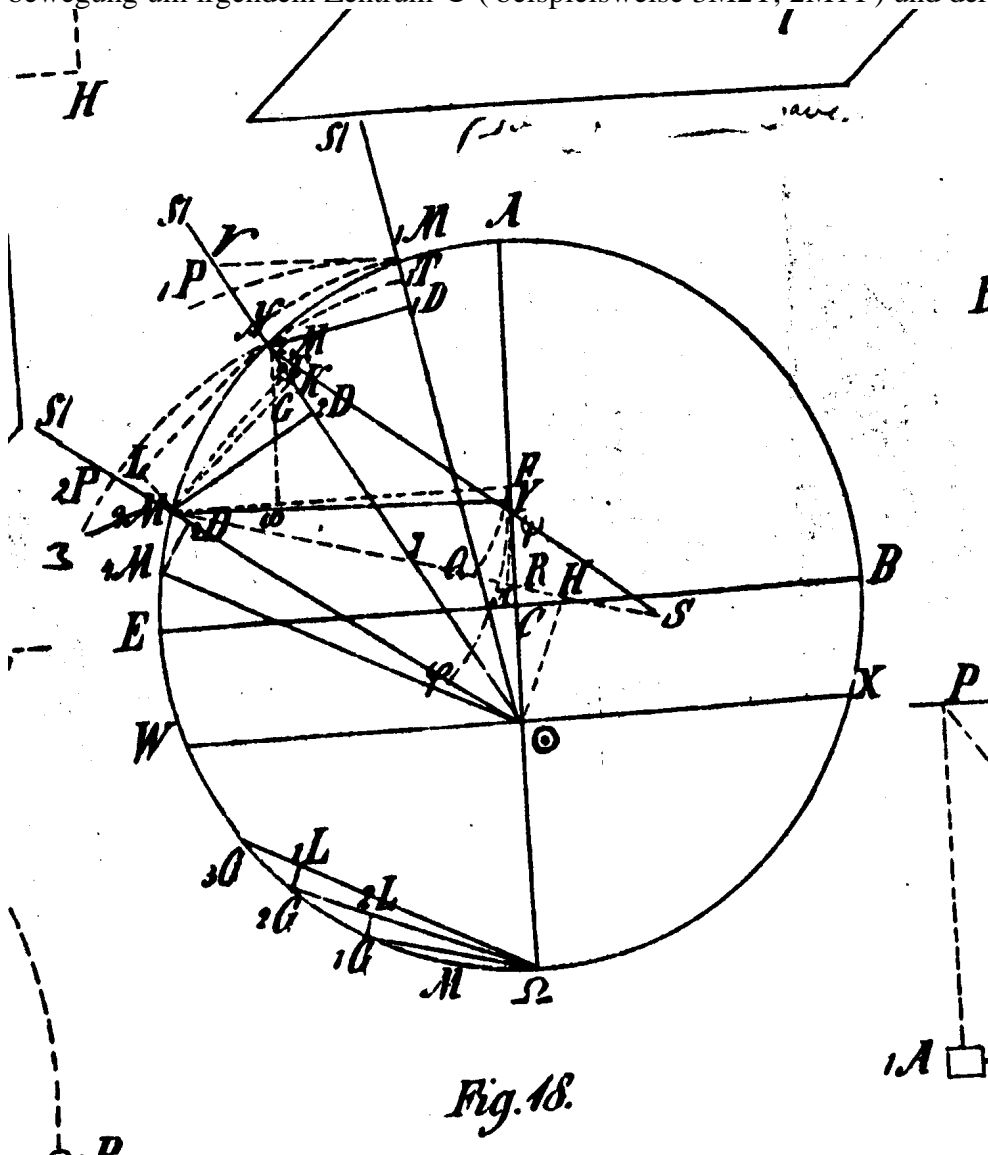
Du aber, du Ursache, welche auch immer du seiest, die da so häufige (vielgestaltige) Bewegung gebiert, bleibe verborgen, wie es die Götter gewollt.“ Autor nicht bekannt, Frage, ob der Text bei GERHARDT vollständig ist.

<sup>314</sup> ‚Das **Kontingente**‘ hier als Übersetzung des LEIBNIZSCHEN Begriffs ‚contiguum‘. Contiguum ist das ‚homogen Berührende‘, das dichtberührende Medium.

<sup>315</sup> Dieser ‚orbis“ wäre demnach eine sphärische Aetherscheibe.

gemeinsamen Effekt anzunehmen ist, d.h. aus der Bewegung eines Äthers um die Sonne, und daß somit die Planeten fluide tragende Aetherorbes besitzen.

3. Ich nenne eine **DREHBEWEGUNG HARMONISCH ( circulatio harmonica )**, wenn die Geschwindigkeiten des Zirkulierens, die irgendein Körper hat, den Radien, das heißt den Entfernungen vom Zentrum der Zirkulation, reziprok proportional ist, oder ( was dasselbe ist ), wenn in dem Verhältnis die Geschwindigkeiten des Zirkulierens sinken, in dem die Entfernung vom Zentrum wachsen, oder kürzest ausgedrückt, wenn die Geschwindigkeiten des Zirkulierens proportional mit der Annäherung<sup>316</sup> wachsen. Denn so, wenn die die Radien bzw. die Entfernungen gleichmäßig, d.h. in arithmetischer Progression wachsen, nehmen die Geschwindigkeiten in harmonischer Progression ab. Somit **kann** nicht nur in den Raumkurven des Umlaufs, sondern **in irgendeiner irgendwie zu beschreibenden Kurve die harmonische Drehbewegung einen Platz finden**. Nehmen wir also den beweglichen Punkt M (Fig.18), der sich in irgendeiner Kurve 3M2M1M ( oder 1M2M3M ) bewegt und in gleichen Zeitelementen die Kurvenelemente 3M2M, 2M1M beschreibt, so kann man einsehen, daß die Bewegung zusammengesetzt ist aus der Drehbewegung um irgendein Zentrum  $\odot$  ( beispielsweise 3M2T, 2M1T) und der geraden



vergrößerte Ansicht der originalen Figur 18

<sup>316</sup>

„proportione vicinarum“ wörtlich, proportional mit den Nachbarschaften, wurde hier sinngemäß übersetzt.

- Linie  $2T2M$ ,  $1T1M$  ( wobei  $\odot 2T$  gleich  $\odot 3M$ , und  $\odot 1T$  gleich  $\odot 2M$  ). Diese Bewegung kann auch so verstanden werden, daß ein „Lineal oder eine indefinite starre Gerade“<sup>317</sup>,  $\odot SI$ , sich um Zentrum  $\odot$  bewegt, während sich inzwischener bewegliche Punkt  $M$  längs der Geraden  $\odot SI$  bewegt. Es spielt keine Rolle, welcher Art diese geradlinige **Bewegung** ist, mit der ( sich  $M$  ) zum Zentrum hin oder von ihm weg bewegt ( ich nenne diese Bewegung „**parazentrisch**“ ), wenn nur die Zirkulation ( circulatio ) des beweglichen Punktes  $M$ , wie z.B.  $3M2T$ , sich zu einer anderen Zirkulation desselben Punktes, wie etwa  $2M1T$ , sich verhält wie  $\odot 1M$  zu  $\odot 2M$ , d.h. die zurückgelegten Bahnstücke ( circulationes ), die in gleichen Zeitelementen beschrieben werden, den Radien reziprok sind. Da nämlich jene Bögen der Elemente der Zirkulationen aus dem Produkt der Zeit und der Geschwindigkeit zusammengesetzt sind, die Zeitelemente aber als gleich vorausgesetzt sind, werden sich die Bögen wie die Geschwindigkeiten verhalten, und deshalb auch die Geschwindigkeiten reziprok zu den Radien, und so wird also die Drehbewegung als harmonisch bezeichnet.
- 5  
10  
15 4. **Wenn der bewegliche Körper eine harmonische Drehbewegung beschreibt** ( welcher Art parazentrisch auch immer die Bewegung sein möge ), so werden die Flächen, die von den **Radien vom Zentrum der Bewegung zum beweglichen Körper abgeschnitten worden sind, den zurückgelegten Zeiten proportional sein, und umgekehrt**. Da nämlich die elementaren Kreisbögen wie  $1T2M$ ,  $2T3M$  unvergleichlich klein sind verglichen mit den Radien  $\odot 2M$  und  $\odot 3M$ , so werden die Differenzen zwischen den Bogenlängen und den Geraden mit diesen ( ersten ) Differenzen unvergleichbar sein, ( also zwischen  $1T2M$  und  $1D2M$  ). Deshalb also werden wir sie ( **wegen unserer Differentialrechnung** ) für „null“<sup>318</sup> ansehen, somit also den Bogen und dessen Sinus als gleich betrachten. Somit verhält sich  $1D2M$  zu  $2D3M$  wie  $\odot 2M$  zu  $\odot 1M$ , oder aber  $\odot 1M$  mal  $1D2M$  gleich  $\odot 2M$  mal  $2D3M$ . Hieraus folgt, daß auch deren Halbdreiecke, nämlich  $1M2M\odot$  und  $2M3M\odot$ , gleich sind, welche Elemente des Flächenbereichs  $A\odot MA$  sind. Wegen der Voraussetzung der gleichen Zeitelemente, sind auch die Flächenelemente gleich und umgekehrt und deswegen sind die Flächen  $A\odot MA$  den Zeiten, in denen die Bögen  $AM$  durchlaufen werden, proportional.
- 20  
25  
30 5. Ich habe hier, beim Beweisverfahren „**unvergleichbar kleine Quantitäten**“ angenommen, zum Beispiel den Unterschied zweier gemeinsamer Quantitäten, der diesen Quantitäten unvergleichbar ( klein ) ist. Dies aber kann so, wenn ich mich nicht täusche, aufs deutlichste aufgeklärt werden. Wenn jemand nicht **unendlich kleine Größen** anwenden will, so kann er sie als so klein annehmen, wie es zum Urteil genügt, daß sie unvergleichbar ( klein ) seien, und sie werden einen bedeutungslosen Fehler, ja einen solchen, der kleiner als jeder gegebene Fehler ist, produzieren. So möge beispielsweise die Erde als Punkt oder der Durchmesser als infinitesimales Linienstück<sup>319</sup> in bezug auf den Himmel betrachtet werden. Dies kann so gezeigt werden: wenn die Seiten des ( eingeschlossenen ) Winkels eine zu ihm unvergleichbar kleinere Basis haben, so wird der eingeschlossene Winkel einem rechten unvergleichbar kleiner sein, und der Unterschied der beiden Seiten wird zu diesen Unterschieden noch unvergleichlich ( kleiner ) sein. Ebenso wird der Unterschied zwischen Sinus des Ganzen<sup>320</sup>, der Sinus des Komplementwinkels<sup>321</sup> und des secans<sup>322</sup>
- 35  
40

<sup>317</sup> „regula seu recta rigida indefinta“, Im Text steht als Buchstabe ein hebräisches Zeichen (Tav; 22. und letzter Buchstabe), das hier wegen der Ähnlichkeit mit der Darstellung in der Fig.18 durch SI wiedergegeben wird.

<sup>318</sup> „per Analysin nostram infinitorum habentur ea pro nullis...“. Ein wiederholter Vergleich unvergleichbar (kleiner) Größen. Der Unterschied ist deshalb vernachlässigbar, in GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZS Sprachgebrauch somit ein Null-Unterschied.

<sup>319</sup> BARROWS verwendet den Terminus „indefinte parva“ für „infinitesimales Bogenstück“ nach SMITH, History of Mathematics, Bd. II, S.690, Boston, 1925; Nachdruck New-York 1958

<sup>320</sup> „sinus totius“ meint hier vermutlich  $\sin(90^\circ) = 1$ , d.h. auch wenn er vielleicht nicht ganz = 1 ist, daß der Wert dann trotzdem ohne größere Fehlerwirkung 1 gesetzt werden dürfe. An sich wird meist der Begriff



- diesen Unterschieden unvergleichbar sein, ebenso der Unterschied zwischen Sinus, Sehne, Bogen und Tangente. Und deshalb, da diese vier (Größen) selbst unendlich ( oder beliebig ) klein sind, so werden ihre Unterschiede **unendlich mal unendlich klein**<sup>323</sup> sein und der sinus versus wird ebenfalls unendlich mal unendlich klein sein und deswegen dann gegenüber einem rechten Winkel unvergleichbar (klein) sein<sup>324</sup>. Und es gibt unendliche Abstufungen ( Grade ) sowohl des unendlich Großen wie des unendlich kleinen. Und es können gewöhnliche Dreiecke angewendet werden, die **jenen unbezeichnbaren** ( kleinen ) ähnlich sind, und einen großen Nutzen haben bei den „Tangentenproblemen“, bei den Maxima und Minima und bei der Erklärung der Krümmung von Linien und ebenso in fast jeder Übertragung der Geometrie auf die Natur. Denn wenn die Bewegung durch eine gewöhnlich Linie dargestellt wird, die ein Körper in gegebener Zeit durchläuft, so wird der Impuls bzw. die Geschwindigkeit darstellbar durch eine unendlich kleine Linie und das Element der Geschwindigkeit selbst, wie es die Erregung der Schwere ist oder der zentrifugale Conatus<sup>325</sup> ( das Zentrifugalelement ), durch eine unendlich mal unendlich kleine Linie ( Linienelement, Differential zweiter Ordnung ). Dies habe ich für notwendig erachtet an Stelle von Lemmata anzumerken, als **unsere Methode der unvergleichbar ( kleinen ) Größen und der Analysis infinitorum**, gleichsam als die **Elemente**<sup>326</sup> dieser neuen Lehre.
6. Aus diesem allem geht schon hervor, daß die Planeten in **harmonischer Drehbewegung** sind, die Hauptplaneten um die Sonne, die Satelliten um ihren Planeten, wie um ein Zentrum. Die vom Zentrum gezogenen Radien beschreiben nämlich in gleichen Zeiten proportionale Flächen (nach Beobachtung). Also sind bei gleich gesetzten Zeitelementen das Dreieck  $1M2M\odot$  gleich dem Dreieck  $2M3M\odot$ , und daraus folgt  $\odot 1M$  verhält sich zu  $\odot 2M$  wie  $2D3M$  zu  $1D2M$ , was bedeutet, daß die Drehbewegung harmonisch ist.
7. Folglich kann man auch zustimmen, daß der Aether, oder die einen Planeten umgebende Flüssigkeit, in **harmonischer Drehbewegung** sich befindet; denn es ist eben gesagt worden, daß kein Körper in einer Flüssigkeit aus eigenem Antrieb sich auf einer Kurvenbahn bewegt, die Drehbewegung wird also auch im Aether sein, und es ist vernünftig anzunehmen, daß sie mit der des Planeten übereinstimmt, so, daß auch die Drehbewegung des Aethers eines jeden Planeten harmonisch ist, andernfalls sich der Planet und der Aether wechselseitig stören würden. Es darf angenommen werden, daß die Planeten in irgendeiner Materie bewegt werden, welche im Hinblick auf deren eigene Dichte wahrzunehmen wäre und sogar durch eigene Bewegung deren Bewegung entgegenwirken würde. Daß

---

321 „sinus totus“ verwendet, etwa im Sinne des „Sinus in seiner ganzen erreichbaren Länge, dem Halbmesser“ ( nach CANTOR, Moritz, Vorlesungen zur Gesch. d. Math., Leipzig 1913; Bd. II, S.182 )  
 „sinus complementis“ ist der Sinus des Komplementärwinkels, also Cosinus. Abgekürzt öfter „co.sinus“. Andere Bezeichnung auch „sinus secundus“. ( Nach TROPFKE, Johannes, Geschichte der Elementar- Mathematik, Berlin 1923, Bd. V, S.28 )

322 „sinus secantis“ könnte den Term  $\frac{1}{\cos(f)}$  meinen, wenn  $f$  der zugehörige Winkel ist. ( Nach

TROPFKE, Johannes, Geschichte der Elementar- Mathematik, Berlin 1923, Bd. V, S.28 )

323 „infinities infinite parvum“ meint  $d(d(x))$

324 GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ erläutert selbst in einem Brief an WALLIS v. 30.3.1699 seine Denkart: „Es ist nützlich unendlich kleine Quantitäten zu betrachten, die nicht vernachlässigbar sind, wenn ihr Quotient betrachtet wird, wohl aber vernachlässigbar sind, wenn sie mit unvergleichbar großen Mengen zusammen auftreten... Wenn wir  $x+dx$  haben, kann  $dx$  vernachlässigt werden. Dies ist anders wenn wir die Differenz zwischen  $x+dx$  und  $x$  bilden..(GERHARDT, Leibn. math. Schr. IV, 63)

325 „conatus“ wird als terminus technicus von GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ als Vokabel beibehalten. Zu seiner Bedeutung kann man in den Bemerkungen zur Übersetzung nachlesen.

326 „elementa“, Anspielung auf das klassische mathematische Hauptwerk EUKLIDS. Durch die neue Methode werden vergleichbare mathematische Leistungen benutzt.

diese ( die Aethermaterie ), gleichsam als flüssiges, gemeinsames Trägergebilde aller Planeten, gegeben ist, das legt ihr ( der Planeten ) gemeinsamer Lauf nahe<sup>327</sup>.

8. Wir setzen daher voraus, daß die **Planetenbewegung sich aus zwei Bewegungen zusammensetzt, nämlich aus der harmonischen Drehbewegung der ihn mitführenden Flüssigkeit und der parazentrischen Bewegung**, quasi einer gewissen Gravitation oder Anziehung, das heißt eines Impulses **gegen die Sonne bzw. gegen den Hauptplaneten**. Es bewirkt aber die Drehbewegung des Aethers, daß der Planet sich harmonisch bewegt, nicht wie aus eigener Bewegung, sondern in ruhigem Schwimmen in einer tragenden Flüssigkeit, deren Bewegung er folgt, wegen der vollkommenen Übereinstimmung der Bewegungen des Aethers und des Planeten, zu denen ( den Bewegungen ) sie, nach Ablegung von Widerstreitigkeiten, zusammenwirken.
9. Nachdem die harmonischen Drehbewegung erklärt ist, müssen wir zur **parazentrischen planetarischen Bewegung** kommen, **entstanden** aus dem **zentrifugalen Eindruck**<sup>328</sup> der **Drehbewegung** und der **Anziehung der Sonne**, in wechselseitigem Zusammenwirken. Mag man sie Anziehung nennen oder mag sie in Wirklichkeit ein Impuls sein; jedenfalls kann die Sonne auf irgendeine Weise gleichsam als ein Magnet vorgestellt werden. Diese magnetischen Aktionen selbst aber werden ohne Zweifel durch Impulse der Flüssigkeiten weitergeleitet. Deshalb auch werden wir sie **Erregung der Schwere** nennen, und ich stelle mir vor, daß der Planet irgendeine Schweretendenz gegen das Zentrum, nämlich die Sonne, hat. Auch die Art des Orbits hängt von dem speziellen Anziehungsgesetz ab. Betrachten wir also, welches Anziehungsgesetz die elliptische Linie erzeugt, und um dies zu erreichen ist es nötig, in höher unzugängliches Gebiet der Geometrie einzutreten.
10. Da alle auf einer Kurve sich bewegenden Körper in Richtung ihrer Tangente sich zu entfernen streben, wird es erlaubt sein, diesen **Antrieb** heraustreibend, **excussorisch**, zu nennen, ganz wie bei der Bewegung der Schleuder, die gleichfalls eine Kraft verlangt, welche den bewegten Gegenstand zwingt, daß er nicht herausgeschleudert wird. **Diesen Drang** ( conatus excussorius ) **darf man durch die Senkrechte messen aus dem folgenden Punkt in Richtung der Tangente des vorhergehenden Punktes unendlich kleiner Distanz**<sup>329</sup>. Wenn die Linie ein Kreis ist, so wurde diese Kraft von dem hochberühmten HUYGENS, der als erster jene geometrisch behandelt hat, als **Zentrifugalkraft** bezeichnet. Aller heraustreibender Antrieb ist - hinsichtlich der Geschwindigkeit bzw. des Impetus aus wiederholtem „heraustreibendem conatus“ in infinitesimalen Schritten vorgestellt, - unendlich klein, wie es auch die Erregung der Schwere ist, die von homogener Natur mit ihm ( dem conatus excussorius ) ist. So ist es nicht verwunderlich, daß GALILEO wollte, der Stoß möge als unendlich gelten im Vergleich zu der nackten Schwere, bzw. wie ich es sage, zum einfachen Conatus, dessen **Kraft** ich für gewöhnlich eine **tote**<sup>330</sup> nenne, die erst durch wiederholte Eindrücke „lebendig“ gemacht wird, wobei ich sie erst durch (dieses) „Agieren“ als Impetus konzipiere.
11. Der zentrifugale Conatus oder auch der austreibende Conatus der Zirkulation kann durch  $PN^{331}$ , den Sinus versus ( =  $1 - \cos$  ) des (Winkels der Zirkulation) Drehwinkels  $IM\odot N$  oder auch durch  $IDIT$  ausgedrückt werden, denn der sinus versus ist gleich einer Senkrechten Linie, gezogen aus einem Endpunkt des Bogens der Zirkulation zur Tangente des anderen Endpunktes, durch die wir im vorstehenden den austreibenden Conatus ausgedrückt haben. ( Man kann auch den zentrifugalen Conatus durch  $PV$  ausdrücken, der Differenz des Radius und der Sekante des entsprechenden Winkels, dessen Differenzbetrag

<sup>327</sup> Gemeint ist der rechtläufige Lauf aller Planeten in fast einer gemeinsamen Ebene.

<sup>328</sup> „impressio excussoria“

<sup>329</sup> „inassignabilis“, wörtlich unzuweisbarer, wurde sinngemäß übersetzt.

<sup>330</sup> „vis mortua“ wörtlich. Im Gegensatz zu LEIBNIZ' Begriff der „vis viva“

<sup>331</sup> Der Punkt „P“ ist in der Zeichnung nicht angegeben. Ich habe ihn mir beim in der Zeichnung nicht bezeichneten Schnitt zweier Linien zwischen  $IP$  und  $N$  vorgestellt.

zum sinus versus von dritter infinitesimaler<sup>332</sup> Ordnung ist, also gleichsam von nulltes-  
 ter<sup>333</sup> Ordnung in bezug auf den Radius ). Da ferner der sinus versus zur Sehne oder auch  
 zum nicht angebbaren Bogenstück, gleichbedeutend der Geschwindigkeit, in quadrati-  
 schem Verhältnis steht, folgt daher, daß der **zentrifugale Conatus von Körpern, die**  
**gleiche Kreise beschreiben, im quadratischen Verhältnis zur Geschwindigkeit ist; bei**  
**Körpern, die ungleiche Kreise beschreiben, verhalten sich die Conatus in zusam-**  
**mengesetztem Verhältnis aus dem Quadrat der Geschwindigkeiten und dem rezip-**  
**roken der Radien.**<sup>334</sup> Für den analytischen Kalkül sei der zentrifugale Conatus, bzw. der  
 sinus versus  $2D2T = x$ , die Geschwindigkeit der Zirkulation, d.h. den sinus  $2D3M = y$  und  
 den Radius  $\odot 3M = r$ . Dann wird mit einfacher Geometrie

$$x = y \cdot y \div (2r - x),$$

was die Proportion

$$\frac{x}{y} = \frac{y}{2r - x} \text{ liefert.}$$

Da nun  $x$  unvergleichbar klein in bezug auf  $r$  ist, also quasi verschwindet in dem Aus-  
 druck  $2r - x$ , ergibt sich

$$x = \frac{y \cdot y}{2 \cdot r},$$

d.h. der zentrifugale Conatus  $2D2T$  verhält sich zur Zirkulation  $2T3M$ <sup>335</sup> wie diese sich  
 verhält zur Geschwindigkeit, die nötig wäre, um den gesamten Durchmesser bzw. den  
 doppelten Radius in demselben Zeitelement zu durchlaufen.

12. **Die zentrifugalen Conatus eines in harmonischer Bewegung befindlichen Körpers**  
**stehen im umgekehrten Verhältnis der dritten Potenz ihrer Radien.** Denn (nach dem  
 Vorstehenden) stehen sie im umgekehrten Verhältnis der Radien und direkt im Quadrat zu  
 den Geschwindigkeiten; das heißt also (weil die Geschwindigkeiten der harmonischen  
 Zirkulation reziprok sich zu den Radien verhalten) invers zu den Quadraten der Radien.  
 Jedoch ergibt sich aus der einfachen Reziprozität und dem Reziproken der Quadrate zu-  
 sammen die Reziprozität zur dritten Potenz. Zur Berechnung sei  $\vartheta a$ <sup>336</sup> die konstante Flä-  
 che immer gleich zweimal der des elementaren Dreiecks  $2M3M\odot$  oder auch gleich dem  
 Rechteck  $2D3M$  mal  $\odot 2M$  bzw. dem Radius  $r$ , dann wird  $2D3M$  gleich

$$\frac{J a}{r}$$

sein, oder  $\vartheta a$  geteilt durch  $r$ ; nunmehr ist  $2D2T$ , der zentrifugale Conatus, gleich  $2D3M$   
 zum Quadrat, dividiert durch [zweimal]<sup>337</sup>  $\odot 3M$ , also gleich

$$\frac{J J a a}{2 r^3} .$$

13. Wenn die **parazentrische Bewegung** ( ausgehend vom Zentrum  $\Omega$  oder zu jenem hinstre-  
 bend ) **gleichförmig ist**, und auch die harmonische Bewegung, deren **Bewegungslinie**  
**WMG spiralförmig** mit Start im Zentrum  $\Omega$ , so ist es ihre Eigenschaft, daß die Segmente  
 $\Omega G M \Omega$  proportional sind den Radien, also den Sehnen, die zum jeweiligen Ort gezogen

<sup>332</sup> „infinitesies infinities infinte parvum“ =  $d(d(d(x)))$

<sup>333</sup> „nullissimum“, das Sprachspiel wurde beibehalten.

<sup>334</sup> das Verhältnis besteht also aus den Quadraten der Geschwindigkeit geteilt durch die Radien.

<sup>335</sup>  ${}_2D$  muß ersetzt werden durch  ${}_2T$ , sonst ist der LEIBNIZSCHE Text sinnlos.

<sup>336</sup> Die Variable  $\vartheta$  bedeutet offensichtlich ein Zeitelement.

<sup>337</sup> Infolge einer berechtigten Kritik VARIGNONS hat LEIBNIZ später seine Definition des zentrifugalen Conatus geändert, der Faktor 2 ist deshalb hier zu streichen. Da er im Text steht, habe ich ihn in [ ] ge-  
 setzt.

sind<sup>338</sup>. Es sind nämlich die Flächen wie die Segmente, als auch die Radien ( wegen der gleichförmigen Spiralentwicklung ) den Zeiten proportional. Es gibt noch viele erwähnenswerte Eigenschaften dieser Spirale, die aber nicht schwierig zu konstruieren sind. Im **Allgemeinen** aber genügt die **Methode**, die zu **konstruierenden Linien** als quadratisch zu unterstellen, bei der harmonischen Bewegung, denn wenn aus den Radien die Zeiten gegeben werden, somit auch die Geschwindigkeiten der parazentrischen Bewegung, so sind es damit auch hinreichend die Elemente des Impuls‘ und somit auch die Erregungen der Gravitation.

5  
10  
15  
14. Die **parazentrische Erregung** der **Gravitation** wie auch der **Levitation** wird ausgedrückt durch die Strecke  ${}_3ML$  aus dem Kurvenpunkt  ${}_3M$  auf die Tangente  ${}_2ML$  ( weitergezogen zu L ) des Punktes  ${}_2M$  gezogen, der in unendlich kleiner, nicht angebbarer, Entfernung vorhergeht. Diese ist parallel dem vorhergehenden Radius  ${}_2M\odot$  ( (jener) vom Zentrum  $\odot$  zum vorhergehenden Punkt  ${}_2M$  gezogen ). Dabei stellen wir uns vor, daß diese Erregung ( der Schwere ) hindernd wirkt, damit der bewegte Körper sich nicht von der Kurve entfernt.

20  
25  
30  
35  
15. In jeder **harmonischen Zirkulation** ist das **parazentrische Impulselement** ( also das Inkrement oder Dekrement der Geschwindigkeit des Absteigens zum Zentrum oder des Aufstiegs vom Zentrum ) **die Differenz oder die Summe aller parazentrischen Erregung** ( also der Einprägung von Gravitation oder Levitation oder auch aus ähnlichen Ursachen bewirkt ) und dem Doppelten<sup>339</sup> des zentrifugalen Conatus ( von der harmonischen Bewegung selbst stammend ). Summe ist im Falle der Levitation, Differenz im Falle der Gravitation anzuwenden: Wo Gravitation vorherrscht, wird die Geschwindigkeit des Absteigens wachsen oder die Geschwindigkeit des Aufsteigens sich verringern, wo das Quadrat des zentrifugalen Conatus vorherrscht, umgekehrt. Von  ${}_1M$  und  ${}_3M$  werden die Normalen zu  $\odot{}_2M$  gezogen,  ${}_1MN$  und  ${}_3M_2D$ <sup>340</sup>; Jetzt sind also die Dreiecke  $1M_2M\odot$  und  $2M_3M\odot$  im Prinzip gleich<sup>341</sup>, wie aus der harmonischen Zirkulation folgt, und es werden die Höhen ( wegen der gemeinsamen Basis  $\odot{}_2M$  )  $1MN$  und  $3M_2D$  gleich sein. Ich habe schon behauptet, daß  $2MG$  gleich  $L_3M$  ist, sie werden verbunden durch Parallelen  $3MG$  und  $2ML$ ; hieraus ergibt sich, daß die Dreiecke  $1MN_2M$  und  $3M_2DG$  kongruent sein werden, und somit ist  $1M_2M$  gleich  $G_3M$  und  $N_2M$  gleich  $G_2D$ . Ferner ist auf der Linie  $\odot{}_2M$  (wenn sie gezogen ist, was ich immer unterstelle,  $\odot P$  gleich  $\odot 1M$  und  $\odot 2T$  gleich  $\odot 3M$ . Dann ist  $P_2M$  die Differenz der Radien  $\odot 1M$  und  $\odot 2M$ ,  $2T_2M$  die Differenz der Radien  $\odot 2M$  und  $\odot 3M$ . Nun ist  $P_2M$  ( oder auch  $N_2M$  ) gleich  $G_2D + NP$ , und  $2T_2M$  gleich  $2MG + G_2D - 2D_2T$ , also  $P_2M - 2T_2M$  ( als Differenz der Differenzen ) wird zu  $NP + 2D_2T - 2MG$ . Dieses ist dann gleich zweimal<sup>342</sup>  $2D_2T - 2MG$  ( weil  $NP$  und  $2D_2T$  als sinus versi zweier Winkel und Radien mit nicht angebbaren Differenzen zusammenfallen ). Nun drückt die Differenz der Radien die parazentrische Geschwindigkeit aus, die Differenz der Differenzen also das Element<sup>343</sup> der parazentrischen Geschwindigkeit. Nun

<sup>338</sup> Dieser Abschnitt bezieht sich wohl auf den unteren Teil der Figur. Dort gibt keinen Punkt G, sondern es findet sich oben, senkrecht unter N die Bezeichnung G, die aber hier nicht gemeint sein kann. Unten finden sich mehrere Punkte  ${}_iG$ , wobei generell G den Repräsentanten der  ${}_iG$  darstellt.

<sup>339</sup> „dupli conatus centrifugi“. Hier könnte zweifach oder zur zweiten Potenz gemeint sein. Der spätere Text deutet auf „Faktor 2 „ hin (folgende Seite im Text „bis“ ist eigentlich eindeutig)

<sup>340</sup> Die Zeichnung ist hierzu verwirrend. Die Linie  ${}_1MN$  ist gekrümmt gezeichnet, und der rechte Winkel kann begriffen werden als zwischen Radius und Peripherie eines Kreises bestehend (der Index 1 ist irreführend), und im Text findet sich vor dem Semikolon noch Markierungen an  ${}_2D$ , sowohl tief- als auch hochgestellt, die keinerlei Entsprechung in der Zeichnung haben. Sie wurden also hier weggelassen, denn so entsteht Sinn in dieser Passage.

<sup>341</sup> „aequalia ostensa“ wörtlich

<sup>342</sup> hier im Text „bis“ (s. Fußnote vorige Seite)

<sup>343</sup> Gemeint ist damit wohl die „parazentrische Beschleunigung“, schon wegen der zweiten Ableitung.

wiederum ist 2D2T oder NP der zentrifugale Conatus der Zirkulation, nämlich der sinus versus ( gemäß §11 ) und 2MG oder 3ML ist die Erregung der Gravitation (gemäß dem Vorstehenden). Es ist also das Element der parazentrischen Geschwindigkeit gleich der Differenz zwischen dem zweifachen zentrifugalen Conatus NP oder 2D2T und der einfachen Erregung der Gravitation G2M, oder ( was auf gleiche Weise errechnet werden könnte ) der Summe aus dem doppelten zentrifugalen Conatus und der einfachen Erregung der Levitation.

16. Sind die Inkremente oder die Dekremente der Geschwindigkeit des Aufsteigens oder des Absteigens gegeben, so ist auch die Erregung der Gravitation oder der Levitation gegeben und umgekehrt. Aus dem Vorstehenden geht hervor, denn der zentrifugale Conatus darf immer als gegeben angesehen werden, daß sie im reziproken Verhältnis zur dritten Potenz der Radien steht ( gemäß §12 ).

17. In gleichen Zeiten sind die Elemente der Inkremente der Drehwinkel der harmonischen Bewegung im reziproken Verhältnis zum Quadrat der Radien. Denn die Drehbewegungen bestehen aus dem Produkt der Winkel und der Radien und die elementaren Drehbewegungen stehen im reziproken Verhältnis zu den Radien, weil sie harmonische Bewegungen sind. Also sind die elementaren Winkel im reziproken Verhältnis zum Quadrat der Radien. [...]

18. **Wenn Ellipsen durch Zirkulation des beweglichen Körpers um den Brennpunkt als Zentrum beschrieben werden, dann wird man es mit diesen drei ( Bewegungen ) zu tun haben: Die Zirkulation 2T3M oder auch 2D3M ( denn diese beiden unterscheiden sich (im Grenzfall) nicht ), die parazentrische Geschwindigkeit 2D2M und die Bahngeschwindigkeit des beweglichen Körpers selbst (aus jenen zusammengesetzt) auf dem elliptischen Orbit, nämlich 2M3M, bzw. mit diesen anderen dreien:** die Transversalachse<sup>344</sup> BE, der mittleren Proportionalen zwischen der Differenz und der Summe der Distanz der Brennpunkte F $\odot$  untereinander und der Differenz  $\phi$  der Distanzen des Orbitpunktes 3M von den Brennpunkten und schließlich der doppelten mittleren Proportionalen zwischen  $\odot$ 3M und F3M, den Distanzen dieses Punktes von den zwei Brennpunkten. [...]

*es folgen längere Erläuterungen zu Eigenschaften von Kegelschnitten*

Es bewog mich, in diesem Artikel dies alles etwas breiter darzustellen, damit die bemerkenswerten Eigenschaften der elliptischen Bewegung der Planeten besser verstanden werden.

19. **Wenn sich der bewegliche Körper, welcher der Gravitation unterliegt** oder auch von irgend einem Zentrum angezogen wird, als welches wir uns den Planeten in bezug auf die Sonne vorstellen, **auf einer Ellipse ( oder einem anderen Kegelschnitt ) harmonisch bewegt und das Zentrum der Anziehung und auch der Zirkulation damit im Brennpunkt der Ellipse liegt, dann werden sich die Anziehungen oder auch Erregungen der Gravitation dem Quadrat der Kreisbewegung direkt oder dem Quadrat der Radien, d.h. der Distanzen vom Brennpunkt reziprok verhalten.** Und dies ganze berechnen wir als ein nicht unelegantes Beispiel unserer Differentialrechnung oder der Analyse des unendlich Kleinen<sup>345</sup>. Wir setzen  $A\Omega$  gleich  $q$ ;  $\odot F$  gleich  $e$ ; BE gleich  $b$  ( was gleich  $\sqrt{qq - ee}$  ist );  $\odot 2M$  gleich Radius  $r$ ;  $\odot \phi$  ( oder auch  $\odot 2M - F3M$  ) gleich  $2r - q$  als Abkürzung  $p$ ; ferner sei der *latus rectum*<sup>346</sup> WX gleich  $a$  gleich  $bb/q$ . Das doppelte Flä-

<sup>344</sup> In heutiger Bedeutung: „Nebenachse der Ellipse“

<sup>345</sup> „nostri Calculi differentialis vel Analyseos infinitorum“

<sup>346</sup> „latus rectum“ ist der Parameter der Ellipse, gleich der Sehnenlänge parallel zur Nebenachse durch einen Brennpunkt.

chenelement oder das doppelte Dreieck  $1M2M\odot$ , was immer gleich ist, sei  $\vartheta a^{347}$ , wobei  $a$  als *latus rectum* gesetzt ist und  $\vartheta$  ein immer gleiches Zeitelement darstellt und  $2D3M$ , die Zirkulation, wird dann  $\frac{\mathbf{J}a}{r}$ , ( was man schon oben in §12 entnehmen kann. ). Ferner wird (die Differenz)<sup>348</sup> das Differential der Radien (  $2D2M$  )  $dr$  genannt und das Differential dieses Differentialen  $ddr$ . Nach dem Vorstehenden aber ist  $dr$  ( oder  $2D2M$  ) zu  $\frac{\mathbf{J}a}{r}$  ( oder zu  $2D3M$  ) wie  $\sqrt{qq - ee}$  zu  $b$ . Also

$$brdr = \mathbf{J}a \cdot \sqrt{ee - pp},$$

welches die Differentialgleichung ist. Aber die Differentialgleichung zweiter Ordnung gemäß den Regeln, welche von uns in einem speziellen Kapitel in diesen Aufsatz eingeschoben sind ( „supra...“ )<sup>349</sup> ist

$$bdrdr + brddr = -\frac{2pa\mathbf{J}dr}{\sqrt{ee - pp}},$$

von welcher zwei Gleichungen  $dr$  eliminiert werden, damit die Größe  $ddr$  übrig bleibt. Dies also liefert

$$ddr = \frac{bbaa\mathbf{J}\mathbf{J} - 2aaqr\mathbf{J}\mathbf{J}}{bbr^3} \quad 350$$

und somit haben wir die Behauptung. Denn  $ddr$ , das Element der parazentrischen Geschwindigkeit, ist die Differenz zwischen  $\frac{bbaa\mathbf{J}\mathbf{J}}{bbr^3}$ , welche gleich  $\frac{aa\mathbf{J}\mathbf{J}}{r^3}$  ist, dem doppelten zentrifugalen Conatus ( gemäß §12, weiter oben ), und  $\frac{2aaqr\mathbf{J}\mathbf{J}}{bbr^3}$ , dieses wiederum (weil  $bb/q = a$ ) ist gleich  $\frac{2a\mathbf{J}\mathbf{J}}{rr}$ . Es ist folglich richtig ( per §15 ), daß  $\frac{2a\mathbf{J}\mathbf{J}}{rr}$  die Erregung der Gravitation darstellt, in welche multipliziert mit der Konstanten  $\frac{a}{2}$  dann

$$\frac{aa\mathbf{J}\mathbf{J}}{rr}$$

ergibt, das Quadrat der Zirkulation. Es ist also die Erregung der Gravitation dem Quadrat der Zirkulation direkt und darüber hinaus dem Quadrat der Radien reziprok proportional. Auf gleiche Weise folgert man für Hyperbel und Parabel. Der entscheidende Grund für diese Kegelschnitte und warum Kreise und Ellipsen vor anderen erzeugt werden, wird weiter unten erscheinen.

<sup>347</sup> Hier sollte nicht  $a$  genommen werden, weil dies als Variable für *latus rectum* gesetzt wurde. Es wäre also eine andere Variable hier zu benutzen, die die KEPLERSCHE Konstante bezeichnet. Für GOTT-FRIED WILHELM LEIBNIZ war aber das gesamte  $\vartheta a$  wohl EINE Variable. Dennoch ist sein Verfahren fehlerträchtig, zumindest bewirkt es Unübersichtlichkeit.

<sup>348</sup> infinitesimal gesehen

<sup>349</sup> Original: „...alias in Acti istis explicati“. Bezieht sich auf „acta eruditorum 1684, S.467-473; Nova methodus pro maximis et minimis“

<sup>350</sup> Gemäß Fußnote 38 sei statt  $a$  die Variable  $h$  gewählt, dann heißt die Gleichung in moderner Notation

$$ddr = \left( \frac{h^2}{r^3} - \frac{2h^2q}{b^2r^2} \right) \mathbf{J} \quad \text{oder} \quad \frac{d^2r}{dt^2} = \frac{h^2}{r^3} - \frac{h^2}{a} \cdot \frac{1}{r^2}. \quad \text{Hierbei ist } a/2 \text{ der Parameter der Ellipse oder das halbe latus rectum.}$$

[ ...lange Rechnung für allerlei Kegelschnitte.. ]

- Deshalb ist die Erregung der Gravitation bei Ellipsen dem Quadrat der Zirkulation proportional, und, weil harmonische Bewegungen oder auch die Geschwindigkeiten der Zirkulation reziprok proportional den Radien bzw. den Strecken  $\odot M$ , den Distanzen vom Zentrum der Zirkulation, oder den Brennpunkten der Ellipsen sind ( was für die Planeten die Sonne ist ), so gilt per Artikel 3 dieses Versuchs und weiter (§ 14.), daß die Erregung der Gravitation im bewegten Körper, der eine harmonische (Dreh-)Bewegung und gleichzeitig eine parazentrische Bewegung in bezug auf den Brennpunkt der Ellipse beschreibt ( und genau dies machen die Planeten, die sich um die Sonne bewegen ), daß diese Bewegung proportional zum reziproken Quadrat der Abstände vom Brennpunkt verläuft, der zugleich das Zentrum der Bewegung und der Anziehung darstellt.
20. **Ein und derselbe Planet wird von der Sonne auf verschiedene Weise** ( „in unterschiedlichem Maße“ träfe den Sinn besser ), **aber freilich im quadratischen Verhältnis des Abstandes** ( der Umgebung ) **angezogen**, so, daß er in doppelter Nähe vierfach stärker, in dreimal größerer Nähe neunmal stärker zum Abstieg in Richtung Sonne mit je neuem Eindruck ( neuer Einwirkung ) immerfort erregt wird. Es geht aus dem Vorstehenden hervor, daß ich unterstelle, daß der Planet eine Ellipse beschreibt und harmonisch zirkuliert, ferner daß er außerdem fortwährend gegen die Sonne gestoßen wird. Ich sehe, daß diese Behauptungen ( Lehrsätze ) schon früher dem hochberühmten ISAAC NEWTON bekannt waren, wie aus einem Bericht der ACTA<sup>351</sup> hervorgeht. Mit Verlaub allerdings, ich kann daraus nicht beurteilen, auf welche Weise er zu ihnen ( den Lehrsätzen ) gelangt ist. Immerhin haben wir damit die herrlichste Übereinstimmung dessen, was wie wir oben vorwiegend a priori geschlossen haben, aus dem Gesetz der radialen Anziehung und dessen, was jetzt aus den Phänomenen „d. h. aus dem Wesen der elliptischen Bewegung der Planeten gemäß den von der Sonne als im Brennpunkt ( befindlich gesehenen ) abgeschnittenen gleichen Flächen“<sup>352</sup> von KEPLER aus TYCHOS und eigenen Beobachtungen stabilisiert und von den Nachfolgern bewiesen, ans Licht kam.
21. Es ist auch offenbar, daß **die Erregung der Schwere im Planeten sich zu dem zentrifugalen Conatus des Planeten** ( bzw. zu seinem herausschleudenden Conatus ( excussorius ), der von der harmonischen Zirkulation herrührt, die ihn in die Bahn reißt und so stets „auszustoßen“ trachtet ) **verhält wie der momentane Abstand von der Sonne zum vierten Teil des latus rectum der Planetenellipse**, d. h. wie  $r : a/4$ . Und deshalb verhält sich dessen Gravitation zum zentrifugalen Conatus proportional wie die Distanzen von der Sonne.
22. **Die Geschwindigkeit des Planeten um die Sonne ist überall größer als die parazentrische Geschwindigkeit, das heißt die Geschwindigkeit des Absteigens zur Sonne hin oder des sich Entfernens von ihr.** Weil sich nämlich die Zirkulation zur parazentrischen Bewegung wie  $b$  zu  $\sqrt{ee - pp}$  verhält ( gem. § 18 und die zusätzliche Rechnung in 19 ), wird jene größer sein als diese, wenn  $bb + pp$  größer als  $ee$  ist, was stets zutrifft, da  $bb$  größer als  $ee$  ist, also die Transversalachse  $b$  größer als  $e$ , die Distanz der Brennpunkte. In Wahrheit trifft dies für unsere planetarischen Ellipsen immer zu, weil diese sich nicht allzu sehr von Kreisen unterscheiden.

<sup>351</sup> Gemeint sind die ACTA ERUDITORUM, Juni 1688, S.303-315, wo eine Rezension von ISAAC NEWTONS „Principia“ anonym erschienen war. Er hatte ( Angaben nach AITON, E.J., The celestial Mechanics of LEIBNIZ, Annals of Science, 1960, S 65 ) diese in Rom 1688 gelesen und sofort seine Aufzeichnungen zu diesem Thema in Druck gegeben. TENTAMEN DE MOTUUM COELESTIUM erschien 1689 in den ACTA ERUDITORUM, zwei Jahre nach NEWTONS Hauptwerk. GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ blieb immer bei seiner Behauptung, er habe dies bei der Abfassung seines TENTAMEN nicht gekannt.

<sup>352</sup> Dieser Text wird wohl als Zitat aus KEPLERS Werk zu betrachten sein.

23. Im Aphel A und im Perihel  $\Omega$  liegen die Maxima und Minima wechselweise. In der mittleren Distanz von der Sonne aber, die sich in den Extrempunkten der Transversalachse B und E befindet, verhält sich die Geschwindigkeit der Annäherung oder des Zurückweichens zur Zirkulation wie die Entfernung zwischen den Brennpunkten zur Transversalachse, also wie e zu b; dort nämlich verschwindet p.
24. **Maximal ist die Geschwindigkeit des Planeten beim Absteigen zur Sonne oder beim Aufsteigen von ihr**, wenn  $W\odot$  sowohl wie  $X\odot$ , die Distanz des Planeten von der Sonne, gleich der Hälfte des latus rectum der Ellipse ist, woraus nämlich folgt ( gem. §19 oder §21 ), daß  $ddr = 0$ , weil  $r = a/2$ . Wenn somit aus der Sonne, gleichsam als Zentrum, mit der Hälfte des latus rectum,  $\odot W$ , als Radius ein Kreis beschrieben wird, so wird er die Ellipse des Planeten in zwei Punkten maximaler parazentrischer Geschwindigkeit, W und X, schneiden, wobei in W die der Annäherung, in dem anderen, X, die des Zurückweichens sein wird. Minimal, das heißt null, ist ( die parazentrische Geschwindigkeit ) im Aphel und im Perihel, also in jedem der beiden (Haupt-)Scheitel der Ellipse, A und  $\Omega$ .
25. Immer ist bei einer Ellipse und damit **immer bei Planeten ist der zentrifugale Conatus** in bezug auf das Zurückweichen von der Sonne bzw. der ausstoßende Conatus ( excussorius ) der harmonischen Zirkulation **geringer als** die Erregung der Gravitation bzw. die **zentrale Anziehung** der Sonne. Es verhält sich nämlich ( gem. §21 ) die Anziehung zum zentrifugalen Conatus wie sich die Distanz zur Sonne, d.h. dem Brennpunkt, zum vierten Teil des latus rectum verhält; immer aber ist bei Ellipsen der Abstand vom Brennpunkt größer als der vierte Teil des latus rectum.
26. **Die Impulse<sup>353</sup>, die der Planet durch fortgesetzte Anziehung der Sonne während seines Laufes empfängt, verhalten sich wie die Winkel der Zirkulation** bzw. welche ( Winkel ) die Strahlen, von der Sonne zum ersten und letzten Punkt des Planetenlaufes gezogen, umfassen, d.h. wie die erscheinende Bewegung bzw. der von der Sonne aus gesehene Weg. So verhält sich der während der Wegstrecke A1M eingeprägte ( impressus ) Impuls zu dem längs der Wegstrecke A3M eingepprägten wie der Winkel  $A\odot 1M$  zum Winkel  $A\odot 3M$ . Es sind nämlich die Inkremente der Winkel zur Einprägung der Gravitation ( gem. §§17 und 19 ), also auch die Summen den Summen proportional, nämlich die absolvierten Winkel in der Zirkulation den Summen der Eindrücke bzw. den dabei empfungenen Impulsen. Deshalb ist im Punkt W, wo die Normale aus der Sonne die Ellipse trifft, der, vom Aphel A beginnend, empfangene Impuls die Hälfte des vom Aphel bis zum Perihel (insgesamt) empfangenen Impulses; es ist daher dort  $\odot W$ , der Abstand von der Sonne, gleich der Hälfte des latus rectum. Der Impuls, der längs eines beliebigen Weges aufgenommen wird, verhält sich zu der Aufnahme während eines halben Umlaufes wie der Zirkulationswinkel des beliebigen Wegestücks zu zwei rechten Winkeln. Ich betrachte aber hierbei die von der Schwere bzw. der Anziehung eingepprägten Impulse für sich und solitär und nicht nach Abzug und Aufrechnung der konträren Impulse, eingedrückt vom austreibenden Conatus ( excussorius ).<sup>354</sup>
27. Es ist der Mühe wert, den **gesamten Umlauf des Planeten und die Grade der Annäherung und Entfernung in bezug auf die Sonne noch klarer aus den bezeichneten Ursachen zu erklären**. Der Planet wird also im Punkt maximaler Entfernung von der Sonne A, dem Aphel, positioniert, sowohl einen kleineren zentrifugalen Conatus als auch eine kleinere Erregung der Gravitation erfahren, als wenn er der Sonne näher ist. Dennoch ist in dieser Entfernung, nämlich im von der Sonne entfernten Scheitelpunkt, die Gravitation stärker als der doppelte zentrifugale Conatus ( gem. § 21 ), weil  $\odot A$ , die Distanz des Aphels oder des von der Sonne entfernten Scheitelpunktes als Brennpunkt, größer als das halbe latus rectum  $\odot W$ . So steigt nun der Planet gegen die Sonne längs des Weges

<sup>353</sup> GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ schreibt immer „Impetus“, was hier mit „Impuls“ übersetzt wurde.  
<sup>354</sup> Der Plural im Text verdeutlicht noch einmal LEIBNIZ' Auffassung von aufsummierten vielen einzelnen Impulselementen.



AMEW $\Omega$  ab und nimmt kontinuierlich beim Absteigen Impuls auf, wie eben bei beschleunigten schweren Körpern, solange die neue Erregung der Gravitation stärker bleibt als der doppelte neue zentrifugale Conatus; solange nämlich wächst die Einprägung abzu-  
 steigen gegenüber der Einprägung zurückzuweichen, und folglich wächst der absolute  
 5 Wert der Geschwindigkeit des Absteigens, bis dies zu einem Punkt gelangt ist, in dem  
 sich jene zwei neuen gegensätzlichen Einprägungen ausgleichen, also im Punkt W, wo die  
 Distanz von der Sonne  $\odot W$  gleich der Hälfte des *latus rectum* ist. Dort also ist die Ge-  
 schwindigkeit des Absteigens maximal und hört auf zu wachsen ( gem. § 24 ). Von dort  
 10 an betreibt der Planet trotzdem Annäherung an die Sonne bis zum Punkt  $\Omega$ , die Ge-  
 schwindigkeit der Annäherung aber geht dennoch zurück, indem der doppelte zentrifugale  
 Conatus über die Einprägung der Gravitation überwiegt. Dies wird solange fortgesetzt, bis  
 die zentrifugalen Eindrücke, bis hierher in Eines aufgesammelt vom Anfang A, die Ein-  
 drücke der Schwere, ebenfalls bis hierher von Anfang aufgesammelt, genau aufbrauchen,  
 d.h. wenn der gesamte Impetus des Zurückweichens ( vorgestellt als aus einzelnen zentri-  
 15 fugalen Eindrücken aufgesammelt ) den gesamten Impetus der Annäherung ( vorgestellt  
 aus den kontinuierlich wiederholten Eindrücken der Schwere ) im Ende gleich ist, wo jede  
 Annäherung aufhört, und dieser Ort ist das Perihel  $\Omega$  selbst, in welchem der Planet der  
 Sonne am nächsten ist. Danach aber wird die Bewegung fortgesetzt, allerdings, wo er bis-  
 her abstieg, wird er nun beginnen sich zu entfernen, und sich von  $\Omega$  über X gegen A be-  
 20 wegen. Denn der doppelte zentrifugale Conatus, welcher von W bis  $\Omega$  begonnen hat die  
 Vorherrschaft über die Gravitation zu gewinnen, fährt nun mit der Vorherrschaft von  $\Omega$   
 bis X fort, und demgemäß, da von  $\Omega$  der Planet gleichsam seine Bewegung von neuem  
 beginnt- da ja die früheren gegensätzlichen Impulse sich wechselseitig aufgehoben haben  
 herrscht auch das Zurückweichen von Punkt  $\Omega$  ab vor, und die Geschwindigkeit des Zu-  
 25 rückweichens wächst kontinuierlich bis zu Punkt X. Ihr ( dieser Geschwindigkeit ) Inkre-  
 ment aber, bzw. der neue (zusätzliche) Eindruck nimmt ab, bis jener neue Eindruck zum  
 Zurückweichen, d.h. der doppelte zentrifugale Conatus, dem neuen Eindruck zur Annähe-  
 rung<sup>355</sup>, d.h. der Schwere, wiederum gleich wird, nämlich in X. Deshalb ist in X die ma-  
 ximale Geschwindigkeit des Zurückweichens, und von da ab herrscht die Schwere bzw.  
 30 der neue Eindruck der Annäherung; bisher, mit Verlaub, hat<sup>356</sup> lange genug der gesamte  
 Impuls des Zurückweichens bzw. die Summe aller Eindrücke des Zurückweichens, die  
 von  $\Omega$  an erworben wurden, vorgeherrscht, ( und das ) über den gesamten Impuls der An-  
 nähierung, der von  $\Omega$  ab von neuem eingedrückt wurde.  
 Aber da dieser schneller wächst als jener ( der Zentrifugalimpuls, *impetus recedendi* ), seit  
 35 X wird er ihm schließlich gleich in A, wo sie ( die Impulse ) sich wieder wechselseitig  
 zerstören und das Zurückweichen aufhört, d.h. man kommt wieder zum Aphel A zurück.  
 Und so, nachdem- alle vorangegangenen Eindrücke durch Kompensation der gleichstar-  
 ken und entgegengesetzten aufgebraucht sind- gelangt die Sache zum ersten Zustand zu-  
 rück, und alles wiederholt sich in ewigem Spiel, bis der „lange Tag“ nach Vollendung des  
 40 Kreises der Zeit, der Verfaßtheit der Dinge ( der Welt ) eine wahrhaft merkliche Verände-  
 rung hervorbringt.<sup>357</sup> Jenes aber ist von hervorragender Bedeutung, daß aus dem singulä-  
 ren Vorzug der harmonischen Zirkulation die physikalische Zusammensetzung der Bewe-  
 gungen mit der geometrischen übereinstimmt. Denn wenn der Planet mit seinem trage n-  
 den Aether sich in einer anderen als der harmonischen Zirkulation bewegte, könnten die  
 45 Bewegungen des Planeten und die des Aethers nicht zusammenstimmen, sondern der Pla-

<sup>355</sup> Hier mußte der Text bei GERHARDT „*recedentum seu gravitati*“, S. 183, 5. Zeile von unten in „*accedendum seu gravitati*“ geändert werden, wie aus „*seu*“ = „gleichbedeutend“ und aus dem Sinn des Textes hervorgeht. Der Textfehler kann leicht als Lese- oder Druckfehler erklärt werden.

<sup>356</sup> „*praevaleat*“ im Text wurde in „*praevaluit*“ geändert, um die Sinnstruktur des Textes aufrecht zu erhalten. (S. 183, Z. 2 v.u.)

<sup>357</sup> Hier dürfte der „jüngste Tag“, das „letzte Gericht“, mit der „merklichen Veränderung“ gemeint sein etc.

net müßte- durch seinen früher empfangenen Impuls- entweder schneller oder langsamer als der umgebende Aether umlaufen, woher sich ein ewiger Konflikt, d.h. eine Störung der Bewegung, ergeben hätte. Und es kann zugrunde gelegt werden, daß es sich zu Anfang tatsächlich so zugetragen habe, bis nach gemeinsamem Kampf der Planet und der umgebende Aether zu gleichlaufenden Bewegungen übereinstimmten. Jetzt nämlich, was  
 5 bewunderungswürdig ist, solange der Aether in harmonischer Bewegung ist, kann sich der Planet darin wie im Vakuum bewegen, so, als ob er sich nur durch Empfang des Impulses von früher mit Überlagerung der Erregung der Schwere bewegte und das tragende Fluidum gar nicht da wäre.<sup>358</sup> Denn es ist klar, daß es keinen Unterschied macht, ob man die  
 10 Bewegung über 2M3M zusammensetzt aus der (parazentrischen) Bewegung 2M2D und der von 2D3M ( der harmonischen Zirkulation ), oder aber aus dem Conatus 2MG ( der Erregung der Schwere ) und dem einmal empfangenen Impuls (nach) G3M bzw. 2ML ( gleich dem ursprünglichen (überkommenen) Impuls 1M2M ). – Eine solche Umlaufgeschwindigkeit des Planeten entsteht, wie sie die geometrische Analysis zum Vorschein  
 15 bringt ( freilich eine harmonische ), die faktisch dieselbe ist wie die Umlaufgeschwindigkeit des umgebenden Aethers. Es geschieht andererseits, daß der Planet so im Aether umläuft, als ob er durch diesen selbst aufs Sanfteste getragen würde, als wäre er in einer festen Sphäre fixiert, was die Umlaufbewegung angeht.<sup>359</sup> Weshalb auch die geometrische  
 20 Analyse des parazentrischen ( zentripetalen ) Conatus in die Erregung der Schwere und den doppelten zentrifugalen Conatus, d.h. in den doppelten Betrag dessen, wie er anscheinend sein müßte, keine Verwirrung in der physikalischen Zusammensetzung stiftet, nachdem jetzt der Planet, wegen der einmal akzeptierten Übereinstimmung im Umlauf, keine weitere Krafterwirkung vom tragenden Aether mehr empfängt, sondern sich gleichsam  
 25 frei und aus eigener Rechtmäßigkeit bewegt und so physikalisch gleichsam nicht weiter affiziert wird, geometrisch aber dennoch die Zirkulation zum Vorschein bringt. Ich spreche aber<sup>360</sup> von jenem Aether als Träger, der sich im großen Orbit<sup>361</sup> mit den Planeten im ZODIAC um die Sonne beschreibt, analog zu jenem konstant wehenden Wind bei uns in den tropischen Breiten, der um den Erd- Globus weht und mit sich zuweilen Wolken  
 30 führt. Allerdings unvergleichlich subtiler als dieser Aether ist jene Materie, die die Gravitation selbst und den Magnetismus sowohl auf der Erde als auch im großen Zodiakkreis erzeugt, und vielleicht nicht (nur) die Bewegung der Planeten, sondern auch des ( Aether-) Windes selbst, der sie dahinträgt, hervorbringt, wenn nämlich zum Impuls, - von Materie dieses ( Aether - ) Windes irgendwoher aufgenommen ( da ja tief im Innern der Natur nichts wirklich ruht )- die Erregung der Schwere, von jenem subtilsten Fluidum hinzu-  
 35 kommend, die harmonische Zirkulation bewirkt, und zwar in welchem Körper auch immer, der diesen Wind zusammensetzt ( wie eben schon erklärt ). Und dieser Impetus wird so weit reduziert sein, daß die danach aus der hinzutretenden Erregung der Schwere entstandene Bewegung bestens zur Bewegung der Planeten paßt. Indessen darf man nicht glauben, daß dies alles gleichsam mit geometrischer Präzision und absoluter Exaktheit geschieht, da wegen der wechselseitigen Wirkung aller Planeten, ja aller Körper des Universums nichts in der Natur von der Art ist, daß es überhaupt definite und von einem Geist mit begrenzter Fähigkeit denkbare ideale Eigenschaften geometrischer und dynamischer Natur hätte. Denn es genügt, daß die Abweichungen der Materie von den definierten Ideen nicht groß sind, um fühlbar zu sein. Es ist aufgrund wiederholter Beobachtungen zu  
 40 erforschen, bis wohin auch immer sie bemerkenswert sein mögen, bis einst auch jene frü-

<sup>358</sup> Die mathematisch/physikalische Äquivalenz von NEWTONS „Vakuum“ und die Harmonie mit dem „tragenden Aether“ bekommt in LEIBNIZ' Vorstellungen noch den Vorzug, daß die Schwere physikalisch nicht außen vor ist, sondern hier einbezogen wurde.

<sup>359</sup> Auch traditionelle Beschreibungsweisen werden durch den LEIBNIZSCHEN Ansatz umfaßt.

<sup>360</sup> Ab hier bis zum Ende des Punktes 27 macht LEIBNIZ eine Digression im Text.

<sup>361</sup> „orbis magnus“ ist ein Terminus von KOPERNIKUS.

heren Abweichungen nach Auffindung ihrer Ursachen an gewisse Gesetze gebunden werden. Doch nehmen wir nun unseren Gang der Betrachtungen wieder auf.

28. Wir haben also bei der planetarischen Ellipsenbewegung sechs Punkte deutlich herausgestellt: Vier sind sofort einsichtig A und  $\Omega$ , Aphel und Perihel, sowie E und B, die kleine Achse ( denn  $\odot B$  oder  $\odot E$  ist die halbe Hauptachse  $A\Omega$  und auch das arithmetische Mittel von  $\odot A$ , der maximalen, und  $\odot \Omega$ , der minimalen Abweichung ), und zwei von uns hinzugefügte Punkte W und X, den Endpunkten des *latus rectum* WX, welches zur Achse im Brennpunkt  $\odot$  senkrecht eingezeichnet ist. Diese Punkte sind die Punkte maximaler Geschwindigkeit, der Punkt W des Zurückweichens, der Punkt X des Absteigens (( gem. § 24 ). Gleichzeitig ist dort auch ( gem. § 26 ) der durch die kontinuierliche Einprägung der Gravitation von A bis W empfangene Impuls präzise die Hälfte dessen, der während des ganzen Abstieges von A bis  $\Omega$  erzeugt wird. Analog ist der von  $\Omega$  bis X erzeugte die Hälfte dessen , der von  $\Omega$  bis A vom Planeten aufgenommen wird. Und alle Impulse, die durch die Gravitation empfangen<sup>362</sup> wurden, längs AW, W $\Omega$ ,  $\Omega X$ , XA, sind gleich.
29. Es ist nun schon Zeit, die **Gründe** mitzuteilen, **welche die Eigenschaften der Ellipse definieren**. Gegeben ist der Brennpunkt der Ellipse  $\odot$ , der Ort der Sonne. Ferner hat man den Ort A, wo die Sonne beginnt, den Planeten anzuziehen, d.h. die maximale Entfernung des Planeten; gegeben ist also der entferntere Scheitelpunkt der Ellipse von diesem Brennpunkt. Gegeben ferner das Verhältnis der Gravitation oder der Kraft, mit welcher die Sonne den Planeten anzuziehen beginnt, zum zentrifugalen Conatus, durch<sup>363</sup> den dort die Zirkulation den Planeten auszustoßen und von der Sonne wegzustoßen strebt. Dadurch ist auch das *latus rectum principale* der Ellipse WX gegeben, bzw. die Senkrechte zur Achse im Brennpunkt  $\odot$ . Denn wenn  $\odot A$  gegeben ist, dann ist  $\odot A$  zu  $\odot W$ , dem halben *latus rectum*, wie das Verhältnis der gegebenen Anziehung der Sonne zum doppelten zentrifugalen Conatus. Wenn schon der vierte Teil des *latus rectum* abgezogen wird von der gegebenen maximalen Abweichung  $\odot A$ , so wird der Rest sich zu  $A\odot$  wie  $A\odot$  zu  $A\Omega$  verhalten. Also ist  $A\Omega$ , die Hauptachse der Ellipse oder das *latus transversum* gegeben. Sind also auch die Punkte  $\odot$ , A, W oder X, gegeben und damit  $\Omega$  und ferner mit diesem C, das Ellipsenzentrum sowie deren anderer Brennpunkt F, die Transversalachse BE, so ist somit die Ellipse gegeben. Nicht anders sind alle gegeben, wenn an Stelle von A  $\Omega$  gegeben würde.

[... *Abschlussbemerkungen und Bemerkungen für Bedingungen, die zu anderen Kegelschnitten führen.* ]

<sup>362</sup> „concepti“. Das Verb soll den Planeten als Impuls **empfänger** verdeutlichen.

<sup>363</sup> „qua“ im Text, S. 185, 2.Z. v.u. wurde durch „quo“ ersetzt, um Sinn zu schaffen.



Jean Bernoulli (Paris, 1735):

Essay über eine neue Himmelsphysik,

die dazu dient die prinzipiellen Phänomene des Himmels zu erklären, insbesondere den physikalischen Grund, aus dem die Bahnen der Planeten eine Neigung gegenüber der Ebene einnehmen, die den Sonnenäquator enthält.

*Glückliche Seelen, deren Ansinnen es war, diese Dinge zuerst zu erkennen und in die Himmelshäuser hinauf zu steigen.*

*Ovid, Pastor, Buch I*<sup>364</sup>

I.

Die königliche Akademie der Wissenschaften (L'ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES) hat gemäß ihrer noblen Bestimmung, die Wissenschaften und schönen Künste zum Blühen zu bringen, alle Gelehrten aller Nationen ohne Unterschied dazu eingeladen, über Themen zu arbeiten, die sie ihnen jedes Jahr vorschlägt, wobei ein Preis demjenigen bestimmt ist, der dies am besten geleistet hat (le mieux réussi). Die Preisfrage des Jahres 1732, die nicht zur Zufriedenheit der illustren Akademie behandelt worden war, wurde im Jahre 1734 erneut vorgelegt (remis sur le tapis, wieder auf den Teppich gebracht), und, wohl um die Bearbeiter stärker anzuspornen, hat sie (die Akademie) es für gut befunden, den Preis zu verdoppeln. Die Frage war in folgende Worte gekleidet: *Welches ist die physikalische Ursache für die Neigung (Inklination) der Ebenen der Umlaufbahnen der Planeten bezüglich der Bahnebene, die der Sonnenäquator bei der Drehung der Sonne um ihre Achse festlegt, und woher kommt es, daß diese Neigungen untereinander unterschiedlich sind?*<sup>365</sup> Dies ist, ohne Zweifel, eine sehr wichtige Frage und verdient sehr, daß sie gründlich und ernstlich untersucht wird.

II.

Bis jetzt hat es nur zwei physikalische Systeme gegeben, die großes Aufsehen erregt haben und die Meinungen der Physiker geteilt haben: Das eine ist das berühmte System der *Wirbel*, das von Herrn DESCARTES eingeführt wurde, und das andere ist das des Herrn NEWTON, der sich der *Leere* und der *Anziehungskräfte* bedient, die wiederum vor allem auf zwei Gesetze gegründet sind, die die Natur befolge, sowohl in der Bewegung der Planeten, als auch deren Satelliten.

<sup>364</sup> Motto: Felices animae, quibus haec cognoscere primum,  
Inque domos superas scandere, cura fuit.  
Ovid, Pastor.lib.I.

Die Literaturstelle konnte nicht gefunden werden. Eine Schrift PASTOR von Ovid gibt es nicht. Vermutlich sind „FASTI“ gemeint.

<sup>365</sup> „Quelle est la cause physique de l'inclinaison des Plans des Orbites des Planetes par raport au plan de l'Equateur de la revolution du soleil autour de son axe, & d'où vient que les Inclinaisons de ces Orbites sont differentes entr'elles?“

Sowohl das eine wie auch das andere System ist sehr schön ausgedacht, und jedes hat seine Vorteile (beautez, Schönheiten); aber man muß auch zugeben, daß es an der einen oder der anderen Stelle große Defizite gibt, große Schwierigkeiten, die bis jetzt noch niemand völlig beseitigen konnte. Sie sind derart, daß ich kaum erstaunt bin, daß die eingereichten Arbeiten zur Lösung dieser unserer Frage nicht das Glück hatten, den ausgezeichneten Geschmack der Herren Preisrichter zu treffen. Ist es doch offenbar so, daß die Autoren der Arbeiten dem einen oder dem anderen der beiden Systeme zu sehr nachgegeben haben, wobei sie nicht genug unterschieden zwischen dem guten und dem schlechten. Denn, um es noch mal zu sagen, man muß dabei bleiben, daß jedes seine schlechte Seite hat, die man ebenfalls betrachten muß, bevor man sich ihm völlig ausliefert.

### III.

Herr de MAUPERTUIS<sup>366</sup> hat in seiner ausgezeichneten Beschreibung der verschiedenen Ansichten der Sterne, die er gegen Ende des vorigen Jahres publiziert hat, sehr deutlich alle Schwierigkeiten aufgezeigt, die sich bei beiden Systemen zeigen. So bewundert er, was die Geometrie angeht, das des Herrn NEWTON wegen der Exaktheit, mit der sich die Mehrzahl der himmlischen Phänomene in diesem System erklären lassen, jedoch keineswegs bezüglich der Evidenz des benutzten Prinzips. Er hat recht, zu sagen, daß es Gegenstand der Mathematiker sein könne, alle Effekte zu erfassen und sich nicht darum zu kümmern, den Grund dafür nicht zu kennen; als Zeuge kann hier GALILEI<sup>367</sup> herangezogen werden, der ohne den Grund für die Schwere der Körper gegenüber der Erde zu kennen, es nicht unterlassen hat, uns darüber eine sehr schöne und sehr sichere Theorie zu geben, überdies dann noch die Erscheinungen zu klären, die davon abhängen. Der gleiche<sup>368</sup> übrigens als Zeuge, der in dem vorletzten Kapitel uns als geschickter Mathematiker die Lösung von zwei schwierigen Problemen zeigt, nämlich über die Bahnen, welche Flüssigkeiten nehmen müssen, die sich um eine Achse drehen, sowie über die Natur eines Stromes flüssiger Materie, der sich um eine Achse außerhalb des Stromes dreht. Hier unterstellt er die Schwere der Flüssigkeit wie eine Anziehungskraft, ohne daß es ihm notwendig erschiene, den Grund dafür anzugeben, noch zu sagen, worin dieser bestehe. Er<sup>369</sup> bemerkt sehr wohl, daß Herr NEWTON genug Aufrichtigkeit besaß, niemals die Anziehung als Erklärung der Schwere eines Körpers gegenüber einem anderen zu betrachten, sondern daß er angab, daß er diesen Term benutze, um einen Fakt zu bezeichnen, niemals jedoch eine Ursache. Es ist nicht anders mit (dem Begriff) der perfekten Leere<sup>370</sup>, den Herr NEWTON unterstellt; es ist ihm erlaubt, sie zu unterstellen, insofernhin als er sich ihrer bedient wie eines Milieus oder einer Flüssigkeit ohne Widerstand, kaum Gedanken darüber verschwendend, ob ein solches Milieu oder eine solche Flüssigkeit existieren könne oder nicht. Ein reiner Geometer ist nicht verpflichtet, den Ursprung der Fakten zu erklären: Er kann sie unterstellen, um ihre Eigenschaften zu entdecken, er schließt eben aus gegebenen Hypothesen. Es wäre zu wünschen gewesen, daß die Parteigänger des Herrn NEWTON dem Beispiel ihres Meisters gefolgt wären, anstatt zu behaupten, daß die Leere und die Anziehung in der Natur der Dinge seien, und sie seien Prinzipien der Existenz. Sie hätten sie nur betrachten sollen als Arten des Verstehens.

<sup>366</sup> Pierre Louis de MAUPERTUIS, 1698-1759, war zur Zeit dieses Essays Mitglied der Pariser Académie des Sciences, entdeckte später das „Prinzip der kleinsten Wirkung“. Die hier zitierte Schrift heißt: *Discours sur les différentes figures des Astres, avec une exposition des systèmes de Descartes et de Newton*, Paris 1732

<sup>367</sup> im Text: „GALLILEI“. Der Bezug ist vermutlich auf die Arbeit „*Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua o che in quella si muovono*“, 1612 gezielt. Bernoulli hat über Schiffsnavigation publiziert. Seine Lösung der Akademiefrage weiter hinten ist auch aus dem Navigationsbereich.

<sup>368</sup> Wer ist gemeint, vermutlich MAUPERTUIS ?

<sup>369</sup> hier kann nur MAUPERTUIS gemeint sein.

<sup>370</sup> Newtons Begriff: „*spatium absolutum*“.

## IV.

Es obliegt also dem Physiker, der die Ursachen der Fakten herausfinden will, Prinzipien der Existenz zu formulieren, und diese Prinzipien haben klar und einsichtig zu sein, so gut, daß sich ihre Möglichkeit (der Existenz) von selbst klarstellt. Ich denke nicht, daß das Prinzip der Anziehung solche Evidenz habe, wie das des Anstoßes: Ich sehe, zum Beispiel, mit völliger Evidenz, daß ein in Bewegung befindlicher Körper, der einen anderen in Ruhe trifft, diesen auch in Bewegung setzen muß, nicht nur, weil die Körper undurchdringlich seien, sondern weil der Stoß eine Aktion ist, und weil jede Aktion einen Effekt haben muß, der eine Veränderung im Zustand dessen, der ihn empfängt, bewirkt. Jedoch gibt es keinen anderen Effekt im gestoßenen Körper, als den, den Zustand der Ruhe zu verlassen, in dem er war, und sich in Bewegung zu setzen. Denn dies ist ein generelles Gesetz in der Statik und in der Mechanik, daß Körper, die an einer Seite mehr gedrückt werden als an der anderen, ausweichen müssen zur Seite, wo sie weniger gedrückt werden. Im übrigen, der Stoß erfolgt durch Druck; dies ist also eine Aktion, durch die ein Effekt bewirkt wird. Wer eine Aktion<sup>371</sup> erfinden will ohne Effekt, der wird eine Chimaere erfinden.

Im Gegensatz hierzu kann ein Körper ohne Bewegung nicht agieren, denn die Aktion eines Körpers hängt nur von seiner Bewegung ab; ich sehe also nicht, wie zwei voneinander entfernte Körper in Ruhe sich gegenseitig anziehen können, was ja heißt, sich aus ihnen selbst in Bewegung zu setzen. Hier wäre ein Effekt ohne Ursache und eine Aktion ohne ein Prinzip zum Handeln. Wollte man zurückgehen auf den unmittelbaren Willen Gottes und sagen, Gott stoße den einen gegen den anderen mit einer gewissen Kraft, da sie eine bestimmte Entfernung voneinander haben, so hieße das zweite Ursachen aus der Natur zu verbannen. Es wäre ebenso, als hätte man gesagt, daß alle Phänomene und alles, was im Universum geschieht, aufgrund der ersten Ursache, will heißen, aus dem göttlichen Willen heraus, geschähen, und alle zweiten Gründe trügen hierzu nur Gelegenheiten bei, die das souveraine Wesen veranlassen, in einer so und so beschaffenen Weise zu handeln gemäß der diversen Zufälligkeiten. Dies aber hieße, ein neues System zufälliger Gründe einzuführen, was kaum die Philosophen von gutem Geschmack zufrieden gestellt hat.

## V.

Die Unannehmlichkeiten, die aus diesen beiden für einen Physiker unverständlichen Prinzipien resultieren, ich spreche von der Leere und der Anziehung, sind nicht die einzigen, die verhindern, daß in der Physik das System des Herrn NEWTON bewundert wird: Es gibt noch andere bezüglich einiger Phänomene, die unerklärbar bleiben, selbst wenn man diese Prinzipien zugesteht; diese sind, zum Beispiel, die Rotation der Planeten um ihre Achse, sowie auch die gemeinsame Richtung ihrer Umdrehung um die Sonne, indem jeder unter dem Zodiacalkreis sich von Westen nach Osten dreht, ganz wie die Umdrehung der Sonne um ihre Achse; ferner gibt es die unregelmäßigen Bewegungen der Kometen, bei denen praktisch jeder seine eigene spezielle Richtung hat, oft gegensätzlich zueinander. Herr NEWTON hat diese Schwierigkeit sehr wohl empfunden, wenn er zugibt, daß dieses Phänomen etwas Übernatürliches sei.<sup>372</sup>

<sup>371</sup> „Aktion“ bezieht sich auf LEIBNIZ („Essay de Dynamique.“, GERHARDT, LMS, VI, S. 215) in der Begriffe vorkommen wie „Action motrice“ (Bewegungsgröße?) und „effet violent“. Letzterer entstehe durch „consumation de la force absolue“, gemessen durch die Höhe des gehobenen Körpers.

<sup>372</sup> Die Stelle, auf die BERNOULLI anspielt, ist vermutlich das „Scholium Generale“ am Ende des dritten Buches der „Principia“, a.a.O. III jener Schlußteil S. 173, (Hervorhebungen v. mir) beginnend mit „*Hactenus Phaenomena caelorum & maris nostri per vim gravitatis exposui; sed causam gravitatis nondum assignavi.*“ [...] „*Rationem vero harum Gravitatis proprietatum ex Phaenomenis nondum potui deducere, & Hypothesis non fingo.*“ [...]

und weiter mit

„*Adicere jam liceret nonnulla de Spiritu quodam subtilissimo corpora crassa pervadente, & in iisdem latente; cujus vi & actionibus particulae corporum ad minimas distantias se mutuo attrahunt, & contiguæ factae cohaerent;*“ [...]

## VI.

Das System der Wirbel, das nach Art des Herrn DESCARTES ausgedacht ist, gibt ebenfalls Anlaß zu großen Einwänden: Man weiß, daß die Gravitation der Planeten gegen die Sonne, die dem Effekt der Zentrifugalkraft der Wirbelmaterie zuzuschreiben ist, sich nicht direkt gegen das Zentrum der Sonne auswirken sollte, sondern senkrecht zur Achse des Wirbels; derart, daß die schweren Körper auf der Erde eine Tendenz senkrecht zur Achse haben sollten und keinesfalls zum Erdmittelpunkt hin tendieren sollten. Außerdem scheint es, daß die Hauptplaneten, wenn sie einfach durch den Materiestrom des Sonnenwirbels angetrieben werden, dieselbe Geschwindigkeit und dieselbe Dichte haben sollten wie sie die Schichten des Wirbels in der Gegend, wo sie schwimmen, haben. Das ist alles wie bei einem Schiff, das man der Strömung überlassen hat, indem es endlich eine gemeinsame Geschwindigkeit mit dem Wasser hat, das es fortträgt, dergestalt, daß die Zentrifugalkraft der Planeten genau derjenigen gleich werden, die ein gleiches Materievolumen des Wirbels an den Orten der Planeten hätte. Also würden die Planeten aufgrund des perfekten Gleichgewichtes zwischen den beiden Zentrifugalkräften, da sie kaum mehr oder weniger große Gravitation von einer Zeit zur anderen hätten, niemals ihre Abstände zur Sonne ändern. Es ist wahr, daß verschiedene Mittel vorgeschlagen wurden, um einsichtig zu machen, wie die Planeten sich der Sonne nähern oder von ihr entfernen könnten, während sie der Wirbel mit sich führt. Aber alle diese Mittel, übrigens gleichgültig wie wahrscheinlich sie auch seien, sind mir niemals natürlich genug erschienen.

Es gibt in dem CARTESIANISCHEN Wirbel noch eine Schwierigkeit, die darin besteht, daß die Geschwindigkeiten seiner Schichten viel zu groß sind im Verhältnis zu der des Sonne-äquators, denn die Umdrehung dieses Sternes und die seines Wirbels gehorchen dem gleichen Prinzip. Dies ist so wahr, als KEPLER, vor der Entdeckung der Flecken auf der Sonnenscheibe, mutmaßte, daß sie eine Rotationsbewegung habe, deren Periode 3 Tage betrage<sup>373</sup>, an Stelle der  $25\frac{1}{2}$  Tage, wie sie uns die Beobachtungen in der Folgezeit gezeigt haben.

## VII.

Aber, was es am stärksten gegen das System der Wirbel einzuwenden gibt, wie Herr de MAUPERTUIS sehr richtig bemerkt, besteht in der Widersprüchlichkeit innerhalb dieses Systems zwischen den zwei KEPLERSchen Gesetzen, die sich überall bei den Planetenbahnen beobachten lassen, sei es bei den Hauptplaneten, sei es bei den Sekundärplaneten. Gemäß dem ersten<sup>374</sup> dieser Gesetze sind die Sektoren der elliptischen Umlaufbahn eines Planeten, die er um den Ort der Sonne beschreibt, konstant proportional zur Zeit, die er (der Planet) benötigt, um den Ellipsenbogen, der zu diesem Sektor gehört, zu durchlaufen. Gemäß dem zweiten Gesetz müssen die Periodenzeiten der verschiedenen Planeten in der  $1\frac{1}{2}$ fachen Potenz ihrer mittleren Distanzen zur Sonne stehen, was auch für Satelliten gilt in bezug auf den Hauptplaneten, um den sie ihre Bahn ziehen.

Wenn also, gemäß der allgemeinen Hypothese der Wirbel, die Geschwindigkeit der Planeten sich nach der der Materieschicht des Wirbels regelt, so ist es notwendig, gemäß dem ersten Gesetz der Sektoren, die proportional zur Zeit sind, daß die tatsächliche Geschwindigkeit der Schichten im umgekehrten Verhältnis zur Distanz zum Zentrum stehe. Darin besteht die har-

---

bis geendet wird mit:

„*neque adest sufficiens copia Experimentorum, quibus leges actionum hujus spiritus accurate determinari & monstrari debent.*“

<sup>373</sup> Kepler, Johannes, *Astronomia Nova*, Heidelberg 1609. Pars III, Cap.34. Dort steht eine Abschätzung, daß die Sonne sich mindestens einmal um sich selbst in drei Monaten drehe (Vergleich mit Merkur-Umlauf). Er rechnet dann: Radius der Sonne verhält sich zum Radius der Merkurbahn wie Erdradius zur Mondbahn (MYSTERIUM COSMOGRAPHICUM), also 1:60. Die Umfänge der Merkurbahn zum Sonnenumfang = 30:1. Die Sonnenrotationsdauer ist folglich der 30. Teil der Merkurumlaufzeit von 88 Tagen. KEPLER hätte aber auch die 25,5 Tage akzeptiert. Plausibel erschien ihm auch 1 Tag. Wichtig war ihm nur, daß die Sonne sich schneller als alle Planeten um sich selbst dreht, um sie „mitzureißen“.

<sup>374</sup> JOHANN BERNOULLI zählt offenbar nur zwei KEPLERSCHE Gesetze! ? Ist das erste zu trivial ?

monische Bewegung des Herrn LEIBNIZ.<sup>375</sup> Aber als Konsequenz des zweiten Gesetzes, welches verlangt, daß die Periodenzeiten der verschiedenen Planeten in der  $1\frac{1}{2}$  fachen Potenz der Distanzen zum Zentrum stehen, ist es notwendig, daß dieselben tatsächlichen Geschwindigkeiten der Schichten im reziproken Wurzelverhältnis ihrer Distanzen stehen. Die Geschwindigkeiten der Wirbelschichten hätten also zur gleichen Zeit zwei verschiedene Verhältnisse in bezug auf deren Distanzen, was ja wohl einen gewaltigen Widerspruch darstellt. Man könnte nun, um die Sache zu retten, vielleicht einen neuen Wirbel erfinden, der das eine der Gesetze erfüllte, während der andere dem zweiten genügte. Jeder der beiden Wirbel müßte gemäß seiner eigenen Regel zirkulieren, ohne daß sie sich gegenseitig unterbrächen, wenn sie sich überquerten, alles ein wenig wie Herr BULLFINGER<sup>376</sup> (nach einer mehr einfallsreichen als wahrscheinlichen Weise) den Effekt der Schwere und ihrer Tendenz gegen das Zentrum der Erde erklären wollte, indem er die Wirbel vermehrte<sup>377</sup>. Hier aber ist der Ort, wo man fragen müßte, ob die Einfachheit der Natur erlaubt, so frei umzugehen *mit Materie und Bewegungen ohne anderen Grund als den ihrer Notwendigkeit*. Es ist wahr, dies ist eine Freiheit, die nichts kostet, aber sie ist ebensowenig verzeihlich als die der alten Astronomen, die, um die Unzulänglichkeiten ihrer Hypothesen zu beheben, keinerlei Skrupel hatten, neue kristalline Himmel, Epizykloiden und andere Dinge dieser Art zu erschaffen und dies mit keinem anderen Grund als dem, daß man sie brauchte, um neue Unregelmäßigkeiten zu erklären, die im Lauf der Gestirne entdeckt worden waren. Man verschwendete keinerlei Mühe daran, ob all diese Beschwerlichkeiten der Einfachheit, der Schönheit, der Symmetrie des Universums dienten. Was hätten diese gleichen Astronomen noch alles gemacht, wenn schon zu ihren Zeiten die Herrlichkeiten des Himmels bekannt gewesen wären, die in den letzten Jahrhunderten entdeckt wurden, was hätten sie nicht alles gemacht, sage ich, um dies auf ihre Weise zu erklären: Man würde, glaube ich, nur ein Labyrinth einer Unendlichkeit von neuen Kreisen erblicken.

### VIII.

Ich kehre zu unseren zwei Systemen zurück, denen von DESCARTES und Herrn NEWTON: Nach welcher Seite ich mich auch drehe, ich sehe in jedem fast unüberwindliche Schwierigkeiten. Ich habe deshalb geglaubt, daß wenn ich mich blind einem oder dem anderen der beiden Systeme auslieferte, ich kaum auf genügende Weise der gestellten Frage antworten könnte. Die richtige Mitte zwischen den beiden schien mir die sicherste: Deshalb habe ich von dem einen und dem anderen das ausgewählt, was mir das natürlichste und einfachste erschien. Ich habe in beiden Prinzipien verworfen, was die Vernunft oder den guten Geschmack verletzt und mich der Dinge bedient, die klar und einsichtig sind. Daraus habe ich die Konsequenzen gezogen, die auf natürliche ungezwungene Weise folgten. Auf diese Weise habe ich danach getrachtet, die schöne Seite der zwei Systeme zusammenzubringen und daraus ein neues zu machen. Ich lasse zu, daß es in dem neuen System zwei Arten von Wirbel gibt, die der Sonne und der Fixsterne und die speziellen um die Hauptplaneten. Ich gebe ihnen keine andere Bewegung als die, die sie vom gleichen Prinzip erhalten haben, was die Himmelskörper um ihre Zentren, das sie umgeben, rotieren läßt. Dies ist die einfachste Art, die Zirkulation eines Wirbels zu erzeugen.

Die Gravitation der Planeten gegen das Sonnenzentrum und die Schwere der Körper gegenüber dem Erdzentrum hat als Ursache weder die Anziehung des Herrn NEWTON, noch die Zentrifugalkraft der Materie des Wirbels wie bei DESCARTES; aber der unmittelbare Anstoß („impulsion“) einer Materie in Form eines STROMES, den ich *zentral* nenne, geht kontinuierlich vom gesamten Umfang des Wirbels zu seinem Zentrum aus und erteilt folglich jedem

<sup>375</sup> im Text: „LEIBNITS“. Leibniz, G.W., TENTAMEN DE MOTUUM COELESTIUM CAUSIS in „Mathematische Schriften (Gerhardt), VI, S.161ff

<sup>376</sup> vermutl. BILFINGER (auch Bülfinger), Georg Bernhard, \* 23.1.1693 - † 18.2.1750, Philosoph; Professur in St. Petersburg und Tübingen.

<sup>377</sup> „multipliant“ im Text.



Körper, den er auf seinem Wege trifft, die gleiche Tendenz in Richtung Zentrum des Wirbels. Damit trage ich der Eigenschaft dieser Gravitation der Planeten Rechnung, die notwendig ist, damit sie Ellipsen um den Ort beschreiben, der das Zentrum dieser Tendenzen ist. Alles, was Herr NEWTON aus seiner Anziehung folgert, folgt ganz natürlich aus meiner Theorie des

5 ZENTRALSTROMS.<sup>378</sup>

Da nun meine Prinzipien eine enge Bindung untereinander haben, könnte ich nicht bequem über den in Frage stehenden Gegenstand verhandeln, ohne vorher eine Beschreibung meines Systems zu geben. Dies mache ich um so freudiger, als ich damit zur gleichen Zeit die Ursachen der hauptsächlichsten Himmelserscheinungen erklären kann, somit eine generelle Idee

10 der neuen Himmelsphysik geben kann.

Ich teile meine Arbeit in vier Teile; die drei ersten dienen der Darstellung des neuen Systems, der Erklärung der Fakten, und der vierte Teil wird speziell auf die vorgegebene Frage eingehen, wo ich dann deutlich mache, daß die Ursache, die die Planetenbahnen um den Äquator der Sonne bestimmt, ähnlich der ist, die die Schiffe auf dem Meer von der Richtung des Kiels

15 abweichen läßt, das was man die *Abtrift der Schiffe* nennt.

## Erster Teil

### IX.

Schon seit langem hatte man bemerkt, daß, gemäß der Idee, die DESCARTES angibt, um die

20 Ursache der Schwere durch Aktion seiner Wirbel zu erklären, daß die schweren Körper nicht direkt zum Zentrum gezogen werden sollten, sondern senkrecht zur Achse eben dieses Wirbels; die seitherigen Erfahrungen haben diesen Einwand bestätigt, indem man gesehen hat, daß eine Glaskugel, die so mit Wasser gefüllt wurde, daß ein Teil von ihr noch Luft enthielt,

bzw. eine Flüssigkeit geringerer Dichte als Wasser, daß (diese Glaskugel) beim raschen Drehen um ihre Achse sich keinesfalls die Luft, oder diese Flüssigkeit geringerer Dichte, sich in

25 Form einer Kugel um das Zentrum anordnete, sondern im wesentlichen längs der Achse. Sie bildete damit einen verlängerten Kern, der mehr einer zylindrischen Form gleichkam. Dies war im Einklang mit den Zentrifugalkräften, die verlangen, daß die, die weniger davon haben, da sie die wenig dichteren sind, denen weichen, die dichter sind, mehr Zentrifugalkraft haben,

30 und deshalb zum Zentrum des Kreises drängen, der parallel zum Äquator der Kugel liegt, also senkrecht zur Achse. Man lese deshalb des Discours des Herrn BULFFINGER.<sup>379</sup>

Herr HUYGENS<sup>380</sup> hat sich eine andere Sorte von Wirbel erdacht, weil er dieser Unannehmlichkeit ausweichen wollte, dessen Materie sich in jeder Richtung auf der sphärischen Oberfläche jeder Schicht bewegt, aus denen er seinen Wirbel zusammengesetzt hat. Von daher gibt

35 er vor, deutlich machen zu können, warum die schweren Körper direkt zum Zentrum des Wirbels tendieren: Jedoch leidet diese behauptete Bewegung unter großen Schwierigkeiten, denn man weiß nicht zu sagen, wie diese Bewegung aufrechterhalten werden kann. Es scheint nämlich, indem jedes Teilchen des Wirbels durch ein anderes von gleicher Masse und entgegengesetzter Geschwindigkeit getroffen wird, daß alle beide sich ganz kurz anhalten müßten,

40 oder man müßte eine perfekte Schnellkraft in diesen elementaren Korpuskeln unterstellen, die sie zurückstößt, ohne daß man aber sagen könnte, woher nun wieder diese Schnellkraft komme. Es wäre folglich viel schwieriger dies zu erklären, als die Ursache der Schwere selbst.

<sup>378</sup> „Torrent central“

<sup>379</sup> Schreibweise „BULFFINGER“ weicht von der Seite 3 ab, „BULLFINGER“

<sup>380</sup> Im Text „HUGUENS“

## X.

Meinem System gemäß muß man zwei Sorten von Materie in einem himmlischen Wirbel konzederen, sowie auch zwei Hauptbewegungen. Bei der einen dieser Materiesorten unterstelle ich, daß sie perfekt flüssig sei, womit ich sagen will, daß sie nicht nur unendlich fein teilbar sei, was allen Körpern gemeinsam ist, sondern unendlich fein teilbar und grenzenlos<sup>381</sup>, fast, daß es sich um eine uniforme Flüssigkeit handele, die nicht aus Elementarteilchen zusammengesetzt ist, wie man sich gewöhnliche Flüssigkeiten vorstellt, welche ja infolge der Vielzahl und der Größe ihrer Teilchen mehr oder weniger zusammengeschlossen sind, mehr oder weniger dicht beschaffen sind und somit einen mehr oder weniger großen Widerstand gegenüber wirklichen, schwimmenden Körpern ausüben. Ganz anders unsere perfekt flüssige Materie, sie ist ohne Widerstand, da sie sich nicht aus Elementarteilchen zusammensetzt. Wir werden das noch zur Genüge im Nachfolgenden sehen.

Herr DESCARTES scheint etwas Ähnliches unterstellt zu haben in seiner Materie, die er „erstes Element“<sup>382</sup> nennt, aber aber<sup>383</sup> es gibt einen sehr großen Unterschied zwischen unserer beiden Art und Weise der Darstellung und der Konzeption über die Natur und den Ursprung dieser Materie: Hier ist er.

## XI.

Man weiß, daß dieser Philosoph behauptet, da sich ein himmlischer Wirbel aus einer Materiemasse bilden muß, die am Anfang in Ruhe ist und in kleine Teilchen unterteilt ist, die sich exakt eins an das andere schmiegen und keine Leere zwischen ihnen lassen, daß diese gesamte große Masse durch den Willen Gottes ergriffen, (nämlich) in einer Zirkulationsbewegung um ein Zentrum, daß diese Teilchen also ihre Plätze verlassen und sich gegenseitig von allen Seiten anstoßen mußten. Daher ist es gekommen, so sagt er, daß durch die häufige Reibung an ihren Ecken und Vorsprüngen aneinander sie sich endlich diese Ecken abstießen und schließlich sich rundeten zu perfekten kleinen Kugeln, die sehr solide und ohne Poren waren. Denn DESCARTES glaubt, daß die Festigkeit oder die Härte der Körper keinen anderen Grund hat als die relative Ruhe ihrer Teile zueinander.

Es ist die Anhäufung von all diesen kleinen Kügelchen, die er die Materie des zweiten Elementes nannte, und die durch die Fortdauer ihrer einmal eingepprägten Zirkularbewegung die himmlischen Wirbel bildet. Der Abfall oder der Abrieb, der nach Bildung der Kügelchen verbleibt, ist von DESCARTES Materie des ersten Elementes genannt worden. Dessen Partikel sind unvergleichbar viel kleiner als die Kügelchen und haben keinerlei zu bestimmende Regelmäßigkeit oder Gestalt. Sie dienen aber teils dazu die dreieckigen Zwischenräume der Kügelchen zu füllen, teils dazu sich um das Zentrum des Wirbels anzuhäufen in dem Raum, der leer bleiben würde durch die Anordnung und Verringerung der Kügelchen, die durch ihre Zentrifugalkraft vom Zentrum weggetrieben werden. Diese Anhäufung von Materie des ersten Elementes, die die Zentralregion des Wirbels einnimmt, ist nach DESCARTES die Substanz der Sonne oder irgend eines anderen Sterns.

## XII.

Ich will mich nicht damit belustigen, die Geschichte von allen Konsequenzen darzustellen, die dieser große Philosoph aus dieser Hypothese entwickelt hat, um daraus sein ganzes System der Welt herzustellen. Es genügt mir, aufzuzeigen, daß seine Materie des ersten Elementes tatsächlich nicht unendlich unterteilt ist, da er doch will, daß jedes dieser Teilchen von einem größeren getrennt sei, von dem es geteilt wurde. Es ist also noch ein ganzes Teilchen und ungeteilt, obgleich es unendlichen Änderungen bezüglich Größe und Gestalt unterworfen war. Hieraus folgt, daß unser Philosoph die Festigkeit oder die Härte der elementaren Teilchen, das

<sup>381</sup> divisible à l'infinie & sans bornes.

<sup>382</sup> René DESCARTES, (Hrsg. Claude de Clerselier), „Le Monde ou Traité de la Lumière“, Chap. V, Paris 1664; zitiert nach dem Nachdruck VCH- Verl. Weinheim 1989

<sup>383</sup> Wiederholung im Text, vermutl. rhetorisches Stilmittel.

heißt die relative Ruhe ihrer inneren Teile, als ein essentielles Attribut oder ihrer Natur angehörend betrachtet hat.

### XIII.

5 Ich jedoch, ganz im Gegensatz dazu, denke daß die Härte der Körper, wie klein auch immer sie seien, eine (accidentielle) zufällige Qualität ist und keinesfalls inbegriffen in der Idee, die wir von einem Körper haben sollten. Die Kohäsion der Teile, sei sie vollkommen oder unvollkommen, ist ein Phänomen, das seinen Grund wie alle anderen Phänomene in der Natur hat. Wer Körper sagt, sagt nichts anderes, als daß er ausgedehnt, beweglich und undurchdringlich ist: Das ist alles, was die Idee des Körpers umschließen sollte. Es ist selbst nicht  
10 mehr notwendig, die Teilbarkeit in die Definition des Körpers einzuführen, da sie schon inbegriffen ist in der einzigen Bemerkung über die Ausgedehntheit.

### XIV.

Dergestalt ist es deutlich, daß die Materie, nichts als Materie seiend, nicht nur teilbar bis ins Unendliche ist, sondern sofort nach ihrer Schöpfung kann sie wirklich bis ins Unendliche ge-  
15 teilt werden. Ich höre hier eine absolute *Unendlichkeit* von der Art, daß es nicht einmal unendlich kleine Teilchen gibt, oder um es auch so zu sagen, Differentiale der Materie, von denen man sagen könnte, daß sie eine notwendige Festigkeit haben. Denn, noch einmal; die Festigkeit gelangt nicht über die Natur der Körper in sie hinein und ist auf keinen Fall essentiell. Ich weiß sehr wohl, daß es Philosophen gibt, fast deren Mehrheit, die glauben, daß die ele-  
20 mentaren Teilchen, die wahrnehmbare Körper bilden, von ihrer Natur her fest seien; als ob die Kleinheit die Natur der Körper ändern könnte: Dies ist ein reines Vorurteil, dessen man sich entledigen muß.

So entwerfe ich sehr klar, daß es ohne Widerspruch in der Welt eine solche Materie geben kann, wie ich sie gerade beschrieben habe. Diese werde ich, ganz in dem Sinne verstanden,  
25 *erste Materie* oder *Materie des ersten Elementes* nennen, deren Natur es ist, teilbar zu sein, oder, besser gesagt, eine Auflösung in Teile, die bis zur absoluten Unendlichkeit geht. Tatsächlich, was hindert mich daran, dieses erste Element zu unterstellen? Hätte doch der Schöpfer nach der Erschaffung der Materie im Allgemeinen nichts weiter zu tun, als einen Teil in ihrem ursprünglichen Zustand zu lassen, und dieser Teil sollte schon vom ersten Element  
30 sein, ohne daß der Schöpfer noch eine neue Qualität hinzufügen müßte.

### XV.

Der andere Teil der Materie wird einfach dazu benutzt worden sein, um daraus Korpuskeln zu formen, indem für jeden eine kleine Menge Materie des ersten Elementes benutzt wurde, zu-  
35 sammengeballe und durch diese einzige Bewegung, die in allen ihren Punkten zusammentrifft, ein Masseteilchen (*massule*) bildet, dessen Teile deshalb von selbst zusammenhängend sind, ohne damit zu sagen, daß sie unüberwindbar hart seien. Es sind diese elementaren Korpuskeln, die ich mit dem Titel *Materie des zweiten Elementes* ausstatten werde. Ich gebe nicht vor, wie zum Beispiel DESCARTES, zu zeigen wie durch die verschiedenen Kombinationen der Materie des zweiten Elementes unter Beteiligung des ersten Elementes sich die Materie  
40 des dritten Elementes geformt hat, und von da aus wie die irdischen und die himmlischen Körper ihren Ursprung genommen haben können. Dies wäre eine für mich viel zu harte und anmaßende Unternehmung. Mein Ziel ist es, erkennen zu lassen, daß durch die Natur und durch die Aktion der Materie des ersten und des zweiten Elementes, so wie ich sie hier dargestellt habe, ich mich imstande sehe, Sinn in die hauptsächlichsten Phänomene des Himmels,  
45 die die Astronomie beobachtet hat, zu bringen, dabei auch in die, die Gegenstand der Frage der berühmten Akademie sind.

### XVI.

Da die Materie des ersten Elementes perfekt flüssig ist und in keinem Teil ihrer Materie zu-  
50 sammenhängend, sieht man sofort, daß sie keinerlei Widerstand gegen Körper, die sich in ihr bewegen, entgegensetzen wird. Denn der Widerstand der Flüssigkeiten kommt nur von der Trägheit der Moleküle, aus denen die Flüssigkeiten zusammengesetzt sind, und die ein Kör-

per, der in ihr schwimmt, fortwährend umrühren muß, damit den Ort einer gewissen Menge abändernd, was nicht ohne Übermittlung eines Teils seiner Bewegung<sup>384</sup> an sie gemacht werden kann, womit sie in der Folge völlig verloren geht. Darin besteht eben der Widerstand, der- gleichgültig bei welcher Geschwindigkeit- immer proportional zur Dichte der Flüssigkeit sein wird, völlig unabhängig von der Größe der Moleküle. Es ist nämlich das Gesamtvolumen und nicht die Anzahl, die der Körper wegbewegen muß in einer gegebenen kleinen Zeitspanne, welches die Größe des Widerstandes festlegt.

So stimmt man hier Herrn NEWTON<sup>385</sup> zu, der, sich jeder Kühnheit enthaltend, bezüglich der Reibung der Flüssigkeit gegenüber einem Körper eine andere Art von Widerstand einführt. Er betrachtet nur den Widerstand, der von der Opposition und der Ortsveränderung eines Volumens von Molekülen kommt, die ein Körper antrifft. Er sagt, dieser Widerstand sei gebildet aus dem Produkt der Dichte und dem Quadrat der Geschwindigkeit<sup>386</sup>: Man stimmt dann auch zu, daß eine mehr oder weniger große Subtilität der Moleküle nichts in bezug auf die Abschätzung des Widerstandes bewirkt. So wird einsichtig, daß die subtilsten Moleküle so dicht gepackt sein können, daß die daraus gebildete Flüssigkeit sehr viel dichter ist, als eine andere, deren (vielleicht größere) Moleküle keine Flüssigkeit bilden lassen, die eine irgendwie große Seltenheit besäße. So ist es zum Beispiel bei der Luft, deren elementare Moleküle allem Anschein nach größer sind als die des Quecksilbers, wobei das Quecksilber aber gut zehntausendmal dichter als Luft ist.

## XVII.

Jedoch gemäß der Vorstellung, die wir uns von unserer Materie des ersten Elementes gemacht haben, indem sie nämlich keine Anhäufung von festen Molekülen wie bei einer anderen Flüssigkeit ist, ist es evident, daß sie nicht diese Trägheit hat, die notwendig ist, um Widerstand gegenüber Körpern, die sich darin bewegen, auszuüben. Es handelt sich also hier um eine flüssige Materie mit einer perfekten Kontinuität und Homogenität, die mit unendlicher Leichtigkeit der geringsten Bewegung eines Körpers ausweicht und nichts anderes bewirkt, als die Leere auszufüllen, sich in jedem Augenblick an die verschiedenen Situationen des Körpers, den sie umgibt, anzupassen. Dies alles bewirkt nur, daß die Körper in ihr ihre Bewegung fortsetzen können, ohne daß sie von ihr (der Bewegung) irgend etwas verlieren, ganz so wie sie es tun würden, wenn sie in einer vollkommenen Leere schwämmen (nagoient), so wie es die Parteigänger Herrn NEWTONS unterstellen.

## XVIII.

Gemäß meiner Theorie entwickelt sich nun die Natur und die Ausbildung eines himmlischen Wirbels ganz so wie ich es erklären werde: Man muß eine außergewöhnliche Menge von flüssiger Materie unterstellen, aber nicht die, welche DESCARTES die der himmlischen Körper nennt. Ich unterstelle, daß ihr größerer Teil aus dieser perfekt flüssigen Materie des ersten Elementes bestehe, in welcher dann eine ordentlicher Teil der Materie des zweiten Elementes untergemischt ist, gut über die gesamte Masse verteilt, so verteilt, daß die Partikel der Materie des zweiten Elementes, obgleich sie einer dem anderen sehr nahe sind und keine Zwischenräume lassen, die groß wären im Vergleich zu den Durchmessern dieser Partikel, - so stelle ich mir das vor -, wie ein wenig Rauch, der von einem Korn Weihrauch aufsteigt, welches auf einer glühenden Kohle liegt und dennoch die Luft des gesamten Zimmers erfüllt oder wie ein Korn Koschenille<sup>387</sup> eine große Menge klaren Wassers färben kann. Also die gesamte Masse dieser perfekt flüssigen Materie, imprägniert von den Partikeln des zweiten Elementes, um das Zentrum gedreht in der Form eines Wirbels, fahren mit der Bewegung in der einmal er-

<sup>384</sup> „mouvement“ wurde einfach so übersetzt, wie es im Text steht, obwohl es wie „Energie“ gebraucht wird.

<sup>385</sup> NEWTON, *Principia*, a.a.O., Lib.II, Sect.I, S.272, letztes Scholion und Sect. II, Prop.V, Theor. III S.273

<sup>386</sup> „sera en raison composée de la densité & du carré de la vitesse“

<sup>387</sup> Koschenille = Kaktus-Schildlaus; wurde zum Rotfärben benutzt.

reichten Geschwindigkeit fort; jedoch ist diese Geschwindigkeit, die in Äquaturnähe etwa im reziproken Verhältnis zur Wurzel aus dem Quadrat des Abstandes zum Zentrum stehen wird, wie an anderer Stelle gezeigt wurde, daß die Natur des Wirbels dies verlangt, bei weitem nicht so schnell, wie es diejenigen sich vorstellen, die mit DESCARTES glauben, daß die Planeten vom Wirbel um die Sonne geführt werden. Ich werde nämlich zeigen, daß die Planeten ein völlig anderes Prinzip ihrer jährlichen Bewegung haben und daß die Zirkulation der Materie des Wirbels für einen ganz anderen Gebrauch bestimmt ist, als den, die Planeten zu bewegen.

### XIX.

Ich betrachte jetzt wieder den Wirbel im Zustande seiner Entstehung: Von dem Moment an, in dem er begonnen hat zu zirkulieren, haben die Partikel des zweiten Elementes in Wahrheit ein wenig Zentrifugalkraft aufgenommen, ich sage *ein wenig*, weil nämlich ihre Drehbewegung sehr langsam ist im Verhältnis zu der, die sie haben müßten, um die Planeten zu bewegen, wenn man der Idee des Herrn DESCARTES folgt. Mittlerweile hat die Zentrifugalkraft, wie klein auch immer sie sei, die Partikel des zweiten Elementes ein wenig aufsteigen lassen, sich vom Zentrum entfernend. Sie haben sich derart einander angenähert und den Wirbelkörper dichter gemacht, als er vorher war, und die erreichte Dichte ist unterschiedlich gemäß der unterschiedlichen Entfernungen vom Zentrum, und die Unterschiedlichkeit der Partikel, sei es in Größe, Gestalt oder anderen Gegebenheiten will ich nicht ergründen, da sie mit meinem Entwurf nichts zu tun haben. Es genügt, daß ich sage, daß die größte Dichte sich im Wirbel befindet, vielleicht so wenig Konsequenz erzeugend, daß trotz dieser Dichte die Materie des zweiten Elementes noch so selten ist, daß die Bewegung eines Planeten kaum wesentlich vermindert würde während einer großen Zahl von Jahrhunderten.

### XX.

Währenddessen bleibt, durch Entfernung vom Zentrum und durch Verdichtung der Materie des zweiten Elementes, ein Raum um das Zentrum des Wirbels, der erfüllt ist von Materie des ersten Elementes, perfekt flüssig und untermischt überall zwischen die größeren Partikel, die infolge der Unregelmäßigkeit ihrer Gestalt sich in Teilen zusammengeschlossen haben und noch nicht genug Zentrifugalkraft erworben haben, um aus dieser unermeßlichen Menge von Materie des ersten Elementes herauszukommen.

### XXI.

Es ist diese unendlich flüssige Materie, zusammengeballt und eingeschlossen in den zentralen Raum jedes Wirbels, die das ausmacht, was man einen Fixstern nennt, oder die Sonne, die Zentrum des solaren Wirbels ist, mit dem ich meinen Leser unterhalten will. Alles, was ich darüber sagen werde, kann auf die anderen Wirbel angewendet werden, denn jeder ist unter den anderen, sowie umgeben von denen, die ihm in der Umgebung am benachbartsten sind.

### XXII.

Die gesamte Masse der Sonne, zusammengeballt um<sup>388</sup> das Zentrum ihres Wirbels wird, durch die erste Einprägung, diese Bewegung um ihr Zentrum, also eine Rotation, erhalten (wie man es aus ihren Flecken kennt), die sich auf 25 ½Tage in bezug auf die Fixsterne einstellt. Dies ist eine zu ruhige und zu langsame Bewegung, um eine einigermaßen beträchtliche Zentrifugalkraft zu erzeugen, wie ich weiter unten deutlich machen werde.

### XXIII.

Aber die Sonnenmaterie, die unendlich subtil ist, und deren kleinste Menge es auch ist, in Konsequenz auch von einer extremen Durchlässigkeit (Susceptibilité), diese Materie, sage ich, sollte sie kein anderes Bewegungsprinzip haben als dieses, von dem ich gerade gesprochen habe, aufgrund dessen der gesamte Sonnen- Globus sich mit hinreichend gleichförmiger Geschwindigkeit um seine Achse dreht, ganz wie sein Wirbel in jeder seiner Schichten? Es besteht kein Zweifel, daß die Materie der Sonne, außer ihrem Rotationsmoment noch darüber hinaus in einer sehr heftigen Unruhe begriffen ist, einer Unruhe, die sie von Anbeginn ihrer

<sup>388</sup> „antour“ im Text durch „autour“ ersetzt; verm. Druckfehler

Existenz mitbekam, und die nicht durch die Länge der Zeit vermindert wird, wie auch immer diese Unruhe sich unregelmäßig in jedem Sinne auswirken mag: Denn wie diese Flüssigkeit von der Eigenschaft ist, keinerlei Widerstand gegen in ihr schwimmende Körper auszuüben, ganz so wie wir es beschrieben haben, so folgt auch, daß sich ihre Teile, da sie keinerlei Zusammenhang untereinander haben, ebenfalls sehr frei bewegen werden, ohne daß sie sich gegenseitig behindern oder irgendeinen Widerstand gegeneinander auszuüben.

#### XXIV.

Schauen wir also nach, was mit den größeren und unregelmäßigen Teilen geschehen muß, von denen ich gesagt habe (§ XX.), daß sie hier und da in diesem Ozean von Materie des ersten Elementes untergemischt sind, und die durch die Unregelmäßigkeit ihrer Gestalt und der Langsamkeit ihrer Bewegung nicht genug Zentrifugalkraft erreichen um herauszugelangen und sich von der Sonne zu entfernen, wo, wenn es denn welche gibt, die sich entfernen, diese Entfernung sich nur auf eine gewisse Distanz erstrecken wird, zum Beispiel ganz bis zur Umlaufbahn der Erde, in einer Zeit vielleicht mehr als in einer anderen. Schließlich, je nach Zusammensetzung und Beweglichkeit dieser Korpuskeln, wird ein Teil ziemlich weit, ein anderer mehr oder weniger hoch sich anordnen, ganz dem Verhältnis der Zentrifugalkraft gemäß, die die Korpuskeln durch die Umdrehung der Sonne erhalten.

#### XXV.

Es ist wahrscheinlich diese Materie, die aus der Sonne aufsteigt, die eine gewisse flache<sup>389</sup> Atmosphäre um diesen Stern bildet, speziell im Bereich ihrer Äquatorebene, denn hier ist die Zirkulation am schnellsten und in Konsequenz die Zentrifugalkraft am größten. So besteht denn kein Zweifel daran, daß es diese Atmosphäre ist, die das Zodiaklicht verursacht, welches Herr CASSINI (*Vater*)<sup>390</sup> zum erstenmal am Abend des 18. März 1683 beobachtete, ganz so wie er es selbst im Journal des Savants vom 10. Mai desselben Jahres mitteilte. Nach ihm hat Herr FATIO DE DUILLIER<sup>391</sup> ebenfalls diese Lichterscheinung bemerkt, und zwar morgens im Herbst kurz vor Sonnenaufgang, woraus er zuerst geschlossen hatte, daß es am deutlichsten in diesen zwei Jahreszeiten erscheinen sollte, aus dem Wissen heraus, daß es im Frühling, nach Sonnenuntergang und im Herbst vor deren Aufgang, sei, denn in unseren Breiten würde die Ekliptik (vielmehr die Ebene des Sonnenäquators), auf dem sich das Licht (das man Zodiaklicht nennt) ausbreitet, steiler über den Horizont erheben und mehr einem Vertikalkreis annähern.

#### XXVI.

Nach dieser kleinen Abschweifung kehre ich zu meinem System zurück, das sich durch Erklärung der hauptsächlichsten astronomischen Phänomene entwickeln wird, darunter derjenigen, die die größte Aufmerksamkeit erfordert angesichts der extremen Schwierigkeit, die sich erhebt, wenn man eine wahrscheinliche physikalische Ursache dafür sucht, daß die Planetenbahnen von der Ebene des Sonnenäquators abweichen; dies um so mehr, weil es gegen die Ordnung und den Lauf der Natur erscheint, daß bewegte Körper nicht der bewegenden Ursache folgen an einer Stelle, wo die himmlischen Körper freies Feld haben, in dieser oder jener Richtung sich zu bewegen, zu der die bewegende Kraft sie lenkt.

Tatsächlich ist hier die Stelle, wo die Bewegung der Wirbel à la Cartésienne eine schreckliche Niederlage erleiden. Denn die Bewegung der Wirbel und die der Sonne um ihre Achse, die sich alle von Westen nach Osten vollziehen, haben ohne Zweifel ihre Ursache im gleichen Grund: Der Wirbel und die Sonne bilden eine Einheit. Die anfängliche Kraft, die den einen zum Drehen brachte, brachte auch den anderen dazu, woraus folgt, daß der Äquator des einen und der Äquator des anderen in der gleichen Ebene sein sollte. Also müssen auch die Plane-

<sup>389</sup> „platte“ im Text wurde durch „plate“ ersetzt, denn „platte“= altes Flußfahrzeug hätte keinen Sinn erbracht.

<sup>390</sup> CASSINI, Giovanni Domenico, 1625-1712, Direktor der Pariser Sternwarte; ältester der 4 Cassinis.

<sup>391</sup> Nicolas FATIO de DUILLIER, 1664-1753, beschrieb 1686 als erster das Zodiaklicht als regelmäßige Erscheinung; außerdem: *Lineae brevissimi descensus investigatio geometrica duplex*, London 1699

ten, die geruhsam in der Materie des Wirbels schwimmen (nach DESCARTES' Idee), auch absolut seiner Richtung folgen, ganz wie ein Boot in einem Fluß, wenn es sich selbst überlassen ist, bald vom Wasser dahingeführt wird und dem Verlauf des Stromes folgt. Indessen folgen die Planeten keinesfalls den Spuren des Flusses des Wirbels, sie brechen aus und beschreiben eigene Bahnen, deren Ebenen die gemeinsame Ebene von Wirbel und Sonne in der Knotenlinie, die durch deren gemeinsames Zentrum geht, schneiden. Und dies ist der Hauptpunkt der Schwierigkeit.

## XXVII.

Um mich darauf vorzubereiten, dieser Frage entsprechend zu entgegnen, fahre ich fort in meinen Überlegungen über die Effekte, die die heftige Unruhe der Materie des ersten Elementes hervorrufen muß, von der ich schon angefangen habe zu sprechen (§ XXIII): Ich betrachte zuerst diese Unruhe wie den stärksten Siedevorgang, den man sich ausdenken kann und noch viel stärker, jedoch sollte die Menge der unregelmäßigen Körper des zweiten Elementes, die sich darin verstreut finden, ihre Geschwindigkeit weder verlangsamen noch in irgend einer Weise die Heftigkeit dieses Siedevorganges verringern, denn wie ähnlich auch immer diese heterogene Materie von Korpuskeln ist, sie ist zahlenmäßig praktisch nichts im Vergleich zur gesamten Sonnenmasse und macht nicht mehr aus, als eine Prise Staub, die ich in einen großen Kessel siedenden Wassers werfen würde.

Während nun diese Korpuskeln keinerlei Ursache verschiedener beachtenswerter Effekte, sei es innerhalb oder außerhalb der Sonne sind, denn sie sind gezwungen sich der gleichen heftigen, konfusen Bewegung zu unterwerfen, können sie nur sich gegenseitig sehr häufig anstoßen mit einer großen Stoßkraft (*impétuosité*), wobei dann es dem Teil der größten und unregelmäßigsten gelingt, dem Auseinanderbrechen zu widerstehen, sich zusammenzuballen und endlich dicke Knäuel zu bilden, etwa so wie es Schneelawinen machen, die anwachsen, wenn sie mit zunehmender Eile die hohen Berge hinabstürzen. Ohne Zweifel beziehen die Sonnenflecken hieraus ihre Ursache für die unterschiedliche Größe und Gestalt, die man auf der Sonnenscheibe beobachten kann, die wahrscheinlich nichts anderes als diese großen Knäuel sind, irgendwie auf die Oberfläche der Sonne herausgeschleudert und anschließend von Neuem verschluckt.

Die Erscheinung der Flecken war den Astronomen eine große Hilfe. Sie hatten durch deren Bewegung auf der Sonnenscheibe den Vorteil, zwei Sachverhalte zu bestimmen: 1. Die Periodenzeit einer Umdrehung der Sonne um ihre Achse & 2. Die Lage ihres Äquators in bezug auf die Fixsterne. Daher wußten sie, daß die Rotationsrichtung im gleichen Sinne wie die Rotationsbewegung der Planeten um die Sonne abläuft, daraus folgernd auf die Ordnung der Sternzeichen<sup>392</sup>, ein sicheres Zeichen dafür, daß diese Bewegungen tatsächlich eine gemeinsame Ursache haben. Was den Äquator anbetrifft, haben sie durch ihre häufigen Beobachtungen herausgefunden, daß er keineswegs in gemeinsamer Ebene mit der Ekliptik oder der Umlaufbahn der Erde ist, auch nicht mit der anderer Planeten, sondern daß alle diese Umlaufbahnen verschieden geneigt sind untereinander und bezüglich des Sonnenäquators. Da diese Differenz sich keineswegs gut zu vertragen scheint mit der gegenseitigen Abhängigkeit, die zwischen der Bewegungsrichtung der Sonnenrotation und der ihres Wirbels herrschen muß, ist dies ja gerade der Anlaß, der die berühmte Akademie dazu gebracht hat, dafür einen physikalischen Grund zu verlangen. Jedoch bevor ich zur Lösung dieser wichtigen Frage komme, ist es notwendig, eine vollständige Erklärung meines Systems zu erreichen, damit die Beziehung zwischen allen Phänomenen, die damit so natürlich einhergeht, ins hellere Licht gebracht wird. Ich schmeichle mir, daß die Einfachheit genauso wie die Fruchtbarkeit des Prinzips, dessen ich mich bediene, all denen angenehm sein wird, die bevorzugen, daß ein System klar und einsichtig sei.

<sup>392</sup> „ordre des Signes“ im Text. Da *Signe* groß geschrieben ist, muß es sich wohl um eine spezielle Bezeichnung handeln. Nach dem Sinnzusammenhang können nur die Tierkreiszeichen gemeint sein?

### XXVIII.

Wir haben den Effekt betrachtet, den die dickeren und zusammengehakten Korpuskeln bewirken, indem sie durch ihr Zusammentreffen und ihr gemeinsames Wachstum die Sonnenflecken erzeugen. Jetzt jedoch gehe ich dazu über, über diejenigen zu meditieren, die weniger umfangreich und von zerbrechlicher Konsistenz sind. Ich sehe mit völliger Klarheit, daß jene nicht gegen die Heftigkeit und die Häufigkeit der Kollisionen bestehen können, ohne daß sie mehr und mehr zerbrechen und dadurch von einer Subtilität sind, die die Einbildungskraft übersteigt. Also besteht das überaus helle Licht und die extreme Hitze der Sonne aus dieser unglaublich heftigen Bewegung und der fortwährenden Kollision dieser kleinen Masseteilchen. Nun bleibt nur noch zu begreifen, wie das eine und das andere aus der Sonne heraus gelangt und zwar in jene immense Distanz und mit dieser außerordentlichen Geschwindigkeit.

### XXIX.

Ich weiß nicht, ob man mir so leicht zustimmen möchte, daß diese Masseteilchen zu einer quasi unendlichen Kleinheit reduziert sind und dazu in außerordentlicher, aufbrausender Erhitztheit<sup>393</sup>, so daß sie sich nicht mit dem ihnen zugewiesenen Raum begnügen können. Sie werden herausgetrieben und herausgejagt aus der Sonne, mit einer Geschwindigkeit, die größer ist, als alles, was man sich an Schnelligkeit vorstellen kann, und in gerader Richtung vom Zentrum zur äußeren Oberfläche (der Sonne) und von dort selbst (wie wir bald erfahren werden) zu der des Wirbels. Wir sehen wenigstens ein schwaches Abbild solcher Explosionen in den alkoholhaltigen Likören, wie sie von der Chemie erzeugt werden. Wenn diese stark geschüttelt und gerührt werden, geben sie einen Geruch ab, der sehr viel stärker und weitreichender ist, als im Ruhezustand. Dies ist ein sicheres Zeichen dafür, daß durch die Rührbewegung die Alkoholteilchen herausgestoßen werden und an jeden Ort in der Umgebung bis zu einer gewissen Entfernung verteilt werden.

Ich denke mir also, daß diese Ströme, die von der Sonne ausgehen, ohne Unterlaß in gerader Richtung durch den Effekt einer sehr heftigen Explosion, das sind, was man die Sonnenstrahlen nennt, die zu allen Stellen, die sie treffen, das Licht und die Wärme bringen, in der Art wie man jetzt genugsam weiß und bei der ich mich lange Zeit aufgehalten habe.

### XXX.

Vor allem muß ich jetzt auf zwei Einwände eingehen, die man mir machen könnte. Der erste besteht darin, warum durch den fortgesetzten Fluß der Masseteilchen, der ja seit Anbeginn der Schöpfung anhält, die Quelle der Strahlung, die in der Sonne ist, nicht endlich versiegt, warum sie niemals Mangel an Masse verspürt? Der zweite Einwand besteht darin, daß man mich fragen wird, woher es kommt, daß die Strahlen, die die Weiten des Himmels durchqueren, nichts von ihrer Schnelligkeit verlieren? Was den letzten der Einwände anbetrifft, den ich zuerst beantworten werde, so sage ich ohne Umschweife, daß jeder Wirbel nur eine Masse von Materie des ersten Elementes darstellt, jedoch ohne innere Anregung, diese findet sich nur in der Sonne und den anderen Fixsternen, und daß in dieser Wirbelmasse sehr wohl eine Menge von Partikeln des zweiten Elementes enthalten ist, aber sehr weit voneinander verstreut. Man sieht sofort, daß, da Materie des ersten Elementes keinen Widerstand leistet, die Strahlen sie quasi ohne Widerstand seitens der Materie passieren werden. Außerdem bewirkt der große Zwischenraum, den die Partikel aus Materie des zweiten Elementes zwischen sich lassen, sowie die extreme Subtilität der Masseteilchen, aus denen die Strahlen bestehen, daß es fast keinen Grund gibt, Behinderungen bei der Passage zu befürchten. Und wenn doch aus Zufall sich die eine oder andere Begegnung auf dem Weg von solchen Partikeln ereignen wird, so wird die ses Teilchen schnell zurückgestoßen und von dem kontinuierlichen Fluß der Strahlen beseitigt.

---

<sup>393</sup> „effervescence extraordinaire“ im Text.



### XXXI.

Was jedoch den ersten Einwand anbetrifft, er verdient größere Aufmerksamkeit. Dies um so  
 5 mehr, insofernhin als die Antwort, die ich hier geben werde, mir direkt den Weg öffnet, um  
 zur Kenntnis der physikalischen Ursache eines der wichtigsten Phänomene zu gelangen, ich  
 spreche von der Schwere. Ich werde also die Antwort überarbeiten, damit sie vollständig ge-  
 geben ist, denn ich werde das Problem der Schwere in all seinen Bereichen zu erklären haben.  
 Vorerst genügt, daß ich kurz nebenbei<sup>394</sup> mitteile, daß der Verlust an Sonnenmaterie, der  
 10 durch das Aussenden der Strahlen entsteht, in jedem Augenblick ausgeglichen wird durch  
 eine gleich große Menge an Materie, die, von den äußeren Bereichen des Wirbels stammend,  
 sich von allen Seiten in die Sonne stürzt. Ich werde diesen Prozeß noch darstellen.  
 Kehren wir also zu den Strahlen der Sonne zurück, durch deren Ausbreitung das Licht ver-  
 breitet wird. Seit langem hat man sich abgewöhnt, mit DESCARTES zu glauben, daß diese  
 15 Ausbreitung augenblicklich (instantan) stattfände, wie ein Schlag, der sich von einem Ende  
 zum anderen über die ganze Länge eines Stabes ausbreitet, wenn er an einer äußeren Stelle  
 ausgeübt wird. Die Beobachtung, die Herr RÖMER<sup>395</sup> gemacht hat, zeigt eindeutig, daß das  
 Fortschreiten des Lichtes successiv, wenn auch außergewöhnlich schnell ist. Es durchläuft  
 20 nämlich den Durchmesser des Jahreskreises der Erde in der Zeit von 22 Minuten, das heißt  
 also, daß es in einer einzigen Minute den Weg von tausend Erddurchmessern zurücklegt,  $16\frac{2}{3}$   
 Durchmesser in einer Sekunde. Eine solche Geschwindigkeit, die sechshunderttausendmal  
 größer ist als die des Schalles, erschien Herrn HUYGENS zu groß, um zu glauben, daß die  
 Verbreitung des Lichtes tatsächlich durch Materietransport vom leuchtenden Objekt bis zu  
 uns bewirkt werde. Daher hat er vorgezogen, sich diese Ausbreitung auf der Basis der  
 25 Schallausbreitung vorzustellen, die durch sphärische Wellen bewirkt wird, so wie man es in  
 seiner Schrift „Traité de la Lumière“<sup>396</sup> sieht, damals tatsächlich sehr einfallsreich. Dort stellt  
 er dar, wie die Partikel, die den Strahl darstellen, sich nacheinander anstoßen, ohne daß sie  
 ihren Platz verlassen, wie es kleine elastische Kugeln machen würden, die, einander berüh-  
 rend, an einem langen Faden aufgereiht, vom ersten in Bewegung gesetzt würden, indem er  
 30 den zweiten anstößt, dieser wieder den dritten, und so in Folge würde die Bewegung der ers-  
 ten Kugel übertragen bis zur letzten über dazwischen liegende Kugeln.

### XXXII.

Ich will gar nicht von der Unmöglichkeit des Zufalls sprechen, der erforderlich ist, damit alle  
 diese kleinen Kugeln sehr exakt und streng geometrisch in gerader Linie angeordnet sind.  
 Denn das sagt er auch noch, daß, wenn eine der Kugeln zufällig drei oder mehrere andere  
 35 träfe, daß sich dann die Kommunikation in gerader Linie mit den nachfolgenden nicht mit  
 derselben Geschwindigkeit machen ließe, und dies ist sehr falsch, gegen die Regeln der Ver-  
 mittlung der Bewegung. Ohne dabei von dieser Unbequemlichkeit<sup>397</sup> zu sprechen, sieht man  
 sehr wohl, daß er nichts gewinnen könne, um diese Schwierigkeiten zu überwinden, wenn er  
 auch noch diese enormen Geschwindigkeiten zu verstehen hätte, die man unterstellen muß,  
 40 wenn die Materie der Strahlen tatsächlich vom strahlenden Objekt über größte Distanzen  
 transportiert werden muß. Denn wenn man ihm diese Art der Übermittlung der Bewegung  
 von einer Kugel zur nächsten zugestehen würde, wäre es dann nicht notwendig, daß jede in  
 Folge dieselbe Geschwindigkeit von der vorhergehenden empfinde, und daß die Geschwin-  
 digkeit dieser Übertragung von einer auf die andere nicht noch unverständlicher wäre, denn  
 45 wenn diese Geschwindigkeit einmal jeder Kugel eingepreßt ist, dann macht diese nichts, als

<sup>394</sup> „en passant“ im Text.

<sup>395</sup> RÖMER, Ole Christensen 1644-1710; berechnete die Lichtgeschwindigkeit zu 42000 Meilen pro Se-  
 kunde aus der Verfinsterung der Jupitermonde

<sup>396</sup> Huygens, Christian, TRAITÉ DE LA LUMIÈRE. Leiden 1690. Nachgedruckt in

Soc. Holl. d. Sciences [Hrsg.], Oeuvre complètes de Christian Huygens, La Haye 1937; Tome XIX

<sup>397</sup> „unconvénient“ im Text.

diese beizubehalten, bis schließlich nichts auf ihrem Weg ihnen widerstehen könnte, was wir hiermit gezeigt haben ?

Darüber hinaus, woher haben die Kugeln ihre Elastizität, wenn man in Betracht zieht, daß die Körper natürlicherweise ohne Spannkraft<sup>398</sup> sind, und sollten sie diese haben, so müßte man eine Ursache angeben, die sie hervorbringt. Denn die Idee, daß man einen Körper hat, umschließt nicht die der Elastizität, andernfalls wäre jeder Körper elastisch, was wiederum gegen die Erfahrung ist. Also, gemäß HUYGENS, muß man eine völlig andere Art von Materie noch unterstellen, die unvergleichlich subtiler als jene Kugeln wäre, die die Lichtstrahlen bilden, jene sind schon von einer solch großen Subtilität, daß sie leicht durch die engsten Poren drängen, so wie bei Gläsern, Kristallen, Diamant: Kurzum, es wäre eine völlig andere Materie, die mit unbegreiflicher Geschwindigkeit in die Kügelchen des Lichtes eindringe und sie mit dieser perfekten Elastizität ausstattete.

Also ist Herr HUYGENS, weit davon entfernt diese Schwierigkeit, die, gemäß ihm, darin besteht, daß ein effektiver Transport von Lichtteilchen von solch großer Geschwindigkeit angenommen wird, zu meistern, darauf reduziert, in der Materie, die eine Spannkraft besitzt, eine viel größere Geschwindigkeit zu unterstellen. Oder will er vielleicht, daß die Elastizität ihr innewohnend oder essentiell sei, und dies ganz ohne die Notwendigkeit zu verspüren, dafür einen äußeren Grund anzuführen? Das hieße doch der Materie eine ebenso unverständliche Qualität beizumessen<sup>399</sup>, wie es die anziehende Tugend ist, die die Herrn NEWTONIANER so frei den Körpern zuschreiben, wobei sie sich kaum Mühe machen, ob man sie hört oder nicht. Im Falle der Physik besteht Grund, die Angewohnheit derer zurückzuweisen, die zur Erklärung irgendwelcher Phänomene Zuflucht zu chimärischen Prinzipien suchen, die noch viel obskurer sind, als die die sie erklären sollen.

### XXXIII.

Nach dieser Diskussion, werden wir es nicht mehr (nur) als Hypothese betrachten, daß die kleinen Massen, die sehr fein sind, (welche ich „massules“ nenne), die sich in der Sonne durch deren heftige innere Bewegtheit bilden, fortwährend aus der Sonne herausgeschleudert werden, und zwar mit der notwendigen Geschwindigkeit, um tausend Erddurchmesser in einer Minute zu durchqueren. Da diese Explosion sich nach allen Seiten, oder nach allen Himmelsgegenden<sup>400</sup> der Welt ausbreitet, ist einsichtig, daß es so viele von der Sonne ausgehende Strahlen gibt, wie man sich gerade Linien von ihrem Zentrum zum Umfang ihres Wirbels vorstellen kann, und daß jeder Strahl eine gerade Linie von unendlich vielen Masseteilchen darstellt, die sich unmittelbar eines nach dem anderen mit dieser außergewöhnlichen Geschwindigkeit folgen.

Wegen deren extremer Kleinheit hindert nichts daran, zu verlangen, daß sie frei die Poren von größeren Körpern, die sie antreffen, durchqueren, wie es die Planeten und deren Atmosphären sind, ohne daß sie einen anderen Effekt bewirken als Licht und Wärme. Das Licht endet an der Oberfläche der Körper, zumindest solange die Poren nicht in gerader Linie angeordnet sind, in welchem Fall das Licht weiter hinein gelangt mit seinen Strahlen. Denn diese gehen auf jeden Fall hindurch, (oder zumindest der größere Teil) von einem Teil zum nächsten, auch wenn sie genötigt werden, sich zu schlängeln, durch Körper, die man *durchscheinend* (*opaques*) nennt, dies aufgrund der Umwege und schrägen Ausbuchtungen der Poren, aber auf jeden Fall ohne von ihrer Geschwindigkeit zu verlieren. Die Poren sind nämlich hinreichend groß, um freien Durchgang zu gestatten, sie verändern lediglich die Richtung (der Strahlen) und unterbrechen damit den Lichteffect, der Fortsetzung in gerader Linie verlangt.

Was die Wärme anbetrifft, die durch die kontinuierliche Reibung verursacht wird, welche die inneren Poren und deren Umgebung erleiden, wenn die Strahlen sie passieren und die kleinen Filamente anregen, die von jener Umgebung ausgehen, so ist klar, daß die durchscheinenden

<sup>398</sup> „ressort“ im Text. Gemeint ist „Rückstellkraft“.

<sup>399</sup> „attribuer“ im Text.

<sup>400</sup> „plage“ = Strand mußte hier wohl als poetisches Sprachbild gemeint sein.

Teile der Körper, indem sie in verschiedener Weise in Schwingung versetzt werden, diese Qualität empfangen, die man *Wärme* nennt.

#### XXXIV.

5 Es ist keineswegs meine Absicht, mich länger mit der Erklärung dieser beiden Effekte , Licht und Wärme, zu befassen, ich hätte von ihnen überhaupt nicht gesprochen, denn sie sind außerhalb meines eigentlichen Themas, wenn nicht die kleine Beschreibung meines Systems, (die ich vorab geben muß, bevor ich eine mutmaßliche Lösung unserer Frage geben kann), mich direkt darauf geführt hätte.

10 Ich nehme also den Faden meiner Untersuchung wieder auf, um zu sehen, was mit den Sonnenstrahlen weiter geschieht, nachdem sie die Planeten durchquert haben, jedoch auch genau so mit denen, die sie nicht durchquert haben, wenn sie jenseits der Region des Saturn angelangt sind, wo sie keinerlei Planeten mehr treffen bis zum Rande des Wirbels: oder wenigstens, falls es in diesem riesigen Raum<sup>401</sup> noch einige andere Planeten geben sollte, so sind sie wegen ihrer Entfernung oder ihrer Kleinheit nicht sichtbar.

15 **XXXV.**

Die Masseteilchen, die in einer Reihe hintereinander die Strahlen bilden, sind von sehr großer Seltenheit, wenn sie am äußersten Rande des Wirbels angelangt sind, was daher kommt, daß alle, die in gerader Linie auf einmal die Oberfläche der Sonne verlassen, dann dort über die gesamte Oberfläche des Wirbels verteilt sind, infolgedessen ist es evident, daß, da die Dichte in reziprokem Verhältnis zum Raum steht, den eine gleiche Masse einnimmt, die Dichte ihrer Masse im Moment, da sie die Sonne verlassen, sich zu der Dichte der gleichen Masse, die über die Oberfläche des Wirbels verteilt ist, reziprok zum Verhältnis des Quadrates des Halbmessers des Wirbels zum Quadrat des Halbmessers der Sonne verhält. Aus diesem Grund, wegen der sehr großen Seltenheit der Materie der Sonnenstrahlen, sieht es so aus, als ob das Licht in dem gleichen Verhältnis geschwächt<sup>402</sup> würde, jedoch lassen diese nicht davon ab, ihren Weg mit der gleichen Geschwindigkeit fortzusetzen und nicht nur in die benachbarten Wirbel einzudringen, sondern sie zu durchqueren, und danach weitere entferntere, um ihr Licht, auch wenn es sich extrem abschwäche, in immense Distanzen zu tragen. Es ist sehr notwendig, daß das so ist, denn ohne dies würden die Fixsterne, die ihr Licht in unseren Wirbel schleudern, und zwar durch mehrere andere , die zwischen ihnen<sup>403</sup> sind, nicht sichtbar sein.

#### XXXVI.

Wir betrachten indessen einen anderen Effekt, der auf die Materie der Strahlen einwirken sollte, wenn diese an der äußersten Grenze ihres Wirbels gelangt ist und bereit ist, dahin überzutreten, was an ihn angrenzt: Es ist sehr wahrscheinlich und nach allen Gründen der Wahrscheinlichkeit sicher, daß unter den Millionen und Milliarden Masseteilchen, die sich in jedem Augenblick an der gesamten Oberfläche des Wirbels einfinden und von denen die größte Zahl sich darüber hinaus bewegt, sich auch eine sehr beachtliche Anzahl befindet, die sich auf jeden Fall mit ähnlichen Massen treffen, die aus den Tiefen der Wirbel, die den unseren umgeben, herausgetrieben werden und mit den ersteren mit der gleichen Kraft zusammenschmelzen. Daraus folgt nun, infolge der Tatsache, daß, da diese Masseteilchen natürlich keine Spannkraft haben, wie ich es schon vorstehend gesagt habe, in allen Fällen diese beiden Masseteilchen aus verschiedenen Wirbeln kommend sich direkt stoßen und alle beide ihre Bewegung verlieren, sie verharren ganz kurz zusammengeklebt und bilden auf diese Weise eine neue ruhende Masse, die zweimal so groß ist, wie diejenige, die jede vorher hatte. Es kann selbst geschehen, ohne daß dabei der Zufall eine allzu große Rolle spielen muß, daß mehrere dieser neuen Masseteilchen in Ruhe auf einen Schlag von zwei anderen primitiven gestoßen

<sup>401</sup> „vaste étenduë“ ist sprachlich poetischer als hier die Übersetzung.

<sup>402</sup> Im Text steht „affoible“, was übersetzt wurde wie das heutige „affaible“.

<sup>403</sup> Im Text steht „deux“, dürfte aber Druckfehler sein und „eux“ meinen.

werden, das eine von der einen Seite, das andere von der anderen gegenüberliegenden Seite. In diesem Fall wird von neuem belegt, infolge der Regeln der Kommunikation der Bewegung zwischen Körpern ohne Spannkraft, daß der zweite Stoß, der die Bewegung des ersten Stoßes zerstört, sie beide an die zwei ersten klebt und daraus ein kleines Knäuel<sup>404</sup> in Ruhe formt, welches viermal so groß ist, wie die primitiven Masseteilchen.

Auf diese Weise kann ich klar entwickeln, daß die Knäuel mehr und mehr wachsen können, bevor sie durch Stöße aus ihrer Ruhe gejagt werden, Stöße, die aus einer Richtung kommen, sei es, daß sie dann zusammen in die Sonne zurückkehren, sei es, daß sie zusammen in einen der benachbarten Wirbel eindringen, falls der Stoß aus der Richtung des Sonnenwirbels kam.

### XXXVII.

Und so sehen wir denn unseren Sonnenwirbel und jeden der anderen umgeben von einer Art Schleier, gewirkt in seltener und poröser Art, dessen Teile nicht miteinander verbunden sind, so daß die größte Zahl der Masseteilchen, die die Strahlen bilden, ihn frei passieren können, um weiter fortzuschreiten<sup>405</sup> und von einem in den anderen Wirbel überzugehen. Jedoch infolge ihrer unendlichen Vielzahl wird es immer genug vom Zufall gelenkte von ihnen geben, die zentral auf Knäuel stoßen, die dort sind, ohne Aktion und in Ruhe, und folglich indifferent sich verhalten, so daß sie mitgeführt werden in die jeweilige Richtung, in die sie gestoßen werden, das heißt, die einen um in die Sonne hinabzusteigen, die anderen, um in einen neuen Wirbel einzutreten. Es kann sogar geschehen, daß auf ihrem Weg sich einige dieser Knäuel mit anderen in der gleichen Richtung bewegten vereinigen und durch diese neue Vergrößerung wachsen.

Auf diese Weise stellen wir uns vor, daß kontinuierlich vom Himmel ein im Überfluß vorhandener, ungestümer Regen von Knäueln herabsteigt, die in die Tiefe zurückgestoßen werden durch Masseteilchen, die aus den benachbarten Wirbeln stammen.

### XXXVIII.

Ich werde jetzt nun meine Überlegungen über die Natur und den Effekt dieser Flut von Knäueln darlegen, der aus allen Teilen der Wirbeloberfläche aufs Zentrum hin stürzt und den ich deshalb den ZENTRALSTROM<sup>406</sup> nennen werde. Denn sein Gehalt an Materie ist tatsächlich reichlich genug<sup>407</sup>, wenn sie sich mit hoher Geschwindigkeit wie ein andauernder Strom auf die Sonne stürzt. Genau aus dieser Materie ergänzt die Sonne ihre Nahrung, um den Verlust auszugleichen, den sie ohne Unterlaß durch die Aussendung der Massefäden, ich will sagen, der Strahlen, erleidet. Das ist ungefähr so, wie der Wasserverlust des Ozeans, sei es durch Verdampfung oder durch Versickerung in den Poren der Erde auf die eine oder die andere Weise. Jedenfalls löst sich alles in Dampf auf, gleicht die Hitze aus, und endlich bilden sich aus einigen Teilen Tropfen, die in Form von Regen wieder zur Erde fallen oder aus erhöhten Stellen der Erde heraustreten, um kleine Bäche zu bilden, die ihrerseits auf ihrem Lauf die großen Ströme formen, bevor sie das Meer zurückgewinnen.

Oder könnte man nicht auch diesen anderen Vergleich ziehen, indem wir uns von dem, was wir vom Rauch sehen, anregen lassen, der Rauch, der sich von brennbarer Materie erhebt und von dem ein Teil sich am Rauchfang des Kamins anlagert, Ruß<sup>408</sup> bildet, welcher nach und nach durch Vereinigung mit kleinen Partikeln des Rauchs eine immer fettere Konsistenz bekommt, bis er sich schließlich löst und auf den Herd zurückfällt. So also antworte ich auf den ersten Einwand, den ich im § XXX formuliert habe. Oder, es ist auch, ohne daß ich es

<sup>404</sup> „peloton“

<sup>405</sup> „fortir“ als Vokabel konnte nicht übersetzt werden und wird hier nur im Gesamtsinn frei wiedergegeben. „ihn verstärken“ schied m.E. wegen fehlendem Objekt und der Sinnggebung an dieser Stelle aus.

<sup>406</sup> „Torrent central“, nach der Wortbedeutung muß man sich diesen STROM als reißendes Wasser vorstellen. Ich verwende Großbuchstaben, weil der Verfasser seinen Begriff immer groß am Anfang schreibt, ein Verfahren, was in deutschem Text nicht nachgeahmt werden kann.

<sup>407</sup> „sa matière est assés copieuse..“ wörtlich.

<sup>408</sup> „suye“ im Text = „sue“

sage, einigermaßen einsichtig, daß die in die Sonne zurückgekehrten Knäuel zuerst gezwungen sind, der konfusen und heftigen Bewegung zu folgen, die in der gesamten Sonnenmasse herrscht, so daß es nicht lange dauert, bis sie durch die häufigen Zusammenstöße in ihren früheren Zustand von Kleinheit reduziert sind, das heißt in die Form von Masseteilchen, die wieder geeignet sind, die notwendige Explosion zu erleiden für das Herausschleudern von Strahlen, ganz wie der Ruß, wenn er zurückgefallen ist ins Feuer, wieder brennt, sich auflöst und ein zweites Mal in Rauch aufgeht und aufsteigt.

In all dem sehe ich nichts, was diese Imagination erschüttern könnte. Jedoch stellt sich eine Schwierigkeit ein, sich vorzustellen, daß der ZENTRALSTROM bis zur Sonne absteigen könnte, ohne daß die Knäuelstrukturen sich gegenseitig am Absteigen hindern, bevor sie an der Oberfläche der Sonne ankommen. Denn wenn die Knäuel noch in Ruhe die gesamten Himmelsweiten des Umfangs des Wirbels besetzen und sich dann zur Oberfläche der Sonne begeben, wo sie einen Bereich einnehmen sollen, der quasi unendlich viel kleiner ist, so ist es zweifellos notwendig, daß die Dichte der Knäuelstrukturen unendlich werde im Vergleich zur Dichte, den die Knäuel untereinander hatten, während sie am Rande des Wirbels verstreut waren: Also, es scheint, daß die Knäuelstrukturen sich endlich seitlich berühren müssen, wenn sie absteigen, bevor sie den vollständigen Abstieg erreicht haben: Wenn dies aber geschieht, dann ist es augenscheinlich, daß diese Strukturen des Sturmes nicht weiter absteigen können, ohne daß die Knäuel sich durchdringen, woraus folgt, daß der Sturm innehält und in einer gewissen Entfernung zur Sonne aufgehängt bleibt.

Um diese Schwierigkeit zu beheben, werde ich nur sagen, daß, auch wenn die Strukturen hinreichend gepackt um den äußeren Umfang des Wirbels angeordnet sind, nichts daran hindert, sich vorzustellen, daß ihre Zwischenräume so weit verkleinert werden können, wie man nur will, vorausgesetzt man unterstellt, daß die Summe aller Durchmesser der Knäuel, die um den Wirbel gelagert sind, nicht den Umfang der Sonne übersteige: Auf diese Weise werden wir leicht verstehen, daß der Sturm bis zur Oberfläche der Sonne absteigen wird, ohne daß sich die Strukturen berühren. Es ist wahr, damit dies geschehe, müssen Knäuel von extremer Subtilität unterstellt werden, ungeachtet dessen, daß der kleinste unter ihnen eine Masse habe, die drei mal so groß wie die eines Masseteilchens der Sonnenstrahlen sei. Die unendliche Teilbarkeit der Materie erlaubt, den Partikeln eine solche Subtilität zu geben, die man als passend erachtet. Es gibt also keinen Widerspruch festzustellen, daß unsere Knäuel die gesamte Oberfläche des Wirbels bedecken und so eng untereinander zusammengepackt sind, wie man will. Sie können dennoch, wenn sie zur Sonne gelangen, genug Raum auf der Oberfläche finden, um dort weithin zu lagern, ohne daß eines das andere berühre.

## Zweiter Teil

### XXXIX.

Nachdem ich einen hinreichend einsichtigen Eindruck, wie mir scheint, von der Erzeugung unserer Knäuel gegeben habe, die den ZENTRALSTROM bilden sollen, fahre ich in meiner Theorie fort, um aus ihr die Ursachen der Phänomene und Tatsachen am Himmel abzuleiten. Ich beginne mit der Erklärung der Ursache der Schwere. Zu diesem Zweck werde ich zuerst Bemerkungen über die jeweilige Größe bzw. Geschwindigkeiten machen, die diese Knäuel erreichen können, indem sie ja in Bewegung gesetzt wurden durch Masseteilchen, die von äußeren Wirbeln stammen. Nach dem, was ich gerade erklärt habe, ist zuerst offenbar, daß die kleinsten Knäuel, die den ZENTRALSTROM bilden, aus mindestens 3 Masseteilchen bestehen, da man weiß, daß zwei durch ihren direkten Zusammenstoß zur Ruhe kommen und erst das dritte ihnen einen Impuls erteilt, worauf sie zusammen zur Sonne hinabsteigen, einen einzigen kleinen Körper bildend, den ich *Knäuel* (peloton = Knäuel) genannt habe, und dessen Geschwindigkeit (gemäß den Regeln des Austauschs der Bewegung von Körpern ohne Spannkraft) ein Drittel der Geschwindigkeit der einzelnen Masseteilchen vor dem Zusammenstoß beträgt.

Die zweite Sorte von Knäueln ist die, die aus 5 Masseteilchen besteht, indem zwei ihre Be-

wegung durch direkten Zusammenstoß verloren haben, zwei andere sie zur gleichen Zeit<sup>409</sup> getroffen haben, aus direkt entgegengesetzter Richtung kommend, aufgrund dessen sie ebenfalls ihre Bewegung verlieren und nur die Masse des Knäuels vergrößern, jetzt aus 4 Masseteilchen bestehend und immer noch ohne Bewegung, bis das 5. von außen kommt und sie anstößt, worauf sie zusammen wie eine gemeinsame Masse mit dem 5. Teil der Geschwindigkeit eines Masseteilchens absteigen. Die 3., 4., 5. Sorte der Knäuel und so in weiterer Folge ist aus 7 Masseteilchen, aus 9, aus 11 usw. zusammengesetzt und sie steigen mit  $\frac{1}{7}$ ,  $\frac{1}{9}$ ,  $\frac{1}{11}$  usw. der Geschwindigkeit eines Masseteilchens ab. Ich behaupte indessen nicht, daß die Bildung unserer Knäuel so regelmäßig vonstatten gehe, wie wir es gerade beschrieben haben. Es kann sehr wohl geschehen, daß ein schon in Bewegung gesetztes Knäuel auf ein anderes trifft, was noch in Ruhe ist oder eine kleinere Geschwindigkeit hat, in welchem Falle sich daraus ein größeres Knäuel bilden wird, das eine Geschwindigkeit gemäß der Kombination der unterschiedlichen Größe und Geschwindigkeiten der Teilmassen annehmen wird. Nehmen wir allgemein ein Knäuel der Masse  $A$  mit der Geschwindigkeit  $m$  an, die unter sich an ein Knäuel der Masse  $B$  stößt, welches schon eine , aber eine kleinere, Geschwindigkeit  $n$  besitzt. Die Masse des zusammengesetzten Knäuels wird  $A+B$  sein und eine Geschwindigkeit annehmen  $= (mA+nB) : (A+B)$ , gemäß den Regeln für den Austausch der Geschwindigkeiten für unelastische<sup>410</sup> Körper. Mein Ziel war, verständlich zu machen, daß der ZENTRALSTROM zusammengesetzt sein muß aus Knäueln aller Arten von Größen und Geschwindigkeiten, mit denen sie gegen die Sonne streben.

#### XL.

Wir können nun aus all diesen Knäueln von unterschiedlicher Größe und Geschwindigkeit, eines von mittlerer Größe und mittlerer Geschwindigkeit nehmen, welche auch immer es sei, zum Beispiel, daß es zehn- oder hundertmal größer als eines der Masseteilchen sei, und daß es den hundertsten oder zehnten Teil der Geschwindigkeit<sup>411</sup> desselben habe: Eine exakte Bestimmung der Umstände ist für meinen Entwurf in keiner Weise notwendig. Es ist genug, daß ich mir den ZENTRALSTROM in Form einer Flüssigkeit ausdenken kann, der von diesen Knäueln gebildet wird, die von oben nach unten gestoßen werden, ausgehend von der gesamten Oberfläche des Wirbels und bis in die Sonne hinein, ferner daß es dieser Flüssigkeit des STROMES niemals an Materie mangelt, der sich, wie wir es gezeigt haben, mit einer großen Geschwindigkeit bewegt.

Denn wenn auch diese Geschwindigkeit tausendmal kleiner sei, als die eines einzelnen Masseteilchens, welche ja die der Lichtgeschwindigkeit ist, so würde diese Geschwindigkeit des ZENTRALSTROMS immer noch jene sehr beachtlich sein lassen, denn, gemäß dessen, was wir schon angemerkt hatten (§ XXXI), sie würde immer noch hinreichend groß sein, um in der Zeit von einer Minute die Länge des gesamten Erddurchmessers zurückzulegen. Der ZENTRALSTROM mit einer solchen Geschwindigkeit wird in der Lage sein, um einen solchen speziellen Effekt auf einen Körper auszuüben, den er auf seinem Weg antrifft, und dieser Effekt ist genau die Gravitation der Planeten bezüglich der Sonne: Und so stelle ich mir vor, wie die Sache vonstatten geht.

#### XLI.

Die Poren und Zwischenräume zwischen den irdischen elementaren Teilen, die die Planeten bilden, sind hinreichend groß, um die Strahlen von Masseteilchen, die von der Sonne ausgehen, ohne Widerstand passieren zu lassen. Jedoch später, wenn sie zurückkehren, hat eine ansehnliche Menge von den gleichen Masseteilchen sich in kleinen Knäueln gruppiert, die die

<sup>409</sup> „tems“ im Text wurde durch „temps“ ersetzt. Offensichtlich Druckfehler.

<sup>410</sup> „non-élastiques“ steht in diesem Terminus im Text.

<sup>411</sup> Reihenfolge entspricht dem Text, sollte aber richtigerweise vertauscht sein, also „...zehnten oder hundertsten Teil der..“.

Materie des ZENTRALSTROMS darstellen, und von denen das kleinste mindestens dreimal so groß ist, wie ein Masseteilchen. Es ist damit hinreichend einsichtig, daß die Knäuel nicht mehr so leicht die gleichen Poren der irdischen Körper passieren: Daher kommt es, daß der ZENTRALSTROM eine kontinuierliche Wirkung auf den Planeten ausübt, auf den er trifft, die ihn tiefer gegen das gemeinsame Zentrum des Wirbels stößt, in gleicher Weise wie ein Wasserstrom, der gegen ein Hindernis strömt, gegen dieses eine konstante Anstrengung un-

5 terminiert, die gleich der Kraft ist, mit der das Hindernis widersteht.  
Es gibt keinerlei anderen Unterschied zwischen diesen beiden Aktionen außer dem, daß das Wasser nur gegen die äußeren Oberflächen der Körper schlägt, die ihm widerstehen, während  
10 bei unserem ZENTRALSTROM, da er Knäuel jeder Größe mit sich führt, die kleinsten (Knäuel) bis zu kleineren Poren eindringen werden, bevor sie ihre Kräfte verlieren. Infolgedessen werden sie sie (die Kräfte) den inneren Teilen der irdischen Körper einprägen, während die größeren Knäuel ihre Kräfte verbrauchen, indem sie auf die äußere Oberfläche der Planeten aufschlagen, nachdem sie einen Teil (ihrer Kräfte) schon dazu benutzt haben, um  
15 den Widerstand der Atmosphäre, die die Planetenkörper umgibt, zu überwinden.

Die Knäuel, die einen Rest ihrer Bewegung nach ihrer Passage durch den Planeten behalten, verfolgen ihren Weg nach der Sonne weiter, jedoch diejenigen, die ihre gesamte Kraft aufgebraucht haben, sei es, daß dies nur beim Durchqueren der Atmosphäre war, sei es an der äußeren Oberfläche des Planetenkörpers, die bleiben dort ohne Bewegung, denn durch das kontinuierliche Nachströmen von neuer Materie des Wirbels sind sie nur genötigt, Platz zu machen, indem sie zur Seite ausweichen und sich von dem seitlichen Fluß des STROMES treiben lassen, der nur den Planeten oder seine Atmosphäre streift.

## XLII.

Ich glaube, daß man nicht noch mehr verlangen könnte, um die Ursache der Schwere der Planeten gegen die Sonne zu erklären. Die kurze, aber klare Erklärung, die wir dafür gegeben haben, beinhaltet alle Verdeutlichungen, die man für die diversen Besonderheiten und Umstände, die die Natur dieser Gravitation begleiten, verlangen kann. Denn man sieht,

1. daß nicht allein der gesamte Planetenkörper schwer sein muß, sondern auch jedes seiner Teile in seiner speziellen Art es auch im Verhältnis zu seiner Masse sein muß, denn die Materie des ZENTRALSTROMS durchdringt und wirkt auf dem Planeten in all seinen Dimensionen, in seinen inneren Partien genauso wie auf die äußeren. Man bemerkt,
2. warum die Gravitationskräfte, welchen die Herren NEWTONIANER eine anziehende Eigenschaft zuschreiben, dies untereinander im umgekehrten Verhältnis des Quadrats des Abstandes zur Sonne sein müssen. Ist es doch evident, daß die Ausläufer<sup>412</sup> des STROMES nach den Seiten hin schmaler werden, und zwar in dem Maße, wie sie sich der Sonne nähern, und daß ihre Dichte, von der die Berechnung ihrer absoluten Kräfte abhängt, diese gleiche Proportion einhält, ganz wie auch die Strahlen ein Licht produzieren, dessen Lebhaftigkeit sich wie deren Dichte verhält, das heißt umgekehrt zum Quadrat des Abstandes zum leuchtenden Punkt. Es ist ferner
3. klar, daß die elementaren Partikel der dickeren Körper ( ich meine die kleinsten, die solide sind und ohne Poren ) nur Einwirkung der Schwerkraft an der Oberfläche erhalten. Da nämlich diese Partikel keine Poren haben, kann keine Materie des STROMES in das Innere dringen, die die Schwere verursachen könnte.

45 Mir scheint, daß allein schon diese Betrachtung klar die Nichtigkeit<sup>413</sup> der vorgeschlagenen Anziehung sichtbar macht. Denn wenn die Körper von Natur aus diese essentielle Qualität hätten, daß sie sich einer den anderen anziehen, dann ist es sicher, daß die elementaren Partikel schwer auf Grund ihrer Solidität wären und nicht infolge ihrer Oberfläche. Und so würde

<sup>412</sup> „filets du Torrent“ im Text.

<sup>413</sup> „nullité“ im Text

eine solche elementare Partikel bei einer Verdoppelung der Entfernung vom Körper, von dem er angezogen ist, eine Kraft erhalten, die nicht die zweite Wurzel, sondern die achte Wurzel aus der bei einfacher Entfernung wäre. Denn die Dichte, oder die Vielzahl der Strahlen, die von dem anziehenden Körper ausgehen und die Partikel treffen, müßte nach der Menge seiner Masse und keinesfalls der Größe seiner Oberfläche geschätzt werden. Hieraus folgt, daß sich die Kraft der Anziehung mit der dreifachen Potenz wie beim Würfelvolumen, und auf keinen Fall wie das Quadrat der Entfernungen verringern würde: Hieraus könnte man leicht herleiten, daß die gesamten Massen des Planeten keine andere Gravitation gegen die Sonne hätten, als die ihrer elementaren Partikel, deren Verringerung (der Anziehungskraft) sich in der dritten Potenz der Entfernungen ermitteln ließe.

Was wird aus dem System des Herrn NEWTON in bezug auf die Physik werden, wenn sein Fundamentalgesetz in Ruinen fällt? Ich erstaune darüber, daß nicht einer seiner übertriebenen Parteigänger bemerkt hat, welche Schwierigkeit aus der Hypothese der Anziehungskraft resultiert, die man wie eine essentielle Qualität nicht nur den größeren Körpern, sondern auch ihren elementaren Partikeln ohne Poren zuschreiben will. Diese (Hypothese) kann nicht fortbestehen, so wie wir es demonstriert haben, mit dem Gesetz, nachdem die Gravitation der Planeten sich im Verhältnis zur Entfernung von der Sonne verändern soll, damit sie elliptische Umlaufbahnen um diesen Stern, der in einem ihrer Brennpunkte plaziert ist, beschreiben.

### XLIII.

Es gibt keinerlei Zweifel, daß das, was wir bis jetzt über die Ursache und die Natur der Schwere der Planeten gegen das Zentrum der Sonne gesagt haben, auch auf die spezielle Schwere angewendet werden muß, die die Körper, die von den sekundären Wirbeln umgeben sind, haben, damit sie gegen die Zentren dieser Wirbel gestoßen werden. Denn natürlich wird jeder Hauptplanet, wie, zum Beispiel, die Erde, die um sich ihre eigene Achse dreht, wieder seinen eigenen Wirbel haben und damit auch in seinem Zentrum eine Anhäufung von dieser perfekt flüssigen und siedenden Materie, welche mit all den anderen Begleiterscheinungen im Kleinen das produzieren muß, was die Kraft der Sonne in einem viel heftigeren Grade macht. Also werden alle Körper, und selbst der Mond, die in Abhängigkeit vom irdischen Wirbel sind, durch einen ZENTRALSTROM, der sich bildet, gegen das Zentrum der Erde gestoßen, und zwar mit Kräften, die umgekehrt reziprok zum Quadrat der Distanz sind. Es ist also die Aktion dieser Kräfte, die die Schwere der schweren irdischen Körper bewirkt. Ich will davon nicht weiter reden, aus Furcht, meinen Leser durch eine lange Wiederholung dessen zu langweilen, was über die generelle Ursache der Schwere gesagt war.

### XLIV.

Ich sollte bei dieser Gelegenheit mich nicht daran hindern, meine Gedanken mitzuteilen, die ich über die Art, die Schwere zu erklären, habe, welche man in dem kleinen Buch des Herrn VILLEMOT, betitelt „*Nouveau Système, ou Nouvelle explication du Mouvement des Planètes*“,<sup>414</sup> sieht. Darin erläutert der Autor sein System, das auch auf der Siedewirkung eines zentralen Feuers basiert, dessen Natur, Ursprung und Effekte unendlich verschieden von der Idee sind, die ich mir davon mache, außer der Tatsache, daß er ihm eine ganz andere Sicht gibt, um daraus die himmlischen Phänomene zu gewinnen, welche ich ihm keineswegs in meinem System zuschreibe. Man hat nur das eine oder andere zu lesen, um diese Differenz zu sehen. Das einzige Kapitel über die Schwere läßt schon erkennen, daß ihm die Prinzipien der Statik und der Hydrostatik keinesfalls genug vertraut sind. Man nehme zum Beispiel seine Art zu erklären auf Seite 182. Nachdem er unterstellt hat, daß nichts aus der siedenden Materie im Zentrum der Erde herauskommen kann, spannt sich diese Materie, gemäß ihm, nur oder strengt sich an, sich in gerader Linie fortzubewegen, ohne daß sie sich effektiv entfernt. Er sagt: „.. aber ich unterstelle, daß sie drückt, oder besser, daß sie die gesamte benachbarte Materie presst, und auf diese Weise muß sie gegen das Zentrum der größeren Körper drü-

<sup>414</sup> Villemot, Philippe, *Nouveau système ou nouvelle explication du mouvement des planètes*, Lyon 1707

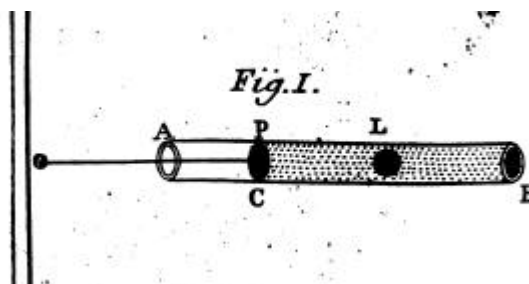


cken, aus dem gleichen Grund, aus dem das Wasser, das in die Tiefe strebt, den Kork<sup>415</sup> aufsteigen läßt, dessen Platz es einnimmt.“

Herr VILLEMOT betrachtet diese benachbarte Materie, die sich bis zur Grenze des Wirbels ausbreitet, als eine von allen Seiten eingeschlossene Flüssigkeit, woher es kommt, daß sich bei Druck von einer Stelle aus dieser Druck zuerst bis zur gegenüberliegenden äußersten Grenze fortpflanzt, von wo er nicht mehr weiter gelangen kann und deshalb zurückgeworfen wird auf den größeren Körper, der sich dort befindet, und ihn zwingt, nach dem, was er glaubt, sich in Richtung des Druckes zu bewegen. Aber sollte er nicht wissen, daß nach dem Gesetz der Hydrostatik der Druck sich in alle Teile der Flüssigkeit fortpflanzt, daß ein Körper, der von ihr umgeben ist einen gleichartigen Druck von allen Seiten empfängt, konsequenterweise also, wenn er von vorne gepresst wird, genau so auch von hinten gepresst wird, was ihn ein perfektes Gleichgewicht bewahren läßt?<sup>416</sup> Wenn jemand anderer als Herr VILLEMOT den vom Kork, den das Wasser aufsteigen läßt, aufgenommenen Druck als Beispiel vorgebracht hätte, um die Ursache der Schwere zu erklären, würde ich sagen, daß das einen Sophismus begehen hieße, den man in den Schulen „aus falscher Voraussetzung gezogener Schluß“<sup>417</sup> nennt, denn er unterstellt, daß das Wasser schwer ist und der Kork weniger schwer ist, ohne daß erklärt wird, warum der eine oder der andere schwer ist. Denn wenn man dem Wasser und dem eingetauchten Kork ihre natürliche Schwere nehmen könnte und statt dessen von oben nach unten die horizontale Wasseroberfläche drücken würde, da könnte man lange pressen, man würde sehen, daß der Kork nicht von seinem Platz wiche.

#### XLV.

Um davon überzeugt zu werden, muß man nur ein Glasrohr AB nehmen, das in B geschlossen ist und in A offen:



(s. dazu Fig. I.)

Man fülle es bis P mit Wasser, bringe es in horizontale Lage und bringe in der Mitte ein kleines Stück Kork, L, an, das im Wasser frei schwimmen kann, ohne fühlbare Reibung am Glas. Nun lassen wir durch die Öffnung A den Kolben PC eintreten und pressen stark den Wasserzylinder CB von C gegen B. Dies ist also gerade der Fall des Herrn VILLEMOT: Es ist nämlich der Druck der siedenden Materie hier durch den Druck des Kolbens PC repräsentiert, die benachbarte gepresste Materie, die sich bis zur Grenze des Wirbels ausdehnt, kann mit dem Wasserzylinder PB verglichen werden, der größere Körper, dessen Schwere er erklären will, wird durch das Korkstück dargestellt: Wenn also seine Erklärung zutrifft, müßte durch die Einwirkung des Kolbens PC der Kork L sich diesem nähern und sich mit ihm vereinigen. Mir aber lehrt die gesunde Hydrostatik, ohne daß ich das Experiment machen muß, daß selbst mit der größten Kraft des Kolbens, den das Rohr aushalten könnte, man niemals das Korkstück L hinwegbewegen könnte, oder es gar bis zum Kolben PC anzunähern. So, wie die Erklärung, die Herr VILLEMOT von der Ursache der Schwere gegeben hat, nur eine reine Illusion ist, ist sie genau so evident wie diejenige, die sich auf Seite 186 seines Buches befindet. Dort, um zu beweisen, daß die Erde am Äquator höher erhoben ist als an den Polen, das heißt also, ein abgeflachtes Sphäroid ist, rekuriert er auf die Beobachtung des

<sup>415</sup> „liege“ im Text wurde durch „liège“ ersetzt und als Fischereiausdruck interpretiert.

<sup>416</sup> Das Fragezeichen steht nicht im Text.

<sup>417</sup> „Petition de principe“ im Text.

Herrn CASSINI<sup>418</sup>, der beobachtet hat, daß sich die Grade der Erde verkleinern, wenn man vom Äquinoxialkreis<sup>419</sup> zu den Polen fortschreitet. Wenn man unterstellt, daß diese Beobachtung richtig ist, woran es keinen Grund gibt zu zweifeln, so beweist sie gerade das Gegenteil, man weiß also, daß die Erde ein langgezogenes Sphäroid sein muß. Der Grund ist der, daß die Meridiane eines solchen Sphäroids ihre größte Krümmung an den Polen haben, was bewirkt, daß die Breitengrade sich in dem Maße verringern, wie sie sich vom Äquinoxialkreis entfernen, anstatt wie in einem abgeflachten Sphäroid, aus genau entgegengesetztem Grund, wo sie ihre stärkste Krümmung dort haben, wo die Meridiane den Äquator kreuzen, dort verkürzt sich am deutlichsten die Länge der Breitengrade, die sich dann gegen die Pole verlängern. Die kluge Dissertation über die zwei Sorten von Sphäroiden, die von Herrn de MAIRAN<sup>420</sup> in den Mémoires von 1720 publiziert wurde, verdient es, gelesen zu werden, denn sie enthält solide Überlegungen, die Gestalt der Erde betreffend.

#### XLVI.

Wie immer es auch sei, man muß zugeben, daß ein einfacher Druck, so wie es sich Herr VILLEMOT ausgedacht hat, keineswegs geeignet ist, um daraus die Ursache der Schwere abzuleiten, und wie wir schon gesehen haben (§ IX), daß die Wirbel, die nach Art des Herrn HUYGENS konzipiert sind, indem er die Materie auf der Oberfläche in jeder Richtung sich bewegen läßt, nicht bestehen können. Denn ihre sich gegenseitig stoßenden Partikel, die keineswegs elastisch sind, halten sich gegenseitig an, von woher es in kurzer Zeit kommen wird, daß der Wirbel sich in seiner Natur ändert und zur immobilen Masse wird.

Anders ist es bei dem Wirbel gemäß der Idee des Herrn DESCARTES, die wir auch aufgreifen werden, aber für einen anderen Gebrauch (wie wir sehen werden), als die Ursache der Schwere durch die Zentrifugalkraft seiner Materie, die der der irdischen Körper übergeordnet ist, zu begründen. Dieser Wirbel, sage ich, ist auf keinen Fall geeignet, die Eigenschaften der Schwere zu erklären, da die größeren Körper keineswegs zum Zentrum gejagt werden sollen, sondern senkrecht zur Achse des Wirbels. Im übrigen resultieren einige weitere Unverträglichkeiten aus dieser Hypothese, von denen wir schon einige angesprochen haben (§ VI & VII). Das einzige Hilfsmittel, das bleibt, um eine generelle Idee der Ursache der Schwere und aller ihrer Eigenschaften zu haben, wenigstens wenn man nicht auf die Anziehungskräfte des Herrn NEWTON zurückgreifen will, ist, unseren ZENTRALSTROM anzuerkennen, durch welchen man so natürlich und so einsichtig alles erklären kann, was er<sup>421</sup> erklärt haben wollte durch seine Anziehungskräfte, ja noch viel mehr, wie man sehr bald sehen wird, durch die Erläuterungen, die ich geben werde, über die Ursache der Rotation der Hauptplaneten um ihre Achse. Dort wird sehr klar erscheinen, daß diese Rotation (durch NEWTONS System schwer zu erklären) nur eine Folge der Aktion des ZENTRALSTROMS auf dem Planeten ist.

#### XLVII.

Ich werde also des Näheren über die Wirbel des DESCARTES nachdenken, um aus ihrer Natur das herauszuziehen, was prinzipiell zur Perfektionierung meiner Theorie dient. Ich habe schon am Anfang dieses Diskurses gesagt, daß ein himmlischer Wirbel ist:

<sup>418</sup> G.D. CASSINI hat die Meridianmessung mit Hilfe von MARALDI, GIACOMO FILIPPO, 1665- 1729, seinem Neffen, und de la HIRE vorgenommen. Die Vermessung wurde von seinem Nachfolger und Sohn Jacques CASSINI(II), 1677-1756, fortgesetzt. CASSINI (II) ist es, auf den sich BERNOULLI bezieht. Dieser veranlaßte auch 1733, dem Jahr der vermutlichen Niederschrift dieser Arbeit BERNOULLIS hier, daß eine große trigonometrische Vermessung Frankreichs begonnen wurde, die wiederum dessen Sohn Domenico 1793 vollendete). Der Streit um die Erdgestalt wurde durch Vermessungen in Peru 1736-43 und in Lappland (MAUPERTUIS) zu entscheiden versucht und entschieden.

<sup>419</sup> Es wird hier das Wort verwendet, was Bernoullis Text am nächsten kommt. Man hätte erwartet, daß hier „équateur“ statt „équinoxiale“ erscheint.

<sup>420</sup> Mairan, Jean-Jaques, 1678 - 1771, französischer Physiker und Mathematiker. „Recherches Géométriques sur la diminution des Degrés..“, mém. Paris 1720, S. 231-277.

<sup>421</sup> NEWTON

1. Eine Anhäufung oder eine kostbare Menge von perfekt flüssiger Materie, die keinerlei Widerstand den Körpern, die in ihr schwimmen, entgegensetzt;
2. daß diese Materie, wenn auch von der gleichen Natur wie die der Sonne, keinesfalls diese heftige Siedebewegung, von der diese ergriffen ist, aufweist; aber
- 5 3. daß sie mit einer ruhigen Bewegung um die Sonne rotiert, mit einer Geschwindigkeit, die ich noch bestimmen werde;
4. daß dieser Wirbel aus perfekt flüssiger Materie mit sich eine unendliche Anzahl von Partikeln des zweiten Elementes führt, die ich gerne mit Herrn DESCARTES<sup>422</sup> *himm-*
- 10 *lische Kügelchen* nenne, ohne sich zu berühren, wie ich es ausgedacht habe, sondern separiert und verteilt, zwischen ihnen Zwischenräume lassend, wenn sie wollen, hundert oder tausendfach größer als der Durchmesser eines Kügelchens

Ich mache diese Voraussetzung aus dem einzigen Gesichtspunkt, damit man verstehen kann, wie die Masseteilchen der Strahlen und die Knäuel des STROMES solch immense Distanzen völlig frei überwinden können, ohne daß sie häufiger auf Hindernisse treffen, an Himmels-

15 körnern anstoßen und sich da oder dort treffen. Sie vermeiden sich leicht durch die Geschwindigkeit ihrer Bewegung und geben die Passage jenen frei, die ihnen von nahem folgen.

### XLVIII.

Was die Geschwindigkeit betrifft, mit der der Wirbel sich um die Sonne drehen muß, so hat man schon früher gezeigt, daß die Geschwindigkeit (welche auch immer es sei) der Teile des

20 Wirbels an seinem Äquator etwa umgekehrt proportional der Quadratwurzel ihrer Entfernungen vom Zentrum der Sonne sein muß. Daraus leitet sich die Regel von KEPLER ab, nach der ihre Umlaufzeiten in der 1  $\frac{1}{2}$ fachen Potenz derselben Entfernungen sind. Um aber eine bestimmte, genaue Idee von der aktuellen Geschwindigkeit bei jeder Distanz zu haben, mache ich folgende Überlegung: Die Bewegung der Sonnenmasse und die ihres Wirbels verlaufen in

25 gleichem Sinne, wie man weiß von Westen nach Osten, und es gibt an keiner Stelle Zweifel, daß diese zwei Bewegungen nicht aus dem gleichen Prinzip stammen, dergestalt, daß die eine eine Regel für die andere sei. Man weiß, daß die Geschwindigkeit eines Äquatorpunktes der Sonne derart ist, daß er einen vollen Umlauf in 25  $\frac{1}{2}$ Tagen vollendet, was man aus den Be-

30 wegungen der Sonnenflecken weiß. Wenn man sich also vorstellt, daß der Wirbel in eine unendliche Zahl konzentrischer Schichten von unendlich kleiner Dicke unterteilt sei, ist es notwendig, daß die erste Schicht an die Oberfläche der Sonne anstößt und mit ihr eine gleich große Geschwindigkeit hat, das heißt, sie rotiert mit der Sonne mit. Denn welchen Grund hätte man, ihr eine differente und viel größere Geschwindigkeit zu geben, ohne daß man ein neu-

35 es Prinzip der Zirkulationsbewegung schmiedete, welches unabhängig von der Sonne wäre? Und was könnte man sich ausdenken, was geeignet wäre, diesen großen Unterschied zwischen zwei Flüssigkeiten, die sich unmittelbar berühren, aufrecht zu erhalten, ohne daß sie endlich eine gemeinsame Geschwindigkeit annehmen?

Unterstellen wir also als vernünftige Tatsache, daß die erste und unterste Schicht ihren Umlauf mit der Sonne in 25  $\frac{1}{2}$ Tagen macht, um daraus die tatsächliche Geschwindigkeit einer

40 anderen Schicht herzuleiten, zum Beispiel derjenigen, die als Halbmesser die mittlere Distanz der Erde zur Sonne hat, welche man gewöhnlicherweise mit 22000 Halbmesser der Erde angibt; der Sonnenhalbmesser enthält 100 Erdhalbmesser, und nun muß man Gebrauch von der Regel KEPLERS machen (denn an anderer Stelle wurde schon gezeigt, daß der Wirbel die Eigenschaft hat, daß die reellen Geschwindigkeiten der unterschiedlichen Schichten ungefähr

45 proportional zur Quadratwurzel ihrer Distanzen zum Zentrum, und nicht zur einfachen Distanz, wie es einige vorgebracht haben, sind), es ist also notwendig, sage ich, diesen Analogieschluß zu ziehen.  $\sqrt{2200}$  verhält sich zu  $\sqrt{100}$  wie die Geschwindigkeit eines Punktes des Sonnenäquators, die ich *V* nenne, zur Geschwindigkeit des Äquators der Schicht in mittlerer

<sup>422</sup> Descartes, René, *Traité de la Lumière*, chap. VIII: "De la formation du Soleil & des Etoiles de ce nouveau Monde. Er spricht allerdings dort nicht in diesem terminus technicus, sondern spricht von „matière du ciel“ und beschreibt, daß sie Kugelgestalt haben mü sse.

Distanz der Erde: Man hat ziemlich genau  $\sqrt{22000}$  zu  $\sqrt{100} = 150$  zu  $10 = 15$  zu  $1$ ; also ist die Geschwindigkeit der Schicht =  $\frac{1}{15} V$ , das heißt etwa 15fach kleiner als die des Sonnenäqua-

tors, derart daß es 15 mal 25  $\frac{1}{2}$ oder 382  $\frac{1}{2}$ Tage dauert, um einen gleich langen Bogen zurückzulegen, wie es die Länge der Sonnenperipherie ist. Dieser Bogen ist dann in seinem Gesamtumlauf soviel mal enthalten, wie der Halbmesser der Sonne in dem Halbmesser der Schicht enthalten ist, das ist also 220 mal. Also muß man 382  $\frac{1}{2}$ Tage 220 mal nehmen, und wir haben 84150 Tage, was gleich 230 Jahre und 143 Tage ist, damit wir die Zeit eines gesamten Umlaufs der Wirbelmaterie in der mittleren Distanz der Erde zur Sonne haben.

Wenn man diesen Kalkül auf alle Planeten anwendet, wird man die Umlaufzeit der Wirbelmaterie in mittlerer Distanz eines jeden finden. Hier das Resultat meiner Berechnungen, wenn ich die noch anzufügenden Tage vernachlässige:

	<i>Für Saturn</i>	<i>6744 Jahre</i>
	<i>Jupiter</i>	<i>2715</i>
	<i>Mars</i>	<i>428</i>
15	<i>Erde</i>	<i>230</i>
	<i>Venus</i>	<i>140</i>
	<i>Merkur</i>	<i>54.</i>

Der Schluß, den ich daraus ziehe, ist der, daß jeder Planet seine mittlere Bewegung auf seinem Orbit hat, mehr als 230 mal schneller als es nur die Geschwindigkeit ist, mit der die Materie des Wirbels in der mittleren Region, in der sich der Planet aufhält, zirkuliert: Mehr will ich jetzt an Bemerkungen nicht mehr darüber machen.

### XLIX.

Das Prinzip der Bewegung der Planeten um die Sonne kommt nicht von der der Bewegung des Wirbels, der sie mitführt, so wie das Wasser eines Flusses einen Baumstamm, nach dem Gefühl von DESCARTES, wegträgt. Denn ein Planet, der sich durch den Strom des Wirbels bewegen läßt, kann höchstens die Geschwindigkeit der Flüssigkeit, in der er schwimmt, erreichen, wie ich ja schon gesagt habe.

Es ist deshalb notwendig, daß die große Geschwindigkeit, mit der die Planeten um die Sonne kreisen, auf einem anderen Prinzip beruht. Ich habe deshalb keine Schwierigkeiten, hier mit Herrn NEWTON zu erklären, daß diese Geschwindigkeit primär<sup>423</sup> ist und ihr von Anbeginn ihrer Erschaffung eingeprägt wurde. Diese Geschwindigkeit hält auch heute noch an und wird ohne Zweifel bis zum Ende der Welt andauern, ohne daß die Materie des Wirbels ihr die mindeste fühlbare Verlangsamung verursachen könnte: Denn der größte Teil dieser Materie ist perfekt flüssig und setzt keinen Widerstand entgegen, und die himmlischen Kügelchen, die darin weit umher schwimmen sind immer noch von einer mehr als genügenden Kleinheit und einer Seltenheit, als daß ihr Stoß gegen einen Körper von enormer Größe, wie es die der Planeten sind, irgend etwas ihm gegenüber ausrichten könnte, geschweige denn ihre Bewegung in fühlbarer Weise mindern, auch nicht im Verlauf von hunderten von Jahrhunderten.

Man kann also die Planeten sicher so betrachten, als ob sie sich in einer perfekten Leere bewegten, wie es Herr NEWTON unterstellt hat, obwohl in Wahrheit alles von Materie angefüllt ist.

### L.

Auf diese Weise fallen wir nicht in die Verlegenheit, in der sich Herr NEWTON befindet, angesichts der Regelmäßigkeit der Bewegung aller Planeten, die sich in gemeinsamer Richtung von Westen nach Osten vollzieht. Herr de MAIRAN sagt sehr gerechtfertigt in den „Mémoires“ von 1729<sup>424</sup>, daß man allen Grund hat, nach der Ursache dieser gemeinsamen

<sup>423</sup> „primitive“ im Text.

<sup>424</sup> Mairan, Dortous de, Nouvelles conjectures sur la cause du mouvement diurne de la terre sur son axe d'occident ent orient, Mémoires de l'Academie Royale Paris, 1729

Bewegung der Planeten von Westen nach Osten zu fragen. Diese Uniformität ist keinesfalls gefordert, da, wo es eine große Leere gibt, die den Himmelskörpern erlaubt, sich in alle Richtungen zu bewegen, was hieße, jeden in seiner eigenen Richtung, wie es tatsächlich die Kometen machen, die alle ihre speziellen Bahnen haben. Man hat sogar beobachtet, daß sie ihren

5

Kurs gegen die Ordnung der Zeichen machen.  
Diese Regelmäßigkeit der Planeten, sage ich, im Zodiakalkreis hat dermaßen Herrn NEWTON in die Enge getrieben, daß er gezwungen war, harmlos zu bekennen, daß man in keiner Weise in seinem System eine physikalische Ursache für dieses Phänomen angeben könne, denn er betrachtet es geradezu als ein Wunder. Und so drückt er sich aus über diesen Tatbestand ( Seite 527, Principia philosophiae, Edition 3 ): *Feruntur*, sagt er, *comete motibus valde excentricis in omnes coelorum partes, quod fieri non potest nisi vortices tollantur; perseverabunt quidem in orbibus suis per leges gravitatis, sed regularem orbium situm primitus acquirere per leges hasce minime potuerunt planetae et cometae. Hi motus regulares (planetarum) originem non habent ex causis mechanicis*<sup>425</sup>.

10

15 Wenn die Ursachen nicht mechanisch sind, sind sie folglich nicht natürlich oder physikalisch; er behauptet also, sie seien übernatürlich oder wunderbar: Aber steht es<sup>426</sup> einem großen Philosophen an, vom Wunder zu rufen, wenn es sich darum handelt ein Phänomen, das die Natur uns zeigt, zu erklären?

## LI.

20

Durch die Theorie, die ich gerade aufgestellt habe, findet man einen hinreichend leichten Ausweg, um die Ursache der besagten Regelmäßigkeit der Planetenbewegung und die Unregelmäßigkeit der Bewegung der Kometen zu zeigen. Denn, was den ersten Punkt anbetrifft, unterstellen wir, daß die Planeten bei dem Beginn ihrer Existenz jeder seine spezielle Richtung und Geschwindigkeit habe, gerade wie es der Zufall will. Was wird ihm widerfahren?

25

Ich sehe zuerst, daß jeder in Richtung der Sonne durch den ZENTRALSTROM gestoßen wird, während ihn seine zuerst angenommene Geschwindigkeit von einem Sektor<sup>427</sup> des Wirbels zum anderen führt; er wird also gezwungen sein, eine gekrümmte Linie zu beschreiben, mehr oder weniger weit von der Sonne entfernt, jenachdem, wie die zuerst eingeprägte Richtung und Geschwindigkeit es verlangen, bis endlich die Zentrifugalkraft, die von der Krümmung und der Geschwindigkeit abhängt, die zentrale Anstrengung des STROMES ausgleichen kann und ihn senkrecht zur Kurve ableitet. Deshalb also, wenn der Planet in den Zustand des Gleichgewichtes geraten ist, wird er gemäß den Regeln des Prinzips der Statik fortfahren, immer dieselbe Kurve zu beschreiben, die wir als seinen Orbit um die Sonne kennen.

30

Aber die Zentripetalkräfte, die in meiner Theorie durch den Druck des ZENTRALSTROMS ausgeübt werden, sind im umgekehrt reziproken Verhältnis des Quadrates des Abstandes zur Sonne. So ist dann sichtbar, durch die indirekte Demonstration des Herrn NEWTON und durch die, die ich darüber in der Folge *apriori* gegeben habe<sup>428</sup>, daß dieser Orbit eine Ellipse sein muß, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht. Wir haben somit soviel unterschiedliche Umlaufbahnen, deren Ebenen notwendigerweise durch das Zentrum der Sonne gehen, wie

35

<sup>425</sup> Ab "*Hi motus*.." im Text nicht mehr kursiv, obwohl offensichtlich Zitat. Das Zitat ist aus dem SCHOLIUM GENERALE 3. Absatz. a.a.O. III, S.171 Z.12. Es steht da: „[...] *Et hi omnes motus regulares originem non habent ex causis Mechanicis; siquidem Cometae in orbibus valde eccentricis, & in omnes coelorum partes libere feruntur.*[...]“ Eingeleitet wird das SCHOLIUM GENERALE durch: "*HYPOTHESIS Vorticum multis premitur difficultatibus.*" JOHANN BERNOULLI hat sicher nicht sinntstellend zitiert.

<sup>426</sup>

„sied –il bien à un grand Philosophe“

<sup>427</sup>

„colonne“ im Text konnte nicht exakt übersetzt werden.

<sup>428</sup>

„on a donné“ ist hier mit „ich habe gegeben“ nach Sprachgebrauch im Französischen zu übersetzen. JOHANN BERNOULLI hat die Lücke in NEWTONS Beweis geschlossen, indem er bewies, daß aus dem NEWTONSCHEN Kraftgesetz folgt, daß die Bahnkurve ein Kegelschnitt ist. (Extrait de la Réponse de M. BERNOULLI à M. Hermann, datée de Basle le 7, Octobre 1710, Mém. Acad. Paris, pp. 521-533. Zitiert nach Fleckenstein, J.O., Johann I Bernoulli als Kritiker der „Principia“ Newtons, Elem.d.Math. 1/6, 1946.)

es Hauptplaneten gibt.

Indessen sehen wir bis jetzt noch nicht, warum alle diese Ebenen zusammengezogen und eingeschlossen sind zwischen zwei Parallelebenen, die am Firmament eine wenig große Zone abgrenzen, die man den „Zodiacus“ nennt, durch eine dritte Ebene längs in zwei Teile geteilt, welche die Ekliptik oder der Orbit der Erde ist. Und warum ist die Bewegung aller Planeten, die ihre Umlaufbahnen in diesen Ebenen beschreiben, regelmäßig von Westen nach Osten gerichtet und nicht einmal in gegenläufigem Sinn? Ich spreche von der tatsächlichen Bewegung und nicht von der anscheinenden, die mitunter entgegengesetzt ist.

## LII.

Hier nun meine Gedanken darüber. Wenn man keinerlei Wirbel hat, womit ich sagen will, daß die gesamte Materie, welche die Himmelsweiten, viel weiter draußen als der Saturn, um die Sonne füllt, keinerlei Zirkulationsbewegung hat, dann halte ich für unbestreitbar, daß die Richtungen der Planeten noch wie am Anfang zufällig und ohne jede Regelmäßigkeit sind, derart, daß die Ebenen ihrer Umlaufbahnen das Firmament in großen Kreisen schneiden, die ohne Ordnung in bezug auf die Gestade der Welt sind, ganz so wie man es heute noch in der Bewegung der Kometen sieht, von denen jeder seine eigene Richtung hat, ganz aus dem Grunde, den ich vorher angeführt habe.

Aber wenn es einen Wirbel gibt, auch wenn er sehr schwach und langsam ist, dann wird er, wie schwach auch immer er sei, genug Kraft gehabt haben, um allmählich die Richtung des Planeten zu ändern, ohne daß er dabei fühlbar seine Geschwindigkeit verringert, bis dessen Richtung ungefähr konform zur Richtung des Wirbels geworden ist, und die geht von Westen nach Osten: ich sage *ungefähr*, um deutlich zu machen, daß es einen Grund gibt, den ich noch erklären werde, der völlige Konformität der Richtung verhindert. Denn hierin besteht gerade die Schwierigkeit der vorgelegten Frage, für deren Klärung ich diesen ganzen Diskurs machen mußte, damit die Verknüpfung der Phänomene sich ganz natürlich aus den Prinzipien meines Systems entwickeln.

## LIII.

Man sieht also schon, aus welchem Grund die Planeten ihre Richtungen, die zuerst unregelmäßig waren, in regelmäßige und allgemeine Richtungen von Westen nach Osten umändern mußten. Denn dies ist die Richtung der Rotation der Sonne um ihre Achse und außerdem auch die ihres Wirbels. Man wird mir vielleicht entgegen halten, ich habe von der Materie des Wirbels alle Kraft genommen, um fühlbar der Bewegung der Planeten zu widerstehen, während ich ihr nun zubillige, daß sie genug Kraft habe, um deren Richtung zu ändern. Aber man wird diese Schwierigkeit aufheben, wenn man geruht, folgende Überlegung zu machen. Es erfordert unvergleichbar mehr Kraft, um die Geschwindigkeit eines schon in Bewegung befindlichen Körpers zu erhöhen oder zu verringern, als bei ihm nur die Richtung zu ändern. Wir sehen, zum Beispiel, daß ein Geschoß, das ganz gerade durch die Luft mit großer Geschwindigkeit fliegt, beträchtlich die Richtung ändert, wenn nur ein leichter Wind weht, ohne dabei fühlbar an Geschwindigkeit zu verlieren: Wir sehen auch, daß eine Gewehrkugel<sup>429</sup> aus Blei, die durch die Kraft des Pulvers mit extremer Geschwindigkeit losgejagt wurde, es nicht vermeiden kann, trotz all ihrer Dichte, durch ein bißchen Wind, der von der Seite kommt, aus ihrer Richtung umgelenkt zu werden.

Das, was diese Erklärung wahrscheinlicher macht, ist gerade die Unregelmäßigkeit der Kometenrichtungen, die sich erhalten konnten seit ihrer Entstehung bis in unsere Zeit. Um so mehr braucht man diese Unregelmäßigkeit, als sie als Argument zur Zerstörung des Wirbelsystems dienen sollte, so wie Herr NEWTON es im Zitat unterstellen wollte. Hier also werde ich nun das Gegenteil beweisen. Da die Umlaufbahnen der Kometen Ellipsen sind, die extrem lang im Vergleich zur Breite sind, die die Sonne in einem ihrer Brennpunkte haben, verbleiben sie quasi unendlich viel längere Zeit in der Nähe des Perihels als im Aphel der Sonne, dies selbst

<sup>429</sup> „bale“ = „balle“

nach dem Gefühl des Herrn NEWTON. Es ist also notwendig, daß die Zeit, die der Komet zum Durchlaufen der oberen Partie seines langgestreckten Orbits, der sich eine riesige Entfernung über den Saturn hinaus erstreckt, benötigt, viel größer ist, als der Rest der Umlaufzeit, die er benutzt, um die Region der Planeten zu durchqueren, und die nur sehr kurz sein kann.

5 Dies ist alles so mehr aufgrund der großen Geschwindigkeit, die der Komet erlangt, wenn er sich dem Perihel nähert, als aufgrund der Kürze des Wegs in der tieferen Region, immer im Verhältnis zu der Länge seines Wegs in der oberen Partie, wo er notwendigerweise den Aphel in sehr zögerlicher Bewegung passiert. Weil also in den großen Entfernungen von der Sonne die Zirkulation des Wirbels so langsam sein muß, daß seine Materie schon fast als immobil

10 betrachtet werden kann, kann sie keine große bemerkbar umlenkende Wirkung auf den Kometen ausüben, solange auch der Komet sich in diesen hohen Regionen aufhalten mag. Der Aufenthalt des Kometen in unserer Nachbarschaft aber ist zu kurz, um ihn von seinem Weg ablenken zu können durch die Zirkulation des Wirbels.

#### LIV.

15 Da dies so ist, ist auch kein Grund zum Erstaunen, daß man diese Regelmäßigkeit, die man beim Lauf der Planeten sieht, sich keineswegs bei den Bahnen der Kometen beobachten läßt. Es ist vielmehr eine natürliche Konsequenz unserer Theorie, daß jeder Komet seine spezielle Bahn verfolgt, die ihm der Zufall bei seinem ersten Anfang verliehen hat, ohne daß irgend

20 eine Änderung sichtbar würde. Wenn die Welt schon einige tausend Jahrhunderte gedauert hätte und wenn sie nochmals so lange dauerte, um den Kometen zu gestatten noch einige hundert Umläufe zu vollenden, ich würde keineswegs zweifeln, daß ihre Richtung sich auch endlich, so allmählich, anpassen würde, dem Tierkreis von Westen nach Osten zu folgen. Der berühmte Komet von 1680, dessen Beschreibung Herr NEWTON mit so viel Exaktheit

25 gibt, befand sich in seinem Perihel am 8. Dezember, nach seiner Berechnung, wobei er ein so kleines Intervall zwischen ihm und der Sonne ließ, daß kaum ein Sechstel des Durchmessers der Sonne zwischen beide hätte gelegt werden können: Jedoch am folgenden 5. Januar, das heißt also in weniger als 30 Tagen, war er außerhalb der Region des großen Orbits, und nach dem 5. März verschwand er, indem er in die höheren Regionen des Wirbels eindrang und dort wird er 575 Jahre bleiben (wenn man den Berechnungen Herrn HALLEYS folgt), bevor er

30 wieder in unsere Reichweite absteigt, oder zum Vergleich, er bleibt nur 5 oder 6 Monate sichtbar. Er wird also für mindestens 574 Jahre lang so sein, wie er ist, ohne die geringste Änderung seiner Umlaufrichtung von seiten des Wirbels zu erfahren, auch nicht in bezug auf die Inklination seiner Bahn in bezug auf die Ebene der Ekliptik. Dies ist nach dem gleichen Herrn HALLEY<sup>430</sup> 60 Grad, 56 Minuten, und die 6 Monate, oder, wenn man will, das

35 Doppelte, die er (der Komet) braucht, um die Region der Planeten zu passieren, sind bei weitem nicht genug, als daß die Kraft des umlaufenden Wirbels ihn irgendwie in seiner Richtung stören könnte, noch weniger könnte dies von Seiten der Sonnenatmosphäre geschehen, durch welche der Komet hindurchgeht, wenn er seinem Perihel zustrebt, (wie dies Herr NEWTON glaubt), die da eine kleine Veränderung anbringen könnte. Aber dies ist nicht

40 von Bedeutung, was sich hier ereignet. Kommen wir endlich zu den Planeten, die niemals aus den Regionen heraustreten, in denen sie ohne Unterlaß den Kräften des Wirbels ausgesetzt sind, die darauf hin wirken, ihnen durch kleine Abweichungen eine uniforme Richtung zu erteilen, wenn sie sie nicht schon, was weiß man darüber, von Anbeginn ihrer Erschaffung haben; es bedarf keines ganzen Jahrhunderts,

45 um ihnen diese permanente Uniformität zu erteilen, zu welcher wir sie heute reduziert sehen? Ist es also nicht doch wahrscheinlich, daß der einzige Grund, warum die Richtungen der Kometen so unregelmäßig sind, der ist, daß sie sich die längste Zeit ihres Umlaufes außerhalb der Einwirkung des Wirbels befinden, von der man so viel Zeit benötigt, um ihre Richtungen

<sup>430</sup>

HALLEY, Edmond, 1656-1742, bestimmte Planetenbahnen und entdeckte den nach ihm benannten periodischen Halley'schen Kometen, dessen Umlaufzeit 76,03 Jahre beträgt.

an die Regelmäßigkeit der Planeten anzupassen? Darüber hinaus scheinen die Kometen, die häufiger zu uns hinabsteigen, das heißt also weniger Zeit für ihren Umlauf benötigen, nicht völlig ausgenommen zu sein vom Effekt, den die Zirkulation des Wirbels auf sie ausüben kann, in welchem Fall nämlich die Ebenen ihres Orbits sich mehr der des Äquators des Wirbels annähern, als die der Kometen, deren Umlaufzeiten von exzessiver Dauer sind. Es gibt effektiv einen Kometen, von dem Herr HALLEY glaubt, es sei der gleiche, der in den Jahren 1531, 1607, 1682 erschienen ist, und der, nach seiner Meinung, auch im Jahre 1456 erschienen ist, und der im Jahre 1758 wiedererscheinen wird, welcher also in Konsequenz nur  $75 \frac{1}{2}$  Jahre<sup>431</sup> für eine Periode benötigt. Dieser Komet, sage ich, hat seine Umlaufbahn nur 17 Grad 56 Minuten geneigt gegenüber der Ebene der Ekliptik, immer den Bemerkungen des Herrn HALLEY folgend. Dagegen ist die Inklination des Orbits des Komets von 1680, wie wir gesehen haben, mehr als 60 Grad. Es ist wahr, daß die Differenz dieser Inklinationen auch durch Zufall von ursprünglichen Richtungen erklärt werden könnte, aber nichts hindert daran anzunehmen, daß der angeführte Grund ebenfalls seinen Anteil daran hat. Das beste Mittel, sich darüber Gewißheit zu verschaffen, wird sein, daß die Astronomen, die nach uns kommen, bei jeder Wiederkehr beobachten, ob der Komet, der 1758 wieder erscheinen soll, so beschaffen ist, daß er alle  $75 \frac{1}{2}$  Jahre wieder erscheint, und dann nachsehen, ob sich der Winkel der Ebene seiner Bahn gegen die der Ekliptik, oder besser gegen die Ebene des Sonnenäquators, allmählich verkleinert nach einigen Umläufen. Sollte dies eintreten, so würde aus meiner Mutmaßung eine sichere Gewissheit.

### Dritter Teil

#### LV.

Bevor wir zum essentiellen Punkt der Fragestellung kommen, bleibt zuerst, eines der wichtigsten Phänomene zu untersuchen: Das ist die tägliche Bewegung der Hauptplaneten bzw. die Rotation um ihre Achse, von der ich unternehmen will, die physikalische Ursache durch die bereits dargestellten Prinzipien meiner Theorie zu erklären, dies um so lieber, als ich bisher keinen Autor gelesen habe, der mich darüber ganz zufriedengestellt hätte. Herr VILLEMOT, in seinem „Traité“ (Kap.1, Teil 2) glaubt, daß die Erde durch den Wirbel mitgenommen wird und sich im unteren Teil ihres Globus langsamer bewegt wie der Wirbel, aber schneller im oberen Teil und daß die Flüssigkeit zurückfließt (wie er sagt) von einer Hemisphäre zur anderen, und woraus er zu beweisen vorgibt, daß die Erde sich um ihre Achse von Westen nach Osten drehen muß, so wie es der Wirbel selbst macht. Herr de la HIRE<sup>432</sup> hat ihm stark widersprochen, denn nach diesem Prinzip müßte die Erde sich in umgekehrter Richtung drehen. Der Autor hat mit einer erhellenden Erklärung antworten wollen, die man am Ende seines „Traité“ liest, aber in seiner Antwort gibt es nicht genug Solidität, und die Schwierigkeit besteht weiterhin. Ich habe in den Mémoires de l'Académie de 1729 eine ausgezeichnete Sache gelesen, in der Art von Herrn de MAIRAN<sup>433</sup>, in der er auch die Erklärung des Herrn VILLEMOT zurückweist und statt dessen seine eigene darstellt, die wahrhaftig sehr einfallsreich ist. Er deduziert die Ursache der Rotation der Planeten von Westen nach Osten daraus, daß die untere Hemisphäre des Planeten schwerer sein muß als die obere, allein daraus, daß diese weiter von der Sonne entfernt ist als jene. Und daraus schließt er, daß der Impuls der Flüssigkeit gegen die obere Hemisphäre, die weniger wiegt, mehr Effekt haben muß, um sie mitzureißen; als der auf die untere Hemisphäre, die mehr Gewicht hat und damit auch mehr Trägheit um Wider-

<sup>431</sup> Nach Korrektur durch CLAIRAULT 76,03 Jahre.

<sup>432</sup> De la Hire = Phillipe(II) de la HIRE, (manchmal auch LAHIRE geschrieben) 1678-1719. Vater Phillipe (I), 1640-1718) seit 1678 Mitglied der Akademie. Dessen Hauptwerk: „Sectiones Conicae“ 1678. Hat mit G.D. CASSINI(I) ab 1683 eine Meridianmessung in Frankreich durchgeführt, die CASSINI (II) fortsetzte.

<sup>433</sup> Mairan, Dortous de, Nouvelle conjectures sur la cause du mouvement diurne de la terre sur son axe d'occident en orient, Mémoires de L'Academie Royal Paris 1729.



stand zu leisten. Anders gesagt, auch die beiden Hemisphären von ungleichem Gewicht bleiben es nicht durch ihre Natur, sondern allein durch ihre Position. Es ist einsichtig, daß die untere, die schwerer ist, ihren Vorteil verliert, wenn sie aufsteigt und zur leichteren wird, und im Gegenteil, die obere gewinnt diesen Vorteil beim Absteigen, die schwerere zu werden, je leichter sie war. Auf diese Weise erneuert sich diese Aktion dauernd, wenn nur einmal die Flüssigkeit des Wirbels mit größerer Auswirkung auf die obere als auf die untere eingewirkt hat. Es ist notwendig, daß die obere sich vorwärts bewegt, das heißt von Westen nach Osten, und endlich stufenweise den ganzen Planeten zur Umdrehung um seine Achse bringt, bis daß die Rotation eine konstante Geschwindigkeit angenommen hat, die bis heute noch andauert.

5  
10  
15  
20  
25  
30

Aber selbst wenn ich einige Hochachtung für die Gefühle des berühmten Autors dieser Erklärung habe, so muß ich doch sagen, daß ich starke Gründe habe, welche mir die Zeit nicht erlaubt des längeren darzulegen, zu zweifeln, ob die Rotation des Planeten der Effekt der dauernden Ungleichheit der Schwere der beiden Hemisphären sein könnte. Denn, ohne etwas über die anderen Schwierigkeiten zu sagen, die sich gegen diesen so subtil ausgedachten Vorschlag stellen, scheint es mir, daß die Ungleichheit der Schwere der beiden Hemisphären zu wenig ausgeprägt ist, um einen solchen beachtenswerten Effekt zu produzieren, wie es die große Geschwindigkeit der Rotation der ungeheuren Masse des Jupiters darstellt, die ihn eine ganze Umdrehung um seine Achse in weniger als zehn Stunden machen läßt. Wenn man sich die Mühe machen will, es auszurechnen, so wird man finden, daß die Geschwindigkeit der täglichen Bewegung eines angenommenen Punktes auf dem Äquator des Jupiter fast gleich der Geschwindigkeit dieses Planeten im Jahreslauf um die Sonne ist, und damit in Konsequenz auch fast gleich der Geschwindigkeit der Flüssigkeit des Wirbels selbst, der ihn mitführt, wenn man dem Sinn des Systems von Herrn DESCARTES folgt.. Es wäre also notwendig, daß der Impuls, der durch die Flüssigkeit auf die untere Hälfte der Hemisphäre ausgeübt wird, und der ohne Zweifel gegen die Rotationsrichtung ist, keinen hemmenden Einfluß hätte, oder doch sehr wenig, derart, daß alle Kraft der Flüssigkeit einzig zur Rotation benützt wurde, ohne daß er etwas beitrüge, weder zur Vorwärtsbewegung der unteren Hemisphäre, noch zum Transport des ganzen Planetenkörpers auf seiner Bahn. Indessen bewegt er sich frei in fortschreitender Bewegung und dreht sich in der gleichen Zeit auch noch um seine Achse, wie kann man all das zusammenbringen ?

### LVI.

Laßt uns also sehen, ob es kein Mittel gibt, sich darüber aufzuklären durch irgend eine Erfahrung, die uns den Effekt vor Augen führt, den die Wirkung einer Flüssigkeit ausüben kann, um einen sphärischen Körper, der in ihr schwimmt, zum Drehen zu bringen, und dessen unterer Teil, einfach durch seine Position, konstant schwerer sei als der obere.

35  
40  
45

Zu diesem Zweck nehmen wir eine ausgehöhlte<sup>434</sup> Kugel aus einer Materie, die leichter ist als Wasser, zum Beispiel Holz,. Dort wird man durch eine kleine Öffnung eine Flüssigkeit, die schwerer ist, einfüllen, zum Beispiel Quecksilber, und zwar so viel, damit die Kugel mit dem Quecksilber darinnen zusammen ein Gewicht hat, das fast gleich dem ist, das ihr Volumen in Wasser hätte, welches dann die Kugel von allen Seiten umgibt, derart, daß sie ins Wasser gegeben, ein gewisses Niveau in der Tiefe erreicht, aber nicht ganz bis zum Grund hinabtaucht. Wenn man dies gemacht hat, natürlich auch das Loch verkorkt hat, durch welches man das Quecksilber hineingegeben hat, sucht man sich einen Fluß, dessen Strömung gleichförmig ist und dessen Oberfläche glatt, wie die eines Spiegels. Dort taucht man die Kugel ein, bis das Wasser über ihre höchste Stelle reicht: Da hat man also die Kugel in einem Zustand, der etwa dem entspricht, den Herr de MAIRAN den Planeten zuschreibt, wenn sie angefangen haben, von der Flüssigkeit des Wirbels fortgetragen zu werden.

Denn die untere Hemisphäre unserer Kugel, da sie mit Quecksilber beladen ist, ist konstant und durch ihre Position allein schwerer als die obere Hemisphäre, derart, daß sie sich um ihre

<sup>434</sup> „creuse“ wird durch „creusé“ ersetzt

Achse drehen kann und dennoch ihre untere Hälfte immer schwerer behält als die obere, ganz so wie es der weise Autor für die Planeten entworfen hat, mit einem Unterschied allerdings, daß anstelle der bei den Planeten unendlich kleinen Differenz der Hemisphären, hier, in unserer Kugel, man diesen Unterschied so fühlbar machen kann, wie man will. Je größer dieser  
 5 Unterschied ist, die Geschwindigkeit des Wassers, das gegen die obere Hemisphäre der Kugel einwirkt, ist mindestens ebenso groß, wenn sie nicht noch größer ist, als die, mit der die untere Hemisphäre gestoßen ist, während im Wirbel die erste viel kleiner ist als die andere, so daß aus diesem doppelten Grunde bei der Kugel eine prompte Reaktion durch Drehung einsetzen müßte: Indessen werde ich sehr überrascht sein, wenn ich erfahren werde (denn ich  
 10 habe dieses Experiment nicht durchgeführt), daß die Kugel, wenn sie in dem Strom des Flusses länger sich selbst überlassen bleibt, nichts weiter gemacht haben wird, als einfach der fortschreitenden Bewegung des Wassers, das sie mitführt, zu folgen, ohne die geringste Rotation zu unternehmen.

### LVII.

15 Ich kann mich getäuscht haben, als ich glaubte gute Gründe zu haben, indem ich vorhersah, welches der Erfolg dieses Experiments sein würde, was sehr leicht der Fall in der Physik ist, in welchem Falle ich erkläre, daß ich gerne die ingeniöse Erklärung von Herrn DE MAIRAN annehmen werde. Es sei mir erlaubt, während ich darauf warte, von einem entgegengesetzten Erfolg überzeugt zu werden, meinem Leser zu sagen, daß ich anderenorts den Grund für die  
 20 tägliche Bewegung der Planeten gesucht habe, und ich glaube, ihn in unserem ZENTRAL-STROM gefunden zu haben, wie ich es jetzt hier angebe. Ich betrachte zuerst den Planeten, wie er noch keinerlei Bewegung auf seinem Orbit aufgenommen hat. In diesem Zustand sehe ich, daß der STROM ihn mit all seiner Kraft in gerader Richtung auf die Sonne zu stößt, wobei die Beschleunigung, die der Druck des STROMES produziert, umgekehrt proportional zu den Quadraten der Distanzen zur Sonne ist: Ich sehe auch, daß während des Abstiegs der Planet sich keineswegs um seine Achse dreht, jedenfalls nicht mehr als ein sphärischer Stein, der senkrecht fällt, ohne daß er Drehungen macht, weil der Druck des STROMES sich gleichmäßig auf alle Teile des Planeten auswirkt, sie im Gleichgewicht erhält und ihrer Bewegung eine  
 25 parallele Richtung gibt. Es erfährt aber der Planet eine seitliche Geschwindigkeit, die ihm ursprünglich eingeprägt wird, die ihn seinen elliptischen Orbit beschreiben läßt, ganz in der Art, wie wir es uns im Vorstehenden erklärt haben, also können die Parallelität und das Gleichgewicht der Bewegung nicht anhalten: Der Grund ist offensichtlich, denn es ist sehr klar, daß die vorangehenden Teile des Planeten, die sich an den Seiten befinden, zu denen er sich hin bewegt, in gewisser Weise nach vorne gehen und zusammentreffen mit den Bereichen des STROMES, die  
 30 der Planet erst durchqueren will, wohingegen die Teile der anderen Seite zurückbleiben, gewissermaßen in den Ausläufern der Teile, die er gerade verläßt. Auf diese Weise ist der Planet von vorne mit einem größeren Anstoß versehen als von hinten. Daraus folgt also, daß die Vorderseite dem Strom ausweicht, was bedeutet, daß sie absteigt, und daß die Hinterseite aufsteigt gegen die Aktion des STROMES, und da dies alles anhält, so wird der Planet in dem  
 35 Maße, wie er auf seiner Umlaufbahn fortschreitet, gezwungen sein sich zu drehen und das mit einer Geschwindigkeit, die dem Kraftüberschuß proportional ist. Man sieht also sofort, ohne daß mehr erklärt werden muß, daß diese zwei Bewegungen, die tägliche und die jährliche, sich in gleicher Richtung abspielen müssen, also, wie wir wissen, von Westen nach Osten.

### LVIII.

45 Wohlverstanden, man darf sich nicht vorstellen, daß dies nur an den extremen Stellen der Oberfläche des Planeten geschieht, deren oberer Teil einen größeren Antrieb nach vorne als nach hinten erfährt: diese ganze Angelegenheit findet in allen parallelen Schichten um das Zentrum statt, aus denen man sich den Planeten zusammengesetzt denken muß. Da nämlich  
 50 die Knäuel aller Sorten des STROMES durchaus Größe haben (§ XXXIX), gibt es immer deren einige, die, nachdem sie die Poren der Schichten, die am weitesten vom Zentrum ent-

fernt sind, durchdrungen haben, an eine geraten, die genug Dichte hat und folglich genügend enge Poren, um sie (die Knäuel) keineswegs frei durchzulassen. Auf diese Art wird diese andere Schicht, genau so wie die ersten Schichten, einen Impuls vom STROM erfahren, und zwar aus dem schon erwähnten Grunde, einen Impuls, der stärker ist auf den Teil, der nach

5

vorne geht, als auf den, der nachfolgt. Man muß diese Erklärung sogar ausdehnen bis zu den Schichten, die außen sind, die den Körper des Planeten umgeben. Ich spreche von den Schichten, die seinen speziellen Wirbel bilden müssen, und die ohne Zweifel von den dicksten der Knäuel angestoßen werden. Daraus erkennt man nicht nur, warum der spezielle Wirbel die gleiche Richtung haben muß, um von Westen nach Osten zu drehen, wie der generelle Wirbel, sondern auch, daß alle seine Schichten, seien es die der Planeten, seien es die seines Wirbels, sich gegenseitig unterstützen, sich in dieser allgemeinen Richtung zu bewegen. Jede trägt ihren Teil zur allgemeinen Rotation bei, durch den vorgegebenen Antrieb, den sie empfangen, nach vorne.

10

Diese Kraft des ZENTRALSTROMES, die mit größerer Energie die hinteren Teile des Planeten und seines speziellen Wirbels antreibt, um ihn zur Rotation zu bringen, kann sehr leicht mit der Kraft des Wassers eines Kataraktes verglichen werden, der sich auf die Flügel eines Mühlrades ergießt und es zur Drehung um seine Achse bringt. Denn natürlich hat man an der entgegengesetzten Seite des Kataraktes eine andere, aber weniger starke, die die Flügel des Rades in entgegengesetzter Richtung bearbeitet. Diese bewirkt in Wahrheit einen Effekt auf die Achse, um sie in Gegenrichtung zu drehen. Aber die erstere gewinnt über die andere, und läßt das Rad nicht in falscher Richtung drehen, allerdings dreht es sich mit einer geringeren Geschwindigkeit, als es sie ohne den Gegenspieler hätte.

15

20

### LIX.

In dieser neuen Theorie betrachte ich den Planeten so, daß er bereits eine gemeinsame permanente Richtung durch die Länge der Zeit mit dem großen Wirbel der Sonne angenommen hat, ganz in der Art, wie ich es bereits erklärt habe. Denn es ist natürlich sehr einsichtig, daß er während der vergangenen Zeit durchaus bereits gezwungen gewesen war, sich zu drehen, wenn er sich fortgesetzt durch den STROM bewegt. Jedoch mußte die Achse seiner Rotation fortwährend die Lage im Globus ändern, aufgrund der Unregelmäßigkeit seines Weges, bis endlich sich die Lage der Achse stabilisierte in Einklang mit der generellen Richtung des ZENTRALSTROMES. Was die Geschwindigkeit der Rotationsbewegung angeht, so sieht man deutlich, daß sie nicht nur von der Geschwindigkeit und der Kraft abhängt, mit der der ZENTRALSTROM auf den Planeten und seinen speziellen Wirbel einwirkt, sondern auch von anderen Umständen<sup>435</sup>,

25

30

wie zum Beispiel von der Dichte der Materie, aus der der Planet zusammengesetzt ist, schließlich ist allgemein bekannt, daß, falls alle anderen Dinge konstant bleiben, ein dichter Körper schwieriger zu bewegen ist aufgrund seiner viel größeren Trägheit, als ein Körper der weniger dicht ist.

35

Weiterhin spielt der Umstand eine Rolle,<sup>436</sup> wie weit er von der Sonne entfernt ist, denn in einer größeren Distanz zur Sonne sind die Verästelungen des STROMES viel seltener und haben folglich weniger Kraft, um den Planeten zum Drehen zu bringen, aus dem gleichen Grund, aus dem die Schwere geringer ist als in geringerer Distanz.

40

Auch die unterschiedliche Größe der Planeten verändert die Geschwindigkeit der Rotation, nicht nur weil der STROM auf die größeren Schichten größere Wirkung hat, eine Folge der größeren Oberflächen, als auch, weil die gleiche Kraft, wenn sie auf den Umfang einer großen Kreisbewegung angewendet wird, mehr Effekt verursacht, als wenn sie auf den einer kleineren einwirkte. Fügen Sie dazu noch die Neigung der Rotationsachse in bezug auf die Richtung des STROMES hinzu, diese Neigung nach

45

<sup>435</sup> im Text wird keine besondere Gliederung vorgenommen für die folgende Aufzählung. Ich habe dies aber hier gemacht, damit die Verständlichkeit erhalten bleibt.

<sup>436</sup> „item“ im Text wurde hier in der Aufzählung eingedeutscht.

vorne muß notwendigerweise die Wirkung auf die Rotation des Planeten um seine Achse durch den STROM verringern.

Die Schwierigkeiten durch alle diese Ursachen können bewirken, daß die Rotation mehr oder weniger schnell abläuft, und es hängt von der Distanz des Planeten zur Sonne ab, ob die eine  
5 –oder die andere Ursache den Vorrang erhält.

### LX.

Man betrachte Jupiter, der ungefähr 5 mal so weit von der Sonne entfernt ist wie die Erde, wobei die Kraft des STROMES in dieser Region 25 mal schwächer ist, als sie es in der Region der Erde ist. Nichtsdestotrotz vollendet Jupiter eine seiner Rotationen in zehn Stunden, wo  
10 die Erde mehr als doppelt so viel Zeit benötigt für eine Rotation um ihr Zentrum:<sup>437</sup>

1. Der Äquator des Jupiter stellt ein Rad mit einem Durchmesser dar, der 10 mal so groß ist als der der Erde. Wenn also diese zwei Körper nur Scheiben der gleichen Dicke wären, dann wäre nach den Hebelgesetzen<sup>438</sup> Jupiter zehn mal leichter zu drehen als die Erde. Da dies aber Globen sind, deren Oberflächen der Einwirkung des STROMES  
15 ausgesetzt sind, welche sich mit dem Quadrat ihres Durchmessers vergrößern, wird man, wenn alles sonst gleich bleibt, zehn mal zehn oder hundertfach leichter eine Drehung am Jupiter als eine an der Erde erreichen. Aber da die Gegenwirkung des STROMES in der Entfernung des Jupiter 25 mal schwächer ist als in der Entfernung der Erde, muß man diese zwei Ursachen kombinieren, 100 zu 1 & 1 zu 25, woraus ein  
20 Verhältnis von 4 zu 1 resultiert, welches besagt, daß, wenn Jupiter und Erde von gleicher Dichte wären, daß dann die Leichtigkeit einer Rotation des Jupiter nur mehr das Vierfache der der Erde sei.

2. Aber die Materie, aus der Jupiter zusammengesetzt ist, ist, wenn wir uns auf Berechnungen des Herrn NEWTON stützen, 5fach weniger dicht als der Körper der Erde, woraus das vierfache Verhältnis nochmals 5 mal größer wird, derart, daß in Anbetracht beider Größen die Leichtigkeit der Rotation, die sich durch diese Rechnung am Äquator des Jupiter ergibt, ungefähr 20 mal größer sein muß als die am Äquator der Erde.

3. Darüber hinaus zeigen die Beobachtungen, daß die Achse des Jupiter fast senkrecht zur Ebene seiner Umlaufbahn gerichtet ist, und damit auch zur Richtung des ZENTRALSTROMES. Während dessen zeigt die Achse der Erde eine Inklination von  $23 \frac{1}{2}$  Grad, was ebenfalls noch, wie leicht zu beweisen ist, die Geschwindigkeit der Rotation der Erde verringert, und zwar im Verhältnis wie das Quadrat des Sinus des Komplementwinkels von  $23 \frac{1}{2}$  Grad kleiner ist als das Quadrat des Sinus total<sup>439</sup>. Oder, wie  
35 man aus den Tafeln des Sinus entnehmen kann, daß diese zwei Quadrate sich etwa wie 5 zu 6 verhalten.

Teilen wir das Verhältnis 20 zu 1 durch das von 5 zu 6, so erhalten wir: Die absolute Geschwindigkeit der Rotation des Äquators des Jupiter verhält sich zur der bei der Erde wie 20 zu  $\frac{5}{6}$ , oder wie 24 zu 1. Da aber die Periodenzeiten der beiden Globen hinsichtlich der Drehung um ihre Achsen im direkten Verhältnis ihrer Durchmesser stehen und invers sind der absoluten Geschwindigkeiten ihrer Äquatores, haben wir, daß die Zeit einer Umdrehung des Jupiter um seine Achse sich zu der der Erde verhält =  $\frac{10}{24} : 1 = 10 : 24$ , was mit den Beobachtungen übereinstimmt.

### LXI.

45 Aus all dem ziehen wir nun folgende generelle Regel für die tägliche Bewegung der Planeten: *Man muß folgende vier Verhältnisse dividieren oder multiplizieren, welche sind: das umgekehrte Verhältnis des Quadrates der Distanzen zur Sonne; das direkte Verhältnis des Quadra-*

<sup>437</sup> Auch hier wird wieder die Aufzählung durch Layout gegliedert.

<sup>438</sup> „par la nature du levier“ im Text.

<sup>439</sup> „Sinus total“ wurde als „terminus technicus“ beibehalten. Gemeint ist der sinus des Winkels von  $90^\circ$ , also 1. Dies geht aus BERNOULLIS Ausführungen in LX und seinen Arbeiten indirekt hervor.

*tes des Durchmessers; das umgekehrte einfache Verhältnis der Dichten und das direkte Verhältnis des Quadrates des Sinus des Komplementwinkels der Inklination der Achsen zu den Ebenen des Umlaufs: Das Ergebnis wird das Verhältnis der Rotationsgeschwindigkeiten der jeweiligen Äquatoren ergeben.*

5 Da wir keine Beobachtung haben, die uns die Dichte der Planeten lehren könnte, muß man sich mit einigen wahrscheinlichen Abschätzungen zufrieden geben. Oder, wenn man das, was Herr NEWTON durch Überschlagen herausgefunden hat, akzeptieren will, nämlich, daß die Dichte des Jupiter sich zu der der Erde ungefähr wie 1 zu 5 verhält, das heißt reziprok zu ihren Distanzen zur Sonne. Übrigens erscheint es stark wahrscheinlich, daß die dichtesten Planeten die niedrigsten Bereiche in dem Sonnenwirbel einnehmen, dann gelangt man zu einem  
10 generellen Prinzip, nämlich: *Die Dichten der planetarischen Körper sind reziprok proportional ihren Distanzen zur Sonne.* Und die gleiche Regel sollte auch für deren Satelliten in bezug auf die Entfernungen zu ihren Hauptplaneten gelten.

15 Dies unterstellt, kann man die Regel, die ich gerade gegeben habe, abkürzen, denn die zwei Verhältnisse, die in die Regel Eingang finden, das einfache Inverse des Quadrates der Distanzen zur Sonne und das dritte, das einfache Inverse der Distanzen, ergeben zusammen immer durch Teilen das einfache inverse Verhältnis der Distanzen. Folglich hat man nurmehr diese drei Verhältnisse miteinander zu multiplizieren, nämlich *das einfache inverse Verhältnis der Distanzen, das direkte Verhältnis der Quadrate der Durchmesser und das direkte Verhältnis des Quadrates des Sinus des Komplementwinkels der Inklination der Achsen: Das Produkt*  
20 *wird das Verhältnis der Rotationsgeschwindigkeiten der Äquatoren liefern.*

## LXII.

Schauen wir, was daraus resultiert, wenn wir diese Regel auf den Planeten Venus anwenden, indem wir das übernehmen, was in der „*Connoissance des Temps*“<sup>440</sup> steht, wo ich finde  
25 1. daß die mittlere Distanz der Venus zur Sonne sich zu der der Erde wie etwa 5 zu 7 verhält, deren inverses Verhältnis also 7 zu 5 ist,  
2. daß ihre Durchmesser gleich sind und folglich deren Quadrate wie 1 zu 1 sind, und  
3. aus der Beobachtung des Herrn BIANCHINI<sup>441</sup>, daß die Inklination der Achse der Venus zur Ebene ihres Umlaufs 75 Grad beträgt; da aber Herr BIANCHINI hinzufügt,  
30 daß es Zeiten des Venusumlaufs gebe, in denen sich die Achse der Rotation scheinbar völlig vereinigt mit der Achse der Beleuchtungsrichtung, das heißt also, die Inklination ist total oder 90 Grad, werden wir also einen vernünftigen Mittelwert<sup>442</sup> zwischen 75° und 90° auswählen, also nehmen wir 80° für die gewöhnlichste Neigung der Venusachse.  
35 Also ist der Komplementwinkel 10 Grad<sup>443</sup>, der Komplementwinkel der Inklination der Erde ist 66 1/2 Grad. In den Tafeln findet man dann, daß die Sinus der beiden Komplemente ungefähr wie 3 zu 16 sind, deren Quadrat dann 9 zu 256 ergibt. Wir müssen jetzt nach der Regel die drei Verhältnisse multiplizieren und wir haben  $\frac{7}{5} \times \frac{1}{1} \times \frac{9}{256} = \frac{63}{1280}$ . Hieraus folgt also, daß die Geschwindigkeit der Rotation des Äquators der Venus sich zu der des Äquators der Erde wie 63 zu 1280 verhält. Wenn man also in Konsequenz die beiden Globen der Planeten  
40 gleich setzt, dann sind die Periodenzeiten ihrer täglichen Bewegungen reziprok, also wie 1280 zu 63, was ziemlich nahe an 20 1/3 zu 1 ist. Man hätte damit 20 Tage und 8 Stunden für eine völlige Rotation der Venus, was etwas weniger ist, als 23 Tage, wie es in der *Connoissance*

<sup>440</sup> „*Connoissance des Temps*“ = Pariser Astronomisches Jahrbuch, erscheint seit 1679 („*Connoissance*“ = „*Connaissance*“).

<sup>441</sup> Bianchini, Francesco (1662-1729); Die Schrift, auf die sich BERNOULLI bezieht: „*Hesperii et Phosphori nova phenomena, sive Observationes circa planetam Veneris, Roma 1728*“.

<sup>442</sup> „*un juste milieu entre..*“ läßt nicht auf eine ausgearbeitete Theorie der Mittelwerte schließen. Deshalb wurde „vernünftig“ anstelle des Wortlautes „gerecht“ oder „richtig“ gewählt, zumal da das Ergebnis auch entsprechend ist.

<sup>443</sup> Das Gradzeichen oder die Schrift „Grad“ wurden in dem ganzen Abschnitt so verwendet, wie dies Bernoulli macht.

des Temps vermerkt ist.

Wenn man aber einen einzigen Grad mehr der mittleren<sup>444</sup> Inklination der Venusachse annimmt, derart, daß sie 81° an Stelle von 80° beträgt, dann werden wir nach unserer Regel finden, daß die tägliche Umlaufzeit dieses Planeten ungefähr 25 Tage betrüge. Diese Zahl übersteigt die der 23 Tage fast so viel, wie jene 20 Tage und 8 Stunden überstieg, die wir durch die erste Annahme gefunden haben. Wir sind jetzt dahin gelangt, daß wir aussprechen, daß die tatsächliche mittlere Inklination der Venusachse, zwischen der kleinsten 75 Grad und der größten 90 Grad, etwas größer als 80 Grad jedoch etwas kleiner als 81 Grad sei. Das ist doch viel, daß unsere Prinzipien uns zu einer solchen großen Präzision gebracht haben, in einem solchen Fall, wo die Achse variabel ist in jeder jährlichen Umlaufzeit: Dies ist auch noch ein seltenes Phänomen und speziell bei der Venus. Die anderen Planeten ändern meines Wissens nicht fühlbar die Inklination ihrer Achsen während ihres Laufes um die Sonne. Oder ist dies vielleicht diese kleine Nutation oder Libration, wenn es denn eine gibt, von der Herr NEWTON spricht, aber diese ist so unfühlbar, daß sie kaum Aufmerksamkeit verdient.

### LXIII.

In dieser Untersuchung habe ich unterstellt, daß die Materie, die einen Planeten bildet, gleichmäßig dicht in allen ihren Ausprägungen ist, oder daß alle speziellen Körper, die zusammen ein Ganzes ausmachen, homogen sind. Da nun die Erfahrung zeigt, daß der irdische Globus, den wir bewohnen, aus einer unendlichen heterogenen Vielzahl von Teilen zusammengesetzt ist, die mehr oder weniger dicht sind, die einen wie die anderen, gemäß ihrer unterschiedlichen Natur, erscheint es angezeigt anzunehmen, daß dies auch bei den anderen Planeten der Fall ist. Es mag sein, daß es einige gibt, bei denen die Unterschiedlichkeit nicht so beträchtlich ist, oder deren heterogene Teile so um ein Zentrum arrangiert sind, daß sie in der Summe den gleichen Effekt erzielen, dadurch daß sie sich in einer Art Kompensation mehr oder weniger so verhalten, als seien sie uniform dicht: In einem solchen Fall wird unsere Regel nicht sehr stark von der Wahrheit des Tatsächlichen abweichen.

Was nun den Rest angeht, wenn die heterogenen Teile eines Planeten zu ungleich um das Zentrum des Globus verteilt sind, derart, daß das Zentrum der Gravitation aller Massen (welches ich lieber vielmehr das Zentrum der *Trägheit* nennen möchte) sich zu sehr unterscheidet von dem Zentrum der Gestalt, dann sage ich, daß gerade diese ungleiche Verteilung die Ursache für die Neigung der Rotationsachse ist, bzw. daß sie diese Achse zur Ebene des Umlaufes hinneigen<sup>445</sup> läßt. So also stelle ich mir die Sache vor.

### LXIV.

Ich habe schon gezeigt, daß in meinem System, genau so wie in dem des Herrn NEWTON, die Umlaufbahnen der Planeten Ellipsen sein müssen, die ihren Brennpunkt im Zentrum der Sonne haben, gegen welches direkt die Stromfäden des ZENTRALSTROMES tendieren. Es ist einsichtig, daß die Richtung der Stromfäden, die auf einen Planeten zugehen, immer in der Ebene seiner Umlaufbahn liegen. Sie werden also auf den Planeten einen Effekt ausüben, der den Planeten längs einer geraden Linie drehen läßt, die durch dessen Zentrum senkrecht zur Ebene der Umlaufbahn geht. Und deshalb, wenn der Globus des Planeten sich in einer völligen Indifferenz befindet, ob er der Rotationsbewegung in dieser oder in jener Richtung folgen soll, je nachdem, wie er angetrieben wird, folgt mit Notwendigkeit, daß diese gerade Linie tatsächlich die Achse der Rotationsbewegung wird.

Anders ausgedrückt, diese Indifferenz findet sich dann ein, wenn das Zentrum der Gravitation, oder das Zentrum der *Trägheit*, mit dem Zentrum des Globus selbst übereinstimmt, und dies kann auf zwei Arten geschehen:

1. Wenn die Materie des Globus tatsächlich homogen oder gleichmäßig dicht ist;

<sup>444</sup> Hier steht jetzt „mediocre“

<sup>445</sup> „pancher“ im Text durch „pencher“ ersetzt.

2. Wenn seine Teile, auch wenn sie nicht gleichmäßig dicht sind, so verteilt sind, daß ihr gemeinsames Zentrum der Trägheit<sup>446</sup> mit dem Zentrum des Globus zusammenfällt, wie, zum Beispiel, wenn man sich vorstellt, daß der Globus aus Schichten aufgebaut ist, von denen jede eine uniforme Dichte hat, daß aber die Dichten untereinander differieren.

5 Wenn aber das Zentrum der Trägheit außerhalb des Zentrums des Globus liegt, wenn also diese Indifferenz über das Drehmoment nicht eingetreten ist, so muß man aufmerksam für die Gesetze der Mechanik sein, nach denen es leichter ist, einen Globus zu drehen, wenn sein  
10 Zentrum der Trägheit während der Drehung unbewegt bleibt, als es in einer anderen Richtung zu versuchen, die nicht ohne Bewegung seines Zentrums der Trägheit machbar ist. Da man auf diese Weise kein Gleichgewicht bei den Partialträgheiten hat, ist man gezwungen, die Gesamtträgheit der Masse zu überwinden, was erheblich mehr Kraft erfordert, indem das Zentrum der Trägheit einen größeren Weg bei der Rotation zurücklegt.

### LXV.

15 Wohlverstanden, wir betrachten den Planeten, als habe er noch keine Rotation aufgenommen, sei aber dazu bereit durch die Einwirkung des STROMES: Ich betrachte die Durchmesser durch die beiden Zentren, der Trägheit und der Gestalt, als gezogen. Wenn dieser Durchmesser, durch Zufall, senkrecht zur Ebene des Orbits verläuft, ist es evident, daß die Rotation sich um diesen Durchmesser zu entwickeln beginnt, der die beiden Zentren enthält<sup>447</sup>, und der  
20 konsequenterweise die Rotationsachse sein wird. Denn diese Art der Bewegung trifft auf keinerlei Widerstand seitens des Zentrums der Trägheit, weil dieses in der Achse und folglich unbewegt bleibt. Wenn aber der Durchmesser, der die beiden Zentren verbindet, geneigt ist zur Ebene des Orbits, dann wird der Druck des STROMES nicht mehr den Globus um eine Linie senkrecht zur Ebene des Orbits drehen, eben aufgrund des Widerstandes, den die Gesamtträgheit der Massen leistet. Dieser Widerstand muß dadurch überwunden werden, daß  
25 man auch das Zentrum der Trägheit in eine Rotationsbewegung versetzt, was sich nicht leicht bewerkstelligen läßt und nicht ohne Verlust an Kraft des STROMES; die Rotation wird vielmehr die Richtung ändern, um die Schwierigkeit zu vermeiden, so weit dies möglich ist, das Zentrum der Trägheit zu drehen. Ich will damit sagen, daß der Globus zur leichtesten Drehrichtung drehen wird, genauer, so wenig es auch sein muß, er wird um den Durchmesser durch die beiden Zentren drehen.

Die geneigte Situation dieser Achse, wie sie ihr der Zufall nun einmal gegeben hat, wird sich konstant erhalten, denn der Himmelskörper ist vollständig im Gleichgewicht. Die Zentrifugalkraft, ausbalanciert durch die vom Antrieb des ZENTRALSTROMES verursachte Gravitation, kann nur ihre Parallelität beibehalten, von der sie niemals abweichen wird, wenn sie  
35 nicht deutlich durch eine äußere Einwirkung davon abgebracht wird, von der wir in der Folge sprechen werden, die allerdings erst nach vielen Umdrehungen um die Sonne eine fühlbare Änderung der Situation erreicht, indem nämlich, daß die Achse, verlängert bis zu den Fixsterne, in ihrer äußersten Stelle<sup>448</sup>, dem Pol des Äquators, einen kleinen Kreis um den Pol der Ekliptik zu beschreiben scheint, der also am Himmel ist, in Gedanken gezogen von der Ebene des Orbits bis zum Firmament.

### LXVI.

Nach dieser langen Herleitung kann man nicht mehr fragen, warum in unserem System die tägliche Umdrehung stattfindet und in welcher Richtung sie abläuft, auch nicht, warum sie in  
45 der gleichen Richtung verläuft, nach der die Bewegung abläuft, die periodisch um die Sonne ist. Die Schwierigkeiten, die sich in dieser Hinsicht bei der Hypothese der Anziehungskräfte darstellten, sind hier vollständig aufgehoben durch die Einwirkung des STROMES, die stär-

<sup>446</sup> „Trägheit“ ist hier nicht mehr gesperrt gedruckt.

<sup>447</sup> „enfile“ = „aufspießt“ wörtlich.

<sup>448</sup> „extrémité“ als Endpunkt einer Strecke aufgefaßt.

ker auf die vordere Halbkugel einwirkt, in Richtung seiner Bewegung, als auf die hintere, die ihr abgewendet ist.

Man kann in dem System des Herrn NEWTON noch eine andere Forderung erheben, die nicht weniger wichtig ist, als die erste, die darin besteht, daß die Hypothese der Anziehung verbunden ist mit der der großen Leere. Man hat dann das Recht zu fragen, wieso der Orbit jedes Planeten unfehlbar seinen Ort wechselt, indem er sich sehr langsam und in gleicher Richtung um seinen Brennpunkt dreht, der im Zentrum der Sonne ist, und warum diese Bewegung ebenfalls von Westen nach Osten verläuft, was zur Folge hat, daß nach einer langen Folge von Jahren der Hauptscheitelpunkt sich ein wenig nach Osten verlagert. Unterstellt man die Existenz der Leere, sowie, daß die Zentralkräfte im inversen Verhältnis der Quadrate der Distanzen stehen, so muß gefordert werden, daß notwendigerweise die Umlaufbahnen geschlossene Kurven sind, also perfekte Ellipsen, deren Achse, die Verbindungslinie der Hauptscheitel, absolut unbeweglich ist. Es ist wahr, daß Herr NEWTON, um die Ursache ihrer Mobilität anzugeben, Zuflucht gesucht hat zum Einfluß der Planeten aufeinander durch ihre jeweilige Anziehung, wodurch er glaubt, daß die Regelmäßigkeit ihrer Bewegung sich ändere, und daß deshalb die Aphelpunkte in Bewegung geraten. Aber ich habe an anderer Stelle schon die Schwäche und die Unzulässigkeit dieses Argumentes gezeigt, denn man kann zeigen, daß, zum Beispiel, Jupiter durch seine Größe die Hauptsache der Kräfte auf einen anderen Planeten ausüben muß, und somit dessen Aphel manchmal vorwärts und manchmal rückwärts bewegen muß, jenachdem ob der eine oder der anderer vorausgeht, alles dies also weit entfernt davon, eine gleichmäßige Bewegung, immer nach vorne und einheitlich, zu produzieren.

## LXVII.

Unsere Theorie dagegen versieht uns mit einer Erklärung dieses Phänomens, welches sehr einfach und sehr natürlich ist, wenn auch unterschiedlich von der, die ich an anderer Stelle gegeben habe. Hier also diese neue Erklärung, die aus den Prinzipien begründet ist, die ich in diesem Diskurs dargestellt habe. Wir haben bisher gesehen, daß der große Solarwirbel von einer Natur ist, die keinerlei Widerstand gegen die Himmelskörper ausübt, und die sich in mehreren tausend Jahren nicht bemerkbar macht, daß also deren Bewegung von Westen nach Osten ruhig und gleichmäßig in jeder Schicht verläuft, ferner daß diese Geschwindigkeit 230 mal weniger groß ist, als man es nach dem System von DESCARTES unterstellen mußte, der verlangt, daß der Planet, der in ihm schwimmt, keine andere Bewegung um die Sonne habe, als die, die ihm die Materie des Wirbels verleiht, der ihn mit sich führt. Jedoch, nach Herrn NEWTON und nach meinen Prinzipien, hat die jährliche Bewegung des Planeten keinen Ursprung in der des Wirbels, sondern in dem, was ihm ursprünglich eingeprägt wurde. Also ist der Ursprung intrinsisch und unabhängig von jedem anderen Grund, als dem allerersten: Auch die strengen CARTESIANER sind gezwungen anzuerkennen, daß die Zirkulation, sei es die der Sonne, sei es die des Wirbels um ein gemeinsames Zentrum, ihren Ursprung von der ersten Ursache herleiten, ich will sagen, vom Urheber der ersten Bewegung.

Überdies haben wir gesehen ( § LII und folgende ), daß, auch wenn der Wirbel nicht genug Kraft hat, um fehlbar die Geschwindigkeiten der Planeten auf ihren Umlaufbahnen zu vergrößern oder zu verkleinern, was die Regel von KEPLER verlangt, er auf jeden Fall genug davon hat, um irgendwelche Änderungen ihrer Richtungen zu verursachen, bis jetzt jedenfalls derart, daß die Umlaufbahnen, die am Anfang ihre Positionen in verschiedenen Ebenen hatten, ohne Ordnung oder Regelmäßigkeit, nunmehr die Richtungen ihres Umlaufs und deshalb auch die Lage ihrer Bahnen allmählich in den Zodiakalbereich arrangiert haben, alles durch die Bewegung des großen Wirbels. Ein Planet würde ewig seine Bewegung auf der gleichen Umlaufbahn beschreiben, nachdem deren Ebene derart in eine passende und permanente Situation gezwungen wurde, er würde bei jedem Umlauf durch die gleichen Scheitelpunkte gehen, alles ganz genau wie in der perfekten Leere, wenn der Wirbel seine Bewegung einstellen würde. Da er aber nach wie vor von Westen nach Osten zirkuliert und niemals aufhört, wird seine



Wirkung nicht nur darin bestehen, die Geschwindigkeit des Planeten fühlbar zu ändern, sondern auch wenigstens darin, ein wenig jeden Punkt des Orbits nach vorne zu verschieben. Daraus folgt offensichtlich, daß der Orbit selbst sich in einer gleichmäßigen Bewegung zu befinden scheint, aber sehr langsam, um seinen Brennpunkt, wobei folgerichtig die Scheitel in genau der gleichen, uniformen Langsamkeit mitgenommen werden in der gleichen Richtung von Westen nach Osten.

Da haben wir also eine Erklärung, die, wie mir scheint, einfach und nicht weniger klar ist, für dieses Phänomen, das durch seine Bedeutung würdig gefunden wurde, der Gegenstand des Preisausschreibens der berühmten Akademie im Jahre 1730 zu sein.

#### Vierter Teil.

#### LXVIII.

Bis jetzt habe ich prinzipielle Phänomene behandelt, die die moderne Astronomie mit der größten Exaktheit und Hingebung beobachtet hat. Die physikalischen Gründe, die ich aus meiner Theorie hergeleitet habe, um diese Fakten zu klären, erscheinen mir derart, daß ich zumindest ins Auge fassen kann, daß sie sehr wahrscheinliche Entwürfe darstellen, und dies aufgrund ihrer Einfachheit und der Klarheit der Prinzipien, auf denen ich mein System aufgebaut habe. Ich unterwerfe somit das Ganze dem Urteil meiner ( Preis- ) Richter, die weise und klardenkend sind, und die gewohnt sind, ihren Spruch nur zugunsten der Solidität der Argumente auszusprechen.

Es ist offensichtlich Zeit, daß ich mich bemühe, mich der Frage, die wieder auf den Tisch kommt, zuzuwenden, aufgrund der Tatsache, daß man gemäß dem für das Jahr 1734 publizierten Programm, zu verstehen gibt, daß man nichts in den Arbeiten gefunden hat, die das erste Mal eingeschickt wurden, nichts, was hinreichend klar und hinreichend präzise hinsichtlich des in Frage stehenden Gegenstandes gewesen wäre. Deshalb hat man nicht geglaubt, einen Preis aussprechen zu sollen, aber die berühmte Akademie kam zu dem Urteil, daß eine so wichtige Materie für die Astrophysik sehr würdig sei, aufgeklärt zu werden und somit beschlossen, daß es nützlich sei, diesen gleichen Gegenstand erneut für das Jahr 1734 vorzuschlagen und die Frage mit dem doppelten Preis des üblichen auszustatten. Diese Großzügigkeit und löbliche Aufmerksamkeit für das öffentliche Wohl sollte die Wissenschaftler begeistern, und speziell die, die danach streben, das Vorankommen der Wissenschaften zu bewirken, haben sich stets bemüht, daran teilzunehmen, unabhängig auch von dem Profit, der ihnen deshalb zufließen könnte.

Beflügelt von diesem Geist, werde ich meine Gedanken darstellen über: *der physikalische Grund der Neigung der Ebenen der Umlaufbahnen der Planeten gegen die Äquatorebenen und der der Sonne um ihre Achse*. Ferner werde ich erläutern, *woher es kommt, daß die Inklinationen der Umlaufbahnen untereinander unterschiedlich sind*. Dies sind die genauen Formulierungen, in denen die Frage gestellt wurde. Ich schmeichle mir, daß die Lösung, die ich dazu gebe, noch mehr geschätzt wird, da sie einen perfekten Zusammenhang mit den Prinzipien meiner Theorie hat.

Es ist auch in dieser einen Sicht, aus der ich ein wenig lang meine Theorie dargestellt habe, damit man es nicht seltsam fände, daß ich mich über astronomische Tatsachen verbreitert habe, die wenig Gemeinsames mit dem Gegenstand zu haben scheinen, der jetzt Gegenstand ist. Wenn man einen Teil eines Gebäudes untersuchen will, tut man gut daran, zuerst das Gebäude ganz in Augenschein zu nehmen und dann seine Teile im besonderen, damit man ein Urteil fällen kann, ob der, um den es sich handelt, in Ordnung ist und in Einklang mit den anderen, denn darin besteht die Schönheit eines jeden Bauwerkes. So glaube ich, nicht schlecht daran getan zu haben, ein ganzes System vor Augen gestellt zu haben, mitsamt den speziellen Besonderheiten, die dessen Preis noch erhöhen. Im übrigen sind die Leistungen über die Pflicht hinaus, wie ich denke, nicht unangenehm, denn sie werfen noch einen besonderen Glanz auf die grundsätzliche Aufgabe.

### LXIX.

Um also endlich zur aufgegebenen Frage zu kommen: sie besteht aus zwei Teilen. Man fragt

1. nach dem physikalischen Grund der Inklination der Umlaufbahnen;

2. nach dem Grund der Unterschiedlichkeit dieser Umlaufbahnen.

5 Man muß nur den ersten Teil befriedigend mit einer akzeptierbaren Antwort versehen, so wird man sehen, daß die Antwort zum zweiten daraus sofort folgen wird.

Zu diesem Zweck bitte ich meinen Leser, die größte Aufmerksamkeit auf meine Erläuterungen zum ersten der beiden Punkte zu verwenden, da dieser der essentiellste der beiden ist, und sich vor allen Dingen daran zu erinnern, wie die Natur des Sonnenwirbels beschaffen ist, dem ich mit guten Gründen eine Geschwindigkeit, die 230 mal kleiner, als man sie im CARTESI-  
 10 SCHEN System unterstellen muß, zugeschrieben habe. Ferner besitzt dieser eine Kraft, die sehr ungeeignet ist, Widerstand zu leisten bzw. die Geschwindigkeit der Planeten zu verringern, weil der größte Teil der Materie des Wirbels eine perfekte Flüssigkeit ist, gleichsam unendlich verteilt und ohne Grenzen, oder auch, daß er keinerlei elementare Teile hat, die  
 15 nicht weiter teilbar wären (§ X und folgende), und folglich unfähig, den geringsten Widerstand den Körpern entgegenzusetzen, die in ihm schwimmen. Aber der Rest der Materie, das heißt die himmlischen Körper, die für einen sehr kleinen Teil in der Zusammensetzung des Wirbels enthalten sind, sind von extremer Seltenheit. Ich will damit sagen, daß sie so verteilt sind in dem riesigen Ozean des Wirbels, daß die enormen Körper der Planeten durch sie hindurchgehen, wie durch die perfekte Leere, mit genau den Geschwindigkeiten, die sie an den  
 20 jeweiligen Stellen ihrer elliptischen Umlaufbahn gemäß der Regel von KEPLER haben sollen. Während der Widerstand dieser Materie als nicht gegeben betrachtet werden muß, ist es keineswegs das Gleiche bei der Richtungsänderung, die die Planeten auf ihrem Weg machen müssen, ganz gemäß den jeweiligen Umständen, jedoch ohne etwas von ihrer Geschwindigkeit zu verlieren (§ LII & LIII). Es ist diese Richtungsänderung, die von den himmlischen  
 25 Kügelchen herrührt, die fühlbar werden kann und selbst beachtlich mit der Länge der Zeit, die bewirkt, daß sich die Ebenen der Umlaufbahnen, nachdem sie vorher in eine permanente Situation überführt worden waren, so, wie ich es vorstehend erklärt habe, sich nicht genau in der gemeinsamen Ebene mit dem Äquator des Wirbels befinden, sondern davon abweichen, dergestalt, daß die Umlaufbahnen diesen Äquator unter mehr oder weniger großen Winkeln  
 30 schneiden, ganz nach der jeweiligen Beschaffenheit der Planeten: Hier ist meine Aufgabe, dies mehr, ausreichend und im einzelnen zu erklären.

### LXX.

Zuerst stelle ich mir vor, daß die Ebene des Äquators des großen Wirbels keineswegs unterschiedlich ist, von der des Äquators der Sonne selbst. Ich betrachte die Sonne und ihren Wirbel wie ein Ganzes, derart, daß dieser sozusagen die Fortsetzung von jener ist. Also so, daß die Sonne, nachdem sie einmal ihre Bewegung der Rotation um eine Achse erhalten hatte, diese Bewegung allmählich an die Materie, die sie umgibt, vermittelt hatte, und daraus den  
 35 jetzt bestehenden Wirbel gebildet hat, dessen Zirkulation nichts macht, als der Bewegung der Sonne zu folgen, in der gleichen Richtung von Westen nach Osten, und demgemäß auch um  
 40 die gleiche Achse, jedoch mit größerer Geschwindigkeit in den benachbarten Schichten als in den weiter entfernten. Das geht so lange, bis diese differierenden Geschwindigkeiten endlich in einen Zustand der Uniformität gelangt sind, was bedeutet, daß jede, abhängig von der Distanz zur Sonne, diejenige besitzt, die die Gesetze der Mechanik von der Bildung eines Wirbels verlangen, wie wir es an anderer Stelle gezeigt haben.

Das ist die einfachste und natürlichste Idee, die man über die Ausbildung der Bewegung eines Wirbels haben kann. Denn welchen Zwang muß man sich antun, um sich mit den übertriebenen CARTESIANERN vorzustellen, daß die erste Schicht des solaren Wirbels 230 mal so schnell seine Umdrehungen vollführt wie die Oberfläche der Sonne, an die die erste Schicht  
 50 anstößt? Und welche Schwierigkeit hat man auch zu überwinden bei der Vorstellung, daß der spezielle terrestrische Wirbel, der in seiner untersten Schicht an die Oberfläche der Erde an-

stößt, 17 mal schneller rotiert, als es die Erde selbst in ihrer täglichen Bewegung macht ? Und dies alles muß man sagen, wenn man weiter aufrecht erhalten will, daß die Planeten um die Sonne und der Mond um die Erde ihre Bewegungen von der des Wirbels entnehmen, von dem man unterstellt, daß die Himmelskörper von ihm fortgetragen werden.

5 Ist es denn nicht begründet zu fordern, daß an der Stelle, an der der Sonnenwirbel an die Sonne stößt und an dem der Erdwirbel an die Erde stößt, daß diese beiden Bewegungen sich endlich mischen oder besser gesagt, einander angleichen ? Welchen Grund könnte man erfinden, der diese große Ungleichheit der Geschwindigkeit der zwei flüssigen Materien, die sich kontinuierlich reiben, aufrechterhält, ohne daß daraus weder die geringste Verzögerung an den  
10 schnellsten Stellen, noch die geringste Beschleunigung an den langsamsten Stellen resultierte? Ist das gute Gefühl nicht verletzt ? Unsere Hypothese vermeidet alle diese Unannehmlichkeiten: Also fahren wir fort, uns ihrer zu bedienen, die Fakten zu erklären, die in Frage stehen, alles in einer Art, die die Ursache klar und präzise darstellt, so, wie man es verlangt.

### LXXI.

15 Man wird mir also zustimmen, da ich deutlich gemacht habe, daß dies besser der Einfachheit der Natur entspricht, daß die Bewegung des Wirbels durch die der Sonne erzeugt wird, oder besser gesagt, daß dies nichts anderes ist, als die Fortsetzung jener, woraus folgt, daß es keinerlei Sprung gibt von der Geschwindigkeit der einen zur Geschwindigkeit der anderen, wohl  
20 aber schon, daß die Geschwindigkeit der Zirkulation abnimmt vom Zentrum zu den äußeren Bereichen, dabei dem Gesetz eines Wirbels folgend und mindestens eine riesige Distanz über die Region der Planeten hinaus. Denn konsequenterweise zirkulieren alle seine Teile um die gleiche Achse, die der Sonne. Folglich haben alle Schichten des Wirbels die gleichen Pole und die gleiche Äquatorebene. Denn welche Ursache hätte man, zu glauben, wie dies einige  
25 vorgestellt haben, daß die Schichten in verschiedenen Distanzen die Richtung ihrer Zirkulation ändern? Hier gibt es keinerlei physikalischen Grund, auf den man sich berufen könnte, der solide wäre. Ich stütze mich immer auf die Einfachheit und halte dies für ein generelles Prinzip, das man niemals ohne extreme Notwendigkeit vernachlässigen darf.

Da dies also so ist, sehe ich mit völliger Evidenz, daß, nachdem die Planeten einmal eine dauerhafte Richtung erreicht haben, in der Art, wie ich es erklärt habe, diese Richtung völlig konform zur Richtung des Wirbels sein muß, denn die eine produziert die andere. Das heißt also,  
30 daß alle Umlaufbahnen sich vollständig in der gemeinsamen Ebene des Sonnenäquators und des Wirbels befinden müßten: Jedoch lassen uns die Beobachtungen wissen, daß sie sich dem ein wenig entziehen, und daß ihre Ebenen die Ebene des Sonnenäquators schneiden, an verschiedenen Orten und unter verschiedenen Winkeln, dessen größter bis zu  $7^{\circ} 30'$  beträgt, und das ist der, den die Umlaufbahn der Erde bildet.

Diese Abweichung hat mich zu dem Urteil gebracht, daß die Hauptursache nicht allein gesucht werden darf in der Materie des Wirbels, der den Planeten unmittelbar und mit einem unmittelbaren Kontakt umgibt, und die statt dessen, wie wir es bereits überlegt haben, eher  
40 dazu dienen müßte, ihn (den Planeten) in der gemeinsamen Ebene und in der gemeinsamen Bewegung in der Äquatorebene zu halten. Aber muß man vielleicht seine Zuflucht zu einer anderen Ursache nehmen, die von weitem auf den Planeten einwirkt, um ihn von der Richtung des Wirbels abzulenken, wie nach dem Gefühl von KEPLER und einigen anderen nach ihm, die eine Art von immateriellem Magnetismus, der aus der Sonne stammen soll, eingeführt  
45 haben, der fähig wäre, Lage und Kurs der Planeten zu ändern? Aber diese Vision, die nicht wertvoller als die Anziehungskräfte ist, ist genau so obskur wie okkulte Qualitäten.

Gehen wir also nicht so weit und suchen den wahren Grund unseres Phänomens in dem Körper des Planeten selbst. Man wird ihn sicher dort finden, was viel leichter anzunehmen ist, da er nicht nur die Tatsache selbst erläutert, sondern auch die Umstände, die ihn begleiten, gestützt auf Beobachtungen der exaktesten Art, und dies ist ein unzweifelbares Kennzeichen,  
50 daß es sich hier um etwas mehr, als nur einen plausiblen Entwurf handelt.

**LXXII.**

Ich beginne damit, zu untersuchen, was mit der jährlichen Bewegung eines Planeten geschieht, wobei ich unterstelle, daß seine Gestalt eine vollkommene Kugel ist. Ich sehe, daß ein solcher Körper eine vollständige Intoleranz der bewegenden Flüssigkeit gegenüber besitzt, nach dieser oder jener Richtung mit gleicher Leichtigkeit, Einwirkungen zu gehorchen. Oder, wie ich schon mehr als einmal gesagt habe, der Wirbel, obwohl er nicht genug Kraft hat, um die Geschwindigkeit der himmlischen Körper zu ändern, hört nicht auf, auf ihre Richtungen einzuwirken (wenn sie zuerst unterschiedlich zu der seinen sind), derart, daß sie allmählich sich der allgemeinen Richtung aller Teile des Wirbels anpassen.

Es besteht folglich kein Zweifel, daß ein vollkommen sphärischer Planet (wenn es denn einen gibt) sich vollständig in der Ebene des Sonnenäquators befinden wird und niemals daraus ausbrechen wird. Es werden also diese Äquatorebene und die der planetarischen Umlaufbahn niemals einen Winkel miteinander bilden, sondern eine gemeinsame Ebene sein: Dies erscheint mir klar, ohne irgendeine weitere Erklärung.

**LXXIII.**

Man weiß aber heute, daß die Körper der Planeten keine genaue Kugelgestalt haben. Was die Erde anbetrifft, so gibt es Philosophen, die ihr die Gestalt eines gegen die Pole hin verlängerten Sphäroids zuschreiben. Hierzu im Gegensatz sagen die Herren NEWTON, HUYGENS und andere, daß das Sphäroid abgeflacht sei. Allgemeine Übereinstimmung herrscht aufgrund der Beobachtungen, daß die Achse des Jupiter kleiner ist als der Durchmesser seines Äquators, ungefähr im Verhältnis 12 zu 13. Es besteht kein Zweifel, wenn man über die physikalischen Gründe, die man dem einen oder anderen Teil zuschreibt, nachdenkt, daß eine solche Ungleichheit der Durchmesser, mehr oder weniger groß, sich auch in der Gestalt der anderen Planeten findet.

Ich besitze folglich das Recht, zu fordern, daß man mir zustimmt, daß die Planeten Sphäroiden sind: Hieraus werde ich beweisen, daß diese Gestalt notwendigerweise mit sich bringt,

1. daß die Planeten sich nicht exakt in der Richtung des Wirbels bewegen können, was also heißt, daß ihre Ebenen zur Ebene des Sonnenäquators, die außerdem die des Wirbels ist, unterschiedlich sind, und diese unterschiedliche Position verursacht die Neigung der Umlaufbahn in bezug auf die Ebene des Sonnenäquators,
2. daß diese Inklination mehr oder weniger groß sein wird, je nachdem das Sphäroid mehr oder weniger stark von der vollkommenen Kugel differiert.

Diese beiden dargestellten Punkte bilden die Antwort auf den ersten und zweiten Teil der Fragestellung.

**LXXIV.**

Ich sage also, daß die eine oder die andere Art von Sphäroid, abgeplattet oder verlängert, die Ursache sein muß dafür, daß die Richtung der Bewegung des Planeten abweicht von dem Weg, den er als Sphäre in der gemeinsamen Ebene mit der des Sonnenäquators nehmen würde. Mit diesem Unterschied, daß die Knoten der Bahnen<sup>449</sup> dieser zwei unterschiedlichen Sphäroide unterschiedliche Namen tragen, da wo der aufsteigende Knoten sein wird, BOREALIS<sup>450</sup>, im Falle des abgeplatteten Sphäroids, wird ein absteigender Knoten sein, AUSTRALIS, wenn man ein langgestrecktes Sphäroid unterstellt. Umgekehrt ändert der absteigende Knoten des abgeplatteten Sphäroids sich in einen aufsteigenden im Falle des langgestreckten Sphäroids: Ich gebe hier eine Erklärung, die aus der Navigation abgeleitet ist.

Man weiß, daß Schiffe, die von seitlichem Wind angetrieben werden, unmerklich von der Kielrichtung abweichen, anstatt ihr genau zu folgen, indem sie eine andere Richtung ein-

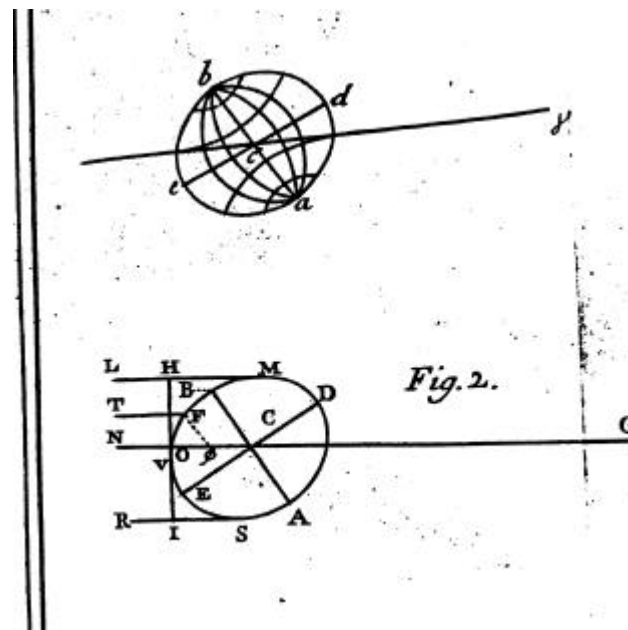
<sup>449</sup> „... les noeds de ces deux sphéroïds.“ im Text. Hier wurde des besseren Verständnis wegen, „der Bahnen“ und „unterschiedlich“ ergänzt.

<sup>450</sup> „BOREALIS“ (Lat.) = nördlich, „AUSTRALIS“ (Lat.) = südlich, metonymisch gebraucht. Die latinisierte Version wird überall da beibehalten, wo sie auch Bernoulli benutzt.

schlagen, die mit der Kielrichtung einen Winkel bildet, den die Seeleute die *Abtrift* des Schiffes nennen.

Die Natur und Ursache dieses Effektes ist bekannt und umfassend behandelt in der Handhabung der Schiffe: Dort heißt es: Wenn der Körper des Schiffes die Figur eines Kreises oder einer Kugel hätte und sich konsequenterweise indifferent in jeder Richtung mit der gleichen Leichtigkeit bewegen könnte, dann würde er zweifellos in die Richtung gehen, die die Mittellinie der antreibenden Kraft darstellte, was gleichbedeutend mit der des Kiels wäre, da jede Richtung gleichermaßen in Frage käme. Ganz im Gegensatz dazu würde ein sehr langes Schiff, aber unendlich wenig breit, konstant der Richtung seiner Länge oder der des Kiels folgen, jenachdem wie die Schiefe der Richtung der antreibenden Kraft wäre. Denn ein solches Schiff erfährt kaum Widerstand am Bug, und alle Kraft des Wassers wirkt auf die Seite ein. Es ist sichtbar, daß es sich genau in Richtung des Kiels bewegen muß ohne die geringste Abtrift. Aber es ist unmöglich in der Struktur der Schiffe, sie so zu bauen, daß nicht der Bug im Kielwasser einigen Widerstand erfährt, den das Wasser ihm entgegensetzt. Das ist der Grund dafür, daß das Schiff genötigt ist, einen mittleren Weg einzuschlagen zwischen der Richtung des Kiels und der Antriebsrichtung, das heißt also, daß es eine mehr oder weniger große Abtrift erleidet, jenachdem, ob der Widerstand des Wassers am Bug mehr oder weniger fühlbar ist. Ich sage folglich, daß die gleiche Sache bei der Bewegung der Planeten stattfindet, da sie eben keine exakte Sphäre besitzen: So sei es mir erlaubt, davon Gebrauch zu machen, und das Resultat wird erweisen, wie weit meine Überlegungen mit den gemachten Beobachtungen konform sind hinsichtlich dieser Materie.

### LXXV.



Sei  $GC$  ein Teil des Äquators des Wirbels, und unterstellen wir zuerst, daß ein Planet  $BDAE$  sein Zentrum  $C$  auf der Linie  $GC$  habe mit einer Bewegung von  $G$  gegen  $C$ . (Fig. 2) Ich sehe ganz klar, daß der Planet, wenn er eine vollkommene Sphäre wäre, seine Bewegung fortsetzen würde von  $C$  gegen  $N$  hin, ohne daß er Widerstand von der Materie des Wirbels erführe, die zwischen den beiden extremen zu  $GC$  parallelen Tangenten enthalten ist. Dieser Widerstand, der keine Kraft haben würde, um fühlbar die Geschwindigkeit des Planeten zu verringern, hätte auch keine Kraft mehr, um die Richtung zu verändern. Denn die beiden Bogen  $OBM$ ,  $OES$ , würden in diesem Fall zwei Viertel eines Kreises in ähnlicher Situation oberhalb und unterhalb von  $CO$  ausmachen, und es ist evident, daß für jede Stromlinie<sup>451</sup>, wie zum Beispiel

<sup>451</sup>

„filet“ wird hier am besten mit diesem Terminus übersetzt, im Sinne einer Kraflinie.

$TF$ , die gegen den oberen Bogen  $OBM$  einwirkt und ihre Wirkung längs  $FF'$  senkrecht zur Kurve, entfaltet, es eine ähnliche andere Stromlinie gibt, die gegen den unteren Bogen einwirkt, und die eine gleiche Wirkung entfaltet, aber von unten nach oben. So befinden sich diese beiden Einwirkungen im Gleichgewicht in bezug auf die Linie  $GC$ , der Planet wird fortfahren sich immer in der gleichen Richtung zu bewegen und wird niemals abgelenkt werden.

### LXXVI.

Es sei nun der Körper des Planeten  $BDAE$  ein Sphäroid, sei es abgeplattet oder langgezogen, dessen Rotationsachse für die tägliche Bewegung  $BA$  ist und auch noch exakt senkrecht zu  $GC$ , oder die Ebene des Äquators des Wirbels, dergestalt, daß der Äquator  $DE$  des Planeten und der des Wirbels  $GC$  eine gemeinsame Ebene bilden. Jetzt fällt der Punkt  $E$  mit  $O$  zusammen, die Widerstände seitens der Flüssigkeit gegen  $EB$  und  $EA$  sind immer noch deckungsgleich<sup>452</sup>. Von hier aus folgt auch, daß die Richtung des Zentrums  $C$ , das  $GC$  folgt, in keiner Weise geändert wird. Daraus folgt also, daß ein Planet von der Gestalt eines Sphäroids<sup>453</sup>, der seine Achse der Rotation senkrecht zur Ebene des Sonnenäquators errichtet hat, niemals von dieser Ebene abweichen würde, was hieße, daß die Ebene des planetarischen Orbits und die Ebene des Sonnenäquators keinerlei Winkel bilden würden. Hiermit sind zwei einzigartige Fälle vorgestellt, wo es keinerlei Inklination gäbe.

### LXXVII.

Aber laßt uns nun einen Planeten betrachten, der als Gestalt ein abgeplattetes Sphäroid besitzt (Fig. 2), dessen Rotationsachse in Richtung  $GC$  geneigt sei, was ich immer noch als einen Teil des Äquators des Wirbels betrachte, und laßt uns sehen, ob der Planet sich in der Richtung  $GC$  halten kann, oder ob er gezwungen sein wird davon allmählich abzuweichen und einen anderen Weg,  $gc$ <sup>454</sup>, zu nehmen. Zu diesem Zweck sei der Punkt  $V$  der am weitesten in Richtung der Bewegung des Planeten gelegene Punkt, und durch ihn, stelle man sich vor, sei die Tangente  $HVI$  gezogen, welche senkrecht zu den Geraden  $ML$ ,  $ON$ ,  $SR$  sei. Ferner sei dieser Berührungspunkt  $V$  unterhalb der Richtung  $GCN$ , so daß der gesamte Bogen  $MOS$ , der der Einwirkung der Stromlinien zwischen  $ML$  und  $SR$  ausgesetzt ist, in zwei ungleiche Teile geteilt ist. Der größere  $VBM$  erhält auch die Einwirkung der größeren Zahl der Stromlinien, die alle sich verbünden, den Planeten geneigt von oben nach unten zu drücken, während der kleinere Teil  $VES$  die kleinere Zahl solcher Stromlinien empfängt, die vereint darauf hinwirken, den Planeten zurückzustoßen, von unten nach oben.

Da aber die zwei Kräfte gegen  $VBM$  und  $VES$  ungleich sind, die kleinere wird der größeren weichen, folgt, daß das Zentrum  $C$  die Richtung  $GC$  verlassen und einer anderen,  $gc$ , unterhalb der ersten, folgen wird. Das wird schon geschehen, sowie der Winkel  $BCO$  beginnt, spitz zu werden, denn man muß in Betracht ziehen, daß dieser Winkel  $BCO$ , den die Rotationsachse  $BC$ , die immer parallel zu sich selbst ist, mit der Richtung  $CO$  bildet, welche immer in eine andere Richtung zeigt, kontinuierlich seine Größe ändert, wie wir es nachstehend genauer sehen werden.

### LXXVIII.

Wir unterstellen jetzt den Fall, daß der Planet, nachdem er eine halbe Umdrehung vom einen Knoten zum nächsten gemacht hat, sich im gegenläufigen Sinn zur vorigen Richtung bewegt, also von  $C$  gegen  $G$ , derart, daß der Winkel  $BCG$  stumpf<sup>455</sup> ist. Man sieht einleuchtend, daß die stärkste Einwirkung der Flüssigkeit des Wirbels, der sich auf den unbedeckten Teil  $MDAS$  auswirkt, von unten nach oben wirkt, und somit konsequenterweise das Zentrum  $C$  in Richtung  $CG$  ablenken wird, damit es die Richtung  $cg$  oberhalb von  $CG$  einnehmen wird, und das

<sup>452</sup> „semblables & égaux“ wird wie der entsprechende Ausdruck im damaligen Latein mit „deckungsgleich“ übersetzt.

<sup>453</sup> Das Adjektiv „sphaeroïdique“ hat keine deutsche Entsprechung, deshalb substantivisch übersetzt.

<sup>454</sup>  $gc$  ist bei Fig.3 (folgende Seite) eingezeichnet.

<sup>455</sup> „optus“ im Text wird als „obtus“= „stumpf“ interpretiert.

geschieht auch bevor der Winkel  $BCG$  stumpf zu werden beginnt.

Es ist zu bemerken, daß die zwei Schnittpunkte, in denen die zwei Linien  $cg$ ,  $g$  die verlängerte Linie  $CG$  von der einen oder anderen Seite schneiden, die zwei Knoten der Bahn des Planeten repräsentieren, wobei der erste Schnittpunkt den Knoten AUSTRALIS, und der zweite den Knoten BOREALIS ergibt.

5

Bleibt noch zu erklären, welchen Effekt der Widerstand der Flüssigkeit des Wirbels gegen einen Planeten ausüben wird, der die Gestalt eines langgezogenen Sphäroids hat, wobei wir sehen werden, daß dieser Effekt gerade umgekehrt in bezug auf den ersten in der Ordnung der Bewegung des Planeten auf seiner Umlaufbahn sein wird. Ich will damit sagen, der absteigende Knoten oder AUSTRALIS ändert sich hier in BOREALIS und umgekehrt BOREALIS in AUSTRALIS.

10

### LXXIX.

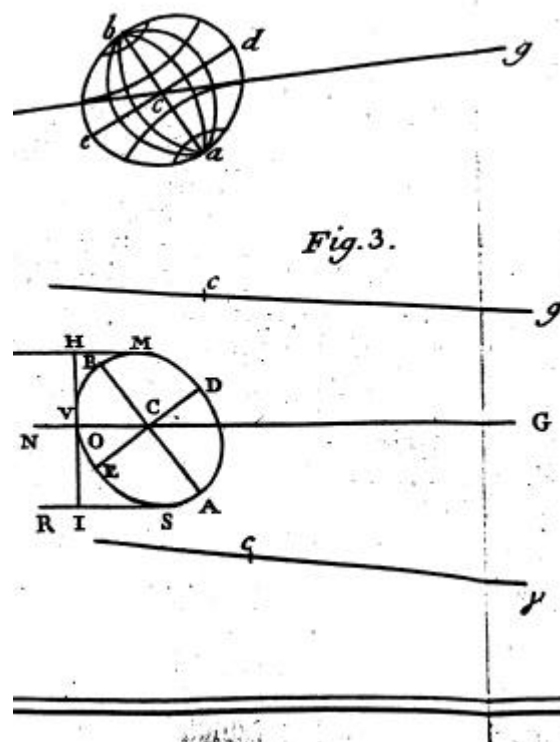


Fig. 3.

Sei also ein Planet von der Form eines langgestreckten Sphäroids  $BDAE$  (Fig. 3) gegeben. Die Achse der Rotation  $BA$  sei größer als der Durchmesser seines Äquators  $DE$ , sein Pol BOREALIS sei  $B$ , und AUSTRALIS sei  $A$ , das Zentrum sei  $C$ . Alle anderen Linien seien wie in der vorigen Figur gezogen. Wir sehen zuerst, daß der Berührungspunkt  $V$ , der den Bogen  $MVS$ , der dem Druck der Flüssigkeit ausgesetzt ist, die zwischen den extremen Stromlinien  $LM$ ,  $RS$  enthalten ist, teilt, über der Äquatorrichtung des Wirbels ist: Deshalb hat der Druck, der auf die untere Partie  $VES$  ausgeübt wird, und dessen mittlere Richtung von unten nach oben wirkt, Übergewicht gegen den, der sich auf die obere Partie  $VBM$ , dessen mittlere Richtung von oben nach unten wirkt. So kann sich das Zentrum  $C$  nicht auf der Richtung  $GC$  halten und wird nach dem oberen  $c$  abgelenkt. Es wird der Richtung  $gc$  folgen, oberhalb von  $GC$ . Und wenn dieser ungleiche Druck, dessen unterer Teil größer ist als der obere, erreicht hat, daß der Winkel  $BCO$  spitz wird, so sieht man, daß die verlängerten Linien  $CG$ ,  $cg$  sich auf der Seite von  $G$ ,  $g$  schneiden müssen, von der der Planet kommt. Konsequenterweise wird dieser Schnittpunkt der Knoten BOREALIS, denn in genau diesem Punkt, wir werden es sehen, wird der Winkel  $BCO$  in rechter Winkel und von da an spitz.

20

25

### LXXX.

In der Gegenbewegung, wenn sonst alles gleich bleibt, unterstellt man den Fall, in dem der Planet sich von  $C$  in Richtung  $G$  bewegt, und daß der Winkel  $BCG$  stumpf ist. Man beweist

30

mit einer ähnlichen Überlegung wie wir sie bereits in § LXXVIII gemacht haben, daß der Planet gezwungen sein wird, gegen den Pol AUSTRALIS des Wirbels abzusteigen, und daß sein Zentrum die Richtung  $c\mathbf{g}$  beschreiben wird. Verlängert zu der Seite, von der er kommt, wird sie  $GC$  in einem Punkt in Richtung  $N$  schneiden, der dann der Knoten AUSTRALIS sein wird. Denn dort wird es sein, wo der Winkel  $BCG$  ein rechter Winkel ist und beginnt, sich in einen stumpfen Winkel zu ändern.

Man muß noch bemerken, daß, sowohl für die eine, wie für die andere Art von Sphäroiden, deren Achse geneigt ist zur Ebene der Umlaufbahn, es zweimal in jedem jährlichen Umlauf geschieht, daß die Winkel  $GCB$  und  $BCO$  rechte Winkel werden, was heißt, daß die Richtung zum Zentrum des Planeten senkrecht zur Position der Achse  $BA$  ist, einmal, wenn der Planet an die Stelle seiner Umlaufbahn gelangt, wo seine verlängerte Rotationsachse die Achse des Sonnenäquators trifft oder schneidet im Pol BOREALIS, und noch einmal, nach einem halben Umlauf, treffen sich diese beiden verlängerten Achsen im Pol AUSTRALIS.

### LXXXI.

Es sind also die beiden Winkel  $BCG$ ,  $BCO$  in diesen beiden Punkten rechte Winkel. Dort also findet der Wechsel der Wirkung an Abweichung der Flüssigkeit auf die Oberfläche des Sphäroids statt. Es wird dort geschehen, daß der Teil der mehr zu diesem Effekt beigetragen hat, anfängt derjenige zu werden, der weniger dazu beiträgt und umgekehrt, der Teil, der weniger dieser Wirkung ausgesetzt war, wird nun dieser mehr ausgesetzt sein als der andere. Dies ist evident, wenn man in Betracht zieht, daß die Richtung der Rotationsachse während des Umlaufs um die Sonne beibehalten wird.

Daher kommt es, daß die Knoten der Planetenbahn<sup>456</sup> im Hinblick auf den Sonnenäquator sich da befinden, wo die Planeten ihr Solstitium haben. Denn es ist sichtbar in diesen Punkten, daß die Achse des Wirbels und die Achse der Rotation eines Planeten in der gleichen Ebene sind, und daß die Winkel  $BCG$ ,  $BCO$  rechte Winkel werden, wenn man die Umlaufbahn des Planeten als einen perfekten Kreis betrachtet, dessen Zentrum mit dem des Wirbels zusammenfällt. Da diese aber in Wahrheit eine Ellipse ist, wie sehr sie sich auch immer einem Kreis annähern mag, werden wir weiter unten sehen, daß dies bewirkt, daß die Knoten etwas außerhalb der Solstitienpunkte liegen.

### LXXXII.

Bis jetzt haben wir die Bewegung des Planeten so betrachtet, als ob sie sich in einer ruhigen und ruhenden Flüssigkeit abspielte, deren einziger Widerstand der sein sollte, daß sie seiner (des Planeten) Bewegung, welche er hatte, auswich, als sei er perfekt rund, oder, als ob sich seine Bewegung in der Leere abspielte. In gleicher Weise wie er erfahren die Schiffe eine Abtrift, sobald die Tendenz ihres Kurses<sup>457</sup> nicht direkt entgegengesetzt ist zur mittleren Richtung des Wasserwiderstandes, derart, daß der Ort eines Schiffes sich mehr und mehr entfernt vom Ort, an dem es sich befände, wenn man die Ursache der Abtrift vermeiden könnte.

Da aber die Flüssigkeit des Wirbels selbst eine Bewegung hat, sei sie auch 230 mal langsamer als die des Planeten, die in gleicher Richtung verläuft wie diese, nämlich von Westen nach Osten, und deren Wirkung, allmählich eine konforme Richtung in der Ebene des Sonnenäquators einzunehmen, ich demonstriert habe, ist es einsichtig, daß, je mehr sich der Planet dieser Richtung aufgrund der Ungleichheit des Druckes, den er von vorne erfährt, entzieht, desto mehr wird er durch diese andere Ursache gezwungen sein, nach unten zurückzukehren und sich wieder dem Äquator des Wirbels annähern.

Die erste der beiden Ursachen, die von der Inklination der Achse  $BA$  des Planeten bezüglich der Richtung seines Kurses abhängt, bewirkt die Erhöhung der Abtrift von dem Moment an, an dem die Winkel  $BCG$ ,  $BCO$  rechte Winkel geworden sind, bis daß sie so ungleich geworden sind, wie es nur möglich ist, der eine stumpfest und der andere spitzest, so weit wie die

<sup>456</sup> BERNOULLI spricht immer von „noeuds de Planète“.

<sup>457</sup> „de leur route“..“ wurde in nautische Sprache übertragen.



andere Ursache, die bestrebt ist, die Abtrift zu verkleinern, es ihnen erlaubt. Das spielt sich also seit dem Knoten bis zur Begrenzung des Planeten ab, oder, zwischen dem Schnitt von Äquator und Umlaufbahn bis zum Punkt ihrer größten Entfernung.

5 Wenn dieser Punkt passiert ist, bewirkt die Parallelität der Achse *BA*, daß die Winkel *BCG*, *BCO* sich jeder dem rechten Winkel nähern, wodurch als Folge die Ungleichheit des Druckes gegen die beiden Teile *VBM*, *VES* sich verringert, währenddessen die andere Wirkung kontinuierlich darauf hin wirkt, den Planeten in die Richtung der Flüssigkeit zurückzubringen. Er wird folglich zurückgestoßen auf den Weg, der zur Ebene des Sonnenäquators gerichtet ist, derart, daß er den gegenüberliegenden Knoten, wo abermals die Achse *BA* senkrecht zur  
10 Richtung des Planeten auf seiner Bahn ist, passiert. Als Konsequenz tritt kein unterschiedlicher Druck gegen die zwei Teile *VBM*, *VES* auf.  
Nachdem der Planet den gegenüberliegenden Knoten passiert hat, ist es ebenfalls einsichtig, daß er die andere Hälfte seiner Bahn in der gleichen Weise und nach den gleichen Gesetzen fortsetzen wird, wie er es auf der ersten tat. Das wird so ablaufen, daß das eine (Gesetz), das ihn ausweichen ließ und seine Abtrift gegen den Pol *AUSTRALIS* bewirkte, gemäß der Art  
15 des Sphäroids, das andere ihn notwendig gegen den Pol *BOREALIS* treiben wird. Denn nach einer halben Umdrehung tauschen die der Einwirkung der Flüssigkeit ausgesetzten Teile der Oberfläche ihre Situation: Die eine, die mehr davon erfahren hatte, weil sie auf der einen Seite in bezug auf die Richtung der Flüssigkeit war, wird nun die sein, die am wenigsten davon  
20 erfährt und umgekehrt.

### LXXXIII.

Hiermit sind zwei zueinander gegensätzlich wirkende Gründe dargestellt, die die Lage der Ebene der Umlaufbahn regeln sollten und ihr eine gewisse Neigung zur Ebene des Sonnenäquators geben. Ebenfalls wurde dargestellt, wie die *Abtrift* (es sei mir erlaubt, diese durch  
25 Widerstand der Flüssigkeit verursachte Abweichung, ähnlich der des Wassers gegen das Schiff, so zu nennen) gänzlich einesteils von der Gestalt des Sphäroids, mehr oder weniger von der Uniformität einer Kugel abweichend, andernteils von der mehr oder weniger großen Neigung der Achse der täglichen Bewegung bezüglich der Ebene der Umlaufbahn abhängt. Denn es entsteht keinerlei Abtrift, wie wir schon gesagt haben, wenn diese Achse senkrecht  
30 zu dieser Ebene steht, wie stark auch immer das Sphäroid von der perfekten Kugelgestalt abweichen möge. Wie ich schon gesagt habe, sind diese beiden Umstände, die Gestalt des Sphäroids und die Inklination der Achse, ohne Zweifel unterschiedlich bei unterschiedlichen Planeten. Man muß also nicht fragen, wieso die Neigungen der Umlaufbahnen untereinander unterschiedlich sind, denn jeder Planet ist in einem ganz speziellen Zustand bezüglich dieser  
35 beiden Umstände. Es ist evident, daß die Neigung seiner Umlaufbahn für ihn auch sehr speziell sein muß, ich will damit sagen, unterschiedlich zu den anderen. Es erscheint darum unnötig, noch in großer Breite zu erklären, welche Ursache dieses Phänomen hat.  
Indessen will ich noch etwas zur Größe der Neigung der Umlaufbahnen sagen. Wir haben gesehen, daß der Widerstand, den die Flüssigkeit des Wirbels den Himmelskörpern bietet, so  
40 unmerklich ist, daß deren Geschwindigkeit keine wahrnehmbare Verringerung erleidet, vielleicht selbst nicht während der gesamten Dauer der Welt: Wir haben gleicherweise gesehen, daß die Zirkulationsbewegung des Wirbels 230 mal kleiner ist als die des Planeten, in der Gegend wo jener sich aufhält, so daß sie die Geschwindigkeit, die der Planet an den verschiedenen Orten seiner elliptischen Umlaufbahn, gemäß der *KEPLERSCHEN* Regel, annehmen  
45 muß, weder beschleunigen noch verringern kann, es ist eben alles, was der umlaufende Wirbel erreichen kann, daß allmählich die Richtung des Planeten umgelenkt wird in die allgemeine Richtung von Westen nach Osten.  
Während man so über die Schwäche der beiden Gründe nachdenkt, die ich gerade erklärt habe, die gegeneinander konkurrieren, die Neigungen der Umlaufbahnen zu bestimmen, und die  
50 nur die Richtungen aber nicht die Geschwindigkeiten beeinflussen, dann erscheint es sehr wahrscheinlich, daß die Inklination jedes Orbits nicht vom ersten Umlauf bewirkt wurde,

sondern daß es einer großen Anzahl von Umläufen bedurfte, bevor die Inklination zu ihrer jetzigen festen Größe und Lage gelangt ist, die man heutzutage beobachtet.

#### LXXXIV.

Ein anderer Umstand ist ebenfalls beachtenswert, nämlich daß die Umlaufbahn eine Ellipse ist, in deren einen Brennpunkt die Sonne ist. Alle von dort zum Umfang gezogenen geraden Linien, ausgenommen die beiden Hauptscheitel, bilden schräge Winkel mit den Tangenten<sup>458</sup>. Es ist klar, daß während der Zeit, in der der Planet aufsteigt vom Perihel zum Aphel, die Strömungsrichtung der Flüssigkeit gegen die vordere Hälfte des Planeten einen stumpfen Winkel mit der Linie zur Sonne bildet, und daß dieser Winkel spitz wird vom Zeitpunkt an, in dem er den Aphel passiert hat bis zu seiner Rückkehr zum Perihel.

Da aber die elliptischen Umlaufbahnen sich sehr einer richtigen Kreisbahn annähern, differieren diese stumpfen und spitzen Winkel nur sehr wenig von rechten Winkeln. Von daher kann man schließen, daß die zwei Punkte des Orbits, in denen Gleichgewicht des Druckes der Flüssigkeit auf den Planeten herrscht, also die beiden Knoten, sich nicht genau in den beiden Punkten für die Solstitien befinden, sondern immer sehr nahe daran. Auf diese Art und Weise kann man sicher sein, daß die Planeten entweder ein wenig früher oder ein wenig später vor oder nach dem Durchgang durch die Knoten zu den Solstitien kommen.

#### LXXXV.

Dies wenigstens kann sehr gut durch die Beobachtung vom BOREALIS- Knoten der Erdbahn in bezug auf den Äquator der Sonne verifiziert werden, der, die Sonne war im 8. Grad des II. Quadranten, vom Punkt des Sommersolstitiums nur 22 Grad entfernt war. Es wäre zu wünschen, daß die Herren Beobachter sich die Mühe machten, die Orte der Solstitien der anderen Planeten zu bestimmen, so wie sie es für die Knoten des Sonnenäquators gemacht haben, um zu sehen, ob bei jedem Planeten die Knoten und die Solstitienpunkte nicht sehr dicht aufeinander folgen: Eine solche Beobachtung gäbe meinem Entwurf über den wahren Grund der Inklination der planetarischen Umlaufbahnen ein großes Gewicht, vorausgesetzt, daß man eine konstante Nähe zwischen den beiden Punkten fände. Es wäre nötig zum Beispiel, daß der Mars, wenn er durch seinen Knoten geht, der zwischen dem 14. und dem 15. Grad des II. Quadranten ist, nicht weit von seinem Solstitium wäre, sei es, daß er es schon passiert habe, sei es, daß er nahe sei, es zu passieren.

#### LXXXVI.

Bei dieser Gelegenheit darf ich nicht eine der wichtigsten nützlichen Anwendungen, die man aus meinem System ziehen könnte, mit Schweigen übergehen, wenn es denn das Glück hätte, angenommen zu werden: Diese nützliche Anwendung bestünde darin, daß man imstande wäre, die berühmte Frage zu entscheiden, welches die wahre Gestalt der Erde sei, ob es ein verlängertes oder ein abgeplattetes Sphäroid sei. Die Gefühle der Philosophen unserer Zeit sind, was diese Frage angeht, seit 40 oder 50 Jahren geteilt. Man bringt von der einen oder anderen Seite solide Beweise vor: Die Herren HUYGENS, NEWTON und mehrere große Geometer, die ihnen folgen, machen geltend, daß die Verringerung der Schwere der irdischen Körper zum Äquator der Erde hin, durch die Zentrifugalkraft an diesen Körpern verursacht sei, die aus der täglichen Erdumdrehung resultiere, denn diese Kraft ist größer an diesen Orten als an Orten, die den Polen näher sind, was ein unwiderlegbares Argument dafür wäre, daß die Erde am Äquator mehr erhoben wäre als an den Polen. Dazu fügen sie noch die Erfahrung der Verkürzung der Sekundenpendel an, die man in den Ländern, die dem Äquator benachbart sind, vornehmen muß, dies eine bezeichnende Eigenschaft für das, was sie denken, nämlich einer viel größeren Verringerung der Schwere.

Andere große Männer unterstützen das Gegenteil und berufen sich im wesentlichen auf die aktuelle Erdvermessung, die an verschiedenen Orten und in diversen Ländern mit der größt-

<sup>458</sup> Gemeint sind die Tangenten, die sich im Schnittpunkt der Brennstrahlen mit der Peripherie ziehen lassen. „Schräg“ meint hier: „nicht rechtwinklig.“

möglichen Exaktheit vorgenommen wurden. Die Erfahrung hat konstant gezeigt, daß die Grade auf dem gleichen Meridian einen längeren Bogen hatten bei Orten von geringerer Breite als in denen, die siebzig<sup>459</sup> überschritten, und daß deren Länge sich verkleinerte, in dem Maß, wie man sich dem Pol näherte. Dies ist ein gültiger geometrischer Beweis dafür, daß der Meridian die Form einer Ellipse hat, deren große Achse durch die Pole der Erde geht, und konsequenterweise ist die Gestalt der Erde ein verlängertes Sphäroid.

Man kann kaum an der Exaktheit zweifeln, mit der diese Messungen in Frankreich vorgenommen wurden, wenn man die Arbeiten liest, die man darüber publiziert hat, und wenn man über die Sorgfalt und die außerordentlichen Vorsichtsmaßnahmen, die bei dieser peniblen Arbeit angewendet wurden, nachdenkt. Die Arbeit, die Herr CASSINI über die Gestalt der Erde in den „Mémoires“<sup>460</sup> von 1713, Seite 188 veröffentlicht hat, verdient besondere Aufmerksamkeit wegen der Solidität seiner Begründung für ein verlängertes Sphäroid. Es scheint mir nicht, daß dieser berühmte Autor in seiner Meinung wankend geworden wäre durch die zweite Ausgabe der *Principes Phil.*<sup>461</sup> des Herrn NEWTON, die im gleichen Jahre 1713 erschien, in der Herr NEWTON nicht nur auf seiner gegenteiligen Auffassung weiterhin besteht, die durch die Ungleichheit der Sekundenpendel begründet ist, sondern, in der er Seite 383 eine Liste hinzufügt (die man keineswegs in der ersten Ausgabe findet) über die Vermessung eines Grades aufeinanderfolgend vorgenommen längs eines Meridians. Von ihr gibt er vor, daß man sähe, daß diese Längen sich vom Äquator zu den Polen vergrößern, so, als wenn es eine beschlossene Sache sei, daß die Verkürzung des Sekundenpendels ein untrüglicher Beweis dafür sei, daß die Erde am Äquator gegenüber den Polen erhoben sei, anstatt zu sehen, daß man daraus auch andere Dinge ableiten könnte, vor allem auch, wenn die Erde kein weniger verlängertes Sphäroid wäre, daß sie es auch nicht wäre in ihrem Primitivzustand, das heißt ohne tägliche Bewegung. All dies hat Herr de MAIRAN sehr gut in seinen exzellenten „*Recherches géométriques sur la diminution des degrés en allant de l'équateur vers les poles*“, erklärt: *Man sehe nach in les Mém. de l'Acad. de 1720, Seite 231.*<sup>462</sup>

### LXXXVII.

Zudem hat Herr CASSINI, weit davon entfernt seine Meinung durch die zweite Edition des Werkes des Herrn NEWTON zu ändern, uns eine neue Dissertation in den Mémoires von 1718, S.245, gegeben, in der er nicht nur bestätigt, was er über die verlängerte Gestalt der Erde gesagt hat und über die außerordentliche Präzision, mit der die Gradmessung des Meridians vorgenommen wurde, sondern er treibt auch die Exaktheit so weit, daß er in Klaffern<sup>463</sup> die Erdachse, den Durchmesser des Äquators und den Abstand der zwei Brennpunkte der erzeugenden Ellipse für das verlängerte Sphäroid angibt. S. S. 255.

Oder soll etwa dieser große Astronom, der sich selbst mit dieser Arbeit beschäftigt hat, im Einvernehmen mit den Herren MARALDI & DE LA HIRE, alle gleicherweise zuhause in der Kunst der Beobachtung, mit solcher Entschiedenheit einen Fakt derart geäußert haben, wenn er nicht von ihm überzeugt gewesen wäre durch wiederholte Messungen und Verifizierungen durch eine große Zahl anderer ?

Eine Übereinstimmung im Beweis ergibt sich gegenwärtig aus meiner Theorie, die zugunsten des verlängerten Sphäroids entscheidet. Denn das, was ich in den §§ LXXIX, LXXX demonstriert habe, folgt notwendigerweise, wenn man beobachtet, daß ein Planet in der Zeit seines Sommersolstitiums in der Umgebung seines absteigenden Knotens ist, dieser Planet muß die Gestalt eines länglichen Sphäroids haben. Unter der großen Zahl von Beobachtungen, die

<sup>459</sup> „...les plus septentrionaux...“ im Text. In der französischen Schweiz früher gebrauchte Zählung „septante“ statt „soixante-dix“.

<sup>460</sup> Vermutlich Mémoires de l' Académie des Sciences, Paris 1713.

<sup>461</sup> 1713 erschien die 2. Ausgabe der „PRINCIPIA“ herausgegeben von COTES.

<sup>462</sup> Mémoires de l' Académie des Sciences, Paris 1720, S.231.

<sup>463</sup> „en toises“ = altes Pariser Entfernungsmaß = 6 Pariser Fuß = 1,95 Meter

derselbe Herr CASSINI, ein fleißiger Beobachter sowohl des Himmels als auch der Erde, mit unermüdlichem Fleiß gemacht hat, um die Bewegung der Sonnenflecken zu bestimmen, befindet sich auch eine in den Mémoires von 1703 S. 109 und die folgenden auf den folgenden Seiten. Diese exakte Beschreibung der Bewegung von zwei Sonnenflecken, die ungefähr auf dem gleichen Parallelkreis der Sonnenscheibe verläuft, ein wenig entfernt vom Äquator, ist völlig konform mit meinen Gedanken. Denn man muß nur seine Augen auf die Figur lenken, die der Beobachter hat gravieren lassen, um die Bewegungsspur dieser zwei Flecken vom 24. Mai 1703 bis zum darauf folgenden 3. Juni wiederzugeben.

Diese Spur ist deutlich eine gerade Linie, wenn man sich eine Parallele durch das Zentrum der Scheibe gezogen denkt, dann repräsentiert diese Parallele den Äquator der Sonne, und es ist sichtbar, daß von der westlichen Seite, diese Linie (der Sonnenfleckenspur, Übers.) unterhalb der in der Figur markierten Ekliptik verläuft, wobei sie zusammen einen Winkel von 8 Grad bilden. Und dies ist die Neigung der Ebene der Ekliptik oder der Umlaufbahn der Erde gegen die Ebene des Sonnenäquators. Der Schnitt dieser beiden Linien auf der Scheibe, d.h. also des Äquators und der Ekliptik, bezeichnet den aufsteigenden Knoten der letzteren in bezug auf den Sonnenäquator. Wenn man nun in Gedanken eine gerade Linie vom Zentrum der Sonne durch diesen Knoten bis zum terrestrischen Orbit zieht, dann wird der Punkt, wo diese Gerade ihn treffen wird, der aufsteigende Knoten der Erde sein.

Es ist also der aufsteigende Knoten oder BOREALIS, den die Erde am 28. Mai 1703 passierte, der Tag, der von Herrn CASSINI auf S. 112 markiert wurde als der, der den Lauf der Flecken durch die Mitte seiner gezeichneten Parallelen brachte. Also war die Sonne im 8. Grad des II. Quadranten, d.h. 22 Grad oder ungefähr ebenso viele Tage vor dem Sommersolstitium. Daher muß ich schließen<sup>464</sup>, meiner Theorie folgend, daß die Gestalt der Erde in Wahrheit ein verlängertes Sphäroid ist, in Übereinstimmung mit dem Resultat der in Frankreich aktuell vorgenommenen Messungen. Ich schmeichle mir, daß diese Übereinstimmung den Herren Beobachtern nicht mißfallen wird, um so mehr, als dadurch der Verdacht, es könnten sich etwelche Ungenauigkeiten in ihre Maßnahmen eingeschlichen haben, ausgeräumt wird, und dies ist das einzige Gegenargument derer, die für das abgeplattete Sphäroid der Erde sind.

### LXXXVIII.

Um deutlicher die verschiedenen Effekte verständlich zu machen, die der Widerstand der Flüssigkeit des Wirbels bei den zwei verschiedenen Arten von Sphäroiden bewirkt, werde ich danach trachten, alles das, was ich weiter vorne durch die Figuren 2 und 3 demonstriert habe, klarer vor die Augen zu stellen. Ich werde deshalb zwei neue Figuren benutzen, die das eine und das andere Sphäroid repräsentieren, was ihnen auf ihrem Weg während eines vollen Umlaufs um die Sonne geschehen wird. Ich werde dabei unterstellen, um der Vorstellungskraft entgegen zu kommen, daß die Umlaufbahn ein Kreis sei und die Sonne in dessen Zentrum. Denn es handelt sich hier nur darum, vor Augen zu stellen, wie die Neigung der Ebenen der Umlaufbahnen in bezug auf den Äquator der Sonne zustande kommen.

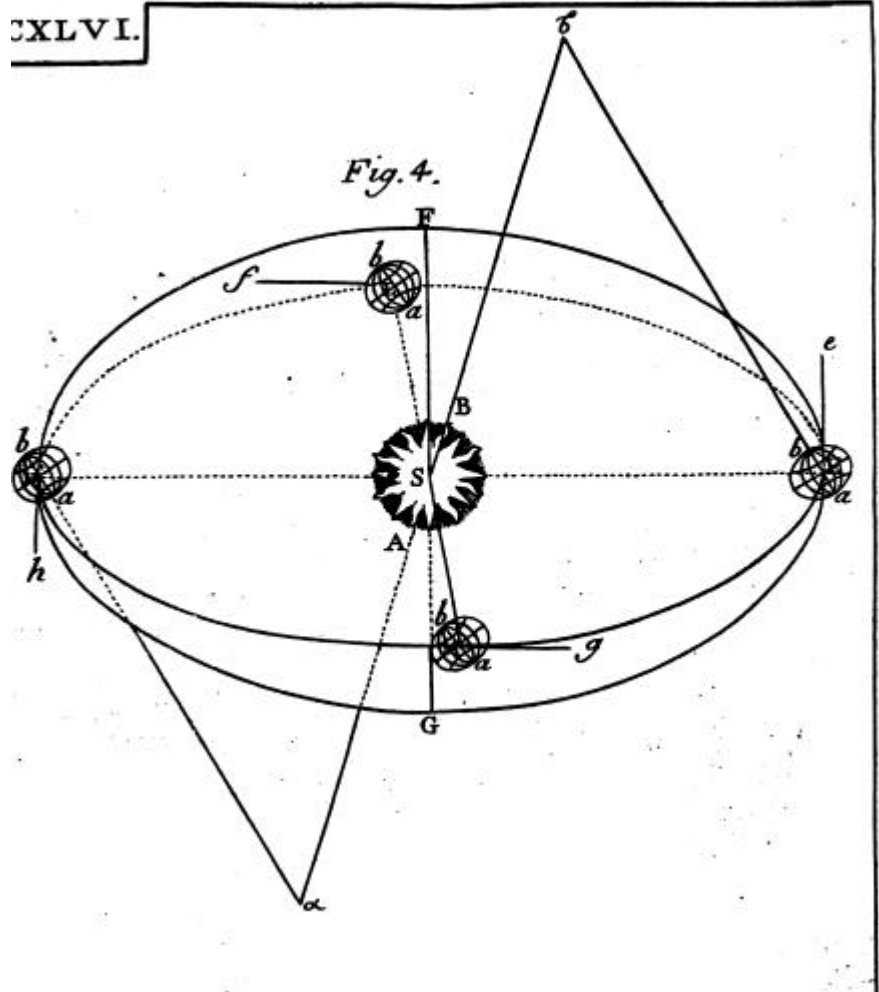
<sup>464</sup> „inferer“ wurde als „inférer“ interpretiert.

## LXXXIX.

ab. L.

Tom. III. pag. 354.

EXLVI.



- Sei  $S$  das Zentrum der Sonne,  $EFHG$ <sup>465</sup> (Fig. 4), der Äquator des Wirbels, konzentrisch und in derselben Ebene mit dem Äquator der Umdrehung der Sonne um deren Achse  $BSA$ , welche senkrecht zur Ebene der beiden Äquatoren ist.  $B$  ist der Pol BOREALIS oder oberhalb der Sonne,  $A$  ist der Pol AUSTRALIS oder unterhalb. Wir stellen uns einen Planeten vor, zum Beispiel die Erde, der sich zuerst im Äquator des Wirbels in dem Punkt des Sommersolstitiums  $E$  befindet, und der bestimmt ist, sich um die Sonne zu bewegen. Wir verstehen dann mit
- 5 Leichtigkeit, denn es wurde ja schon im vorstehenden Text erklärt, daß die Erde genau den Äquator des Wirbels beschreiben muß, ich will damit sagen, daß dieser Äquator und die Umlaufbahn der Erde der gleiche Kreis sein müssen. Denn die Gestalt des Globus ist perfekt sphärisch, und weil die Uniformität dieser Figur keinen äußeren Einfluß zuläßt, der die Erde von ihrer einmal begonnenen Bahn abbringen könnte, wird sie sich immer in die gleiche
- 10 Richtung bewegen, ganz wie ein Schiff in Kugelgestalt auf dem Meer in eine bestimmte Richtung gestoßen würde, ohne die geringste Abtrift zu erfahren.
- Da aber die Erde die Gestalt eines Sphäroids hat, ist es einsichtig, daß sie während ihres Umlaufs um die Sonne der Materie des Wirbels eine Hälfte ihrer Oberfläche zum Widerstand darbietet, die kontinuierlich ihre Lage ändert, wobei sie auch ihre Gestalt in bezug auf die
- 20 Richtung anpaßt, da die Rotationsachse der Erde  $ba$  ihre Lage im Raum parallel beibehält, während sich die Richtungen der entgegengesetzten Flüssigkeit in jedem Moment ändern,

465

Die Punkte  $E$  und  $H$  verbergen sich, kaum lesbar, hinter der Schraffur der Erdkugeln in den Hauptscheiteln des Bildes.

sind doch diese Richtungen nichts anderes als die Tangenten des Orbits. So verursachen die Richtungsänderungen die Ungleichheit der Aktion der Flüssigkeit auf die vordere Oberfläche der Erde.

5 Diese Oberfläche ist in zwei ungleiche Teile geteilt, die eine oberhalb des am weitesten vorgeschobenen Punktes  $V$  ( s. Fig. 2 & 3 ), die andere darunter, was zur Folge hat, daß unterschiedliche Kräfte auf den einen und den anderen Teil wirken, die die Erde in Form der Abtrift von der Bahn, die sie einhalten würde, wenn sie perfekt rund wäre, ausbrechen lassen. Deshalb also wird sie den Äquator des Wirbels verlassen um einen anderen Großkreis zu beschreiben, von dem hiermit die Konditionen gegeben werden.

10

### XC.

Betrachten wir zuerst die Erde wie ein abgeplattetes Sphäroid ( Fig. 4 ) und stellen wir uns vor, sie sei im Punkt  $E$  plaziert. Zuerst ist es klar, daß in dieser Situation die Rotationsachse der Erde  $ba$  und die Rotationsachse der Sonne  $BA$ , wenn man sie verlängert, sich in dem oberen Teil in  $z$  treffen und ein rechtwinkliges Dreieck  $\zeta SE\zeta$  bilden, dessen Winkel  $SzE$   $23^\circ 30'$  beträgt, das Maß der größten Deklination der Sonne. Es ist ebenfalls klar, daß die Ebene des Dreiecks  $zSE$  senkrecht zur Äquatorebene des Wirbels ist. Daraus folgt, wenn man sich die Tangente  $Ee$  des Äquators des Wirbels im Berührungspunkt  $E$  gezogen denkt, daß diese Tangente senkrecht zu  $Ez$  sein wird und als Konsequenz mit der Rotationsachse  $ba$  zwei rechte Winkel  $eEb$ ,  $eEa$  bilden wird.

20 Der Widerstand der Flüssigkeit wirkt sich gleichermaßen auf den Teil BOREALIS wie auf den Teil AUSTRALIS, der sich in seiner Richtung befindet, aus. Das Gleichgewicht bezüglich des Äquators wird perfekt eingehalten, und die Erde wird niemals davon abweichen, solange der Winkel  $eEb$  immer ein rechter bleibt. Da aber die Achse der Erde  $ba$  genau ihre Parallelität beibehält, sieht man, daß, sowie sie sich vom Punkt des Sommersolstitiums  $E$  entfernt, um sich gegen  $F$  zu bewegen, sich dieser Winkel  $eEb$  mehr und mehr verkleinert, bis sie im Punkt  $H$  der herbstlichen Äquinixe angelangt ist, in dem der Winkel, der von der Erdachse und der Linie der Bewegungsrichtung gebildet wird, der kleinste und der spitzeste sein wird. Hieraus folgt, vermöge dessen, was wir im vorstehenden Text (§ LXXVII ) für das abgeplattete Sphäroid demonstriert haben, daß notwendigerweise der Widerstand der Flüssigkeit auf den Teil BOREALIS der Oberfläche der vorherrschende ist. Dies wird die Erde ablenken in Richtung des Pols AUSTRALIS des Wirbels, so daß nach dem ersten Viertel des Umlaufs sie sich in  $L$ <sup>466</sup> anstatt in  $F$  befinden wird, oder anders ausgedrückt, der Winkel  $fLb$ , der durch die Bewegungsrichtung  $fL$  und die Achse  $Lb$  gebildet wird, ist der spitzeste.

30 Da aber seit dem Punkt  $L$  dieser Winkel wieder zu wachsen beginnt, allmählich weniger spitz werdend, bis zum Punkt  $H$ , der der Punkt des WinterSolstitiums<sup>467</sup> ist, oder, anders gesagt, die verlängerte Achse der Rotation der Erde,  $ba$ , trifft die Achse des Wirbels in  $a$ . Folglich wird die Richtung  $hH$  wieder senkrecht zur Achse  $ba$ . Deshalb also wird das Übergewicht der Aktion der Flüssigkeit während des Durchlaufens des zweiten Viertels  $LH$  auf den oberen Teil der Oberfläche gegenüber der auf den unteren Teil der Oberfläche eines abgeplatteten Sphäroids verringert bis zu deren völligem Erlöschen im Punkte  $H$ . Dort sind die Einwirkung auf den oberen Teil und den unteren in vollständigem Gleichgewicht, da die Flüssigkeit sich dem einen und dem anderen in kongruenter<sup>468</sup> Weise entgegenstellt.

40 Da aber die andere Wirkung des Wirbels, die darin besteht, ohne Unterlaß von Westen nach Osten zu zirkulieren, immer noch auf die Erde einwirkt und versucht, sie in die allgemeine Richtung zurückzudrücken, wie wir es weiter oben in aller Länge erläutert haben, ist es deutlich, daß sie (die Erde, der Übers.), nachdem sie den Punkt  $L$  passiert hat, in welchem sie ihre

45

<sup>466</sup>  $L$  ist ebenfalls in der Schraffur der gezeichneten Erdkugel verborgen.

<sup>467</sup> „hyver“ wurde als „hiver“ übersetzt.

<sup>468</sup> Wiederum „égale et semblable“ als „kongruent“ übersetzt.

größte Abtrift erfuhr, sich in der Folge dem Äquator des Wirbels wieder annähern muß, ganz in gleicher Weise, wie sie im ersten Viertel von ihm abweichen mußte.

### XCI.

5 Es bleibt jetzt nur noch die Betrachtung der Bahn, die die Erde nehmen muß, wenn sie die beiden anderen Viertel ihres Umlaufs beschreibt. Anders gesagt, ist dabei von Anfang an klar, daß hier alles gerade anders herum abläuft, das heißt, daß der Winkel  $hHb$  von dem Moment an, wo er den Punkt des Wintersolstitiums  $H$  verläßt, von der Rechtwinkligkeit, die er dort besaß, wieder stumpf zu werden beginnt, und dieser Winkel vergrößert sich bis zum Punkt  
 10  $M^{469}$ , in dem der Winkel  $gMb$  am stumpfsten ist, so weit dies möglich ist, danach verkleinert sich wieder dieser Winkel bis zu  $E$ , in dem er wieder ein rechter Winkel wird.  
 Indem wir nun unsere Argumentation vom vorigen Paragraphen auf die gegenwärtigen Umstände anwenden, wird man mit Hilfe von § LXXVIII sehen, daß der Widerstand der Flüssigkeit hier im unteren Teil der Erdoberfläche Übergewicht hat, daß also die Abtrift sich in Richtung des oberen Pols bemerkbar machen muß. Also wirken sich die beiden letzten Viertel  
 15  $HM$ ,  $ME$  in gleicher Weise wie die beiden ersten  $EL$ ,  $LH$  gemäß ihrer Gestalt aus, aber in unterschiedlichen Positionen in bezug auf den Äquator  $EFHG$ . Während die erste Hälfte des Orbits  $ELH$  von dieser Ebene in Richtung des Pols AUSTRALIS abwich, muß die Umlaufbahn in der zweiten Hälfte gegen den Pol BOREALIS abweichen. Ebenso muß die Ebene der Umlaufbahn notwendigerweise die Ebene des Äquators schneiden, die außerdem noch die des Sonnenäquators ist, gemäß unserer Theorie in der Linie  $EH$ , die durch das Zentrum dieses Sternes  $S$  geht.  
 Alles, was jetzt noch etwas Kummer machen könnte, besteht darin, zu wissen, ob die gesamte Umlaufbahn  $ELHM$ , die auf diese Weise durch die Abtriften gebildet wird, in einer Ebene  
 25 verläuft, denn sie könnte, wie es scheint, auch eine Kurve mit doppelter Krümmung sein. Man wird diese Schwierigkeit beheben, wenn man sich dessen, was wir weiter vorne erklärt haben, erinnert, den Unterschied betreffend, der zwischen der Kraft, die die Bewegung eines Körpers bewirkt, und einer, die nur dessen Richtung ändert, besteht. Dort wurde gezeigt, daß die geringste Gegenwirkung oder eine unfühlbare Kraft schon in der Lage ist allmählich die Richtung eines Körpers zu ändern, der durch eine große Kraft in Bewegung gesetzt worden war, ohne daß sich die Natur der Bahn, die der Körper unter der Einwirkung dieser großen Kraft beschreiben muß, ändert. Dies ist hier gerade so: Die Gestalt der Umlaufbahn wird durch die Gravitation der Planeten gegen die Sonne bestimmt, ausbalanciert durch Zentrifugalkräfte.  
 Diese Gravitation hat als Ursache den ZENTRALSTROM, der eine große Kraft ist. Im Vergleich dazu ist der Flüssigkeitswiderstand gegen die Bewegung der Planeten eine geradezu  
 30 unendlich kleine Kraft, die eben nur dessen Richtung ändert, das heißt also, der unmerklich ihre Abtrift bewirkt hat, wobei für den Rest alles belassen wird, den Umlaufbahnen ihre Gestalt und den Planeten ihre Geschwindigkeit, so daß sie sich so verhalten, als bewegten sie sich in einer großen Leere, wie es Herr NEWTON unterstellt. Man zeigt leicht geometrisch, daß die Gravitation, konstant gegen die Sonne gerichtet, bewirkt, daß jede Umlaufbahn eine Bewegung in einer Ebene ist, die durch das Zentrum der Sonne geht. Sie wird es also auch dann noch sein, wenn ihr die Abtrift, die geregelt und dauernd ist, widerfahren ist, denn durch sie verliert die Umlaufbahn nichts von ihrer Gestalt, sondern sie verändert nur ihre Lage, wechselt von der Ebene des Äquators des Wirbels in eine andere Ebene, die die erstere schneidet,  
 40 so wie ich es gesagt habe, im Zentrum der Sonne unter einem Winkel  $FSL$  oder  $GSM$ , nach Maßgabe der Inklination die mehr oder weniger groß sein mag, genauso wie das Sphäroid mehr oder weniger abgeplattet sein mag.

---

<sup>469</sup>

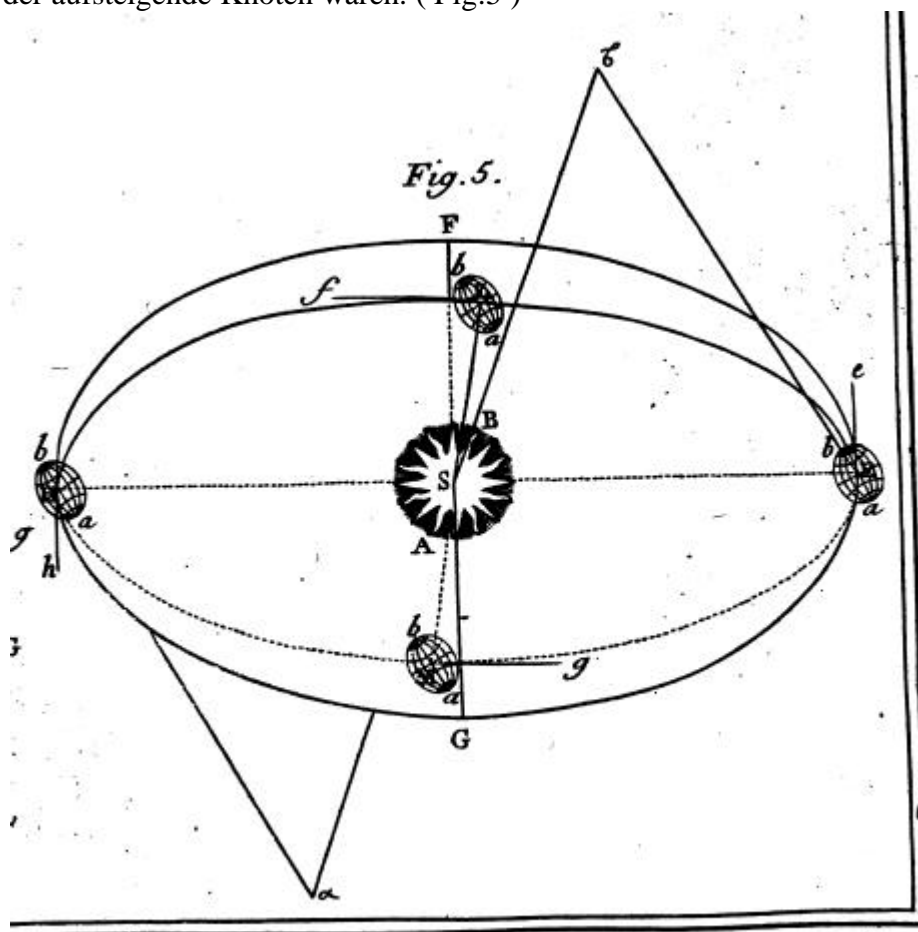
$M$  steht ebenfalls in der Schraffur des unten gezeichneten Globus.

### XCII.

- So klein auch immer dieser Winkel sein mag, selbst wenn man den der Erdumlaufbahn nimmt, die von allen Umlaufbahnen noch die größte Neigung, nämlich  $7\frac{1}{2}$  Grad, hat, so darf man doch nicht glauben, daß diese Inklination schon durch den ersten Umlauf der Erde um die Sonne erreicht worden wäre. Dies würde einen zu deutlichen Effekt für eine so schwache Ursache bedeuten, so wie wir die Kraft des Widerstands der Flüssigkeit unterstellt haben, nämlich unfähig, die Geschwindigkeit des Planeten zu erhöhen oder zu verringern, sondern nur fähig im Laufe der Zeit die Richtung zu ändern, wir haben schon mehrfach darauf bestanden.
- 5 Nichts hindert uns also, uns vorzustellen, daß die Inklination der Umlaufbahnen, die bei Beginn erst unmerklich war, dann bei jedem Umlauf einen neuen winzigen Winkel an Abtrift dazu gewonnen hat, erst nach einer großen Anzahl von Umläufen die vollständige Inklination erreicht hat, die man heute bei den Umlaufbahnen beobachten kann. Und diese ist permanent, ohne neue Erhöhungen erfahren zu können, weil sie nämlich durch die Bewegung des Wirbels von Westen nach Osten daran gehindert wird, welcher Wirbel sich ohne Unterlaß bemüht, den Planeten die gemeinsame Richtung in seiner Äquatorebene zu erteilen, ganz so wie wir es schon genügend in voller Breite dargestellt haben.
- 15 Es ist die normale Art der Effekte der Natur, die nichts plötzlich produziert, sondern alles in Aufeinanderfolge gradweise, einmal mehr, einmal weniger schnell, ganz gemäß der Intensität der Kraft, die sie benutzt, und der Verschiedenheit der Umstände.
- 20

### XCIII.

Nach alledem sieht man also, daß die Erde, wenn sie denn tatsächlich ein abgeplattetes Sphäroid wäre, daß der Punkt *E* der Sommersonnenwende der absteigende Knoten und sein Gegenüber der aufsteigende Knoten wären. ( Fig.5 )





Wenn wir aber der Erde die Gestalt eines länglichen Sphäroids geben, braucht man nur die Argumentation, die wir bisher seit § XC vorgenommen haben, an diese neue Hypothese anzupassen und finden dann einen vollkommen entgegengesetzten Effekt bei der Art der Knoten.

5 Denn man sieht vollkommen klar (§ LXXIX ), daß die verlängerte Erdoberfläche, wenn die Erde in ihrem Punkt der Sommersonnenwende *E*, oder in dessen Umgebung ist, die Ursache einer Abtrift BOREALIS sein wird in der Zeit, in der sie die ersten beiden Viertel ihres Umlaufs *EL*, *LH* zurücklegt. Umgekehrt muß die Abtrift AUSTRALIS sein, wenn sie ausgehend vom Punkt der Wintersonnenwende *H* die beiden letzten Viertel *HM*, *ME* zurücklegt. Dergestalt wird in diesem Fall der Punkt *E* der aufsteigende Knoten und *H* der absteigende Knoten sein.

Somit sind durch unsere Überlegungen die Knoten für das längliche Sphäroid bestimmt, und zwar so, wie sie durch die Erfahrung für die Erde bestätigt werden. Diese ist begründet auf die Beobachtungen des Herrn CASSINI, der den aufsteigenden Knoten von der Sonne aus gesehen auf den 8. Grad von  $\nearrow$ <sup>470</sup> festlegt. Folglich ist damit der absteigende Knoten auf den 8. Grad des II. Quadranten festgelegt. Beide sind nahe genug bei den Solstitien. Sie wären vielleicht in den Solstitien selbst, ganz genau, wenn nicht die Aktion des Sonnenwirbels auf die Erdoberfläche durch ihren eigenen Wirbel gestört würde, der in Teilen dieser Einwirkung entgegenwirkt. Ferner kommen noch andere zufällige Ursachen spezieller Art in Frage, die wir vorstehend noch nicht groß erwähnt haben.

Nach dieser glücklichen Übereinstimmung unserer Theorie mit den Beobachtungen am Himmel, kann man da noch länger der Erde die Gestalt eines gestreckten Sphäroids verweigern? Begründet allerdings wird dies vor allen Dingen durch die Größe der Meridiangrade, unternommen<sup>471</sup> und ausgeführt wurde deren Messung durch den gleichen Herrn CASSINI mit einer unvorstellbaren Genauigkeit.

#### XCIV.

Wenn man die Parallelität der Rotationsachse der Planeten als konstant und vollständig unterstellt, ist es einsichtig, daß die Knoten ihres Orbits, bzw. ihr Schnitt mit dem Äquator des Wirbels vollständig unbeweglich sind und immer an den gleichen Stellen des Firmamentes von der Sonne aus verbleiben. Jedoch ist diese Parallelität einer, wenn auch sehr kleinen, Variation unterworfen, die sich erst nach einer großen Anzahl von Umdrehungen bemerkbar macht. Es ist leicht, dafür aus unserer Theorie eine Ursache anzugeben: Der Planet, zum Beispiel unsere Erde, rotiert um die Pole der Ekliptik mit seiner eigenen Geschwindigkeit, während die Flüssigkeit des großen Wirbels sich nach der gleichen Seite, aber um die Pole des Äquators der Sonne bewegt, mit einer Geschwindigkeit, die 230 mal kleiner ist. Man kann dies mit einem Globus vergleichen, der in ruhigem Wasser schwimmt, und der nun durch eine äußere Kraft gezwungen wird, sich von Westen nach Osten zu bewegen und zwar um ein Zentrum, welches in einigem Abstand außerhalb des Globus liegt. Es ist leicht, sich vorzustellen, daß der Widerstand der Flüssigkeit, der auf die vordere Seite des Globus ausgeübt wird, sich in der Gegenrichtung, von Osten nach Westen, auswirken wird. Dieser Widerstand wirkt sich stärker gegen die am weitesten vom Zentrum der Zirkulation entfernte Hemisphäre aus, als gegen die nähere. Denn diese macht beim Zirkulieren einen viel größeren Weg als jene, und schlägt das Wasser mit größerer Geschwindigkeit. Der Globus wird also gezwungen werden, sich um sich selbst zu drehen, und zwar in Gegenrichtung zu seiner fortschreitenden Bewegung, also von Osten nach Westen um eine Achse, die senkrecht zur Ebene der Zirkulation ist.

Man kann deshalb eine ähnlich Erfahrung machen, wie sie Herr POLENI<sup>472</sup> gemacht hat, al-

<sup>470</sup> Das eingefügte Zeichen wurde als Tierkreiszeichen „Schütze“ gelesen.

<sup>471</sup> Es fehlt im Text „deren Messung.“ und wurde hier eingesetzt.

<sup>472</sup> Vermutlich in: POLENI, Joannis, Epistolarum Mathematicarum Fasciculus, Padua 1728. Den Inhalt konnte ich nicht verifizieren.

lerdings in einem anderen Zusammenhang, als er demonstrieren wollte, daß die tägliche Bewegung der Planeten nicht durch die Bewegung des großen Wirbels verursacht werden kann, wenn dieser in der Art von DESCARTES aufgefaßt wird. Nachzusehen bei *POLENI, de Vorticibus Coelest.*, S. 72 & 73. Von daher wird klar, daß, wie bei der Erde, die durch diesen

5 Globus repräsentiert wurde, sich diese, während sie ihre Jahresbahn beschreibt, um sich selbst drehen muß gegen die Ordnung der Tierkreiszeichen, um eine Achse, senkrecht zur Ebene ihrer Umlaufbahn. Von daher folgt also, daß die Pole des irdischen Äquators kleine Kreise um die Pole der Ekliptik beschreiben müssen in der Richtung von Osten nach Westen.

### XCIV.

10 Das ist die dritte Bewegung der Erde, von der ( was sehr leicht zu begreifen ist ) das Ausweichen der Schnitte von Äquator und Ekliptik abhängen, das man im KOPERNIKANISCHEN System die *Präzession der Äquinoxen* nennt. Dies deshalb, weil diese beiden Punkte kontinuierlich auf der Ekliptik gegen vorhergehende Zeichen ausweichen, und dies produziert bei den Fixsternen und allen unbeweglichen Punkten des Himmels eine scheinbare Gegenbewegung

15 von Westen nach Osten um die Pole der Ekliptik.

Deshalb also bleibt die Parallelität der Achse der täglichen Rotation der Erde und aller Planeten, bei denen diese Achse geneigt ist zu der Ebene ihrer Umlaufbahn nicht exakt erhalten. Da gemäß dem, was wir demonstriert haben, der Widerstand der Flüssigkeit des großen Wirbels sehr schwach sein muß, ist es notwendig, daß auch die Variation der Parallelität ebenfalls

20 kaum fühlbar sein muß und folglich damit auch die scheinbare Bewegung in den Fixsternen sehr langsam sein muß. In der Tat schreiten die Fixsterne von der Erde aus beobachtet in der Länge nur 50 Sekunden pro Jahr voran, was eine Zeit von 25920 Jahren für einen ganzen Umlauf am Firmament erfordert.

Eine andere Sache, über die man noch nicht genügend nachgedacht hat, ist vielleicht dies, daß die Pole dieser so zögerlichen Bewegung sich nicht genau in den Polen der Ekliptik befinden, wie man bisher angenommen hat. Meine Begründung dafür: Es ist wahr, daß der Widerstand der Flüssigkeit direkt entgegengesetzt ist, der jährlichen Bewegung, die in der Ebene der Ekliptik abläuft. Unter diesem Blickwinkel, wenn der Widerstand sich nur gegen die Bewegung auswirkte, was nur geschähe, wenn die Flüssigkeit des Wirbels vollständig ruhig und in Ruhe

30 wäre, besteht keine Notwendigkeit, zu zweifeln, daß die dritte Bewegung der Erde, die hier zur Debatte steht, vollständig um die Achse senkrecht zur Ebene der Ekliptik ablaufen würde: Da aber die Flüssigkeit des großen Wirbels ihre eigene Bewegung, der Richtung des Sonnenäquators folgend, hat, ein wenig unterschiedlich von der Richtung des Widerstandes, ist es sicher, daß diese beiden komplizierten Bewegungen in einer mittleren Richtung resultieren,

35 viel näher an der der Ekliptik, der stärkeren, als der des Sonnenäquators. Hieraus kann man vernünftigerweise schließen, daß die Achse der dritten Bewegung zur Ebene der Ekliptik, wenn auch wenig, geneigt sein muß. Folglich muß diese Geneigtheit notwendigerweise eine kleine scheinbare Variation in der Breite der Fixsterne<sup>473</sup> verursachen, allerdings unvergleichlich weniger spürbar, als diese, die man bei ihren Längen bemerkt.

### XCVI.

40 Diese Variation der Breite erscheint den meisten der Astronomen, die sich kaum immer die Mühe machen, die physikalischen Gründe zu suchen, sondern zufrieden sind mit dem, was sie durch Beobachtung zu wissen glauben, paradox. Indessen favorisieren mehrere der berühmtesten Astronomen, wie TYCHO BRAHE selbst und KEPLER, der die Autorität des ersteren zitiert, die Veränderung in der Breite der Fixsterne. *Si comparetur* ( sagt KEPLER, Epist. Astron. S. 724 ) *Ecliptica* ( *id est orbita Telluris sub fixis* ) *secum ipsa, secundum diversa saecula, deprehendit sane BRAHEUS ex mutatis fixarum latitudinibus Eclipticam hodiernam*

45

<sup>473</sup> „latitudes des Fixes“ im Text.

*concessisse ad latera Eclipticae pristinae.*<sup>474</sup> Nach meiner Erklärung aber ist es notwendig zu sagen, daß die scheinbare Bewegung der Fixsterne von Westen nach Osten um Pole verläuft, die nicht genau in den Polen der Ekliptik sind, (das heißt der Umlaufbahn der Erde), denn auf diese Weise erreicht man die kleine Variation der Breite, ohne daß man es nötig hat, daß die Ebene der Umlaufbahn auch noch in der Lage geändert werden muß. Das Einfachste ist immer dem vorzuziehen, was weniger Einfachheit hat, wenn es sich um Erklärungen von Ursachen in der Natur handelt.

### XCVII.

Um jetzt zu den Knoten der Umlaufbahnen mit dem Sonnenäquator zurückzukommen, muß man sagen, daß sie auch, gemäß meiner Theorie, eine kleine Bewegung gegen die Abfolge der Tierkreiszeichen haben, und daß, wegen der essentiellen Verbindung, wie ich gezeigt habe, das auch für die Punkte der Solstitien gilt und damit konsequenterweise auch für die Äquinosen, die davon drei Zeichen entfernt sind. Tatsächlich gibt es Astronomen, die 51“ pro Jahr für die Rückwärtsbewegung der Knoten der Erdumlaufbahn mit dem Sonnenäquator angeben, was dann ungefähr die Größe der jährlichen Rückwanderung der Äquinosen ist. Dies dient als Bestätigung der essentiellen Abhängigkeit zwischen den Knoten und den Solstitien, eine Sache, die es verdient, weiterhin durch exakte Beobachtungen verifiziert zu werden, um sicherzustellen, daß dies eine generelle Tatsache ist, die alle großen Planeten betrifft und die meinem Entwurf die letzte Gewißheit verschaffen würde.

### XCVIII.

Bleibt nur noch die Deklination der Hauptscheitel der Planetenbahnen<sup>475</sup>, oder, was auf dasselbe hinausläuft, die Erhebung der Ebene der Umlaufbahnen über die Ebene des Sonnenäquators, sie sollte konstant und invariabel sein, dennoch wird es nichtsdestoweniger vorkommen können, daß man dabei mit der Zeit gewisse kleine Variationen beobachten wird, die aber nur scheinbar sein werden. Denn deren Ursache muß dieser unfühlbaren Änderung der Breite der Fixsterne zugeschrieben werden, von der wir gerade gesprochen haben. Man trifft in der praktischen Astronomie auf eine Unzahl anderer subjektiver Kleinigkeiten<sup>476</sup>, die aus Beobachtungen stammen, welche man häufig für Realitäten hält, obwohl sie nichts als simple Erscheinungsformen sind, für die ein generelles physikalisches System, wie solide es auch immer sein mag, nicht immer verantwortlich gemacht werden kann.

### XCIX.

Wenn ich nicht befürchtete, daß ich mich zu lange in diesem vierten Teil meiner Abhandlung aufhielte, in dem ich mich grundsätzlich mit dem in Frage stehenden Gegenstand befasse, könnte ich mich noch über andere Phänomene verbreitern, die nicht genau zu dieser Fragestellung gehören, aber recht viel Beziehungen dazu haben. Ein solches ist, zum Beispiel, die Bewegung des Mondes um die Erde, wo man in ähnlicher Weise fragen könnte, woher es kommt, daß diese Bewegung sich nicht in der Ebene des Erdäquators vollzieht. Denn das, was die Umlaufbahnen der Hauptplaneten in Hinblick auf den Sonnenäquator sind, das sind die Umlaufbahn des Mondes und der anderen Satelliten in bezug auf den Äquator ihres Hauptplaneten. Und so wie diese den großen Hauptwirbel als Lenker ihrer Bewegung um die Sonne haben, so sind die Satelliten durch die speziellen Wirbel, die sie umgeben und die die Hauptplaneten, deren Satelliten sie sind, umgeben, gelenkt.

<sup>474</sup> Im Original in Latein (eig. Übers.): „Wenn Sie vergleichen wollen (sagt KEPLER Epit. Astron. S. 724): Die Ekliptik (das ist die Umlaufbahn der Erde unter den Sternen) führt mit sich selbst, Sekunden in mehreren Jahrhunderten, eine Bewegung aus (wörtlich ‚ergreift sich selbst‘), mußte fürwahr BRAHEUS aufgrund der veränderten Breiten in der gegenwärtigen Ekliptik gegenüber Teilen der früheren Ekliptik anerkennen.“. In der Ausgabe von CASPAR, München 1953, Bd. VII, S. 410)

<sup>475</sup> „déclinaison des limites“ wörtlich im Text. Könnte auch übersetzt werden mit „Punkte der extremen Abweichungen von den Brennpunkten der Planetenbahnen“. Ich halte die mathematische Terminologie hier für verständlicher.

<sup>476</sup> „minuties“ im Text.

Ich sage, daß die Satelliten *gelenkt* sind durch die speziellen Wirbel und keinesfalls mitgeführt, aus dem gleichen Grund, den ich ausgiebig für die großen Planeten dargelegt habe. Denn die einen sowie die anderen haben, gemäß meiner Theorie, ihre Bewegung durch eine ursprüngliche Einprägung<sup>477</sup>, derart, daß die Flüssigkeit des Wirbels immer nur beiträgt zur allgemeinen Bewegung von Westen nach Osten.

### C.

Indessen sei es mir erlaubt noch ein paar Seiten meiner Gedanken hier mitzuteilen darüber, was denn die physikalische Ursache dafür sein kann, daß die Mondbewegung um die Erde sich nicht in der Ebene des Erdäquators abspielt. Ich denke, daß diese Ursache unterschiedlich ist von der, die die Neigung der Bahnen der Hauptplaneten gegenüber dem Sonnenäquator bewirkt. Der Unterschied besteht in der verschiedenen Art, in welcher der große Wirbel und der spezielle Wirbel der Erde sich auswirken. Alle Teile des ersteren zirkulieren auf parallelen Kreisen in der Ebene des Sonnenäquators, weil nachdem, was ich bereits dargestellt habe, die Bewegung des ganzen Wirbels und aller seiner Teile seinen Ursprung von einer ersten Ursache ableitet, die damit angefangen hat, die Sonne um ihre Achse rotieren zu lassen. Die Sonne und ihr Wirbel bilden zusammen eine Einheit flüssiger Masse und haben nur eine gemeinsame Ebene für ihren Äquator, den die Hauptplaneten niemals verlassen würden, wenn ihre Gestalt die einer perfekten Sphäre wäre und die Achse ihrer Rotation senkrecht wäre auf der Ebene des Sonnenäquators.

Anders aber ist es bei einem speziellen Wirbel, zum Beispiel dem der Erde. Denn eingeschlossen, wie er in den allgemeinen großen Wirbel ist, hat er keinesfalls die Freiheit, mit gleicher Leichtigkeit in allen Distanzen seiner Schichten um die Achse des Planeten, den er umgibt, zu drehen, so wie es der große Wirbel machen kann, weil er draußen und unabhängig ist. So ist es denn keine schlechte Ungezwungenheit, sich vorzustellen, daß die nahen Schichten des äußeren irdischen Wirbels sich unmerklich stärker dem Strom des großen Wirbels anpassen, während die inneren und der Erdoberfläche näheren Schichten der Erde die Richtung von deren Rotationsachse beibehalten. Deshalb werden die Schichten zwischen diesen beiden sowohl am einen wie am anderen der beiden Effekte teilnehmen und jede ihre eigene Richtung nehmen, die weiter entfernten werden sich mehr der Richtung der Ekliptik, besser der des Sonnenäquators, anpassen, und die weniger entfernten mehr der des Erdäquators, immer der unterschiedlichen Entfernung entsprechend.

### CI.

Von hier aus läßt sich begreifen, warum die Erde, selbst wenn man ihr perfekte sphärische Gestalt unterstellte, sich so nahe an der Ekliptik halten muß, daß ihre Umlaufbahn gegenüber jener nur eine Neigung von 5 Grad hat, während doch der Erdäquator mit der Ekliptik einen Winkel von  $23\frac{1}{2}$  Grad bildet. Dies ist nur deshalb, weil der Flüssigkeitsstrom der Erde ohne Zweifel in der Gegend des Mondes eine Richtung nimmt, die der Mond selbst gezwungen ist zu nehmen, und in einer Ebene, die viel weniger gegen die Ekliptik angehoben ist als der Erdäquator, ein sicheres Anzeichen dafür, daß der Mond selbst sehr viel näher den Grenzen des Wirbels der Erde ist.

Wenn die Region des Mondes wesentlich unterhalb der wäre, die sie zur Zeit besetzt, oder wenn der Wirbel der Erde sich sehr viel mehr jenseits der Grenzen, die ihm die Natur verordnet hat, ausdehnte, dann würden wir vielleicht sehen, daß die Umlaufbahn des Mondes sich vollständig in der Ebene des Erdäquators befände oder nur ganz wenig Inklination gegen sie hätte.

### CII.

Mein Entwurf wird beträchtlich durch das gestärkt, was man von den 5 Satelliten des Saturn beobachtet hat: Die Umlaufbahnen oder die Kreise der ersten vier befinden sich alle in derselben Ebene, die auch die Ebene seines Ringes ist. Diese Uniformität läßt auch nicht den leises-

<sup>477</sup> „impression primitive“ im Text.

ten Zweifel aufkommen, daß diese Ebene auch exakt die des Äquators des Saturn ist. Ferner zirkuliert der 5. Satellit, (dessen Distanz vom Zentrum des Saturn dreimal größer ist als die des 4.), auf einer Umlaufbahn, deren Ebene sehr stark gegen die der vier ersten und des Ringes geneigt ist, sich jedoch weniger von der Umlaufbahn des Saturn entfernt, die nicht mit der ersteren Ebene zusammenfällt, zumindest nach der Schätzung des Herrn CASSINI (*Sehen Sie nach les Mém. v. 1717, S. 153 u. 155*), wonach die tatsächliche Inklination des Kreises des 5. Satelliten in bezug auf den Orbit des Saturn  $13^{\circ} 8'$  beträgt und die wahre Inklination der Kreise der 4 anderen Satelliten und der Ringebene gegen den Orbit des Saturn mit  $31^{\circ}$  angegeben wird. Das ist konform mit dem, was Herr HUYGENS angibt als Neigung der Saturnachse (*S. Cosm<sup>478</sup>. S. 108*), wo es heißt, daß die Differenz des Kreises des 5. Satelliten sich um  $17^{\circ} 52'$  weniger vom Orbit entferne, als die Kreise der anderen und der Ring.

Was kann man nun aus all dem schließen, wenn nicht, daß der spezielle Wirbel des Saturn sich beträchtlich über die Entfernung seines 5. Satelliten hinaus ausdehnt? Dies jedoch nicht so weit, daß die Richtung der Flüssigkeit in der Gegend dieses Satelliten nicht schon begänne in die Richtung des Saturn selbst hinzuneigen, die wenig unterschiedlich von der des großen Wirbels ist, denn der Winkel ihrer Ebenen beträgt nicht mehr als etwa 6 Grad.

Wenn es nach der Schätzung des Herrn HUYGENS (*Cosm. S. 99*) noch andere Satelliten um den Saturn gäbe<sup>479</sup>, die mit der Zeit vielleicht entdeckt würden, vor allem zwischen den beiden Extremen, die zwischen sich eine Lücke lassen, die zu groß ist, als daß man eine ordentliche Proportion mit den anderen hätte, so ist nicht zu zweifeln, daß der Kreis dessen, der zwischen dem 5. Und dem 4. Satelliten wäre, nur eine mittlere Inklination mit der Umlaufbahn des Saturn hätte, zwischen  $13^{\circ} 8'$  und  $31^{\circ}$ . Dies wäre ganz so, wie im Gegenteil ein mehr entfernter Satellit als der fünfte nicht verfehlen würde, eine kleinere Inklination als  $13^{\circ} 8'$  zu haben.

25 **CIII.**

Ich bekenne indessen, daß eine zufällige Ursache, die ich nicht habe voraussehen können, beim Auftreten meinen Entwurf dementieren könnte, was den sechsten Satelliten zwischen den beiden Extremen betrifft. So könnte es geschehen, daß die Inklination seines Kreises sich außerhalb der Inklinationen der beiden Nachbarn befände. Wir haben dazu ein sichtbares Beispiel im 2. Satelliten des Jupiters, dessen Kreis ein wenig von denen der drei anderen abweicht, die alle um den Jupiter in einer Ebene und parallel zu den Bändern dieses Planeten zirkulieren, welches Licht<sup>480</sup> Herr CASSINI zuerst beobachtet hat (*S. les Mém. seit 1666 bis 1699, Band VIII*)<sup>481</sup>, wenn auch ohne zu bestimmen, wieviel die Inklination des zweiten von der der drei anderen Satelliten differieren würde.

35 Die Wahrheit dieses außerordentlichen Phänomens wurde in der Folge durch die Beobachtungen des Herrn MARALDI bestätigt (*V. Mém. v. 1729, S. 399*)<sup>482</sup>, aufgrund deren er  $4^{\circ} 33'$  für die Inklination des Kreises des zweiten Satelliten im Hinblick auf die Umlaufbahn des Jupiter angibt, und sie damit um einen und einen halben Grad größer als die der anderen gemessen hat.

40 Um einige Vernunft in die Sonderbarkeit dieses Phänomens zu bringen, will ich anfügen, daß Saturn und Jupiter, aufgrund der enormen Größe dieser Himmelskörper verglichen mit der Erde, auch ihre speziellen Wirbel viel weiter ausgedehnt haben sollten, als dies bei der Erde der Fall ist. Die Richtung der Bewegung ihrer Wirbel wird folglich bei einer hinreichend gro-

<sup>478</sup> HUYGENS, *Cosmologie (Cosmotheoros)*, 1686, in Werke, Band XXI

<sup>479</sup> Inzwischen kennt man 18 Monde, zwei weitere sind als Monde verdächtig. Die meisten der gefundenen weiteren sind nicht in der erwähnten Lücke, sondern nahe an Saturn. Allerdings ist auch einer rückläufig.

<sup>480</sup> Wörtlich „feu“.

<sup>481</sup> CASSINI (I). Im Original nicht kursiv gesetzt.

<sup>482</sup> Im Original nicht kursiv gesetzt.

ßen Entfernung von der Oberfläche dieser riesigen Körper kaum fühlbare Abweichungen durch den Einfluß des Hauptwirbels erleiden. Sie sind aber gezwungen, der allgemeinen Richtung der Rotation dieser beiden Planeten zu folgen, so wie der Hauptwirbel selbst der Richtung der Rotation der Sonne folgt.

- 5 Dies bewirkt, wie ich bereits erklärt habe, daß die ersten vier Satelliten des Saturn und sein Ring in der Ebene seines Äquators zirkulieren, nur der fünfte weicht davon ab, weil er in einer Entfernung ist, in der der Wirbel des Saturn beginnt, wenig aus dem Gang gebracht zu werden durch die Aktion des großen Sonnenwirbels. Da der Wirbel des Jupiters ohne Zweifel die größte Ausdehnung unter allen speziellen Wirbeln hat, muß man zugeben, daß alle seine vier  
10 Satelliten in einem Raum um ihn eingeschlossen sind, bis wohin die Einwirkung des Sonnenwirbels nicht dringen kann, da der weitest entfernte der Satelliten genau so gut wie der erste und der dritte exakt in der Ebene des verlängerten Jupiteräquators zirkulieren. Deshalb denke ich, daß man nicht als Ursache für die Abweichung des fünften Satelliten des Saturns von der gemeinsamen Richtung seiner Gefährten, die einzige Abweichung des zweiten Satelliten des  
15 Jupiters von dessen Äquator anführen darf.

#### CIV.

- Deshalb also muß ich meine Zuflucht zu einem zufälligen Grund nehmen, der speziell auf den zweiten Satelliten des Jupiter wirkt, ohne daß dieser Grund die drei anderen betrifft: Ich finde  
20 aber keinerlei einfacheren und natürlicheren Grund, der die Hauptplaneten von der Richtung des großen Wirbels abtriften läßt, die sie nehmen würden, wenn sie perfekt sphärisch wären. Es bleibt also nur zu sagen, daß die Satelliten dieser beiden großen Planeten offensichtlich vollkommene Kugeln sind, ausgenommen der zweite des Jupiter, der sehr wohl ein Sphäroid sein könnte oder weniger Kugelgestalt haben könnte als die drei anderen. Das wäre eine hinreichende Erklärung dafür, warum sein Kreis um den Jupiter ein wenig von dem Äquator dieses Gestirns abweicht, während die drei anderen (aufgrund ihrer Kugelgestalt) die gemeinsame Lage mit der Ebene des Äquators exakt beim Zirkulieren beachten, ohne daß sie irgend  
25 eine beobachtbare Abweichung erleiden, denn diese sind wahrscheinlich perfekte Kugeln, ähnlich wie die ersten vier Satelliten des Saturn.

- Ich entscheide nichts weder über die Gestalt des fünften, noch über die des Mondes, (den Herr  
30 NEWTON in seinen *Princ. Natur.* Teil III, prop. 38, begründet auf der Hypothese der Attraktion, für ein längliches Sphäroid hält, von dem er will, daß dessen Achse stets gegen die Erde gerichtet sei), da ich schon deutlich gemacht habe, daß die Inklination ihrer Umlaufbahnen stattfinden kann, auch wenn beide Körper von vollkommener Kugelgestalt wären. Denn sie befinden sich so weit draußen in den Extremen der Wirbel von Saturn und Erde, wo die Richtung ihres Laufes durch die Heftigkeit des großen Sonnenwirbels geändert werden kann, dessen  
35 Richtung unterschiedlich von der ihren ist.

ENDE



## DANIEL BERNOULLI (1700- 1784)

**Physikalische und astronomische Untersuchungen**

über das Problem, das z-um zweitemal von der Académie Royale des Sciences de Paris vorgeschlagen worden ist.<sup>483</sup>

Welches ist die physikalische Ursache der Inklination der Ebenen der Umlaufbahnen der Planeten in bezug auf den Äquator der Drehung der Sonne um ihre Achse; und woher kommt es, daß die Inklinationen dieser Umlaufbahnen untereinander verschieden sind.

Motto: *Der Wert der Tugenden liegt in ihnen selbst, & bei richtig gemachten Dingen, sie gemacht zu haben.*<sup>484</sup>

**Vorwort**

Ich habe diese Übersetzung auf Bitten einiger meiner Freunde in Paris gemacht, denen ich vielerlei Rücksichten und Erkenntlichkeiten schulde. Diejenigen, die sich die Mühe machen, sich mit dem originalen Text in Latein zu konfrontieren, werden sehen, daß dies keinesfalls eine wortwörtliche Übersetzung ist, obwohl ich den Sinn jedes Satzes bewahrt habe. Aber ich habe einige kleine Additionen und Erhellungen gemacht, deren ich mich enthalten habe, bevor ich erfuhr, daß ich andere Leser haben könnte, als die Herren Juroren. Diese Hinzufügungen sind erkennbar an den Klammern der Form [ ], die sie einschließen.<sup>485</sup>

Ich bitte den Leser hier, keinesfalls den Stil schlecht zu finden, den ich benutzte, um von meinem Vater zu sprechen; ich habe mich seiner bedient, um mich stärker vor den Akademikern zu verbergen.

§.I. Das von der illustren Akademie vorgeschlagene Problem hat zwei Teile; der eine betrachtet die Inklination, oder die Nicht-Übereinstimmung der himmlischen Umlaufbahnen mit dem Sonnenäquator; der andere hat als Gegenstand die Verschiedenheit dieser Inklinationen. Wir betrachten hier gleichzeitig den einen wie den anderen Teil, unser System erlaubt nicht, daß man sie trenne.

§.II. Man sieht an der Art der Problemstellung der Akademie, daß sie eine vorgefaßte Meinung einer Verbindung zwischen den Umlaufbahnen der Planeten und dem Sonnenäquator hat. Es ist nämlich die Tendenz zu bemerken, sie in eine gemeinsame Ebene zu bringen, und ohne eine spezielle Begründung wären die Umlaufbahnen ganz bestimmt in der gleichen Ebene mit dem Sonnenäquator.

Schon immer erschien mir dies höchstwahrscheinlich. Denn könnte man, um nicht andere Gründe vorbringen zu müssen, einem reinen Zufall die geringe Abweichung von der Ebene

<sup>483</sup> RECHERCHES PHYSIQUES ET ASTRONOMIQUES sur le probleme proposé pour la seconde fois par l'Académie Royale des Sciences de Paris. *Quelles est la cause physique de l'inclinaison des Plans des Orbites des Planetes par rapport au plan de l'Equateur de la revolution du Soleil autour de son axe; Et d'où vient que les inclinaisons de ces Orbites sont différentes entre elles.* Piece de M. Daniel BERNOULLI, des Academies de Petersbourg, de Bologne, &c. &, Professeur d'Anatomie & de Botanique en l'Université de Bâle. Qui a partagé le Prix double de l'année 1734. *Traduite en François par son Auteur*

Speiser, Andreas [Hrsg.], Werke v. Daniel Bernoulli, Bd. 3, Basel 1987, S. 303- 326

<sup>484</sup> Virtutum pretium in ipsis est, & rectè facti merces est fecisse.

<sup>485</sup> Die Herausgeber versichern, die Übersetzung sei dem Original treu. Der Entschluß DANIEL BERNOULLIS, sein Stück zu übersetzen, wurde schon bei der Veröffentlichung 1735 gefaßt. In allen Anmerkungen, die im folgenden Text angebracht sind, habe ich die der Herausgeber in Basel übernommen, es sei denn, ich bemerke ausdrücklich anderes. Was ich überprüfen konnte, bestätigte mir die Sorgfalt der Herausgeber.

des Sonnenäquators aller Inklinationen aller Orbits zuschreiben? Falls das dennoch zweifelhaft erscheint [betrachtet man die Präzision & Gewissheit, mit der man die Lage des Sonnenäquators kennt], könnte man dann wenigstens nicht in Abrede stellen, daß die Umlaufbahnen der Planeten gegen eine gemeinsame Ebene streben, denn ohne dies wäre es moralisch unmöglich gewesen, daß die Umlaufbahnen in einem solch engen Bereich eingeschlossen wären, wie sie es sind. Da dem aber so ist, ist es sehr wahrscheinlich, daß diese gemeinsame Ebene die gleiche ist wie die des Sonnenäquators. In dieser nämlich könnte man als einziger einen gewissen Grund finden, ein solches Phänomen hervorzubringen.

Unterstellt man dies, so handelt es sich nun darum, eine physikalische Ursache dafür zu finden, welche die himmlischen Umlaufbahnen neigen und der Ebene des Sonnenäquators annähern läßt. Ferner gilt es zu bestimmen, warum die Umlaufbahnen keinesfalls in der Ebene besagten Sonnenäquators sind und auch warum sie nicht in einer gemeinsamen Ebene sind.

§.III. Bevor ich mich nun auf diese beiden Punkte einlasse, ist es nicht außer der rechten Zeit, spezieller zu untersuchen, was wir damit festgestellt haben:

Wir wissen: daß die himmlischen Umlaufbahnen sehr nahe beieinander sind, ohne daß sie eine gemeinsame Ebene in ihrer Mitte einnehmen, ferner daß es nur einem bestimmten Umstand zu verdanken ist, daß diese gleichen Umlaufbahnen nicht gänzlich in einer gemeinsamen Ebene verlaufen. Ohne diese Untersuchung könnte man dieses Phänomen, das den Gegenstand unserer Frage darstellt, einem Zufall zuschreiben. Damit wäre unsere Untersuchung quasi überflüssig, vielleicht sogar chimaerisch.

Und so will ich vorgehen: Ich werde unter allen Umlaufbahnen die zwei suchen, die sich unter dem größten Winkel schneiden. Danach werde ich ausrechnen, wie groß die Zufalls-Wahrscheinlichkeit ist, daß alle Umlaufbahnen sich unter einem Winkel schneiden, der durch diesen (berechneten) Winkel begrenzt ist. Daraus wird man ersehen, daß diese Wahrscheinlichkeit so klein ist, daß sie für ein praktisch unmögliches Ereignis<sup>486</sup> gelten muß.

§.IV. Nachdem ich jede Umlaufbahn mit jeder verglichen habe und die Winkel berechnet habe, unter denen sie sich untereinander schneiden, habe ich herausgefunden, daß sich unter dem größten Winkel der Merkur-Orbit und der der Erde, oder der Ekliptik, schneiden. Denn deren Ebenen bilden einen Winkel von  $6^{\circ}54'$ , während der Orbit des Saturn nur mit dem des Merkur einen Winkel von  $6^{\circ}24'$  bildet, und der Orbit des Jupiter mit dem Merkur einen Winkel von  $6^{\circ}8'$ . Alle anderen Umlaufbahnen, in welcher Weise man sie auch kombiniert, schneiden sich unter viel kleineren Winkeln. Ich spreche hier von den Umlaufbahnen der Hauptplaneten.

[Es ist leicht einzusehen, daß man die besagten Schnitte durch einfache Trigonometrie finden kann. Denn wenn man die Knoten der Umlaufbahnen kennt, sowie auch ihre Neigung gegen die Ekliptik, hat man ein sphärisches Dreieck mit gegebener Distanz der Knoten als Basis, & die zwei Winkel an der Basis sind durch die Inklinationenwinkel der Umlaufbahnen gegen die Ekliptik bekannt. Hieraus kann man den der Basis gegenüberliegenden Winkel bestimmen, der den Winkel im Schnittpunkt der beiden Umlaufbahnen darstellt. So findet man z.B. den Winkel, unter der sich die Bahnen von Saturn und Merkur im Jahre 1700<sup>487</sup> schneiden, indem man Kepler folgend in Betracht zieht, daß der aufsteigende Knoten des Saturn in  $22^{\circ}49'$  des Krebs und der des Merkur in  $14^{\circ}47'$  des Stiers liegen. Die Distanz der Knoten ist somit hier  $68^{\circ}2'$  und stellt die Basis des Dreiecks dar. Folgt man nun dem gleichen Autor, so schneidet die Umlaufbahn des Saturn die Ekliptik unter einem Winkel von  $2^{\circ}32'$ , & die des Merkur unter einem Winkel von  $6^{\circ}54'$ . Damit hat man zwei Basiswinkel von  $2^{\circ}32'$  &  $173^{\circ}6'$ , woraus man für den Winkel gegenüber der Basis  $6^{\circ}24'$  findet, so wie wir es schon angemerkt haben. Nun bleibt noch zu berücksichtigen, daß die Knoten verschieden beweglich sind und die Winkel der Umlaufbahnen somit variabel sein müssen; aber dies ist hier ohne Bedeutung.]

<sup>486</sup> wörtlich: „une impossibilité morale“

<sup>487</sup> eigene Bemerkung: 1700 ist das Geburtsjahr des Autors.



Ich stelle mir also die gesamte sphärische Oberfläche als von einer Zone umgürtet oder eine Art von Zodiac vor von der Größe  $6^{\circ}54'$  (denn dies war die größte Neigung der Umlaufbahn des Merkur mit der Ekliptik.) Diese Zone umfaßt etwa ein Siebzehntel der sphärischen Oberfläche. Wenn man jetzt die planetarischen Umlaufbahnen als rein zufällig plaziert betrachtet, dann bleibt zu berechnen, welcher Grad von Wahrscheinlichkeit für alle Umlaufbahnen besteht, in eine gegebene Position, die ein Siebzehntel der Oberfläche einnimmt, zu fallen. Aber diese Position der Zone selbst richtet sich nach einer Umlaufbahn, welche immer es auch sei, da sie untereinander nicht sehr differieren. Das heißt also, es kommen nur 5 Umlaufbahnen in Rechnung, und wenn man dies einmal hat, dann folgt nach den üblichen Regeln, die Anzahl der Fälle, daß 5 Orbits in besagte Zone fallen, zur Anzahl der Gegenfälle, daß er (der Grad von Wahrscheinlichkeit; Übers.) wie 1 zu  $17^5 - 1$ , also wie 1 zu 1419856 beträgt. [ Ich verwende bei dieser Methode nicht die gesamte Präzision der Geometrie, was der Leser sicher nicht verfehlt hat zu bemerken; aber ich habe mich damit zufrieden gegeben, weil es sich hier nur darum handelt, von der ganzen Sache eine Generalidee zu bekommen. Eine bemerkbar größere oder kleinere Zahl würde uns die in Frage stehende Sache nicht viel anders sehen lassen. Man sieht deutlich genug, daß unsere Proportion nicht sehr weit von der wahren Proportion entfernt sein kann. Aber, wird man fragen, was ist denn die wahre? Ich antworte auf diese Frage, daß sie nicht bekannt ist, aufgrund der Bewegung der Knoten, welche in jedem Augenblick die Grenzen der Umlaufbahn ändern. Ich habe deshalb einfacherweise eine Zone betrachtet, aus welcher kein Punkt der Umlaufbahn, wie auch immer sie ihre Position wechseln, heraustritt, & diese Zone habe ich mit der Oberfläche der Sphäre verglichen, von der sie etwa den siebzehnten Teil einnimmt, einmal mehr, einmal weniger, weil sich die Begrenzungen verschieben. In dieser Zone gibt es keinen Punkt, der nicht von einer der Umlaufbahnen berührt würde, & außerhalb dieser Zone gibt es keinen Punkt, der es jemals sein könnte. Hieraus ersieht man hinreichend die Begründung meiner Lösung. Wenn alle Knoten konstant in einem gleichen, gemeinsamen Punkt bleiben würden, wäre es notwendig gewesen, den größten Schnittwinkel zweier Umlaufbahnen zu betrachten, der, wie wir gesehen haben,  $6^{\circ}54'$  beträgt; da dieser Winkel bis zu  $90^{\circ}$  hätte gehen können, wenn der Zufall es so gewollt hätte, ist es notwendig, diese beiden Winkel zu vergleichen, & feststellen, daß der erste etwa den dreizehnten Teil des zweiten beträgt. Hieraus ergäbe sich der Grad der Wahrscheinlichkeit (dafür daß keine Umlaufbahn mit irgendeiner anderen einen Winkel größer als  $6^{\circ}54'$  bilden würde) zu

$$1 : (13^5 - 1),$$

was eine Proportion ergibt, die etwa viermal größer ist als bei der ersten Lösung, also wie 1 zu 371292. Schließlich ist die beste Art den Grad der Wahrscheinlichkeit zu berechnen die, die Ebene in der Mitte aller Umlaufbahnen zu betrachten ( welche nach Betrachtung aller Lagen wohl genau die Ebene des Sonnenäquators ist ) mit welcher jede Umlaufbahn, auch wenn sie sich bewegt, ohne Zweifel einen konstanten Winkel bildet, oder einen fast konstanten. Wenn die Lage der Ebene gegeben ist, muß man ausrechnen, welche Umlaufbahn den größten Winkel mit dieser Ebene bildet, & welches die Größe dieses Winkels ist. Und weil in der Hypothese über die zufällige Plazierung der Umlaufbahnen dieser Winkel bis zu  $90^{\circ}$  ansteigen könnte, wäre das Verhältnis besagten Winkels in bezug auf einen von  $90^{\circ}$  zu betrachten. Setzt man nun dieses Verhältnis wie 1 zu  $m$ , der Grad der gesuchten Wahrscheinlichkeit, so hätte man jetzt dieses wie 1 zu  $m^6 - 1$ . Hier setze ich den Exponenten auf 6 statt 5, wie ich es in den zwei vorangegangenen Beispielen gemacht habe, weil die festgehaltene Größe hier nicht eine der Umlaufbahnen ist, sondern der Sonnenäquator. Diese Methode erschiene mir als die sicherste von allen, wenn nur die Lage des Sonnenäquators ein wenig gewisser wäre. Folgt man dem, was Herr Cassini in den Mémoires de l'Académie Royale des Sciences des

Jahres 1701<sup>488</sup> berichtet, so ist es die Erdumlaufbahn, die den größten Winkel mit dem Sonnenäquator bildet, & dieser Winkel wäre  $7^{\circ}30'$ , was

$$m = 12, \quad \& \quad m^6 - 1 = 2985983$$

ergäbe. Wenn also alle Umlaufbahnen zufällig in bezug auf den Sonnenäquator plaziert wären, so hätte man 2985983 gegen 1 zu wetten, daß sie nicht alle so nahe wären. Alle diese – durchaus verschiedenen Methoden geben keine so extrem verschiedene Zahlen. Deshalb werde ich mich an die an erster Stelle gegebenen Zahlen halten, & ich habe diese Rechnung nur gemacht in der Absicht, den Leser erkennen zu lassen, vor welchem Hintergrund man hier argumentiert.]

5 §.V. Einige werden vielleicht dieser Methode widersprechen, ich habe zuerst selbst eine andere benutzt, nach reiflichem Überlegen habe ich aber die zuerst gegebene bevorzugt. Ich will mich jetzt nicht länger damit verweilen, sie zu verteidigen, um mich nicht zu weit von der Hauptsache zu entfernen.

15 Indessen vergleichen wir, um die Lächerlichkeit besser fühlen zu lassen, die darin bestünde einem reinen Zufall die engen Abstände der Umlaufbahnen zuzuschreiben, die Frage der sechs Umlaufbahnen mit der eines einfachen Schnittes. Ich behaupte, selbst diese Lage der Umlaufbahn ist weniger wahrscheinlich, als es die von zwei Umlaufbahnen wäre, die sich unter einem sehr viel kleineren Winkel als einem Viertel einer Sekunde schneiden würden [denn da sich ein Winkel von  $90^{\circ}$  zu einem Winkel von  $15''$  wie 1 296 000 zu 1 verhält, gibt es hier nur 1 295 999 Fälle gegen 1, gegen 1 419 856 gegen 1 wie wir gefunden haben:]. Man könnte auch zum Beispiel sagen, wenn die Natur der Ekliptik nur einen Winkel von  $15''$  Inklination gegen den Äquator der Erde gegeben hätte, immer unterstellt, daß die Fähigkeit der Menschen so weit gediehen sei, solche Winkel zu messen, hätte dann irgendeiner glauben können, daß dies durch Zufall so gekommen sei ohne die geringste Beziehung zwischen Ekliptik und besagtem Erdäquator? Wenn wir aber nun auch noch die Aufmerksamkeit auf die Satelliten des Jupiter und des Saturn richten, welche, genau wie die Hauptplaneten, ihren Umlauf beinahe in einer gemeinsamen Ebene nehmen (ausgenommen der letzte Satellit des Saturn, der aus einem speziellen Grunde, den unsere Theorie selbst geben wird, diesem Gesetz nicht gehorcht)<sup>489</sup>, so kann nicht der geringste Skrupel über diesen Gegenstand zurückbleiben. Wer dieses Gefühl nicht teilen kann, der muß alle Wahrheiten zurückweisen, die durch Induktion bekannt werden. Kehren wir also zum Hauptgegenstand zurück.

25 §.VI. Wir haben gesagt, daß es eine Ebene gibt, die irgendeinen Bezug zu den Umlaufbahnen der Planeten haben muß, in welcher diese Umlaufbahnen sich nach und nach vereinigen,<sup>490</sup> daß diese Ebene in der Mitte der Umlaufbahnen gelegen ist, & endlich, daß es allem Anschein nach die des Sonnenäquators ist. Denn die Ebene dieses Äquators durchquert tatsächlich etwa die Mitte der Umlaufbahnen, so weit man dies beurteilen kann infolge der Beobachtungen der Sonnenflecken. Es ist dies die einzige Ebene, die mit einem physikalischen Grund hinsichtlich dieses Punktes gesehen werden kann. Danach haben wir hinzugefügt, daß es einen speziellen Umstand geben muß, infolge dessen die Umlaufbahnen der Planeten nicht ganz vereinigt in dem Sonnenäquator sein können, oder in einer gemeinsamen Ebene. Aus diesen beiden Punkten besteht im Wesentlichen die Frage, die aufgegeben wurde. Ich fühle also, daß ich zur Befriedigung der Anforderungen der Akademie, erstens zeigen muß, was die Umlaufbahnen der Planeten so nahe an den Sonnenäquator gezogen haben könnte, & zweitens, warum diese Umlaufbahnen nicht gänzlich mit diesem Sonnenäquator vereinigt sind.

<sup>488</sup> J. Cassini, Des taches observées dans le Soleil: Mém. Paris 1701, p.264.

<sup>489</sup> Eigene Bemerkung: Zur Zeit der Arbeit waren erst 5 Satelliten des Saturn bekannt, gegen heute gesichert 18.

<sup>490</sup> Eigene Bemerkung: „ces Orbites tâchent de se réunir“ wörtlich.

§.VII: Ich bin überzeugt, daß alle Himmelkörper ihre Atmosphäre besitzen, und wenn auch Herr Huygens<sup>491</sup> auf keinen Fall eine dem Monde zugestehen wollte, aus mehreren Gründen, die er angeführt hat, so glaube ich doch, daß diese Meinung inzwischen generell abgelehnt wird, denn mehrere Phänomene beweisen absolut deren Falschheit. Es ist wahr, daß die Materie, die die verschiedenen Atmosphären erzeugt, vielleicht verschieden ist, wie größere Dichte, oder größere Seltenheit, aber es ist vorzuziehen, daß alle Atmosphären ähnliche Eigenschaften haben sollten. Da ich sicher bin, unter Beachtung aller möglichen Umstände, daß es eine Atmosphäre um die Sonne gibt, daß daraus die Lösung unseres Problems abgeleitet werden kann, so erscheint es nicht von aller Vorstellung entfernt, hier anzudeuten, daß die hauptsächlichsten Eigenschaften der Erdatmosphäre herangezogen werden, um sie auf die Sonnenatmosphäre anzuwenden.

Die Luft, die die Atmosphäre der Erde darstellt, ist eine Flüssigkeit mit Gewicht gegen das Zentrum der Erde, elastisch, & deshalb von verschiedener Dichte an mehr oder weniger hohen Stellen.

Die Dichte verringert sich so stark, daß sie eine unvorstellbare Seltenheit im Bereich des Mondes haben muß, wenn es denn wahr ist, daß sie (die Luft; Übers.) ihn erreicht. Es wird nämlich die Dichte ungefähr auf die Hälfte verringert mit jeder deutschen Meile<sup>492</sup> an Höhe. So ist die Dichte der Luft nahe der Erdoberfläche gleich 1 gesetzt, die Dichte in der Region

des Mondes geringer als  $\frac{1}{2^{50000}}$ .<sup>493</sup> Die Atmosphäre der Erde kann sich keinesfalls ausdehnen

bis zum Unendlichen, um so weniger, als sie umgeben und zurückgehalten von anderen elastischen Flüssigkeiten ist, und sie ist es, wie ich es vorher unterstellt habe, durch die Sonnenatmosphäre. Die Grenzen der Atmosphäre der Erde werden dort sein, wo ihre Elastizität (gemeint sicher: Druck; Übers.) gleich jener der Sonnenatmosphäre ist. Man kann also zweifeln, ob die Atmosphäre der Erde bis zum Mond geht oder nicht. Ich bin versucht zu glauben, daß sie sich nicht so weit ausdehnt, wegen der exzessiven Seltenheit, die die Luft dort haben muß und die jede Vorstellungskraft übersteigt. Es gibt noch zwei weitere Gründe, die mich zu dieser Überzeugung bringen. Das ist zuerst die zu große Inklination der Mondumlaufbahn gegen den Erdäquator, die ohne Zweifel sehr viel geringer wäre, wenn der Mond von der Erdatmosphäre umgeben wäre, wie ich weiter unten versucht habe sichtbar zu machen. Der zweite Grund ist, daß uns der Mond stets das gleiche Gesicht zeigt.

Die Dichte der Luft wird noch vermindert durch die Wärme und erhöht durch die Kälte, & endlich wird die Luft um die Erdachse mit der gleichen Geschwindigkeit bewegt, oder besser der der Erdoberfläche. Denn sonst würden wir ohne dies nicht verfehlen, einen fortwährenden Wind von Osten nach Westen zu empfinden, dies aber ein Wind unvergleichlich viel stärker als bei den stärksten Stürmen. Dies ist klar, denn jeder Punkt des Äquators legt in einer Zeitsekunde durch die tägliche Umdrehung der Erde einen Weg von mehr als eintausendvierhun-

<sup>491</sup> Huygens, Cosmotheoros, Den Haag 1698- Oeuvres Tome XXI, p. 793  
Eigene Bemerkung: „[...] Porro nec aere aut atmosphaera Lunam cingi, qualis circum Tellurem hanc ambit, manifestum est. Quia si qua talis existeret, non posset extrema Lunae ora tam praecise circumscripta spectari, quam subeunte stella aliqua saepe animadversa est; [...] (Übers. s. Kapitel Daniel Bernoulli)

<sup>492</sup> Eigene Bemerkung: „chaque lieuë d’Allemagne d’élévation“.  
Sachs-Villatte, Wörterbuch, Berlin 1905 gibt beim Stichwort „lieue“ die deutsche oder geographische Meile mit 4444,5 m an.  
Trapp, Wolfgang, Kleines Handbuch der Maße, Zahlen und Gewichte, Stuttgart 1998, gibt 4444,4 m als altes Meilenmaß in Frankreich an (S.231). Eine „deutsche“ Meile kann man schwerlich finden, weil ein einheitlicher Staat damals nicht existierte.

<sup>493</sup>  $\frac{1}{50000}$

dert Fuß<sup>494</sup> zurück. Die Winde der wildesten Stürme legen kaum fünfhundert Fuß in einer Sekunde zurück, & es ist nicht nur auf der Meeresoberfläche, daß sich die Luft mit der Erde in der angegebenen Geschwindigkeit bewegt, sondern diese Erscheinung findet auch auf den Spitzen der höchsten Berge, offen nach allen Seiten, statt, wie auf dem Pic dans l'Isle von

5

Teneriffa. Es ist noch leicht zu zeigen, daß die gesamte Atmosphäre von der Oberfläche der Erde bis zu den höchsten Höhen nicht verfehlt, diese Umdrehung in 24 Stunden mitzumachen, wenn deren Bewegung nicht behindert würde durch die Reibung der Oberfläche gegen die Sonnenatmosphäre. Diese Reibung & Behinderung, die gegen die Oberfläche ausgeübt wird, übt ihren

10

Einfluß bis zur Oberfläche der Erde durch die ganze Atmosphäre hin aus, & bewirkt, daß die verschiedenen Schichten ihre Umdrehung in verschiedenen Zeiten ausführen. Es war Herr Jean Bernoulli, der uns die wahren Gesetze dieser Bewegung für alle Hypothesen in bezug auf die Veränderung der Dichten gezeigt hat, nämlich in seiner schönen Dissertation, die die Akademie mit dem Preis des Jahres 1730<sup>495</sup> gekrönt hat, wahrhaft würdig dieser gloriosen

15

Belohnung. [Was ich hier vorstehend vorgebracht habe im Hinblick auf die enorme Verringerung der Dichte der Luft, die sich weit von der Erdoberfläche hin auswirkt, wird fast weitgehend unter den Geometern akzeptiert, & sie begründen dies damit, daß die Dichten der Luft immer proportional den Kräften sind, die sie komprimieren. Hieraus schließen sie, daß in arithmetisch wachsenden Abständen von der Oberfläche die Dichten geometrisch abnehmen. Das heißt, (wenn die Dichte der Luft auf der Erdoberfläche in Meereshöhe gleich 1 gesetzt wird, die vertikale Höhe über dieser Oberfläche gleich x und die dazugehörige Dichte gleich y) die Gleichung zwischen vertikaler Höhe und Dichte der Luft ist durch

20

$$\log \frac{1}{y} = \frac{x}{a}$$

25

gegeben, wobei der Wert von a, sagen sie, sich aus einem Experiment finden läßt: so z. B. wenn das Barometer fällt um den  $\frac{1}{336}$  Teil, wenn man es um 63 Fuß von der Meeresoberfläche hochhebt, so wird man etwa

$$a = 335 \times 63 = 21\ 105$$

30

erhalten. Und von dort aus will man wissen, in welcher vertikalen Höhe die Dichte der Luft  $\frac{1}{2}$  sein wird, und man findet etwa 14 600 Fuß. An Stelle dieses Wertes habe ich eine deutsche Meile gesetzt, sehr viel größer, damit es nicht aussieht, als wollte ich die Sache übertreiben.<sup>496</sup> Dieser unter Geometern allgemein bekannte Überlegung wollte ich folgen, da es sich hier nicht darum handeln kann, exakte Werte zu finden, & ich nicht die Zeit gehabt habe, als ich diese Arbeit hier verfaßte, in die Details einzutreten. Ich war nahe meiner Abreise aus St. Petersburg, und ich billige durchaus nicht, noch werde ich je billigen, weil ich es besser weiß, daß dies nicht gut genug mit den Experimenten übereinstimmt, die man gemacht hat, & daß ich mehrere Punkte vernachlässige, nämlich

35

1°. Die Verringerung der Schwerkraft mit der Entfernung senkrecht zur Oberfläche der Erde: Das ist ein Punkt, den Herr Newton nicht versäumt hat zu betrachten in seinem Buch 2. Prop.22 der Princip.Math.<sup>497</sup>. Aber sie hat keine Konsequenzen für kleine Höhenunterschiede,

40

<sup>494</sup> Eigene Bemerkung: nach Trapp, aaO.: 1 Pariser Fuß = 32,48394 cm. 1400 Fuß = 454,8 m. Bei 40000km Erdumfang findet man 462,96 m

<sup>495</sup> Joh. I B. CXXXVIII, Nouvelles pensées sur le Système de Descartes & sur la manière d'en déduire les Orbites & les Aphélie des Planetes, Prix Paris 1730- Opera Tomus III, p.131.

<sup>496</sup> Eigene Bemerkung: Nimmt man den Wert von Trapp (aaO), so findet man hier 4742,7 m. Dies stellt meine Vermutung über die Größe der „deutschen Meile“ sehr in Frage.

<sup>497</sup> Newton, Principia, Ed. I.,p.298; Ed.II, P. 267.

Eigene Bemerkung: *principia*, a.a.O. II, S. 339 „*Sit Fluidi cujusdam densitas compressioni proportionalis, & partes ejus a vi centripeta distantis suis a centro reciproce proportionali deorsum trahuntur: dico quod, si distantiae illae sumantur continue proportionales, densitates Fluidi in iisdem distantis erunt etiam continue proportionales.*“ Lib.II.Prop.XXI. Theor.XVI. Eigene Übers.:

so wie es die Berge über der Meeresoberfläche sind. Deshalb also ist es nicht aus jenem Grunde, dem man die zu geringe Konformität zwischen dem Kalkül und den Experimenten der Physiker zuschreiben muß.

2°. Die Unterschiedlichkeit der Zentrifugalkräfte der Luftschichten im Gegensatz zu ihrer Schwere. Dieser Punkt ist, genau wie der erste, ohne große Konsequenzen für mittlere Höhen.

3°. Die Wärmeverteilung, sowohl in den verschiedenen Teilen der gleichen Schicht, wie zwischen den verschiedenen Schichten. Denn die Erhöhung der Wärme beeinflusst auch die Luft, wie die Verringerung der Kräfte diese komprimiert. Ich versichere mich, daß dies der einzige Grund ist, der so fühlbar die Erfahrungen mit der Hypothese, die allgemein akzeptiert ist, differieren läßt. Man sieht daraus, wie schwierig es ist, eine exakte Methode anzugeben, um die Verringerung der Dichte der Luft zu berechnen: Das, was ich unten über die Atmosphäre der Sonne sage (§.IX), wird zur weiteren Erhellung dieser Materie dienen, aber ich werde es ein wenig ausführlicher in einer hydrodynamischen Arbeit, mit deren Publikation ich in nächster Zeit rechne, behandeln.<sup>498]</sup>

§.VIII. Aus den Eigenschaften, die wir von der Atmosphäre der Erde kennen, werden wir schließen, daß die Sonne ebenso selbst von einer Flüssigkeit ähnlich der unserer Erde, mit Gewicht gegen das Zentrum der Sonne, ausgestattet mit einer elastischen Kraft, die ohne Zweifel stärker sein wird, falls sich die Wärme der Sonne (Chaleur de Soleil) erhöht, umgeben ist. Diese Flüssigkeit wird deshalb auch ihre verschiedenen Dichten in verschiedenen Entfernungen von der Oberfläche der Sonne haben, so wie es überall bei einem gleichen Grad von Wärme auch das Gewicht gleich sein wird. Die Dichten werden proportional dem Numerus eines Logarithmus sein (appliquées d'une logarithmique), die Distanzen von der Oberfläche werden durch die Abszisse ausgedrückt, jedoch wie die eine (Größe) & die andere abnehmen, wenn sie sich von der Sonne entfernen, genügt bei der Variation der Dichten einem anderen Gesetz, das wir weiter unten untersuchen wollen.

Die Atmosphäre der Sonne dehnt sich so weit aus, bis ihre Elastizität gleich der einer anderen Atmosphäre wird, die wir nicht kennen, in welcher aber die Sonne eingeschlossen sein kann, so wie es die Erdatmosphäre von der der Sonne ist.

Endlich ist die Hauptbemerkung für unseren Entwurf, daß diese solare Flüssigkeit notwendigerweise ihre Umdrehungen um die Achse der Sonne macht, & zwar, daß alle ihre Teile nicht verfehlen, diese zusammen mit der Sonne in der Zeit von 25 ½Tagen zu machen, solange diese Bewegung nicht durch die Begrenzung der Atmosphäre gehindert wird. Diese Behinderung wird bewirken, daß die periodischen Umlaufzeiten der Materie gewissen Grenzen zustreben. Ich unterstelle durchaus, daß trotz dieser Verringerung der Bewegung die Geschwindigkeiten (die sonst, ohne dies, den Abständen von der Achse proportional sein würden) nicht sehr viel größer sein werden, wenn die Abstände besagter Achse viel größer sind.

§.IX. Was die Methode anbetrifft, die verschiedenen Dichten der Atmosphäre an verschiedenen Orten zu finden, so glaube ich nicht, daß man sie vollständig kennen kann, da die Ursachen, die das Problem bestimmen, uns unbekannt sind.

Wir begnügen uns also damit, eine gewisse leichte Idee davon zu haben, indem wir die wahrscheinlichsten Hypothesen auswählen. Wir setzen, daß das Gewicht gegen das Zentrum der Sonne dem reziproken Verhältnis der Quadrate der Distanzen zu jenem Zentrum folgt, daß die Dichten der Flüssigkeit überall im direkten Verhältnis zum Gewicht der Atmosphäre, die sie unterstützt, stehen, & in reziprokem Verhältnis ihrer Wärme. Ferner möge die Wärme, wie

---

„Es sei die Dichte einer Flüssigkeit dem Druck proportional, und es mögen ihre Teile durch eine Zentralkraft, welche dem Abstand vom Zentrum umgekehrt proportional ist, abwärts gezogen werden. Ich sage, daß, falls die Entfernungen in stetiger Progression (continue proportionales) genommen werden, die Dichte der Flüssigkeit in diesen Entfernungen auch in stetiger Progression sein werden.“

<sup>498</sup> Cf. V.6- St. 31, Sectio 10. Eigene Bemerkung: ( die voranstehende Notiz bezieht sich auf Bd. V der gesammelten Werke Daniel Bernoullis). Die Arbeit „Hydrodynamica“ wurde 3 Jahre später (1738) publiziert und ist Daniel Bernoullis berühmteste Arbeit.

das Gewicht, dem reziproken Verhältnis des Quadrats der Distanzen zum Zentrum der Sonne folgen, & endlich, daß das Maß der Elastizität durch das Gewicht, das sie unterstützt, gegeben ist.

Nach diesen Hypothesen nennen wir

5 den Radius der Sonne  $r$ ,

die Distanz eines gegebenen Ortes zum Zentrum der Sonne  $=x$ .

Wir kennzeichnen die Dichte der Luft<sup>499</sup>, ihre Elastizität und ihre Wärme, so wie sie an der Oberfläche der Sonne sind, durch die Einheit:

die Dichte die am gegebenen Ort herrscht  $=D$ ,

10 & die Elastizität für den gleichen Ort  $=E$ .

Aufgrund unserer Hypothesen gilt damit, daß die Dichte überall proportional dem Gewicht der darüber liegenden Atmosphäre ist, dividiert durch die Wärme, oder auch zur Elastizität, dividiert durch die Wärme, welche  $r/r_{xx}$  ist.

$$D = E \cdot \frac{x^2}{r^2}.$$

15 Stellen wir uns nunmehr vor, daß die Atmosphäre aus einer unendlichen Anzahl von Schichten um das Zentrum der Sonne zusammengesetzt ist; dann ist klar, daß  $-dE$ , das die unendlich kleine Verringerung der Elastizität darstellt, die auf  $dx$  hin erfolgt, das Differential von  $x$ , es ist klar, sage ich, daß  $dE$  proportional sein wird zu Gewicht der zugehörigen Schicht, deren Höhe  $dx$  ist. Aber dieses Gewicht ist proportional zum Produkt der gleichen Höhe  $dx$ , und

20 deshalb die Dichte  $D$ , & daraus die Kraft des Gewichtes  $r/r_{xx}$ . Wenn man also  $n$  als eine konstante Zahl betrachtet, so hat man

$$-dE = \frac{n \cdot r r \cdot D dx}{xx}$$

& wenn man in dieser Gleichung für  $D$  den oben gefundenen Wert einsetzt, so erhält man

$$dE = -nEdx,$$

25 dessen Integral ( wenn  $c$  die Zahl bezeichnet, deren Logarithmus die Einheit ist) ergibt

$$E = c^{n(r-x)}.$$

Aus dieser Gleichung ersieht man, daß die Elastizitäten in der solaren Atmosphäre abnehmen, wenn man sich von der Sonne entfernt, in gleicher Weise, wie sie es machen, wenn Gewicht und Wärme überall die gleichen wären. Dies sind die zwei Hypothesen, deren man sich be-

30 dient, um die Variation der Dichten der Atmosphäre der Erde zu finden. Überdies sind diese Hypothesen kaum angebracht für diesen Effekt, wie auch Herr Newton bemerkt hat. Wenn man nun  $E$  durch seinen gefundenen Wert substituiert, so erhält man diese Endgleichung

$$D = \frac{xx}{c^{n(x-r)} r r}.$$

35 §.X. Es folgt aus dieser Gleichung, daß die größte Dichte der solaren Atmosphäre nicht an der Oberfläche der Sonne ist, sondern an einem gewissen anderen Ort, der sehr weit von der Sonne entfernt sein kann. Der physikalische Grund dafür ist der, daß die Atmosphäre extrem selten durch die enorme Hitze, die um die Sonne herum herrscht, wird. Der Ort der größten

Dichte ist vom Zentrum durch die Größe  $\frac{2}{n}$  gegeben, & man kann den Wert von  $n$  bestimmen,

40 wenn man durch ein Experiment die reelle Dichte eines gewissen Ortes ermitteln könnte.

§.XI. Aber unterstellen wir, zum Beispiel, daß der Ort der größten Dichte der solaren Atmosphäre nahe der Venus liegt, welche vom Zentrum der Sonne ungefähr einhundertfünfzig

<sup>499</sup> Eigene Bemerkung: „l'air“ steht im Text, also „Luft“, obwohl Bernoulli vorher von einer gewissen Flüssigkeit spricht. Es wird deutlich, daß er sich selbst „Luft“ vorstellt.

Sonnenradien entfernt ist: dann wird man  $\frac{2}{n} = 150 r$  oder auch  $n = \frac{1}{75r}$  : dann wird durch Anwendung auf die Gleichung

$$D = \frac{xx}{c^{(x-r)(75r)} rr}$$

Das bedeutet für die Dichten etwa folgendes:

5	Für die Sonnenoberfläche	= 1
	in der Region des Merkur	= 2200
	der Venus	= 3000
	der Erde	= 2600
	des Mars	= 14 400
10	des Jupiter	= 1310
	des Saturn	= 15

§.XIII. Wenn man unterstellt, daß die größte Dichte etwa um Jupiter herrscht, dann wird die Sonnenatmosphäre ab Merkur noch sehr viel uniformer bis zum Saturn; diese Lage erscheint mir nicht sehr wahrscheinlich. Denn wie eine große Zahl von Phänomenen, allen Planeten gemeinsam, mich dazu geführt hatten, daß sie sich von der Sonnenatmosphäre herleiten könnten, so ist es sehr einleuchtend, daß die Dichten dieser Atmosphären in allen Ausdehnungen der planetarischen Regionen nicht extrem ungleich sein können, so wie sie es in der Atmosphäre der Erde sind, unter sehr mittelmäßigen Höhenunterschieden. Man nehme nur in unserer Atmosphäre die Höhe eines Halbmessers der Erde über der Oberfläche, die wir bewohnen, und man wird sehen, daß die Luft dort von einer unvorstellbaren Seltenheit sein muß.

§.XIV. Nachdem ich das, was die Sonnenatmosphäre betrifft, dargestellt habe, glaube ich sagen zu müssen, daß es mir nicht so scheint, als werde diese, um die Achse der Sonne bewegt, alle Funktionen ausführen können, die man den tragenden (Tourbillons déferants) Wirbeln zuschreibt. Folglich ist es nicht sie, die die Planeten auf ihrer Bahn hält. Es muß nämlich in einem tragenden Wirbel die Dichte der Materie gleich der Dichte der Körper sein, die in ihr schwimmen, wie schon Herr Newton deutlich gemacht hat<sup>500</sup>. Aber die Sonnenatmosphäre ist ohne Zweifel überall unvergleichlich viel seltener als es die Himmelskörper sind, die um die Sonne bewegt werden. Es gibt noch einen anderen Umstand, der mir vollends zu demonstrieren scheint, daß die Atmosphäre keineswegs die Eigenschaft eines tragenden Wirbels hat. Er besteht darin, daß die Geschwindigkeiten der (bewegenden, Übers.) Materie und des vom Wirbel bewegten Körpers gleich sein müssen. Oder auch, nach der Regel Keplers<sup>501</sup>, die Periodenzeit eines Planeten, der nahe der Sonnenoberfläche sei, würde eine Umdrehung in ungefähr 3 Stunden machen, während die Materie, die die Sonne berührt, 25 ½ Stunden braucht für eine Umdrehung. Das gleiche gilt für die Erdatmosphäre nahe der Erdoberfläche, die ihre Umdrehung in 24 Stunden absolviert. Ich steige hier nicht tiefer in die Untersuchung ein, falls dieses Argument nicht dem System der Wirbel gänzlich entgegengesetzt ist, was ich hier nicht widerlegen will.

<sup>500</sup> Newton, Principia, Ed.I, Lib.II Prop.LIII Theor. XL, p.382; Ed.II, Lib.II Prop.LIII Theor.XLI,p.353. Eigene Bemerkung: principia, a.a.O. II, S. 414, PropXXXVIII. Theor.XXX, „Globi, in fluido compresso, infinito, & non elastico uniformiter progredientis, resistentia est ad vim, qua totus ejus motus, quo tempore octo tertias partes diametri suae describit, vel tolli possit vel generari, ut **densitas Fluidi ad densitam Globi quamproxime.**“ Eigene Übers.:

„Der Widerstand einer Kugel, die sich gleichförmig in einer komprimierten unbegrenzten & nicht elastischen Flüssigkeit bewegt, verhält sich zu der Kraft, durch welche ihre gesamte Bewegung sowohl aufgehoben werden als auch erzeugt werden kann, während sie acht Drittel Teile ihres eigenen Durchmessers zurücklegt, ungefähr wie Dichte der Flüssigkeit zur Dichte der Kugel.“

<sup>501</sup> Kepler, Harmonices Mundi, Linz 1619, pp. 189-190

Eigene Bemerkung: Caspar: Max [Hrsg.], Johannes Kepler, Gesammelte Werke Bd. VI, München 1940, Harmonices Mundi Liber V, Kap.III S.302 (Zitat u. Übers. im Kapitel Daniel Bernoulli)

Es gibt also einen anderen Grund, der die Planeten auf ihren Bahnen hält, und der ihre Zentrifugalkraft ausgleicht. Dieser Grund, welcher auch immer es sei, stößt die Körper gegen das Zentrum der Sonne, denn die Ebenen der Umlaufbahnen gehen durch dieses Zentrum. Wenn man findet, daß die dahintragenden Wirbel diesen Dienst den Planeten und der Erde leisten können, so will ich mich nicht dagegen sperren, daß man solche Wirbel etabliert, die die Atmosphäre durchqueren, & dies scheint mir nicht gegensätzlich zu dem, was ich gesagt habe, zu sein, nämlich, daß die Atmosphäre selbst diese Funktion nicht übernehmen kann. Ich bekenne aber durchaus, selbst nachdem ich aufmerksam die Dissertation des Herrn Jean Bernoulli<sup>502</sup> gelesen habe, die ich oben schon zitiert habe, daß mir noch mehrere Bedenken gegen das System der Wirbel bleiben. Jedoch die große Eindringtiefe des berühmten Autors und die durchaus alles überragende Autorität der Akademie, deren Zustimmung er sogar selbst in dieser Materie erhalten hat, erlauben mir nicht meine Einwände mit Überzeugung vorzutragen. Ich leide weiter an der Aussage, daß die Atmosphäre, die sich um die Sonne bewegt, gerade der tragende Wirbel der Planeten sei. Wenn es anderen möglich erscheint, daß dies sein könne, was mich betrifft, mir erscheint dies nicht so. Insbesondere ist die Hypothese, die ich für mein System benötige, eine Sache, von der wir aus Erfahrung wissen, daß sie existiert, & daß sie nicht in Zweifel gezogen wird, nämlich *daß es eine Ursache, die ich Sonnenschwere (pesanteur solaire) nennen werde, gibt, die die Zentrifugalkraft ausgleicht & die fortwährend die Planeten & die Erde gegen das Zentrum der Sonne stößt.*

§.XV. Im Falle, daß man die Sonnenschwere ableiten wollte (wie es einige gemacht haben in bezug auf diejenige, die sich gegen das Erdzentrum bemerkbar macht) aus der Zentrifugalkraft einer subtilen Materie, die sehr rasch bewegt wird, & und dies auch noch, als diese Materie subtiler und seltener ist, habe ich geglaubt, so wie auch einige Freunde, denen ich meine Bedenken mitgeteilt habe, daß man einige Änderungen an den Systemen von Descartes<sup>503</sup> und Huygens<sup>504</sup> vornehmen könnte. Ich habe allerdings noch nicht gelesen, was einige Wissenschaftler publiziert haben, um den senkrechten Abstieg der Körper gegen das Zentrum der Erde mit der Hypothese eines einfachen Wirbels, der um die Achse der Erde bewegt wird, verständlicher und verträglicher zu machen. Ich werde nicht davon ablassen, meine Meinung über diesen Gegenstand hier zu äußern. Ich habe also gedacht, ob man nicht mehrere Wirbel einer subtilen Materie zulassen könnte, ja selbst eine fast unendliche Menge, die alle um unterschiedliche Achsen bewegt würden und alle durch das Zentrum der Sonne gingen. Denn schon Descartes hat sich bei anderer Gelegenheit vorgestellt, daß die subtile Materie sich frei durchqueren könne, & dies auch noch in gegenläufigem Sinne. Darüber hinaus habe ich bemerkt, daß alle Physiker in diesen Zeiten darin übereinstimmen, daß alle Planeten eine gegenseitige Schwere besitzen, die sie einer gegen den anderen stößt. Warum also will man nicht zugeben, daß es einen Wirbel um jeden Planeten gibt, der die Schwere produziert. Man brauchte bloß zu verneinen, daß alle diese Wirbel sich nicht frei durchqueren, & daß die gleich Sache stattfände, wenn alle Himmelskörper noch tausendmal zahlreicher wären. Es gibt noch einen Grund, der mich glauben läßt, daß diese Bewegung aus vielen Wirbeln in jeder Richtung weder so absurd ist, noch unmöglich ist. Der besteht darin, daß die Physiker darin übereinstimmen, daß das Licht nichts anderes als eine sehr rasche Bewegung von kleinen extrem subtilen Kügelchen ist. So ist es denn doch sicher durch das umgekehrte Bild der Objekte, das in der Camera obscura entsteht, daß alle Lichtstrahlen, von welcher Seite sie auch kommen, obgleich sie sich in einem Punkte schneiden, sich nicht frei gegenseitig durchdringen können, ohne sich zu beeinflussen. Ferner erzeugt jeder Strahl den gleichen Effekt, als wenn er allein wäre. Alles dies trägt dazu bei zu glauben, daß man sich ohne Absurdität eine große Zahl von Wirbeln einer Schwere- erzeugenden (gravifique) Materie vorstellen könnte,

<sup>502</sup> Cf. note 13 S. 5 h.v.

<sup>503</sup> Descartes, Principiorum Philosophiae. Pars tertia, Adam 1644 – Oeuvres 1897 Vol. 8, pp. 80-202

<sup>504</sup> Huygens, Cosmotheoros, Den Haag 1698 – Oeuvres Tome XXI, p. 819.

Eigene Bemerkung: dort letzter Absatz.



die sich frei durchqueren, verschiedene Achsen haben und alle durch das Zentrum der Sonne gehen. Derart gäbe es keine bekannte Eigenschaft der Schwere, sei es die, die sich zur Erde auswirkt, sei es die, die ich Sonnenschwere nenne, die nicht sehr natürlich sich aus dieser Hypothese ableiten ließe. Da dies aber nicht zu unserer eigentlichen Aufgabe gehört, will ich mich weiterer Ausführungen enthalten.

§.XVI. Ich komme nun zu unserem Thema. Die Bewegung der Sonnenatmosphäre bewirkt auf jeden Fall, und sie schenkt der *Sonnenschwere* keinerlei Beachtung, daß die Körper ihren Kurs beibehalten, sei es im Sonnenäquator oder in einer dazu parallelen Ebene, & wenn sich die Körper schräg dazu bewegen, dann wird es geschehen, daß sie sich allmählich der besagten Richtung annähern werden, jedoch wohl niemals diese perfekt einnehmen werden, es sei denn nach einer unendlichen Zeit. Die Körper nähern sich um so schneller ihrer natürlichen Richtung, je dichter die sie umgebende Materie ist, je größer die Differenz der Geschwindigkeiten der Körper und der Materie ist, je seltener die Materie der Körper ist, & endlich, je kleiner diese Körper sind.

Die *Sonnenschwere* wirkt gleich groß und entgegengesetzt zur Zentrifugalkraft der Himmelskörper und bewirkt vor allem, daß diese Körper sich nur in Ebenen bewegen können, die durch den Mittelpunkt der Sonne gehen.

Es erscheint mir, indem ich die Wirkung der Sonnenatmosphäre & der *Sonnenschwere* zusammen betrachte, daß die natürliche & unwandelbare Richtung der Körper, die sich um die Sonne bewegen, dergestalt sein muß, daß sie zwei Punkten genügen muß, die wir sogleich erklären werden, welche nur dann erfüllt sein werden, wenn die Umlaufbahnen im Sonnenäquator liegen. Wenn sie tatsächlich nicht in diesem Äquator sind, der ihr natürlicher & unwandelbarer Ort ist, so nähern sie sich ihm, & dies um so deutlicher, je entfernter sie ihm sind, hingegen mit einer extremen Langsamkeit, falls diese Umlaufbahnen sich fast mit besagtem Äquator vereinigen, jedoch kommen sie nur vollständig dahin in einer unendlichen Zeit. Es ist dies die Natur der Körper, die in einer Umgebung bewegt werden, sei sie Widerstand leistend oder sei sie sie mitführend. So, zum Beispiel, beschreiben die Körper eine Parabel, wenn sie in den leeren Raum (le vuide) geworfen werden, beschreiben in widerstrebender Materie eine Kurve, welche sich erst sehr stark einer vertikalen Linie annähert, ohne sie aber jemals vollständig zu erreichen.

§.XVII. Ich überzeuge mich also, daß in weit zurückliegenden Zeiten die Körper, die sich um die Sonne bewegen, Umlaufbahnen beschrieben haben, die mit dem Sonnenäquator viel größere Winkel gebildet haben, als sie es gegenwärtig tun, & daß diese Winkel bei verschiedenen Umlaufbahnen sehr viel stärker variiert haben, als in unseren Zeiten, daß aber diese Umlaufbahnen allmählich reduziert wurden in solch enge Grenzen, wie sie gegenwärtig sind. Und nach einer unendlichen Zeit werden sie sich gänzlich in der gleichen Ebene vereinigen, und dies wird die Ebene des Sonnenäquators sein. Da dies so ist, haben wir zugleich den zwei Punkten Genüge getan, die im §.VI. dargestellt worden sind, und die den Gegenstand unseres Diskurses darstellen. Ich will eine Zusammenfassung meiner Erklärung hier noch einmal geben. Die Wirkung der Sonnenatmosphäre vereint mit der *Sonnenschwere* bewirkt, daß die um die Sonne bewegten Körper dazu tendieren sich in der Ebene des Sonnenäquators zu bewegen, den sie mehr und mehr erreichen. Diese Annäherung ist um so fühlbarer, wenn die Umlaufbahnen einen großen Winkel mit dem Sonnenäquator bilden, & da die Welt vor sehr langer Zeit geschaffen wurde, kann es nicht anders sein, als daß die Umlaufbahnen sich fast in besagtem Äquator befinden, & endlich der Grund, warum diese Umlaufbahnen es nicht gänzlich sind, ist der, daß dies erst nach einer unendlichen Zeit geschehen kann.

§.XVIII. Man hat unrecht, wenn man hier einwendet, daß es den Anschein hat, daß seit den ältesten Beobachtungen die Umlaufbahnen ihre Deklination keineswegs geändert haben. Denn es ist anzunehmen, daß die Materie der Atmosphäre so subtil ist, daß bei der Nähe der Umlaufbahnen zum Sonnenäquator eine Zeit von mehreren Jahrhunderten keine bemerkbare Änderung produzieren kann. Überdies ist es nicht sicher, ob man keine Änderung beobachtet

haben würde, wenn man zu Zeiten Hipparchus astronomische Beobachtungen genau so exakt hätte durchführen können wie zur jetzigen Zeit. Ich kann hier das Beispiel der Ekliptik anführen, deren Deklination vor zweitausend Jahren von Pytheas<sup>505</sup> mit  $23^{\circ}29'10''$  gemessen wurde, und die heute nur  $23^{\circ}29'$  beträgt. Hierüber verdient gelesen zu werden, was in *l'Histoire de l'Académie Royale des Sciences de Paris, pour l'année 1716, pag.48*<sup>506</sup> steht. Ich weiß nicht genug über den Hintergrund der Beobachtungen der alten Astronomen, und was man daraus machen kann. Indessen glaube ich nicht, daß es jemand gibt, der noch unterstützt, daß die Himmelskörper keinen Änderungen unterworfen seien. Denn die Welt ist nicht seit Ewigkeit, weder wird sie ewig dauern, noch wird sie in dem gleichen Zustand beharren, solange sie dauert. Man weiß von der Bewegung der Knoten und der Aphelien, was genau diese Theorie, die ich entwickelt habe, fordert. Warum will man dann nicht zugeben, daß auch die planetarischen Umlaufbahnen variieren können, indem sie sich unmerklich dem Sonnenäquator annähern? Ich glaube keinesfalls, daß die Umlaufbahnen jemals entgegengesetzte Deklinationen annehmen würden, wenn sie einmal die Ebene besagten Äquators passiert hätten, sondern daß sie immer in diesem Äquator bleiben werden, wenn sie erst einmal dort drin wären. Dies ist ihre unwandelbare natürliche richtige Lage<sup>507</sup>, vielleicht haben die Knoten & die Aphelien genau so ihre Grenzwerte, die sie nicht mehr verändern würden, wenn sie sie erst einmal erreicht haben werden. Ohne Zweifel ist dies der Grund, warum sie sich so langsam bewegen, denn alles, was fast in seinem Endzustand ist, asymptotisch & unveränderlich, das kann keine stark bemerkbaren Veränderungen erfahren. Alles, was seit langem gegen seinen unvariablen Punkt zustrebt, kann nur in dessen Nähe sein. Die Veränderungen der Umlaufbahn, die der Mond beschreibt, sind von einer anderen Natur & müssen von einer anderen Ursache herrühren. Denn die Mondumlaufbahnen haben ihre Begrenzungen auf einer Seite und auf der anderen, die sie ständig wieder aufsuchen. Aber ohne Zweifel haben die Perioden dieser Exkursionen & Variationen ihre kleinen Abweichungen gegenwärtig gegenüber denen, die sie einst hatten. Und endlich werden sie völlig verschwinden, genau so wie die Unregelmäßigkeiten der planetarischen Umlaufbahnen. Ich kann hier bemerken, daß der Mond, wenngleich er momentan von der Sonnenatmosphäre umgeben ist, nicht von ihr gegen den Sonnenäquator gezogen wird. Denn so sehr er dorthin von einem Knoten zum nächsten gezogen ist, so sehr ist er zurückgestoßen bei seiner Rückkehr zum ersten Knoten. Ich zweifle aber nicht, daß die Umlaufbahnen des Mondes sich alsbald dem Erdäquator annähern werden, wenn es denn wahr ist, daß die Atmosphäre dieser (der Erde; Übers.) sich bis zum Mond erstreckt, wo sie dann noch eine merkbare Dichte haben muß, etwas, was ich kaum glauben kann, wenn ich behaupte, daß die Erdatmosphäre zu Ende ist, bevor sie den Mond erreicht in Anbetracht der extremen Seltenheit, die sie schon bei mittleren Höhen haben muß, ganz wie ich es schon in §.VII. gesagt habe. Hieraus kann man den Grund entnehmen, warum die Mondumlaufbahnen nicht sehr nahe weder dem Sonnenäquator, noch dem der Erde, sind.

[Das, was ich in dem gegenwärtigen Kapitel über die Variation der Knoten und der Aphelien als mit unserer Theorie verträglich angeführt habe, verdient sehr wohl einige Erhellung. Das dargestellte System wird dadurch universeller & mehr plausibel werden. Sagen wir zunächst einiges über die *Sonnenknoten*. So werde ich in der Folge die Schnitte des Sonnenäquators mit den planetarischen Umlaufbahnen nennen. Man erkennt hinreichend, ohne weitere Erklärung, daß die Sonnenatmosphäre notwendigerweise diese *Sonnenknoten* vorwärts bewegen muß. In gleicher Weise wird sie die Aphelien in Bewegung setzen, was man deutlicher erkennt, wenn man sich die Umlaufbahnen extrem exzentrisch denkt. Knoten und Aphelien sind also beweglich in bezug auf den Sonnenäquator, und sie sind es auch in bezug auf die Ekliptik, auf die wir uns beziehen. So müssen alle planetarischen Umlaufbahnen, vorwärts bewegt

<sup>505</sup> Eigene Bemerkung: Pytheas, griechischer Geograph aus Massilia (Marseille) im 4. Jahrhundert v. Chr..  
Hauptschrift: „Über den Ozean“. Erkannte die Gleichheit von Polhöhe und geographischer Breite.

<sup>506</sup> Sur l'obliquité de l'écliptique: Mém. Paris 1716, p.48.

<sup>507</sup> Eigene Bemerkung: wörtlich: „assiette“

in der Richtung der Tierkreiszeichen, die Knoten wie die Aphelien, uns so erscheinen, als bewegten sie sich in dieser Richtung, wenn die Ekliptik, oder die Umlaufbahn der Erde nicht selbst variiert: Aber die Variationen, denen die Erdumlaufbahn permanent unterliegt, können scheinbare Variationen von anderen Umlaufbahnen erzeugen, ganz anders als sie tatsächlich sind, selbst manchmal entgegengesetzt, ganz nach den Umständen. Dies dürfte nicht schwer zu verstehen sein für diejenigen, die sich die Mühe machen, die Angelegenheit mit Aufmerksamkeit zu betrachten. So ist ohne Zweifel die Bewegung der Erdumlaufbahn die Ursache, die bewirkt, daß der Erdäquator kontinuierlich an anderen Punkten der Ekliptik schneidet, aus denen dann eine Bewegung der Äquinoktialpunkte abgeleitet werden muß, von dem man glaubt, einen Kreis in ungefähr 25000 Jahren zu beschreiben.]

§.XIX. Es ist in den Atmosphären von Jupiter und Saturn nicht dasselbe. Denn hier zweifle ich nicht, daß die Dichten weniger schnell abnehmen, als in der Atmosphäre der Erde. Unterstellt man in den Atmosphären von Saturn & Jupiter, daß die Dichten in geometrischer Progression abnehmen, wenn die Entfernungen in arithmetischer Progression zunehmen, wie dies üblicherweise für die Erdatmosphäre unterstellt wird, so wird, während für die Abnahme der Dichte der Luft um die Hälfte eine Meile (Entfernung) notwendig ist, eine unvorstellbar viel größere Entfernung notwendig sein, um einen ähnlichen Effekt in den Atmosphären von Saturn & Jupiter zu bewirken. Auf diese Art und Weise sind die Satelliten des einen und des anderen Planeten noch von einer Materie hinreichender Dichte umgeben, und das noch um so mehr, als die Satelliten nicht extrem weit in bezug auf deren (der Planeten; Übers.) Durchmesser von ihrem Zentralgestirn entfernt sind. Man ersieht daraus, warum sowohl die Satelliten des Jupiter sowohl wie die des Saturn (mit Ausnahme bei letzterem des letzten oder obersten) sich fast in der gleichen Ebene bezüglich des Planeten jeweils befinden, obgleich diese Ebenen sehr verschieden untereinander sind. Sie bilden nämlich einen Winkel von ungefähr 31 Grad. Jedoch die Ebenen, die die Satelliten bestimmen, sind präzise die des Äquators ihrer Hauptplaneten.

Was den fünften Saturnmond betrifft, so ist es sehr bemerkenswert, daß er sich als einziger dieser allgemeinen Regel entzieht. Denn während die vier anderen Satelliten sowie der Ring alle ihre Umläufe in der Äquatorebene des Saturn vollführen, oder wenig dagegen geneigt, bildet die Umlaufbahn des fünften mit diesem Äquator einen Winkel von ungefähr 15 oder 16 Grad, wie der berühmte Herr Cassini dies in den Mémoires de l'Académie Royale des Sciences de Paris de l'année 1714, p.375 gezeigt hat.<sup>508</sup> Diese Ausnahme könnte vielleicht beim ersten Anblick im Gegensatz zu unserer Theorie erscheinen. Jedoch, nachdem ich alles gut durchdacht hatte, wurde ich in meiner Meinung bestärkt. Denn ich hatte ja schon begonnen zu glauben, daß die Atmosphäre des Saturn sich nicht bis zum fünften Satelliten erstreckt, bzw. daß sie dort keinerlei Gewicht mehr hat aufgrund ihrer zu großen Subtilität. Was mich schon vorher zu dieser Überzeugung brachte, besteht darin, daß die tägliche Bewegung der Himmelskörper mir von der Atmosphäre abzuhängen schien, in der diese Körper sich bewegen.<sup>509</sup> Es hat mich dazu gebracht, zu glauben, daß der Mond nur deshalb uns immer den gleichen Anblick bietet, weil die Erdatmosphäre nicht bis zum Mond reicht. Daraufhin kam ich zur Überlegung, daß der fünfte Satellit des Saturn gleichermaßen seinem Planeten dasselbe Antlitz zeigt. Nun konnte ich nicht mehr zweifeln, daß dieser Satellit außerhalb der Saturnatmosphäre ist, & folglich auch keine Tendenz haben kann, sich dem Äquator des Saturn zu nähern. Darin besteht ohne Zweifel der wahre Grund seiner zu großen Deklination mit besagtem Äquator. Die Überzeugung der Herren Huygens<sup>510</sup> und Newton<sup>511</sup>, die glaubten, daß alle Sa-

<sup>508</sup> Nouvelles découvertes sur le mouvement des satellites de Saturne par M. Cassini: Mém. Paris 1714, pp.361-378. Cf. aussi Théorie du mouvement des satellites de Saturne par M. Cassini: Mém. Paris 1716, pp.200-228.

<sup>509</sup> Eigene Bemerkung: wörtlich „nagent“ = schwimmen.

<sup>510</sup> Huygens, Cosmotheoros, Den Haag 1698 – Oeuvres Tome XXI, p. 791

telliten immer die gleiche Seite ihrem Hauptplaneten zuwenden, ist schlecht begründet, indem sie der Überzeugung waren, daß alle anderen Satelliten eine tägliche Bewegung haben, wo doch ihre Übereinstimmung, oder Fast- Übereinstimmung mit dem Planetenäquator zeigt, daß sie in der Atmosphäre des Planeten schwimmen.

5 §.XX. Ich wollte diese Bemerkungen über die Satelliten nicht auslassen, weil sie unser System generell bestätigen. Ich kehre zur Atmosphäre zurück, und da ich aus ihr die Lösung unseres Problems abgeleitet habe, ist es nicht völlig aus dem Thema, ihr Wirken mechanisch zu erklären. Das, was ich über die Sonnenatmosphäre sagen werde, kann selbst wieder auf andere Atmosphären angewendet werden.

10 Die Umlaufbahnen der Planeten schneiden den Sonnenäquator in zwei Punkten, *den Sonnenknoten (noeds solaires)*. Betrachten wir nun einen Planeten, der sich in einem dieser Knoten befindet. Von dort aus bewegt er sich unter einer gegen den Sonnenäquator geneigten Richtung, gleichzeitig aber gewinnt er durch die Aktion (l'action) der Sonnenatmosphäre, die sich viel schneller bewegt als der Planet, einen sehr kleinen Bewegungsanteil parallel zum Äquator; & weil sich diese beiden Bewegungen auf derselben Seite in jedem Ort, in dem sich der Planet befindet, abspielen, ist es klar, daß daraus eine zusammengesetzte Bewegung resultiert, die sich kontinuierlich und parallel zum Äquator auswirkt. (Man wird hier einwenden, die Bewegung der Sonnenatmosphäre sei teils gleichgerichtet mit der Satellitenbewegung, teils entgegengesetzt. Dies ist der Grund, weshalb die Satelliten sich nicht dem Sonnenäquator nähern, sondern dem ihres Planeten.) Die Annäherung gegen den Sonnenäquator ist am deutlichsten in den Sonnenknoten, und in den Punkten der größten Deklination ist sie null, weil die Tangente der Umlaufbahn dort parallel zum Äquator verläuft. Da die Positionen der verschiedenen Planeten ähnlich gelagert sind, nähern sie sich um so schneller dem Sonnenäquator, wenn sie am weitesten von ihm entfernt sind, je kleineren Durchmesser sie haben, je geringer ihre Dichte ist, je dichter die Materie, die die Planeten umgibt, ist, & schließlich je größer der Geschwindigkeitsüberschuß der Materie über der des Planeten ist. Da man nun nicht alle diese Umstände der verschiedenen Planeten definieren kann, ist es unmöglich, festzustellen, welcher der Planeten sich am schnellsten dem Sonnenäquator nähern werden.

25 §.XXI Nachdem nun mehrere Gründe vorgeschlagen wurden, die beweisen, daß die Planeten gegen den Sonnenäquator tendieren, & daß sie sich ihm mehr und mehr annähern, wird es gut sein, hier zu untersuchen, durch astronomische Beobachtungen, welche Inklination in bezug auf besagten Äquator die Umlaufbahnen haben. Um sie zu kennen, muß man den Ort der Knoten kennen, bzw. den Schnitt der Umlaufbahnen mit der Ekliptik, & endlich die Lage des Sonnenäquators in bezug auf die Ekliptik. Nach Kepler ist der aufsteigende Knoten des Saturn jetzt bei  $22^{\circ}49'$  des Krebses, & die Inklination seiner Umlaufbahn mit der Ekliptik

<sup>511</sup> Newton, Principia, Ed.I, Lib.III Prop. XXXVIII Prob. XVIII, p.467; Ed.II, Lib.III Prop. XXXVIII Prob. XIX, p. 431.

Eigene Bemerkung: *principia*, a.a.O., Band III, S. 33 Lib.III, PropXVII. Theor.XV, „[...] **Simili motu extimus Saturni satelles circa axem suum revolvi videtur, eadem sui facie saturnum perpetuo respiciens. Nam circum saturnum revolvendo, quoties ad orbis sui partem orientalem accedit, aegerrime videtur, & plerumque videri cessat id quod evenire potest per maculas quasdam, in ea corporis parte quae Terrae tunc obvertitur, ut Cassinus notavit. Simili etiam motu satelles extimus jovialis circa axem suum revolvi videtur, propterea quod in parte corporis Jovi aversa maculam habeat, quae tanquam in corpore Jovis cernitur, ubicunque satelles inter Jovem & oculos nostros transit.**“ (Hervorhebung von mir) Eigene Übersetzung:

(„[...] Der am weitesten entfernte Satellit des Saturn wird in ähnlicher Bewegung um seine Achse drehend gesehen, indem jener den gleichen Anblick dem Saturn fortwährend zuwendet. So oft er nämlich beim Rotieren um den Saturn den östlichen Teil auf seiner Bahn erreicht, ist er kaum zu sehen & häufig gar nicht mehr zu sehen. Das kann daher kommen, daß er irgendwelche Flecken auf jenem Teil seines Körpers hat, welchen er der Erde zuwendet, wie CASSINI bemerkt hat. Auch der äußerste Satellit des Jupiter bewegt sich um seine Achse auf ähnliche Weise. Weil er nämlich in dem, dem Jupiter abgewandten, Teil einen Fleck hat, welcher irgendwie auf dem Körper des Jupiter zu sein scheint, sobald der Satellit zwischen Jupiter & unseren Augen hindurchgeht.“

ist  $2^{\circ}32'$ ; der  $\varrho$  des Jupiter bei  $5^{\circ}31'$  des Krebses und die Inklination bei  $1^{\circ}20'$ ; der  $\varrho$  des Mars bei  $17^{\circ}50'$  des Stiers und die Inklination bei  $1^{\circ}50'$ ; der  $\varrho$  der Venus bei  $14^{\circ}19'$  der Zwillinge und die Inklination bei  $3^{\circ}22'$ ; der  $\varrho$  des Merkur bei  $14^{\circ}47'$  des Stieres und die Inklination bei  $6^{\circ}54'$ .<sup>512</sup> Bei diesen Festlegungen stimmen die Astronomen unserer Zeit ziemlich zu, sie sind aber unterschiedlich, was die Lage des Sonnenäquators angeht; auch die Beobachtungen, deren man sich für diesen Zweck bedient, sind nicht von einer Art, daß man ihn genau bestimmen könnte. In der *l'Histoire de l'Académie Royale des Sciences de Paris, pour l'année 1701*<sup>513</sup> wird vom Sonnenäquator gesagt, er bilde einen Winkel mit der Ekliptik von  $7^{\circ}30'$ , & in den Mémoires des gleichen Jahres wird gesagt, der Pol, der das Septentrion bestimme, liege im achten Grad der Fische. Folgt man diesen Hypothesen, dann wird der Sonnenäquator von der Umlaufbahn geschnitten

des Saturn,	unter einem Winkel von	$5^{\circ}58'$
Jupiter.....		$6^{\circ}21'$
Erde.....		$7^{\circ}30'$
Mars.....		$5^{\circ}49'$
Venus.....		$4^{\circ}10'$
Merkur.....		$2^{\circ}56'$

Hier also bildet die Erdumlaufbahn den größten Winkel mit dem Sonnenäquator, nämlich von  $7^{\circ}30'$ .

[ Es ist leicht zu begreifen, nach welcher Methode die Inklinationen der Umlaufbahnen mit dem Sonnenäquator gefunden worden sind. Sie differiert nicht von der *die Inklinationen der Umlaufbahnen untereinander zu finden*, die in der Bemerkung zu §.IV. dargestellt worden sind. Man kennt nämlich den Solarknoten der Ekliptik & die Lage der Knoten der planetarischen Umlaufbahnen mit der Ekliptik, die Entfernung des Solarknotens zu den anderen Knoten gibt dann eine Seite des sphärischen Dreiecks. Es bleibt dann, da man zwei Winkel kennt, die der Solaräquator mit der Ekliptik & die planetarische Umlaufbahn mit der Ekliptik im gleichen Dreieck bilden, den dritten Winkel zu ermitteln, der der Winkel der Inklination der Umlaufbahnen mit dem Sonnenäquator ist. ]

§.XXII. Jetzt ist aber die Lage des Sonnenäquators sehr unsicher, derart, daß die einen meinen, daß dessen Neigung gegen die Ekliptik nicht über zwei Grad hinausgehe, man könnte sogar ohne Absurdität eine solche Lage erheucheln<sup>514</sup>, daß die mittlere Inklination die geringste wäre mit allen anderen planetarischen Umlaufbahnen. Mit dieser Bedingung könnte man versuchsweise eine große Anzahl von Positionen abdecken. Also z.B. in der vorhergehenden Hypothese war die mittlere Inklination der Umlaufbahnen mit dem Solaräquator  $5^{\circ}11'$ . Jedoch könnte man unterstellen, dieser Äquator bilde mit der Ekliptik einen Winkel von  $3^{\circ}22'$ , & und sein nördlicher Pol läge bei  $20^{\circ}$  in den Fischen. Dann würde also der Solaräquator von der Umlaufbahn geschnitten:

des Saturn	untereinem Winkel von	$1^{\circ}51'$
Jupiter		$2^{\circ}7'$
Mars		$2^{\circ}4'$
der Erde		$3^{\circ}22'$
der Venus		$0^{\circ}20'$
des Merkur		$4^{\circ}34'$

& die mittlere Inklination der Umlaufbahnen (, die soeben noch  $5^{\circ}11'$  war) wäre nunmehr nur noch  $2^{\circ}23'$ . Ich weiß nicht, wenn man nicht diese Position des Äquators bevorzugt, was man einer reinen Schätzung, oder einem Fund *a posteriori*, zuordnen soll, auch was die anderen

<sup>512</sup> Kepler, Tabulae Rudolphinae, Ulm 1627, pars secunda Tab.fol.48,54,60,66,72.

<sup>513</sup> Sur les taches du soleil: Mém. Paris 1701, p.104

<sup>514</sup> Eigene Bemerkung: wörtlich „feindre“ = vortäuschen, so tun, als ob..

Positionen angeht, die auf den Sonnenflecken beruhen. Es bleibt abzuwarten, daß uns die Astronomen eine exaktere Methode liefern.

§.XXIII. Indem ich vorstehend eine mechanische Erklärung der Einwirkung der Sonnenatmosphäre auf die Erde und auf die Planeten gegeben habe, habe ich die Sonnenatmosphäre als schneller bewegt betrachtet als die Körper, die sie umgibt, nicht weil dies unser System verlangt, sondern weil es mir äußerst wahrscheinlich erschien.

Sei ebenso zugelassen, wenn man will, daß sich die Materie nicht so schnell bewegt oder selbst, daß sie sehr viel langsamer sich bewegt, sie wird dennoch nicht unterlassen, den gleichen Effekt, sie dem Solaräquator anzunähern, auf die Umlaufbahnen auszuüben. Um sich davon zu überzeugen, muß man nur die Bewegung der Materie in zwei (Bewegungen; der Übers.) auflösen, eine parallel und die andere senkrecht zur Richtung des Planeten. Man wird dann hinreichend deutlich sehen, daß die letztere immer gegen den Äquator wirken wird, was folglich dazu führen wird, den Planeten zu dieser Seite zu stoßen.

§.XXIV. Von den Planeten kommen wir nun zu den Kometen: Ich sage, daß die Ebenen dieser Umlaufbahnen nicht merklich jemals ihren Inklinationwinkel mit dem Sonnenäquator ändern werden, wie groß er auch immer sei. Sie sind nämlich fast immer gänzlich außerhalb der Atmosphäre der Sonne (wie wahrscheinlich auch der Mond außerhalb der der Erde, & der fünfte Satellit des Saturn außerhalb der des Saturn, ist). Sie lassen also keineswegs ihren Weg infolge der großen Subtilität der Atmosphärenmasse, die sie fast gänzlich während ihres Umlaufs umgibt, abändern. Es ist wahr, daß die Kometen sich während ihres Perihels ein wenig dem Sonnenäquator nähern müssen. Jedoch ist diese Zeit kaum vergleichbar mit dem Rest der Umlaufszeit. Es scheint, siehe die weiter vorne §.§.XI.&XII. gegebenen Beispiele der Atmosphärendichten der Sonne, daß sie sich so schnell verringern, wenn sie einmal angefangen haben sich zu verringern, daß sie fast gänzlich verschwinden. All dies zeigt, warum die Kometen, deren Abstand zur Sonne fast während der ganzen Zeit ihres Umlaufs fast unendlich ist, nicht fühlbar gegen den Sonnenäquator tendieren. Ich würde allerdings leicht glauben, daß alle Umlaufbahnen der Kometen seit der Zeit ihrer Existenz sich besagtem Äquator genähert haben. Was mich dieser Überzeugung näher bringt ist, daß, bei der großen Zahl der in den Ephemeriden vermerkten Kometen, diese ihre mittlere Inklination in bezug auf den Sonnenäquator bei  $45^\circ$  haben sollten, es sei denn, sie hätten sich diesem ein wenig angenähert. Ich habe also Beobachtungen von mehreren Kometen, die seit einigen Jahrhunderten erschienen sind, gesammelt. Um mir Rechenaufwand zu ersparen, habe ich angenommen, daß besagte mittlere Inklination gegen den Sonnenäquator die gleiche ist wie gegen die Ekliptik, indem deren Ebenen nicht sehr differieren. Überdies sollten die Rechenfehler sich gegenseitig aufheben, was dazu führt, daß man keine allzu großen Skrupel über die Richtigkeit der Beobachtungen haben muß, da die Beobachtungsfehler sich sicher auch aufheben. Hier also der

Kometen – Katalog.

Der Komet des Jahres	1337	hatte eine Inklination gegen die Ekliptik von	$32^\circ 11' 0''$
	1472		$5^\circ 20' 0''$
	1531		$17^\circ 56' 0''$
	1532		$32^\circ 36' 0''$
	1556		$32^\circ 6' 30''$
	1577		$74^\circ 32' 45''$
	1580		$64^\circ 40' 0''$
	1585		$6^\circ 4' 0''$
	1590		$29^\circ 40' 40''$
	1596		$55^\circ 12' 0''$
	1607		$17^\circ 2' 0''$
	1618		$37^\circ 34' 0''$
	1652		$79^\circ 28' 0''$

	1661		32°35'50"
	1664		21°18'30"
	1665		76° 5'0"
	1672		83°22'10"
	1677		79° 3'15"
	1680		60°56'0"
	1682		17°56'0"
	1683		83°11'0"
	1684		65°43'40"
	1686		31°21'40"
Der Komet des Jahres	1694	hatte eine Inklination gegen die Ekliptik von	11°46'0"

Die mittlere Inklination beträgt  $43^{\circ}39'$ . Es ist folglich deutlich, daß die Kometen fast keine Verbindung mit dem Sonnenäquator haben, & daß sie sich ihm nur unmerklich nähern und dies mit extremer Langsamkeit.

- 5 §.XXV. Dieser Unterschied zwischen Kometen und Planeten, der durch Beobachtungen bestätigt & so konform mit unserer Theorie ist, bringt mich dazu, noch etwas zu erklären, was mir völlig unsere Hypothese zu bestätigen scheint. Es handelt sich um die Exzentrizität der Kometen und der Planeten. Es ist sicher eine herrliche Sache, daß die Kometen eine praktisch unendliche Exzentrizität und die Planeten eine von fast null haben. Ich sehe nicht, wie man
- 10 eine befriedigende und mechanische Erklärung dieses Umstandes geben kann, indem man nur die einfache Hypothese des Ergebnisses von zufälliger Anziehung heranzieht. Wenn man aber zu dieser Hypothese die der Aktion der Sonnenatmosphäre hinzunimmt, kann man diesen Punkt so deutlich erklären, daß es aussieht, als hätte diese Sache nie anders sein können. Lassen wir für einen Moment die Sonnenatmosphäre beiseite und setzen die Sonnenschwere
- 15 völlig reziprok proportional zum Quadrat der Abstände. Man stelle sich nun vor, daß ein Körper senkrecht zum Strahl geworfen wird, der von der Sonne zum Körper gezogen ist: Wenn der Wurf mit einer Geschwindigkeit versehen ist, die der Körper gewinnen muß, wenn er von einer zweiten Höhe gleich der ersten gegen die Sonne fällt, wird der Körper einen Kreis beschreiben. Ist die Anfangsgeschwindigkeit geringer, wird er eine Ellipse beschreiben, deren
- 20 Aphel am Ort des Wurfanfangs ist, & wenn sie größer ist, wird der Körper ebenfalls eine Ellipse beschreiben, doch deren Perihel wird sich am Ort des Wurfanfangs befinden. Das alles weiß man aus der Mechanik. Wenn nun der Wurf völlig zufällig gemacht wird, wie es in unserem Fall sein soll, & wenn man unterstellt, daß alle Geschwindigkeiten bis hin zu unendlich groß mit gleicher Möglichkeit vorkommen, so ist es wahrscheinlich, & selbst sicher, daß die
- 25 Exzentrizität der Ellipse, die der Körper um die Sonne beschreiben wird, unendlich groß sein wird. Da es aber in der Natur praktisch keine unendlich großen Geschwindigkeiten gibt, muß die Voraussetzung geändert werden, derart, daß man sagt, daß die Exzentrizität sehr wahrscheinlich sehr groß sein muß, & fast unendlich. Wenn nun die Bewegung in der Leere oder der Fast- Leere stattfindet, dann dauern die einmal beschriebenen Ellipsen an oder halten sich
- 30 sehr lange Zeit. Das zeigt, nach meiner Meinung, sehr deutlich, warum die Kometen praktisch parabolische Ellipsen beschreiben, denn sie haben sie wahrscheinlich beschreiben müssen seit der Zeit ihres Ursprungs, & sie ändern sich fast nicht, weil sie fast gänzlich außerhalb der Atmosphäre der Sonne verliefen. Wenn wir uns aber der gleichen Überlegung in bezug auf die Planeten bedienen, die sich in der Sonnenatmosphäre bewegen, dann sehen wir wohl, daß
- 35 sie in Wahrheit zuerst stark exzentrische Ellipsen beschreiben mußten, daß sie aber notwendigerweise sich allmählich der Kreisbahn annähern mußten, & daß sie sie eines Tages noch exakter beschreiben werden, wie ich hier gezeigt habe. Da auch die Umlaufzeiten der Materie, die die Sonnenatmosphäre bildet, in dem Maße wächst, wie sie sich von der Sonnenachse entfernt, ist es einzusehen, daß die Geschwindigkeiten sich nicht verringern, sondern daß sie

auch wachsen, wie ich es in §.VIII. bemerkt habe. Wenn sich die Bewegung jeder Schicht frei bildet, werden die Geschwindigkeiten exakt proportional zum Abstand von der Sonne wachsen. Im Gegensatz dazu ist die Geschwindigkeit der Planeten um so viel größer, wie er näher an der Sonne ist. (Ich sehe hier von der Geschwindigkeitsänderung des Planeten ab, um so  
 5 mehr, als der Planet dazu neigt, mehr und mehr eine unveränderliche Geschwindigkeit anzunehmen.) Hieraus folgt also, daß der Planet notwendigerweise von der Atmosphäre gebremst werden muß, wenn er sich in der Nähe seines Perihels befindet, & im Gegensatz dazu beschleunigt werden muß, falls er sich in der Nähe seines Aphels befindet. Jeder dieser beiden Punkte trägt dazu bei, wie man in der Mechanik beweist, daß der Planet eine kontinuierlich  
 10 zunehmend kreisförmige und weniger exzentrische Umlaufbahn beschreibt. So also ist es keineswegs erstaunlich, daß die Umlaufbahnen der Planeten zur Zeit fast kreisförmig sind, und es ist anzunehmen, daß sie mit der Zeit noch kreisförmiger werden, jedoch ohne jemals perfekt zu werden, es sei denn nach unendlich langer Zeit. Es bleiben zum Schluß einige Umstände, die ich nicht bei den Planeten erklären kann, & die zusammen die Verringerung der  
 15 Exzentrizität fühlbarer machen, ich weiß nicht zu nennen, welche mehr oder weniger exzentrische Umlaufbahn dieser Theorie genau genügt.<sup>515</sup> Diese Verringerungen hängen ungefähr von den gleichen Punkten ab, die die Verringerung der Inklinationen der Umlaufbahnen in bezug auf den Sonnenäquator bewirken, & die ich in §.XX. dargestellt habe. Dies bestätigt mich in meiner Theorie, die ich in §.XXII ausgeführt habe über die Lage des Sonnenäquators.  
 20 Denn diesem Standpunkt folgend ist die Inklination der Venus mit dem Sonnenäquator fast null, so wie ihre Exzentrizität fast null ist, & die Inklination der Merkurumlaufbahn mit dem gleichen Äquator ist die größte von allen, wie übrigens auch seine Exzentrizität die größte ist.  
 §.XXVI Ist es nicht besser, diese Prinzipien zu gebrauchen, als auf den unmittelbaren Willen des Schöpfers zurückzugreifen, wie es gemacht wird in bezug auf mehrere Phänomene  
 25 von denen, die alles ableiten wollen aus der einfachen gegenseitigen Gravitation von Körpern, die sich im Leeren bewegen? & kann es sein, daß der Wille Gottes durchaus keinen Einfluß hatte? Wenn er gewollt hätte, daß die Umlaufbahnen der Planeten in der gleichen Ebene lägen, ohne daß sie es vollständig seien, daß sie kreisförmig seien, ohne daß sie es vollständig seien, & so in mehreren anderen Punkten, auf die man Bezug nehmen muß, daß die Erde und  
 30 alle Planeten sich in der gleichen Umlaufrichtung bewegen, & herausgehoben derjenigen der Sonne, die sich um ihre Achse dreht, & daß es das gleiche ist bei den Monden des Saturn und des Jupiter, dies alles sind Dinge, die, auch wenn sie noch verborgen waren, uns nun unsere Theorie erhellt hat, während Herr Newton selbst, der größte Philosoph unseres Jahrhunderts, in seiner *Optique*<sup>516</sup> erklärt, daß man dafür keinerlei mechanische Ursache angeben könne.  
 35 §.XXVII. Sagen wir noch zwei Worte über die tägliche Bewegung der Planeten. Ich bin ebenfalls geneigt zu glauben, daß es die Sonnenatmosphäre ist, die sie verursacht. Was mich dazu bringt, sind, daß der Mond und der fünfte Satellit des Saturn (deren größte Inklination gegen die Äquatores der Erde und des Saturn mich glauben machen, daß die Atmosphären der beiden Körper nicht auf besagten Mond und Satelliten einwirken), keine tägliche Bewegung

<sup>515</sup> Eigene Bemerkung: wörtlich: „[...] *quelle Orbite planetaire devoit être en vertu de cette théorie*“

<sup>516</sup> Newton, *Opticks, or a Treatise of the reflections, refractions, inflexions of light*, 3<sup>rd</sup> edition, London 1721, Qu.28,p.369 and Quest 31, p.402

Eigene Bemerkung: „[...] *we have the Authority of those the oldest and most celebrated Philosophers of Greece and Phoenicia, who made a Vacuum, and Atoms, and the Gravity of Atoms, the first principles of their Philosophy; tacitly attributing Gravity to some other Cause then dense Matter. Later Philosophers banish the Consideration of such a Cause out of natural Philosophy, feigning Hypotheses for explaining all things mechanically, and referring other Causis to Metaphysicks: Whereas the main Business of natural Philosophy is to argue from Phaenomena without feigning Hypotheses, and to deduce Causes from Effects, till we come to the very first Cause, which certainly is not mechanical; [...]* And though every true Step made in this Philosophy brings us not immediately to the Knowledge of the first Cause, yet it brings us nearer to it, and on that account is to be highly valued“. (aus Query 28, p.369-370)



ähnlich der der Planeten haben. Dies ist ein Merkmal, daß tägliche Bewegung und Fast- Zusammenfallen der Umlaufbahnen mit dem dazu gehörenden Äquator eine gleiche Ursache haben. Ich sehe aber keine andere Art und Weise, die Bewegung der Planeten um ihre Achse durch Einwirkung der Solaratmosphäre zu erklären, als darauf hinzuweisen, daß die Materie der Atmosphäre (deren Geschwindigkeiten mit der Entfernung von der Achse der Sonne zunehmen, wie ich es in §.VIII. gesagt habe) eine größere Einwirkung auf die Hemisphäre, die der Sonne abgewendet ist, als auf die Hemisphäre des Planeten, die die Sonne anschaut, ausübt. Und dies kann bewirken, daß die Planeten in der gleichen Richtung drehen wie ihre Vorwärtsbewegung ist. Der Grund übrigens, der die Ursache dafür ist, daß die Achsen der Planeten nicht völlig parallel zur Achse der Sonnenatmosphäre sind, besteht vielleicht darin, daß die Materie, aus der die Planeten bestehen, heterogen ist. Denn das Zentrum der Gravitation jedes Planeten ist bestrebt, sich so weit wie möglich von der Sonne zu entfernen, & diese Anstrengung mit der ersteren vereint könnte die Geneigtheit der Achsen erzeugen, & bewirken, wenn sie alleine wirkte, daß die Körper stets das gleiche Gesicht zum Zentrum der Umdrehung zeigten, so wie es der Mond macht & der fünfte Satellit des Saturn.

§.XXVIII. Dies ist also das, was ich zum Problem zu sagen habe, das von der Akademie vorgeschlagen wurde. Seit langem hege ich diese Überlegungen, jedoch war ich gezwungen, sie in großer Hast niederzuschreiben. Ich hoffe deshalb, wenn ich einige Rechenfehler oder Positionsfehler in den Zahlen habe, über die sich die Astronomen einig sind, oder die sie leicht herleiten, daß man mir verzeihe. Die Hast hat mich zur Kürze gezwungen, sonst hätte ich ohne diese noch mehrere andere Bemerkungen anfügen können oder meine Darlegungen breiter ausgestalten können, was auf diese Weise der vorliegenden Dissertation ein größeres Volumen gegeben hätte. Ich schmeichle mir dennoch, daß das, was ich gesagt habe, den Intentionen, die die Akademie bei ihrem Problem hatte, genügen wird.

25

Leonhard Euler:

DE CAUSA GRAVITATIS<sup>517</sup>

5 Über die Ursache der Schwere

Die wechselseitige Gravitation der Körper liegt so offen zutage, daß die meisten Philosophen nicht gezweifelt haben, daß sie zu den ersten Eigenschaften der Materie gehört, welche auch noch Ausdehnung (*extensio*) und Trägheit (*inertia*) sind, und die Wirkung, mit der sich die Körper gegenseitig anziehen, von innewohnenden Kräften (*a viribus insitis*) abgeleitet haben; da nun den Körpern Ausdehnung und Trägheit derart zugewiesen werden, daß man annimmt, sie wohnen allen (Körpern) konstant und immerfort inne, und etwa ähnlich schien auch das Verhältnis der Schwere zu sein, weil eben bislang kaum ein Körper beobachtet worden sei, welcher der Schwere von Grund auf entbehrte. Es streben nämlich nicht allein nur alle um die Erde befindlichen Körper hinunter, sondern es werden auch, wie die astronomischen Beobachtungen und die Untersuchung der mechanischen Gesetze lichtvoll erläutern, die Erde selbst mit allen übrigen Planeten zur Sonne hin gezwungen. Auch bei kleineren Körpern, wenn sie denn solchen Experimenten unterworfen werden können, tritt in ähnlicher Weise diese gleichsam magnetische oder elektrische Kraft täglich mehr und mehr hervor. Es ist vernünftig, daß in der Astronomie der Gebrauch der Hypothese der Anziehungskraft mit Nutzen angewandt wird, um die Phänomene der Gravitation zu erklären. Demgemäß beobachtet man, daß sich Planeten und Kometen so bewegen, als ob sie einerseits von der Sonne, andererseits wechselseitig voneinander angezogen würden, und sie schreiten nach ebendenselben Gesetzen fort, die ihnen dieser erhabene Mann, Herr NEWTON, aus dieser Hypothese (der Anziehung) vorgeschrieben hat. Für den Mathematiker ist es zur Bestimmung der Größe von Effekten und Kräften keinesfalls nötig, daß er die Qualitäten und Ursachen dieser Dinge erkennt und er deshalb mit Recht den Begriff der Anziehung zur Erforschung der Ursache benutzt, auch wenn er diese fürderhin nicht kennt. Und weil in der Natur eine Wirkung die Ursache einer anderen ist, ist der Physiker, wenn er die Ursache eines Effektes, von einem anderen her, dessen Ursache selbst fehlt, angeben soll, gehalten, diesen als Ursache dessen anzugeben, also für die Anziehung als unzweifelhaftem Phänomen die Ursache anderer Phänomene bereitzustellen. Selbst wenn die wahrste (meist einleuchtendste) Ursache der Anziehung aufgedeckt wäre, wäre dennoch der Grund für die Erklärung ihrer einzelnen Effekte nicht von jener fernliegenden Ursache her zu nehmen, sondern er sollte mit Recht von ihrem beobachtbaren Effekt als gleichsam der nächstliegenden Ursache abgeleitet werden. Doch das von DESCARTES glücklich überwundene unnütze wiederholte Gerede (*battologia*) führen jene Spätheimkehrer, (wie sie glauben) mit Recht, wieder in der Philosophie (Wissenschaft) ein, verschließen sich und anderen den Weg zu einer solideren Erkenntnis naturwissenschaftlicher Dinge, wie oft auch immer sie, um die Erforschung der Ursache der Schwere verzweifelnd, den Gordischen Knoten zu durchschlagen versuchen, und deshalb kühn (*acriter*) fordern, daß die Anziehung eine den Körpern inhärente primitive Kraft sei. Ohne Zweifel fingieren sie sich aus der Wahrnehmung des Effekts bzw. der Phänomene der Anziehung, die sie nur durch Beobachtung feststellen, mit Hilfe der „heftigen Sturzbewegung“ (*praecipitancia*) denselben Begriff (wie die ‚*attractio*‘) für die Ursache und indem sie „dasselbe durch sich selbst erklären“ begehen sie einen vollen Zirkelschluß. Sie stellen sich nämlich die Anziehung durch eine Kraft vor, welche die Körper unwiderstehlich zu sich zwingt, und die Schwere selbst ist eine Kraft, welche die Körper gegen das Zentrum der Erde bewegt. Sollen sie daher einen Grund

<sup>517</sup>

Anonymus, *Miscellanea Berolinensia* 7, 1743, p. 360 – 370  
abgedruckt in Aiton, Kleinert [Hrsg.], *EULERI Opera Omnia Ser. III, Vol.31, Commentationes Mechanicae et Astronomicae ad Physicam Cosmicam pertinentes*, Appendix S.373-378, Basel 1996

dafür angeben, weshalb dies geschieht, beteuern sie, daß dies durch eigene Anziehung oder Schwere geschehe, was dasselbe ist, als wenn sie sagten, daß die Körper sich wechselseitig annäherten, weil sie sich wechselseitig näher kommen, daß die Körper gegen den Erdmittelpunkt tendieren, weil sie gegen den Erdmittelpunkt tendieren. Mit Fug und Recht darf bezweifelt werden, ob man ein Beispiel erleuchteteren Zirkelschlusses herbeischaffen könnte. Es ist aus den Prinzipien der Philosophie (Wissenschaft), d.h. aus allgemeinrichtigen Begriffen, aus denen alle Axiome bestehen, bewiesen, daß beim Begriff der Ursache der Begriff des Prinzips enthalten ist, der weder zugelassen noch fingiert werden darf, wenn nicht aus seinen Bestimmungsstücken, mit deren Hilfe er konzipiert wird, ein davon abhängender Effekt erklärbar ist. Andernfalls wäre dem Philosophen gestattet, irgendetwas nach Belieben (als Prinzip) zu fingieren. Deshalb unterscheiden sich die Ursache und das Prinzip vom Effekt und dem zugrunde Gelegtem<sup>518</sup>, wie das Bestimmende vom Determinierten. Völlig unterschiedlich sind jene Feststellungen und die Dinge, durch die sie dargestellt werden; die Seiten eines Dreiecks, die die Winkel festlegen, sind selbst keine Winkel. Also sind weder Anziehung noch Schwere als Phänomene, die diesen Namen verdienen, deren Gründe. Es ist ja nicht allein so, daß sie (diejenigen, die das machen; Übers.) einfach durch Zulassung der Anziehung oder der Schwere als eine den Körpern inwohnende Kraft, die Kennzeichnung von Ursache und Wirkung vermischen, sondern sie bringen unzählige unentwirrbare Schwierigkeiten hervor. In dieser Hypothese nämlich produziert die Anziehung alle ihre Wirkungen ohne jeden Zusammenhang oder Impuls und ohne Mitwirkung irgendwelcher eigener Materie als aus den Körpern hervorbrechend, gleichsam ohne irgendwelche materielle Vermittlung: Es wird damit selbstverständlich in Realität sogar eine viel größere Möglichkeit der Fernwirkung (*actio in distans*) zugelassen, als es ohne jeden Kontakt als möglich gedacht werden könnte. Nicht allein, daß der Schall an meine Ohren ohne Vermittlung der Luft getragen werden könnte, ich könnte auch Objekte wahrnehmen, die an unendlich weit entfernten Orten durch meine Sinnesorgane nicht erreichbar wären. Kräuter, die auf dem Planeten Saturn wachsen, könnten durch die in sich unverständliche Anziehung in meinem Körper irgendwie heftige Brechbewegung der Eingeweide auslösen, obwohl sie weder durch die Nasenlöcher noch durch den Mund irgendwie eingesaugt werden. Nämlich durch die zugelassene Wirkung der Körper in der Entfernung ohne Impuls, aus deren größerer oder kleinerer Entfernung, wird die Verschiedenheit der Wirkung leichtfertig zurückgegeben. Die Beschützer der Anziehung erlauben, daß die Körper, weil sie gänzlich aus Ausdehnung und Bewegung (*entia composita extensa et mobilia*) bestehen, beim Zusammentreffen durch Kontakt entsprechend den Gesetzen der Bewegung unendlichen Veränderungen unterworfen seien und sie deshalb gleichsam als Maschinen betrachtet werden können oder müssen. Es ist nämlich kein kleinerer Beweis erbracht worden, daß in der Zusammensetzung irgendeines Körpers eine Veränderung erfolgen kann, weder in seiner Gestalt, der Größe seiner Teile, der Anordnung des Ganzen und aller daraus entstehenden Veränderungen, die aus der Bewegung hergeleitet werden können.

In der Tat hat die Wissenschaft der Physik erst zu der Zeit ein Wachstum gewonnen, als, nach Wegschaffen der „okkulten Qualitäten“, die mechanische Philosophie (*Philosophia Mechanica* = mechanische Argumentationsweise) erstarkte, insofernhin nämlich, als sie – mit der Geometrie als Fackelträger – die Modifikationen der Körper auf ihre Ursachen zurückführend, auf die Weise verfährt, daß sie aus ihren Strukturen, Verknüpfungen und Vermischungen, d.h. nach Art der Zusammensetzung<sup>519</sup> die davon abhängenden Veränderungen gemäß den Gesetzen der Bewegung auf erkennbare (= nachvollziehbare) Weise expliziert. Das erste Gesetz besagt, daß irgendein Körper in seinem Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen Bewegung unter Beibehaltung der Richtung beharrt, insoweit jener nicht von eingepägten

<sup>518</sup> „*principiato*“ wörtlich „dem Prinzipiierten“

<sup>519</sup> „*modo compositionis*“ stellt wohl den Gegensatz zu „*modo separationis*“ = Analyse dar.

Kräften gezwungen wird, seinen Zustand zu ändern.<sup>520</sup> Da die Wahrheit dieses Lehrsatzes durch Beispiel unmittelbar einleuchtet, setzen ihn die Mathematiker als Axiom und benutzen ihn irgendwie als festeste Basis, um die kühne Wissenschaft der Bewegung darüber zu bauen. Dennoch kann nicht geleugnet werden, daß die Evidenz dieses Axioms von einem anderen, älteren abhängt, daß nichts aus nichts geschieht, d.h. aus dem „Prinzip des zureichenden Grundes“; denn höbe man dieses (Prinzip) auf, gäbe es kein Hindernis mehr, daß ein bewegter Körper von sich aus seine Geschwindigkeit und Richtung (der Bewegung) änderte! Gleichfalls verschwindet die Evidenz beider (genannter) Axiome, wenn man die Schwere als Inbegriff einer ursprünglichen Kraft (vis primitiva), die dem Körper innewohnt, auffaßt, da ja durch das oben Erwähnte die Anziehung bzw. die Schwere nur ein Phänomen und sonst nichts bedeutet, jedoch durch einen leeren Begriff eine Ursache vorgetäuscht wird, dem keine Kenntnis, d.h. nichts entspricht, wenn man nicht, sich eine Freizügigkeit der Hypothesenfiktion zum Zwecke der Anziehung anmaßend, für die Körper eine gewisse Seele und in dieser einen Trieb - wenn nicht einen rationalen, so doch einen sensitiven -, eine „Liebe“ oder einen Instinkt und mithin im Körperhaften einen zweiten Mechanismus konzipieren will, deren einer notwendigerweise aus erklärbaren mechanischen Gesetzen Berührung (contiguitas) und Kontakt erfordert, der andere aber ohne Kontakt Bewegung und somit einen immateriellen Mechanismus erzeugt.<sup>521</sup>

In dieser Hypothese sind also die Schwere gleichwie die Ausdehnung allen Körpern so zu eigen, daß, obgleich jeder Körper von den übrigen Körpern als getrennt gesehen wird, er der Schwere, gleichsam als einem wesentlichen Attribut, dennoch nicht entbehren kann (von ihr frei sein kann), weshalb er außerdem wie in einem gleitenden Kahn (prono alveo) schwimmt, und doch werden also (in dieser Hypothese) die Schwere gleich wie die Bewegung in einem Körper für sich vorgestellt, ohne jede Beziehung zu den anderen Körpern, d.h. ohne jede Verknüpfung und außerhalb sozusagen des materiellen Weltsystems. Auch wenn aus diesem Labyrinth kein Ausweg scheint, suchen dennoch gewisse Verteidiger der Schwere in ihr (als Primäreigenschaft) die letzte Bastion, weil bislang niemand eine physikalische Ursache der Schwere anzugeben vermochte, die allen Phänomenen Genüge täte. Nichtsdestoweniger geben sie zu, daß dies ein übler und eines Wissenschaftlers (Physikers) unwürdiger Satz sei: von welcher Wirkung sie keinen Grund angeben können, von der sie überhaupt die Angabe einer Ursache negieren. Sehen wir also, ob nicht (doch) für die Schwere eine mechanische Ursache angegeben werden kann!? Was soll der Versuch schaden? In der Mechanik wird aus dem ersten Gesetz der Bewegung gezeigt, daß der Körper A den Körper B nicht in Bewegung setzen kann, wenn A nicht selbst in Bewegung gesetzt ist; folglich kann in keinem Körper eine Änderung des Zustandes vorgestellt werden, es sei denn durch Stoß, woraus ersichtlich ist, daß des einen Zustand nicht erhalten werden kann unter Beibehalt des Zustandes des anderen stoßenden (Körpers). Von daher könnte gezeigt werden, daß in allen Teilen, aus deren Material die Welt zusammengesetzt ist und die im Zustand irgendwie unterschiedlich sind und untereinander durch engste Nachbarschaft zusammenhängen, eine fortwährende Veränderung stattfindet, derart, daß kein Körper seinen Zustand gleichsam zu einem Zeitpunkt aufrecht erhalten kann. Darum wird irgendein Körper, auch wenn er auf der Oberfläche der Erde ruht, dennoch nach unten streben, von irgendeiner von außen wirkenden Kraft nach unten gestoßen; so bestimmen es die Gesetze der Bewegung. Es ist notwendig, daß dieser Druck, der von keiner sichtbaren Materie ausgeübt wird, von einer unsichtbaren seine Herkunft bezieht, welcher im Körper entweder durch direkte Einprägung (directe impingendo) oder auch gegen die Zentrifugalkraft wirkend so den gesamten Andruck

<sup>520</sup> Hier fügt LEONHARD EULER fast wörtlich ein Zitat aus NEWTONS *Principia*, Lex I. ein. Dort steht: „*Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum suum mutare.*“ Die hervorgehobenen Teile stimmen genau überein.

<sup>521</sup> Absatz wurde eingefügt.

(nisus) erzeugt: Es gibt keine Vermutung, daß die Anhänger der Anziehung (*attractio*)<sup>522</sup> eine dritte Art mechanischer Ursache eingeführt hätten. Aber sie negieren zu Recht, daß in Wahrheit die Gravitation von einem Ansturm subtiler Materie, die nach unten strömt, her stammt, noch tadeln sie mit kaum geringerem Recht die Erklärungen, die aus den Wirbel(theorien) genommen werden, bei denen die Körper durch die Zentrifugalkraft nach unten gestoßen werden, weil auf diese Weise den Phänomenen entweder nicht Genüge geschieht oder die Wirbel selbst so kompliziert ausgedacht werden müssen, daß sie der Einfachheit, nach der die Natur stets verfährt, allzusehr entgegenstehen. Daraus also, da sie meinen, daß außer diesen beiden Erklärungen eine dritte nicht gegeben werde, scheinen sie zurecht für sich zu schließen, daß eine mechanische und erklärende Ursache der Gravitation gänzlich nicht zu geben sei. Wie vollkommen auch jene Aufzählung von Ursachen, die sie machen, scheinen mag, so fehlt das Urteil darin, daß die Schwere als unmittelbar aus einem Wirbel entstehend angenommen wird, obgleich sie ein Effekt sein kann, der mittelbar aus mehreren Wirbeln hervorgehen kann. Aber es ist kaum erlaubt zu zweifeln, daß aus kleinsten Wirbeln zuerst die Elastizität stammen könnte, und es ist einsichtig, daß die gesamte Elastizität (Druck) des Aethers hieraus zurecht ihren Ursprung habe. Unter dem Namen Aether verstehe ich die subtilste universale Flüssigkeit, die den Raum der Welt derart ausfüllt, daß kaum Poren von ihr frei sind: Die Existenz dieser Flüssigkeit beweisen unter anderen Gründen sowohl die Emission als auch die Ausbreitung des Lichtes auf das augenscheinlichste. Zugleich ist aus diesem Phänomenen zu ersehen, daß der gesamte Aether in den Zustand maximaler Kompression versetzt ist; betreffs der Ursache dieser Kompression – wenn es jemanden weniger richtig erscheint, sie den Kleinwirbeln zuzuweisen – so möge dieser wenigstens zugeben, der Aether sei gleichsam ein Wasser, das allorts mit größter Kraft zusammengedrückt wäre. Also was immer es sei (der Aether), so meine ich doch nichts gegen die vernünftigeren<sup>523</sup> Gesetze der Wissenschaft anzunehmen, wenn ich feststelle, daß der Aether ein raumfüllendes<sup>524</sup> und maximal komprimiertes Fluidum ist! Dieser Hypothese muß als durch Experimente und Beobachtungen bestens bestätigt zugestimmt werden, während die Vermutung, die Anziehung sei eine okkulte Qualität, eine völlig fremdartige Hypothese ist. Da also der Aether heftig komprimiert ist, ist es notwendig, daß alle Körper, die sich in ihm befinden, mit überaus großer Kraft zusammengepreßt werden, von welchem Effekt die Härte (*durities*) und der Zusammenhang (*cohaesio*) sehr wahrscheinlich herkommen. Der Körper aber, so von allen Seiten zusammengepreßt, wird sich nicht in Bewegung setzen, wenn nicht Druckereignisse (*pressiones*), die er von welchen Seiten auch immer fühlt, ungleich werden. Weswegen in den Körpern ganz und gar keine Bewegung erzeugt würde, wenn der Aether von allen Seiten mit gleicher Kraft zusammengedrückt wäre. Wenn aber die Kompressionen des Aethers ungleich geworden sind, dann müssen die Körper gegen die Region, wo der Druck des Aethers geringer ist, angeregt werden, sich zu bewegen (*sollicitari*). Wenn also die Ursache (der Gravitation) erforscht werden könnte; aus welchem Grunde die Kompression des Aethers nahe der Erde geringer wäre als anderswo, so wäre eben dadurch die Ursache der Gravitation bezeichnet! Da aber der Aether als subtile Flüssigkeit zu betrachten ist, sollten Druckausübungen (*compressiones*) auf ihn als so gleichverteilt betrachtet werden, daß eine Ungleichheit derart, wie sie, die Gravitation produzierend, verlangt wird, nicht stattfinden kann. Nämlich sofort, wenn sich der Druck an einer Stelle vermindert, dann wird der Druck in den angrenzenden Stellen sofort ausgeglichen und quasi im Augenblick wieder ins Gleichgewicht zurückgebracht. Und dennoch kann

<sup>522</sup> Nach EULER sind die „*patroni attractionis*“ alle, die die Schwere als den Körpern eigen annehmen. Das kann auch NEWTON selbst sein. In Def. VIII der *Principia* spricht NEWTON von der „*quantitas motrix vis centripetae*“: „*Haec quantitas est corporis totius Centripetentia, seu propensio in centrum, & (ut ita dicam) pondus*“; („von der Bewegungsgröße der zum Zentrum wirkenden Kraft“: „Diese Größe ist des Körpers gesamtes Bestreben zum Zentrum (die Centripetentia), oder auch Hinneigung zum Zentrum, & (wie ich sagen möchte) sein Gewicht.“)

<sup>523</sup> „*saniore*“ = gesünderen (wörtlich).

<sup>524</sup> „*circumfusum*“ = überall ausgegossenes“ (wörtlich)

wohl aus eben dieser Quelle erklärt werden, wie eine Ungleichheit in der Kompression des Aethers zustandekommen<sup>525</sup> könnte. Denn falls Ungleichheit in irgendeiner Weise aufträte, sollte dies Bewegung im Aether zur Folge haben, andererseits ist es notwendig, wenn sich Bewegung im Aether ausbildet, daß dort der Druck verringert ist. Da nämlich ohnehin keine Bewegung erzeugt werden kann ohne Kraftaufwand (*dispendium virium*), wenn dem Aether Bewegung in Erdnähe zugestanden wird, kann jene Bewegung weder erzeugt noch aufrecht erhalten werden, wenn sich nicht der Druck im Aether an diesen Stellen verringert. Auch wenn dies aus der Natur der Bewegung der Flüssigkeiten entnommen werden könnte, wird es dennoch leichter durch Beobachtungen an Luft oder Wasser erkannt, wo Druckereignisse ungleich werden, sobald Bewegung aufgetreten ist. Alsdann ist es sehr wahrscheinlich, daß der Aether um die Erde in fortgesetzte Bewegung versetzt ist, was auch noch andere Phänomene nahe legen, vor allem aber bestätigt es am meisten die magnetische Kraft der Erde. Ich sehe also nichts, was nicht mit den Gesetzen der Bewegung in Einklang stünde, wenn ich mich zu der Auffassung bringe, den Aether in der Nähe der Erde als mit geringerem Druck versehen zu betrachten, als er in von der Erde entfernteren Gegenden ist, wo jene Bewegung des Aethers in geringerem Maße herrscht. Hat man aber einmal die Druckungleichheit im Aether zugelassen, werden alle Körper, die um die Erde herum verteilt sind, mit größerer Kraft nach unten gedrängt als nach oben, weil nun der Druck des Aethers über den Körpern größer ist als unter ihnen, und sie deshalb zum Absteigen veranlaßt werden. In ähnlicher Weise wird die Gravitation der Planeten gegen die Sonne auf diese Weise hinreichend vollständig erklärt, wenn der Aether sich in der Nähe der Sonne in kontinuierlicher Bewegung befindet. Die Wirkungen des Magneten erklären die kontinuierliche wirbelartige Bewegung des Aethers um die Erde, dessen Erzeugung und Aufrechterhaltung ich an anderer Stelle aus den Gesetzen der Bewegung erklären werde<sup>526</sup>, so daß damit sicher steht, welche Ursache die Kraft des Magneten erzeugt, dieselbe, die das Prinzip der Gravitation in sich hat. Da dies wegen der Einfachheit und Konformität mit der Natur trefflich paßt, läßt es mithin keinen Zweifel übrig, daß die Ursache der Gravitation in die Verringerung der Kraft, durch die der Aether in Erdnähe komprimiert wird, plaziert werden muß. Weil aber die Gravitation mit Annäherung an die Erde etwa in der zweiten Potenz der Annäherung zum Zentrum anwächst, welches Gesetz die Phänomene anzeigen, so ist es notwendig, daß die Verringerungen des Druckes des Aethers in einfachem Verhältnis der Abstände abnehmen, welches Verhältnis von allen das einfachste ist und mithin die Wahrheit dieser Erklärung keinesfalls nur halbherzig (*mediocriter*) bestätigt.<sup>527</sup>

<sup>525</sup> „locum habere“ = ihren Ort haben“ = statthaben.

<sup>526</sup> LEONHARD EULER, *Dissertatio de Magnete*, *Enestroem* 109, *Prix* 1744, *OPERA OMNIA* III, 10

<sup>527</sup> Absatzformatierung von mir eingefügt, weil jetzt eine mathematische Herleitung erfolgt



Sei der Druck des Aethers absolut und noch nicht vermindert =  $c$ , so wird jener im Abstand vom Zentrum der Erde  $x$  gleich  $c$  minus der Größe  $x$  selbst reziprok proportional sein. Es wird also der Druck des Aethers im Abstand  $x$  vom Zentrum der Erde  $C = c - \frac{cg}{x}$  gesetzt.

- 5 Hieraus folgt, daß wenn der Körper AABB gegen die Erde gezogen wird, dessen obere Oberfläche AA nach unten gestoßen wird mit der Kraft  $= c - \frac{cg}{CA}$ , die untere Oberfläche BB nach oben gestoßen wird mit der Kraft  $= c - \frac{cg}{CB}$ , und diese Kraft ist geringer als die frühere. So wird also der Körper nach unten gestoßen

$$\text{mit der Kraft} = cg \left( \frac{1}{CA} - \frac{1}{CB} \right) = \frac{cg \cdot AB}{AC \cdot BC}$$

- 10 Da also die Größe des Körpers AB unvergleichbar kleiner als die Distanz CB ist, wird  $AC = BC$  sein. Also wird die Gravitation des Körpers in jedem beliebigen Abstand vom Zentrum mit  $\frac{1}{AC^2}$  gegeben sein, d.h. reziprok zum Quadrat der Distanz vom Zentrum. Entsprechend wird das Verhältnis der Verringerung des Drucks um die Sonne und die Planeten sein, und zwar deshalb, weil die Kraft, welche die Körper nach unten zieht gleichfalls reziprok dem
- 15 Quadrat der Abstände ist. Daß die Konstitution des Aethers in der Nähe beliebiger Körper sich ändert, dies zeigt klar die Ablenkung<sup>528</sup> von Lichtstrahlen an, die man beobachtet, wenn diese (die Körper) passieren. Da nämlich die (Licht-)Strahlen in der Wellenbewegung des Aethers bestehen, diese Bewegung aber vom Druck des Aethers abhängt, ist es evident, daß
- 20 dort, wo eine Ablenkung der Strahlen stattfindet, auch der Druck des Aethers verschieden sein muß! Aus dieser reichen Quelle finden auch die elektrische Kraft in gleicher Weise wie die Adhäsion des Wassers am Glas in Kapillarröhrchen, und andere ähnliche Phänomene leicht ihre Erklärung. Dies alles wird dem, der aufmerksamer erwägt, von selbst klarer werden.

<sup>528</sup> „inflexio“ = Biegung. Man könnte auch Beugung sagen, dies gäbe aber zu physikalischen Mißverständnissen Anlaß, da offensichtlich gemeint ist, daß **Brechung** durch Änderung der Aether-Konstitution an den Grenzflächen erklärt werden soll.

## CHRISTIAN HUYGENS:

### DISCOURS DE LA CAUSE DE LA PESANTEUR.<sup>529</sup>

5 Dieser Aufsatz wurde in Holland 1690 zum ersten Mal publiziert, allerdings hatte CHRISTIAN HUYGENS ihn 1687 nach Paris zur Publikation bei der Académie Royale eingereicht. Dort aber erschien er erst 1693. Aus Briefen geht hervor, daß er sich mit der Materie schon seit 1669 beschäftigt hat. Seine Diskussion fällt also zeitlich mit der Verfassung und Publikation der „Principia“ von NEWTON zusammen. CHRISTIAN HUYGENS hat später zu dem  
10 Aufsatz noch weitere Kommentare angebracht, die dann sein Verhältnis zu der publizierten Arbeit von ISAAC NEWTON beschreiben sollten. Es ist sicher, daß er guten Kontakt mit GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ hielt, in manchen Teilen auch sein Lehrer war, auf jeden Fall existiert aber zwischen beiden ein Briefwechsel, der belegt, daß GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ von dem HUYGENSSCHEN Artikel fasziniert war und daß seine Ausführungen in „TENTAMEN...“ mit der Erwähnung von HUYGENS diesen Artikel meinen.  
15

*Der erste Absatz der Arbeit<sup>530</sup> bringt eine „Definition“ der Schwere = „pesanteur“.*

„ Um einen einsehbaren Grund der Schwere zu finden, ist es notwendig, einzusehen wie es geschehen kann, indem nichts vorausgesetzt wird für die Natur der Körper, als daß sie aus der  
20 gleichen Materie bestehen, in welcher man keinerlei Qualität oder Neigung betrachtet, die sie dazu brächte, sich einander anzunähern, sondern nur unterschiedliche Größen, Gestalt und Bewegungen haben; wie es geschehen kann, sage ich, daß mehrere dieser so beschaffenen Körper direkt zu dem gleichen Zentrum tendieren und sich dort in dessen Umgebung versammeln. Dieses ist das gewöhnlichste und häufigste Phänomen dessen, was wir die Schwere  
25 nennen.“

*Selbstverständlich setzt er sich direkt mit DESCARTES auseinander, dessen Arbeit er zwar allen Respekt zollt, aber dessen Gedanken in dieser Hinsicht er für „fehlerhaft“<sup>531</sup> hält. Nun knüpft er als erstes an dem Phänomen der Fliehkraft an, von der nochmals<sup>532</sup> dargelegt wird, daß sie ohne Zweifel existiere und dem sofort ein entscheidendes Experiment nachfolgt.<sup>533</sup>*  
30 S. 452, Abs.3:

„Die Anstrengung sich vom Zentrum zu entfernen, ist folglich ein konstanter Effekt der Kreisbewegung, und wenn auch dieser Effekt direkt entgegengesetzt dem der Gravitation erscheint, und wenn man auch KOPERNIKUS entgegengehalten  
35 hat, daß durch die Erddrehung in 24 Stunden Häuser und Menschen hätten in die Luft geschleudert werden müssen, so werde ich durchaus zeigen, daß genau diese Anstrengung, welche die Körper in Rotationsbewegung machen, sich von dem Zentrum zu entfernen, der Grund dafür ist, daß andere Körper genau gegen dieses Zentrum sich bewegen. [...]

40 Stellen wir uns vor, [Fig. 129, folgende S.], daß um das Zentrum D sich flüssige Materie enthalten in dem Raum ABC dreht, welche sich auf keinen Fall aus diesem Raum entfernen kann, da sich andere Körper in ihrer Umgebung befinden. Es ist sicher, daß alle Teile dieser Flüssigkeit sich anstrengen, um sich vom Zentrum

---

<sup>529</sup> HUYGENS CHRISTIAN, DISCOURS DE LA CAUSE DE LA PESANTEUR, Leide(n) MDCXC, zitiert nach Société Hollandaise des Sciences (Hrsg.), OEUVRES COMPLÈTES de CHRISTIAN HUYGENS, La Haye 1944, Tome 21, S 443-499.

<sup>530</sup> a.a.O., Seite 451

<sup>531</sup> „defectueuse“ im Text.

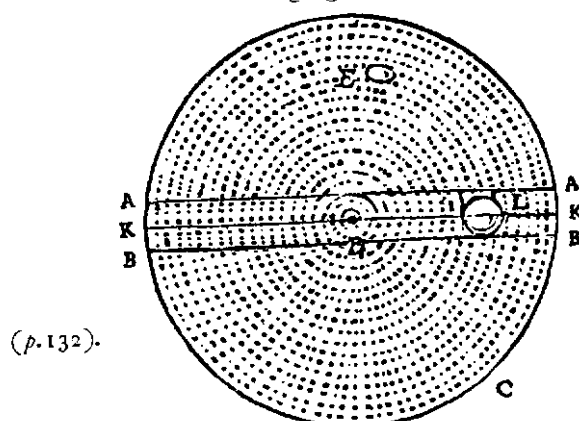
<sup>532</sup> Er zitiert frühere Arbeiten, in denen er sich damit befaßte.

<sup>533</sup> a.a.O., Seite 452 - 462



D zu entfernen; jedoch ohne Erfolg, da diejenigen, die an ihre Stelle treten müßten, die gleiche Neigung haben, sich von diesem Zentrum zu entfernen. Wenn aber inmitten dieser Materieteile sich etwas befindet wie F, was nicht der Kreisbewegung der anderen Materie folgt, oder was langsamer ist als seine Umgebung, von dem sage ich, daß es gegen das Zentrum gestoßen wird. Denn indem es keine oder geringere Anstrengung als die Umgebung unternimmt sich davon zu entfernen, ist seine Anstrengung geringer als die der weniger vom Zentrum entfernten Teile und macht ihnen Platz, womit es sich dem Zentrum annähert, da es sonst nichts anderes machen kann.

[Fig. 129]



Kopie der Originalgrafik

Man kann diesen Effekt durch ein Experiment sehen, das ich speziell dafür ange- stellt habe und welches verdient bemerkt zu werden, denn es führt dem Auge ein Bild der Schwere vor. Ich habe ein zylindrisches Gefäß benutzt von ungefähr 8 bis 10 Zoll<sup>534</sup> Durchmesser, dessen Boden weiß und einfarbig war. Seine Höhe betrug nur die Hälfte oder ein Drittel der Breite. Nachdem es mit Wasser gefüllt war, warf ich etwas zerkleinerten Siegellack hinein, der ein ganz wenig schwerer als das Wasser war und folglich zum Boden sank. Danach deckte ich es mit einer Glasscheibe ab, die unmittelbar an das Wasser grenzte und rundherum mit Zement abgedichtet wurde, so daß nichts aus dem Gefäß entweichen konnte. Nachdem der Versuch so justiert war, plazierte ich das Gefäß inmitten des runden Tisches<sup>535</sup>, von dem ich vorher schon sprach, und versetzte es in Drehung, um alsbald zu sehen, daß die Siegellackbrösel, die den Boden berührten, sich am Gefäßrand anordneten, und dies aus dem Grund, daß sie mehr Kraft hatten als das Wasser, sich vom Zentrum zu entfernen. Nachdem ich eine Weile fortgefahren war, das Gefäß zu drehen, wodurch das Wasser mehr und mehr in eine ebenfalls rotierende Bewegung geriet, hielt ich plötzlich den Drehtisch an, und im Augenblick sauste der gesamte Siegellack zum Zentrum in ein Stück, was für mich die Repräsentation des Effektes der Schwere war. Und die Ursache dessen war, daß das Wasser, durch das ruhende Gefäß nicht aufgehalten, fortfuhr seine zirkulare Bewegung zu machen und mit ihr seine Anstrengung, sich vom Zentrum zu entfernen, fortsetzte; statt dessen hatte der Siegellack diese verloren, oder weniger davon nötig, um den Boden des Gefäßes zu erreichen, der in Ruhe war. Ich bemerkte zudem, daß

<sup>534</sup> „pouces“ wurde hier mit „Zoll“ übersetzt. Es war als 12. Teil eines „pied“ = „Fuß“ definiert, der mit 32,5 cm in Sachs-Villatte, Enzyklopädisches Wörterbuch, Berlin (o. Jahresangabe, vermutl. Beginn des 20. Jh.) angegeben wird. Damit wäre also 1 pouce = 2,71 cm, der Gefäßdurchmesser 22 bis 27 cm.

<sup>535</sup> CHRISTIAN HUYGENS benutzt offenbar eine Drehscheibe.

der Puder sich in Spirallinien zum Zentrum bewegte, denn das Wasser bremste ihn noch ein wenig ab. Wenn man jedoch in diesem Gefäß einen Körper anbringt, der in keiner Weise der Bewegung des Wassers folgen kann, sondern nur zum Zentrum sich bewegen kann, so wird dieser in gerader Linie dorthin gestoßen werden. So wenn L eine kleine Kugel ist, die sich auf dem Boden frei bewegen kann zwischen den Netzen AA, BB und einem dritten etwas höheren KK, welches horizontal über die Mitte des Gefäßes gespannt ist. –Man wird sofort, wenn das Gefäß angehalten wird, sehen, daß sich diese Kugel zum Zentrum D hin bewegen wird. Es ist notwendig anzumerken, daß bei letzterem Versuch, man den Körper L gleiche Schwere zuteilen kann wie dem Wasser, und daß die Sache noch besser gelingen wird, derart daß ohne Schwere- Differenz der Körper in dem Gefäß, einzig die Bewegung diesen Effekt erzeugen kann.

Das Experiment, das Herr DESCARTES in einem seiner gedruckten Briefe vorschlägt<sup>536</sup>, unterscheidet sich stark von diesem, denn er füllt das Gefäß ABC mit Bleischrot, welches mit einigen Holzstücken vermischt ist, bzw. mit Stoff, der leichter als Blei ist, läßt sie zusammen in Rotation versetzen und sagt, daß die Holzstücke zur Mitte des Gefäßes getrieben werden. Das kann ich gerne glauben, immer jedoch unter der Voraussetzung, daß man leicht an den Rand des Gefäßes klopft, um die Trennung der Stoffe voneinander zu erleichtern. Aber, was man hier erhält, ist in keiner Weise geeignet den Effekt der Schwere zu zeigen, es sei denn, daß man glaubt aus diesem Experiment schließen zu müssen, daß die Körper, die am wenigsten Materie enthalten, diejenigen sind, die die größte Schwere haben. Dies ist das Gegenteil dessen, was man bei der wahren Schwere beobachtet. Er schlägt auch noch in einem anderen Brief<sup>537</sup> vor, in das drehende Wasser kleine Holzstückchen zu werfen, und sagt, daß sie zur Mitte des Wassers gehen würden. Sollte es sich um Holz handeln, das im Wasser schwimmt, wie es hier den Anschein hat, so wird dieses sich keineswegs konzentrieren. Wenn er aber meint, daß es einsinke zum Grund, dann wird dies das gleiche Experiment sein, das ich kurz vorher vorgeschlagen habe, und das Holz wird sich im Zentrum anhäufen, jedoch aus dem Grund, daß es den Grund des Gefäßes berührend von diesem in seiner Kreisbewegung gebremst wird, von welcher Ursache Herr DESCARTES<sup>538</sup> keinesfalls gesprochen hat.

In anderen Worten, indem in der Natur ein Effekt gefunden wurde, der ähnlich dem Effekt der Schwere ist und dessen Grund bekannt ist, bleibt noch nachzusehen, ob soetwas Ähnliches in Hinblick auf die Erde unterstellt werden kann, das heißt also, ob es irgendeine Bewegung von Materie gibt, die die Körper dazu bringt, zum Zentrum zu tendieren, und die gleichzeitig auch alle anderen Phänomene der Schwere zeitigt.

Unterstellen wir also die tägliche Bewegung der Erde, und daß Luft und Äther, die sie umgeben, diese gleiche Bewegung mitmachen, so gibt es nichts darin, was den Effekt der Schwere produzieren könnte: denn, wenn man dem kurz vorher berichteten Experiment folgt, so dürften die irdischen Körper keinesfalls dieser

<sup>536</sup> DESCARTES an MERSENNE v. 16. Okt. 1639 in Oeuvres Philosophiques de Descartes, Paris 1962 (ALQIÉ Ed.), Tome II, S. 142-143: *“Pour entendre comme la matière subtile qui tourne autour de la terre chasse les corps pesants vers le centre, remplissez quelque vaisseau rond de menues dragées (Jagdschrot) et mêlez parmi ce plomb quelques pièces de bois ou autre matière plus légère que ce plomb, qui soient plus grosses que ces dragées; puis faisant tourner ce vaisseau fort promptement, vous éprouverez que ces petites dragées chasseront tout ces pièces de bois ou autre telle matière, vers le centre du vaisseau, ainsi que la matière subtile chasse les corps terrestres,…”*

<sup>537</sup> unbekannt, welcher Brief gemeint sein könnte.

<sup>538</sup> CHRISTIAN HUYGENS schreibt stets „Mr. Des Cartes“

Kreisbewegung der himmlischen Materie folgen, sondern in Bezug auf diese in Ruhe sein, wenn es notwendig wäre, daß sie gegen das Zentrum gestoßen würden. Denn wenn man wollte, daß die himmlische Materie sich zur selben Seite wie die Erde mit sehr viel größerer Geschwindigkeit drehe, so würde daraus nur diese schnelle Bewegung hervorgehen, wobei von Materie, die sich ständig und immer zur gleichen Seite bewegt, ein fühlbarer Einfluß ausgehen würde, und sie die Körper auf der Erde mit sich führen würde. Dies aber würde heißen, daß in unserem Experiment das Wasser den Siegellack mit sich führen würde, was sich aber in keiner Weise zeigt. Darüber hinaus, diese Kreisbewegung um die Achse der Erde kann keinesfalls die Körper in Bewegung setzen, die nicht der gleichen Bewegung folgen, es sei denn gegen die Erdachse. Wir würden dann nicht die schweren Körper sich senkrecht zum Horizont bewegen sehen, sondern senkrecht zur Erdachse, was gegen die Erfahrung ist.

Um also die Schwere in der Art zu erklären, die ich mir ausdenke, unterstelle ich, daß in dem sphärischen Raum, der die Erde und die Körper um sie herum bis zu einer großen Entfernung enthält, sich eine flüssige Materie befindet, die aus sehr kleinen Teilchen besteht, und die in verschiedenster Weise in jeder Hinsicht mit großer Geschwindigkeit in Bewegung<sup>539</sup> gesetzt ist. Die Materie kann aus diesem Raum, der von anderen Körpern umgeben ist, nicht heraus. Ich sage (von dieser Materie, Übers.) nur, daß ihre Bewegung in Teilen im Kreisen um das Zentrum bestehen muß, nicht aber so, daß sie überall und an jedem Ort sich im gleichen Sinne drehte, sondern derart, daß die Mehrzahl ihrer verschiedenen Bewegungen in sphärischen Oberflächen ablaufe, deren Zentrum der besagte sphärische Raum ist und der auch das Zentrum der Erde ist.

Die Ursache der Zirkularbewegung ist, daß die Materie, die in einem gewissen Raum eingeschlossen ist, sich leichter in dieser Art bewegt als in gerader Bewegung, die einen gegen die anderen, welche dann selbst im Zurückprallen (denn die Materie kann aus dem Raum, in dem sie eingeschlossen ist, nicht entweichen) reduziert wird, sich in Zirkularbewegung zu verändern.

### 30 **S. 455, Abs. 3**

*Es folgen noch weitere Gedanken zur Bewegung der Materie, sowie Gedanken zur Beibehaltung der Rotationsrichtung der Materie, dann sagt CHRISTIAN HUYGENS:*

*S. 456, Abs. 2:*

Die auf jeden Fall große Beweglichkeit der Materie, unterstützt von der Kleinheit ihrer Teile, welche unsere Vorstellungskraft weit überschreitet, bewirkt, daß sie leicht allen verschiedenen Anregungen unterliegt.<sup>540</sup> Man sieht, wie vieler verschiedener Bewegungen die Teile des Wassers fähig sind, wenn man es in einer Phiole aus Glas erhitzt; nun muß man sich vorstellen, daß die Beweglichkeit der Himmelsmaterie unvergleichbar viel größer ist, als die, die wir beim Wasser bemerken, welches aus Teilen mit Gewicht zusammengesetzt ist, die übereinandergestapelt sind, und dennoch von der Unbeweglichkeit zur Bewegung gebracht werden.<sup>541</sup> Hingegen bewegt sich die Himmelsmaterie frei nach allen Richtungen und übernimmt leicht die unterschiedlichen Eindrücke durch die verschiedenen Zusammentreffen seiner Teile oder den kleinsten Impuls anderer Körper.<sup>542</sup>

45

<sup>539</sup> „diversement agitée en tout sens“

<sup>540</sup> „souffre“ = erleiden im Text.

<sup>541</sup> wörtlich: „devient par la paresseuse au mouvement“

<sup>542</sup> wörtlich: „...la moindre impulsion d'autres corps“

Aus dem **Brief** von **GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ** an **CHRISTIAN HUYGENS**,  
**abgedruckt in GERHARDT, LEIBNIZ' Mathematische Schriften Bd. VI, S. 187- 193**

5 [ ... ]  
 GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ schreibt hier sehr liebenswürdig und bewundernd an  
 CHRISTIAN HUYGENS, insbesondere über dessen Arbeit, die Wellenlehre der Optik betref-  
 fend, um dann ( S.188, unten ) fortzufahren:

- 10 [ ... ] ebenfalls möchte ich gerne wissen, was Ihre Gedanken zur Anziehung sind, die Herr  
 NEWTON beim Licht anerkennt, nach Pater GRIMALDI auf Seite 231 seiner *principia*. Au-  
 ßerdem, welche neuen Erfahrungen über die Farben hat Ihnen Herr NEWTON mitgeteilt,  
 wenn Sie daran haben teilhaben können. Hat er nichts Spezielles über die Farben des Isländi-  
 schen Kristalls zu sagen gewußt?
- 15 Nachdem ich mich gründlich mit dem Buch des Herrn NEWTON, das ich in Rom zum ersten  
 Mal gesehen habe, befaßt habe, habe ich Grund, viele Dinge, die er anführt, zu bewundern.  
 Indessen begreife ich nicht, wie er sich die Schwere, oder Anziehungskraft, vorstellt. Es  
 scheint mir, daß nach seiner Meinung, dies nur eine unkörperliche und unerklärte Eigenschaft  
 ist, anstelle derer Sie sie sehr einleuchtend durch mechanische Gesetze begründen. Als ich  
 20 meine Überlegungen zur harmonischen Bewegung , das heißt umgekehrt (proportional) zu  
 den Distanzen, anstellte, aus der ich die KEPLERSCHE Regel ( über die Proportionalitäten  
 zwischen Zeit und Entfernung ) herleiten konnte, habe ich sehr wohl das hervorragende Privi-  
 leg dieser Art der Zirkulation schätzen gelernt: Es ist als einziges fähig, sich in einer Umge-  
 25 bung, die eine eigene Zirkulation hat, zu bewahren und auf Dauer die Bewegung des Körpers  
 und der umgebenden Flüssigkeit als Ganzes zusammenzuhalten. Und genau dies ist der phy-  
 sikalische Grund, den ich eines Tages anführen werde, für diese Zirkulation, nämlich den, daß  
 Körper, die sich so verhalten, besser aufeinander einwirken. Denn einzig die harmonische  
 Zirkulation besitzt die Eigenschaft, daß der sich nach ihr bewegende Körper präzise die Rich-  
 tung, oder die vorhergehende Einprägung, beibehält, ganz als bewege er sich im leeren Raum  
 30 unter dem einzigen vereinigten Antrieb<sup>543</sup> der Schwere. Und der gleiche Körper bewegt sich  
 außerdem im Äther, als schwämme er ruhig dahin ohne eigenen Antrieb zu haben, ferner ohne  
 jeglichen Rest vorheriger Einprägungen und nur dem ihn umgebenden Äther gehorchend, was  
 die Zirkulation betrifft ( die parazentrische Bewegung sei außer Betrachtung gelassen ). Ich  
 habe nämlich in den Akten von Leipzig<sup>544</sup> S. 89 im Monat Februar 1689 folgendes gezeigt:  
 35 Die Zirkulation  $D_1M_2$ <sup>545</sup> oder  $D_2M_3$  seien harmonisch und  $M_3L$  parallel zu  $\odot M_2$ , welche die  
 vorhergehende Richtung  $M_1M_2$  bis  $L$  verlängert schneidet, ist gleich  $M_2L$  ( oder gleich  $GM_1$ ,  
 der Graveur hat den Buchstaben  $G$  zwischen  $T_2$  und  $M_2$  vergessen, obwohl er in meiner Skiz-  
 ze markiert war ). Als Folge ist die neue Richtung  $M_2M_3$  so zusammengesetzt aus der vorhe-  
 40 rigen Richtung  $M_2L$  vereinigt mit der neuen Einprägung der Schwere, das heißt  $LM_3$ , wie die  
 Zirkulationsgeschwindigkeit des umgebenden Äthers  $D_1M_3$  in harmonischer Bewegung verei-  
 nigt mit der schon erworbenen parazentrischen Bewegung  $M_2D_1$  in irgendwelcher Bewegung.  
 Aber unterstellte man irgendeine andere Bewegung, außer der harmonischen, so könnte der  
 Körper, weil er die vorherige Einprägung  $M_2L$  bewahrt, nicht das Gesetz der Zirkulation  
 $D_1M_3$ , welches der Wirbel oder der umgebende Äther ihm vorschreiben möchten, beachten.  
 45 Daraus würde nun eine Bewegung aus diesen zwei Einprägungen erzeugt. Deshalb also sind  
 die zirkulierenden Körper, sowohl die festen als auch die flüssigen, nach einigen Kämpfen  
 und Auseinandersetzungen endlich zu dieser einzigen Art reduziert, wo sie im Einklang sind

<sup>543</sup> "impetuosité" im Text, von LEIBNIZ gegebene frz. Version von „impetus“ ?

<sup>544</sup> Acta Eruditorum 1689, Ort der Erstveröffentlichung von „tentamen de motuum coelestium.“

<sup>545</sup> Die Indizes der Buchstaben sind jetzt nachgestellt, im Original und der Zeichnung aber vorgestellt.

mit denen, die sie umgeben, und bei der jeder nur wie alleine oder im leeren Raum sich bewegt. Deshalb habe ich mich keinesfalls veranlaßt gesehen, mit Herrn NEWTON die Einwirkungen des umgebenden Äthers zu verneinen. Und bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt bin ich keineswegs überzeugt, daß dies überflüssig sei. Denn Herr NEWTON stellt zwar zufrieden, wenn man nur einen Planeten oder Satelliten betrachtet, er vermag aber nicht den Grund für die Richtung der Schwere durch den einzigen Überstreichungs- Bereich<sup>546</sup> anzugeben, warum alle Planeten eines gleichen Systems etwa den gleichen Weg gehen oder im gleichen Umlaufsinne umlaufen. Das ist etwas, was wir nicht nur bei den Satelliten<sup>547</sup> des Sonnensystems bemerken, sondern auch bei denen des Jupiter und des Saturn. Das ist eine bemerkenswerte Auffälligkeit dafür, daß es eine gemeinsame Ursache, die das veranlaßt hat, gibt, und welche andere Ursache könnte man denn mit größerer Wahrscheinlichkeit ins Feld führen, als eine Art von Wirbel oder gemeinsamer Materie, die sie trägt? Denn alles auf einen Schöpfer der Natur zurückzuführen ist nicht philosophisch genug, wenn es Mittel gibt, naheliegende Gründe damit in Verbindung zu bringen. Überdies ist es auch weniger vernünftig, einem glücklichen Umstand diese Übereinstimmung der Planeten in einem System zuzuschreiben, welche sich in allen diesen drei Systemen findet, was bedeutet, in allen, die uns bekannt sind. Es erstaunt mich ebenfalls, daß Herr NEWTON nicht dafür gesorgt hat, irgendwelche Begründung für das Gesetz der Schwerkraft beizubringen, zu dem mich die elliptische Bewegung ebenfalls gebracht hat. Sie äußern mit Recht mein Herr, S. 161, daß sie verdient, daß man ihre Ursache suche. Ich wäre sehr froh, von Ihnen Ihr Urteil darüber zu erhalten, was ich weiter oben gedacht habe und was ich aufgespart habe für ein anderes Mal, als ich meine ersten Gedanken wiedergegeben habe, in den Akten, gegen Ende. Hier also zwei Wege, und Sie werden entscheiden, welcher für Sie der bevorzugte ist, und welchen man zustimmen kann.<sup>548</sup>

Denken wir uns also die Schwere als eine Anziehungskraft, deren Strahlen wie die des Lichtes laufen. Dann wird diese Anziehung die gleichen Proportionen wie die des Lichts haben. Denn durch andere ist bereits bewiesen, daß die Beleuchtung von Objekten sich reziprok proportional zum Quadrat des Abstandes vom leuchtenden Punkt verhalten, weshalb die Beleuchtung an jedem Punkt von sphärischen Oberflächen mit gleicher Beleuchtungsstärke reziprok proportional der Flächengröße sind. Die sphärischen Oberflächen sind dem Quadrat der Distanzen proportional. Sie werden urteilen, mein Herr, daß man sich vorstellen könnte, die Strahlen stammen aus der Anstrengung der Materie her, die sich vom Zentrum zu entfernen bemüht.

Ich habe noch an eine weitere Art und Weise der Erklärung gedacht, die nicht weniger erfolgreich ist, und die mir mehr Beziehung zu Ihrer Erklärung der Schwere durch die Zentrifugalkraft aus der Zirkulation des Aethers zu haben scheint, und die mir immer sehr vernünftig zu sein schien. Es gibt immer die gleiche Menge an Kraft<sup>549</sup> in jedem Orbit oder konzentrischen Kreisring dieser zirkulierenden Materie. Dies bewirkt, daß sie sich gegenseitig besser ausbalancieren und jeder Orbit die seinige behält. Ich schätze die Kraft<sup>550</sup> durch die Menge des bewirkten Effektes ab, so zum Beispiel ist die Kraft, ein Pfund einen Fuß zu heben der vierte Teil derer, die ein Pfund vier Fuß heben kann, wozu man nur die doppelte Geschwindigkeit benötigt. Hieraus folgt nun, daß sich die absoluten Kräfte wie die Quadrate der Geschwindigkeiten verhalten. Nehmen wir also zum Beispiel zwei Orbits oder konzentrische Kreisringe.

<sup>546</sup> Offensichtlich von LEIBNIZ erzeugte frz. Form des lateinischen „*trajectio*“. Das Wort existiert heute in der frz. Sprache nur als literarischer Begriff in Bezug auf Relativsätze

<sup>547</sup> Im Text steht „*planetes*“, sachlich richtig und gemeint sind aber „*satellites*“

<sup>548</sup> Der Absatz findet sich nicht im Briefentwurf, dürfte aber wohl zur Gliederung hier eingefügt werden.

<sup>549</sup> „*puissance*“ im Text. Hier wurde bei der Übersetzung an die Vorstellungen gedacht, die vermutlich GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ hatte, der natürlich „*vis viva*“ im Sinn hatte, zumal seine weitere Argumentation sehr ähnlich ist der in seinem Aufsatz „*Brevis demonstratio Erroris memorabilis Cartesii...*“, *Acta Eruditorum* Leipzig 1686

<sup>550</sup> hier steht „*j'estime la puissance ou force par la quantité de l'effect*“, wie zur Bestätigung der vorigen Fußnote.

Da die Kreisringe proportional zu den Radien oder den Abständen zum Zentrum sind, sind es die Materiemengen in jedem Orbit ebenfalls. Wenn nun die Kräfte der zwei Orbits gleich sind, müssen die Quadrate ihrer Geschwindigkeiten reziprok zu deren Materiemengen sein und folglich zu den Distanzen ( vom Zentrum ). Dies heißt doch, daß die Geschwindigkeiten der Orbits im reziproken Verhältnis der Wurzel der Distanzen stehen. Woraus nun wieder zwei bedeutende Corollare folgen, alle beide durch Beobachtungen verifiziert:

Das erste ist, daß die Quadrate der Umlaufzeiten sich verhalten wie die Kuben der Distanzen. Denn die Umlaufzeiten sind direkt proportional zu den Bahngrößen oder den Umlaufzeiten und reziprok proportional den Geschwindigkeiten. Und die Geschwindigkeiten stehen im Verhältnis der Wurzel aus den Distanzen<sup>551</sup>. Das heißt aber, die Quadrate der Umlaufzeiten verhalten sich wie die Kuben der Distanzen. Und genau dies hat KEPLER bei den Planeten des Sonnensystems beobachtet, und genau diese Beobachtungen wurden aufs herrlichste bei der Entdeckung der Satelliten des Jupiter und des Saturn bestätigt, wenn ich dem folge, was ich bei Herrn CASSINI gelesen habe.

Das andere Corollar ist das, was wir für die Schwere benötigen, nämlich, daß die zentrifugalen Tendenzen sich wie das reziproke Quadrat der Distanzen verhalten. Denn die zentrifugalen Tendenzen sind direkt proportional den Quadraten der Geschwindigkeiten und umgekehrt proportional den Radien oder Distanzen. Oder auch hier, die Quadrate der Geschwindigkeiten verhalten sich reziprok zu den Distanzen, womit die zentrifugalen Tendenzen reziprok zum Quadrat der Distanzen sind, genau wie dies bei der Schwere zu sein hat.

So weit ungefähr also das, was ich für einen anderen ‚Discours‘ reserviert habe, falls ich meine Versuche der Öffentlichkeit übergebe, aber es ist auf jeden Fall vorteilhaft, Sie an den Gedanken, die ich habe, teilhaben zu lassen, denn dies ist auf jeden Fall ein Mittel, um sie zu überprüfen. Deshalb bitte ich Sie sehr, mich Ihr Urteil darüber wissen zu lassen. Nach diesen schönen Übereinstimmungen werden Sie sich wahrscheinlich nicht erstaunen, mein Herr, daß ich noch einiges auf Halde<sup>552</sup> habe, um die Wirbel zu erhalten, vielleicht sind sie auch nicht so schlimm<sup>553</sup>, wie Herr NEWTON sie macht. In der Art, wie ich sie mir vorstelle, dienen die Überstreichungsbereiche ( trajections ) selbst dazu, die tragenden flüssigen Umlaufbahnen zu festigen. Sie könnten, mein Herr, vielleicht als erstes einwenden, daß die Hypothese, das Quadrat der Geschwindigkeiten sei reziprok zu den Distanzen, vertrage sich nicht mit der harmonischen Zirkulation. Die Antwort hierauf ist leicht: Die harmonische Zirkulation trifft sich in jedem Körper getrennt, wenn man die verschiedenen Distanzen, die es gibt, betrachtet, aber die harmonische Zirkulation in ihrer Wirkung ( en puissance ), ( bei der die Quadrate der Geschwindigkeiten reziprok zu den Distanzen sind ) trifft sich, indem sie die verschiedenen Körper vergleicht, sei es, daß sie eine gekrümmte Linie beschreiben, oder daß man ihre mittlere Bewegung ( das heißt das äquivalente Resultat der Zusammenfassung der aus einzelnen Bewegungen in verschiedenen Distanzen zusammengesetzten Bewegungen ), als Umlaufbahn betrachtet, die sie beschreiben. Überdies mache ich deutlich, daß es der Aether ist, der die Schwere ( und wahrscheinlich auch die Richtung oder die Parallelität der Achsen ) dessen erzeugt, der die Planeten trägt und der erheblich umfangreicher ist.

Ich bin noch nicht ganz zufrieden mit den elastischen Gesetzen, die angegeben werden, denn mir scheint, daß die Erfahrung sich noch nicht so ganz mit der Regel verträgt, daß die Auslenkungen ( extensions ) der Seile ( zum Beispiel ) sich wie die Kräfte verhalten, die sie bewirken.<sup>554</sup> Ich hätte gerne deshalb Ihre Meinung zu dieser Sache gehört. Was den Widerstand

<sup>551</sup> GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ verwendet bei zusammengesetzten Proportionen immer den Begriff „en raison composée“. Bei der Übersetzung habe ich immer nach heutigem Sprachgebrauch die Bestandteile als einzelne Proportionalitäten wiedergegeben, wobei jedem Sachkenner klar ist, daß diese dann multipliziert werden müssen.

<sup>552</sup> „penchant“, wörtlich „schief hängend“

<sup>553</sup> „coupable“ wörtlich, schuldig, pflichtwidrig - verdammenswert erschien mir zu stark.

<sup>554</sup> Es ist zu vermuten, daß hier auf Robert HOOKE und dessen 1679 publiziertes elastisches Gesetz angespielt wird. Deshalb hier „Verlängerung“ in der Übersetzung, wo man auch „Auslenkung“ übersetzen

von Umgebungen ( milieu ) anbetriift, so glaube ich bemerkt zu haben, daß die Theoreme Herrn NEWTONS, zumindest einige, die ich überprüft habe, sich mit den meinen vertragen. Das, was er den Widerstand proportional zum Quadrat der Geschwindigkeiten nennt ( im Falle gleicher Zeiten ) ist nichts anderes als das, was ich den spezifischen Widerstand nenne ( resistance respective ).<sup>555</sup> Bei mir ist der aus dem Produkt der Geschwindigkeiten und den Elementen der Art zusammengesetzt, ohne Beachtung, ob die Zeiten gleich oder nicht sind, derart, daß ich glaube, mich kaum von dem noch entfernt zu haben, was Sie mir gegeben haben. Es brauchte Zeit, darüber nachzudenken.

## 10 **In einem der Briefentwürfe, die erhalten sind, findet sich noch folgender Abschnitt**

15 Ich habe immer noch einige Veranlassung<sup>556</sup>, daran zu glauben, daß die Variation der Magnetenadel eine regelnde Ursache hat.. Wenn man sie eines Tages entdecken wird, wird sie dazu beitragen, unser System noch besser zu verstehen. Herr NEWTON hat nicht daran gerührt, ich zweifle aber nicht, daß Sie darüber nachgedacht haben, mein Herr, und hätte gerne Ihre Meinung dazu gewußt.

20 KEPLER hat als erster angemerkt, daß man die Schwere aus der Anstrengung der zirkulierenden Körper erklären könnte, sich vom Zentrum zu entfernen, Gedanken mit denen Herr des CARTES seitdem Ehre eingelegt hat.

---

könnte. Dies hängt im wesentlichen davon ab, ob man sich eine Feder oder ein Pendel als Versuchsbjekt vorstellen sollte.

<sup>555</sup> Der genaue terminus technicus bei LEIBNIZ muß noch eruiert werden.

<sup>556</sup> wieder der Begriff „penchant“, wörtlich „schief hängend“

## Kontinentale Publikationen zur Gravitationstheorie. (1689 – 1758)

Nachfolgend eine Liste (alphabetisch und zeitlich geordnet) von Personen, die auf dem Kontinent zur Gravitation oder zur Himmelsbewegung etwas publiziert haben. Die Liste erhebt keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit. Die meisten Angaben sind Zitaten entnommen. Oft sind von mehreren Publikationen nur eine aufgeführt.

### alphabetisch

- 1734 Bernoulli, Daniel, *Disquisitiones physico-astronomicae*, Paris 1735
- 1730 Bernoulli, Jean (I) 1, *Nouvelles pensées sur le système de Descartes*, Paris 1730
- 1734 Bernoulli, Jean (I) 2, *Essai d'une nouvelle physique céleste*, Paris 1734
- 1734 Bouguer, Pierre, *Entretiens sur la cause de l'inclinaison des orbites des planètes*, Paris 1734
- 1720 Bouillet, *Dissertation sur la cause de la pesanteur*, Bordeaux 1720
- 1728 Bulffinger, Georg Bernhard, *De causa gravitatis physica generali disquisitio experimentalis*, Paris 1728
- 1749 Cassini de Thury, César Francois, *La Meridienne de Paris vérifiée dans toute l'étendue du Royaume*, Paris 1744
- 1716 Cassini, Jaques, *Théorie du mouvement des satellites de Saturne*, Paris 1716
- 1724 Castel, Le Père, *Traité de physique sur la pesanteur universelle des corps*, Paris 1724
- 1747 Clairault, Alexandre, *Du système du monde dans les principes de la gravitation universelle*, *Mém. de l'Acad. Sc. Paris* 1747, S. 329
- 1758 D'Alembert, J. *Le Rond, Traité de la dynamique*, Paris 1758
- 1743 Euler, Leonhard als anonymus, *De Causa Gravitatis*, *MISCELLANEA BEROLINENSIA* 7, 1743
- 1701 Fatio de Duillers, *Sur la cause de la pesanteur*, Manuskript eines Vortrages in der Royal Society 1790,  
in Bopp, Karl [Hrsg.] *Drei Untersuchungen zur Geschichte der Mathematik*, *Schriften der Wissenschaftlichen Gesellschaft Heidelberg*, Neue Folge 10, pp. 19-66, Berlin, Leipzig 1929.
- 1722 Hartsoeker, Nicolaas, *Receuil de plusieurs pièces de physique, où l'on fait voir principalement l'invalidité du système de Newton*, Utrecht 1722
- 1790 Huygens, Christian, *Discours sur la cause du pesanteur*, Leyde 1690
- 1755 Kant, Immanuel, *Allgemeine Naturgeschichte und THEORIE DES HIMMELS oder VERSUCH VON DER VERFASSUNG UND DEM MECHANISCHEN URSPRUNGE DES GANZEN WELTGEBÄUDES NACH NEWTONISCHEN GRUNDSÄTZEN ABGEHANDELT*, Leipzig 1755
- 1703 La Montre, *Reflexion sur la solution d'une difficulté proposée contre le système cartésien de la pesanteur*, *journal de Trevoux*, mars 1703
- 1689 Leibniz, Gottfried Wilhelm, *Tentamen de motuum coelestium causis*, in *ACTA ERUDITORUM*, anno M DC LXXX IX publicata, Lipsiae
- 1758 Le Sage, Georges-Louis, *Essai de Chymie mécanique*, Rouen 1758
- 1727 Mairan, Dortous de , *RECHERCHES GEOMETRIQUES SUR LA DIMINUTION DES DEGRE'S TERRESTRES En allant de l'équateur vers les Poles*, *Hist. de l'académie Royale DCCXX*, avec les Mémoires de Matématique & de Phisique pour la même Année<sup>557</sup>, p.231-272

---

<sup>557</sup>

Originalschreibweise



- 1723 Mathulon, Explications nouvelles des mouvements les plus considérables de l'univers, Paris 1723
- 1732 Maupertuis, Pierre Louis Moreau de, 1698-1759, Discours sur les différentes figures des Astres, avec une exposition des systèmes de Descartes et de Newton, Paris 1732
- 1727 Mazière, Le Père, Traité des petits tourbillons de la matière subtile, Paris 1727
- 1729 Molière, Joseph Privat de, Problème physico- mathématique dont la solution tend à servir de réponse à une des objections de Newton contre la possibilité des tourbillons célestes, Mém. de l'Acad. Sc. Paris 1729
- 1701 Parent, Conjectures sur la pesanteur et autres vertus sympathiques et élastiques, Journal des Savants 1701
- 1729 Petit, Jean Louis, Traité de l'Univers matériel, ou astronomie physique, Paris 1729
- 1712 Poleni, Joannis, Dialogus de vorticibus coelestibus, Padua 1712
- 1703 Saurin, Joseph, solution d'une difficulté proposée contre l'explication cartésienne de la pesanteur, Journal de Savants, janv. 1703
- 1700 Varignon, Pierre, Des forces centrales ou des pesanteurs nécessaires au planètes pour faire décrire les orbés qu'on leur a supposés jusqu'ici, Mém. de l'Acad. Sc. Paris 1700
- 1707 Villemot, Philippe, Nouveau système ou nouvelle explication du mouvement des planètes, Lyon 1707
- 1733 Voltaire, Lettres anglaises, London 1733

## zeitlich

- 1689 Leibniz, Gottfried Wilhelm, Tentamen de motuum coelestium causis, in ACTA ERUDITORUM, anno M DC LXXX IX publicata, Lipsiae (publ. Fassg.)
- 1690 Huygens, Christian, Discours sur la cause du pesanteur, Leyde 1690
- 1700 Varignon, Pierre, Des forces centrales ou des pesanteurs nécessaires au planètes pour faire décrire les orbés qu'on leur a supposés jusqu'ici, Mém. de l'Acad. Sc. Paris 1700
- 1701 Fatio de Duillers, Sur la cause de la pesanteur, Manuskript eines Vortrages in der Royal Society London 1790, in Bopp, Karl [Hrsg.] Drei Untersuchungen zur Geschichte der Mathematik, Schriften der Wissenschaftlichen Gesellschaft Heidelberg, Neue Folge 10, pp. 19-66, Berlin, Leipzig 1929.
- 1701 Parent, Conjectures sur la pesanteur et autres vertus sympathiques et élastiques, Journal des Savants 1701
- 1703 La Montre, Reflexion sur la solution d'une difficulté proposée contre le système cartésien de la pesanteur, journal de Trevoux, mars 1703
- 1703 Saurin, Joseph, solution d'une difficulté proposée contre l'explication cartésienne de la pesanteur, Journal de Savants, janv. 1703
- 1707 Villemot, Philippe, Nouveau système ou nouvelle explication du mouvement des planètes, Lyon 1707
- 1712 Poleni, Joannis, Dialogus de vorticibus coelestibus, Padua 1712
- 1716 Cassini, Jaques, Théorie du mouvement des satellites de Saturne, Paris 1716
- 1720 Bouillet, Dissertation sur la cause de la pesanteur, Bordeaux 1720
- 1722 Hartsoeker, Nicolaas, Recueil de plusieurs pièces de physique, où l'on fait voir principalement l'invalidité du système de Newton, Utrecht 1722
- 1723 Mathulon, Explications nouvelles des mouvements les plus considérables de l'univers, Paris 1723
- 1724 Castel, Le Père, Traité de physique sur la pesanteur universelle des corps, Paris 1724

- 1727 Mairan, Dortous de , RECHERCHES GEOMETRIQUES SUR LA DIMINUTION DES DEGRE'S TERRESTRES En allant de l'équateur vers les Poles, Hist. de l'académie Royale DCCXX, avec les Mémoires de Matématique & de Phisique pour la même Année<sup>558</sup>, p.231-272
- 1727 Mazière, Le Père, Traité des petits tourbillons de la matière subtile, Paris 1727
- 1728 Bulffinger, Georg Bernhard, De causa gravitatis physica generali disquisitio experimentalis, Paris 1728
- 1729 Molière, Joseph Privat de, Problème physico- mathématique dont la solution tend à servir de réponse à une des objections de Newton contre la possibilité des tourbillons célestes, Mém. de l'Acad. Sc. Paris 1729
- 1729 Petit, Jean Louis, Traité de l'Univers matériel, ou astronomie physique, Paris 1729
- 1730 Bernoulli, Jean (I) 1, Nouvelles pensées sur le système de Descartes, Paris 1730
- 1732 Maupertuis, Pierre Louis Moreau de, 1698-1759, Discours sur les différentes figures des Astres, avec une exposition des systèmes de Descartes et de Newton, Paris 1732

### **1733 Voltaire, Lettres anglaises, London 1733**

- 1734 Bernoulli, Daniel, Disquisitiones physico-astronomicae, Paris 1735
- 1734 Bernoulli, Jean (I) 2, Essai d'une nouvelle physique céleste, Paris 1734
- 1734 Bouguer, Pierre, Entretiens sur la cause de l'inclinaison des orbites des planètes, Paris 1734
- 1743 Euler, Leonhard, De Causa Gravitatis, MISCELLANEA BEROLINENSIA 7, 1743
- 1747 Clairault, Alexandre, Du système du monde dans les principes de la gravitation universelle, Mém. de l'Acad. Sc. Paris 1747, S. 329
- 1749 Cassini de Thury, César Francois, La Meridienne de Paris vérifiée dans toute l'étendue du Royaume, Paris 1744
- 1755 Kant, Immanuel, Allgemeine Naturgeschichte und THEORIE DES HIMMELS oder VERSUCH VON DER VERFASSUNG UND DEM MECHANISCHEN URSPRUNGE DES GANZEN WELTGEBÄUDES NACH NEWTONISCHEN GRUNDSÄTZEN ABGEHANDELT, Leipzig 1755
- 1758 D'Alembert, J. Le Rond, Traité de la dynamique, Paris 1758
- 1758 Le Sage, Essai de Chymie mécanique, Rouen 1758

## Porträt **Johann (I) BERNOULLI** im Hinblick auf seine Lage bei der Abfassung der Preisschrift 1734.

Geboren: 27.7.1667 Basel  
gestorben: 1.1.1748 Basel

Sein Vater hatte ihn als Nachfolger für dessen Gewürzhandel („Spezereien“) bestimmt. Die Familie war zwei Generationen vorher aufgrund von Verfolgung ihrer Calvinistischen Religion aus Antwerpen in die Schweiz eingewandert. Als 15-jähriger arbeitete Johann 1 Jahr lang im Handel und konnte seinen Vater dann erfreulicherweise bewegen, ihm den Bezug der Universität Basel 1683 zu erlauben, allerdings war Medizin gezwungenermaßen sein Studienfach, obwohl er und sein Bruder Jacob mehr zur Mathematik und Physik neigten.

Dieser Bruder Jacob las über Experimentalphysik (13 Jahre älter als Johann), und Johann widmete seine meiste Studienzeit den Arbeiten LEIBNIZ' über die neue Mathematik Analysis (Calculus). Nach 2 Jahren war er seinem Bruder Jacob ebenbürtig. 1691 ging er nach Genf und gab dort Vorlesungen über Differentialrechnung. Sein Weg führte ihn weiter nach Paris, wo er mit dem Marquis de l'Hôpital bekannt wurde. De l'Hôpital war ein guter Mathematiker, der nun auf einen noch besseren traf. Johann hatte wirklich die veröffentlichten Arbeiten von LEIBNIZ verstanden und auch sofort dessen Notation als der Newton'schen überlegen begriffen und diese weiterentwickelt. DE L'HÔPITAL und JOHANN BERNOULLI schlossen ein bemerkenswertes Abkommen, wonach Johann den Marquis in Analysis unterrichtete und sich verpflichtete, ihm alle eigenen mathematischen Entdeckungen mitzuteilen, wofür der Marquis seinerseits Johann eine hohe Pension zahlte. So ganz ungeeignet in wirtschaftlichen Dingen war also Johann nicht, denn er gewann so in frühen Jahren eine finanzielle Unabhängigkeit. Allerdings wurde seine Sucht nach Ruhm und Anerkennung empfindlich dadurch getroffen, daß der Marquis Johanns Text als erstes Lehrbuch in Analysis<sup>559</sup> unter dem Namen „de l'Hôpital“ veröffentlichte. Vor allem die dort befindliche, heute unter dessen Namen bekannte, Regel konnte nicht unter Johans Namen publiziert werden. Gleich nach dem Tode des Marquis (1704) reklamierte Johann alles dies als sein geistiges Eigentum, fand aber keinen rechten Glauben. Erst 1922 wurden Papiere Johans aufgefunden, die Entwürfe für den Pariser Unterricht und briefliche Mitteilungen enthielten, aus denen ersichtlich ist, daß Johann tatsächlich der Urheber dieser mathematischen Errungenschaften ist.

Die beiden Brüder, Jacob und Johann Bernoulli, wurden auf dem Kontinent Leibniz' beste Parteigänger im Streit mit Newton und dessen insularen Anhängern um die Priorität der Entdeckung der Analysis. Johann tat sich besonders hervor, konnte er doch einige Fehler Newtons berichtigen. Insbesondere sah er die logische Lücke bei Newton, der bewiesen hatte, daß Planeten auf elliptischen Bahnen dem nach ihm benannten Kraftgesetz unterlagen, und behauptet hatte, es gelte auch die Umkehrung. Johann Bernoulli konnte beweisen, daß bei gegebenem Newtonschem Kraftgesetz die Himmelskörper nur auf Kegelschnittbahnen umlaufen konnten, und damit die Beweislücke schließen<sup>560</sup>. Allerdings vergiftete sich die Atmosphäre zwischen den beiden Brüdern Bernoulli immer mehr. Man stellte sich gegenseitig öffentliche Aufgaben, die man selbst gelöst hatte, deren Lösung aber nun andere herauszufinden hatten. Die Absicht dabei war, sich selbst als der bessere Mathematiker darzustellen. Bei der Lösung des Problems der Kettenlinie, 1691 von Jacob gestellt, zeigte Johann seine Brillanz, indem er es noch im gleichen Jahr löste. Aber die Rivalität schwelte schon, gemeinsame Arbeiten von Johann und Jacob über geometrische Orte von Schnittkurven konnten nicht gemeinsam publiziert werden.

<sup>559</sup> De l'Hôpital Guillaume François Antoine, Marquis de St. Mesme, *Analyse des infiniment petits pour l'intelligence des lignes courbes*, Paris 1696.

<sup>560</sup> Die Stelle wurde in der 2. Auflage der „*principia*“ verbessert.

Das schlechte Verhältnis der Brüder untereinander wurde auch in Briefen angesprochen. Jacob schrieb über seinen Bruder Johann: „.. qui crève de rage, de haine, d'envie et de jalousie contre moi.“<sup>561</sup> Johann seinerseits stellte die Aufgabe zur „Brachystochrone“ : Welche Linie zwischen zwei Punkten beschreibt die Kurve kürzester Fallzeit?. Es gingen 4 Lösungen ein, die alle nicht vollständig richtig waren, von Leibniz, Newton (anonym), de l'Hôpital und Jacob Bernoulli. Letzterer antwortete mit dem „isoperimetrischen Problem“, der Frage nach der Form der geschlossenen Kurve gegebener Länge bei größtem umfaßten Flächeninhalt. 4 Tage wollte Johann nur dazu benötigen, dann hinterlegte er eine „Lösung“, die aber nur den Weg allgemein beschrieb. Gerade aber die Ausführung stellte das Problem dar. Jacobs Tod bewahrte ihn vor der öffentlichen Blamage. Erst 1718 gelang JOHANN BERNOULLI eine elegante Lösung, gleichzeitig mit der Begründung der Variationsrechnung.

Johann war inzwischen (1695) Professor in Groningen geworden, wo er den Ruf u.a. auch einer Empfehlung von Huygens verdanken soll. Er war zwar als Professor für Mathematik berufen worden, jedoch war ihm zugesichert worden, er dürfe auch Medizin, in der er promoviert war, praktizieren. Johann hatte in eine berühmte Basler Familie (Falkner) geheiratet und trat die Reise nach Groningen mit Frau und 7 Monate altem Kind (Nicolas II) an. Dort in Groningen wurde dann später sein berühmtester Sohn, Daniel, geboren.

10 Jahre verbrachte Johann in Groningen, mußte aber dann auf Familienbindungen Rücksicht nehmen. Seine Schwiegereltern wollten ihre Tochter wieder zurück in Basel wissen, und er gab nach, wobei er noch einen Ruf nach Utrecht ausschlug. Basel schmeckte Johann eigentlich ganz und gar nicht. Er fühlte sich dort als „Prophet im Vaterland“<sup>562</sup>, einfach zu wenig geachtet. Seinen Drang nach Anerkennung und Geld möge ein Gästebucheintrag aus Groningen veranschaulichen: „*Illa mihi Patria est ubi pascor, non ubi nascor. Illa ubi sum notus, non ubi natus eram*“.<sup>563</sup> Oder auch eine andere Haltung von ihm: Er war ein ganzes Jahr in Basel beurlaubt von der Universität, um täglich das Basler Gymnasium zu inspizieren. Bei Regenwetter aber ging er nicht dorthin, wenn ihm der Magistrat keinen Wagen schickte.<sup>564</sup>

Zwar war ihm nach dem Tode seines Bruders (1705) dessen Lehrstuhl angeboten worden, was er auch annahm, aber Basel war ihm irgendwie zu klein, eng und unbedeutend. Er war unbestritten, nach seines Bruders Tod, d e r Mathematiker des Kontinents und publizierte fortwährend, allerdings nur 1 Publikation als Buch<sup>565</sup>, bevor 1742 seine gesammelten Werke in einer mehrbändigen Prachtausgabe erschienen. Mehrfach beteiligte er sich an den Preisfragen der Pariser Akademie. In diesem Zusammenhang übertrug er sein Konkurrenzdenken und sein Ringen um Vorherrschaft auf seinen Sohn Daniel Bernoulli. Ganz wie sein Vater ihn gezwungen hatte, eine andere als die gewünschte Ausbildung zu absolvieren, zwang er diesen zum Medizinstudium. Dieser aber wandte sich ebenfalls, ganz wie sein Vater, doch mehr den Naturwissenschaften und der Mathematik zu, wo er bedeutende Beiträge leistete. Der Vater-Sohn –Konflikt kulminierte 1734 familiär, wo beide, Vater und Sohn, einen Wettbewerbsbeitrag der Pariser Akademie eingereicht hatten und beide sich den (doppelten) Preis teilen mußten. Johann ergrimmte so sehr über diesen Umstand, daß er seinem Sohn das Haus verbot. Auch später hatte dies alles noch Folgen. Daniel Bernoulli arbeitete in der Folge an seiner Schrift „Hydrodynamica“, für die er berühmt ist und publizierte sie 1738. Dies geschah, bevor sein Vater Johann seine Schrift „Hydraulica“ publizierte. Um sich Priorität zu sichern, datierte

<sup>561</sup> „... der gegen mich vor Wut, Haß, Neid und Eifersucht platzt.“

<sup>562</sup> Formulierung von Otto Spieß in Anspielung auf Matthäus, 13, 57 „...der Prophet gilt wenig im eigenen Lande und in seiner Stadt“

<sup>563</sup> „Dort ist mein Vaterland, wo ich genährt (geweidet) werde, nicht wo ich geboren werde. Dort, wo ich beachtet bin, nicht wo ich geboren ward.“

<sup>564</sup> Es ist zu vermuten, daß man diese Abordnung als eine Art „Sabbatical Semester“ betrachten kann, denn es ist schwer vorstellbar, was ein Mathematikprofessor von Rang täglich an einem Gymnasium inspizieren sollte, ein ganzes Jahr lang! Sicher wollte man die Lehrer für Physik oder Mathematik durch diese Maßnahme bessern. Sie erscheint aber völlig überzogen, und vor allem für Bernoulli tödlich langweilig.

<sup>565</sup> *Essaie d'une Nouvelle Théorie de la Manoeuvre des Vaisseaux*, Basel 1713

Johann seine Schrift auf 1732 bei der Drucklegung 1742 vor. Dieser Umstand ist heute durch Forschungen gesichert. Offensichtlich war Johann Bernoulli nicht zimperlich in der Wahl seiner Mittel, sich den ihm zustehenden Ruhm zu sichern. So muß man denn auch die Zitate und Formulierungen in seiner Preisschrift 1734 mit diesem Wissen lesen. Es schmeichelt sicher den Preisrichtern, wenn sie in einer eingereichten Schrift zitiert und gerühmt werden. Natürlich ist gleichzeitig seine Hochschätzung für Leonhard Euler, der ihm mehrfach vorgezogen wurde, zu beachten. Dessen Genie hat er offensichtlich trotz Konkurrenzdenken anerkannt.

Nachbemerkung:

Es besteht eine gewisse Tragik darin, daß ein Mensch mit brillanten mathematischen Leistungen und einem starken Drang zum Ruhm, dessen Nachname vielen Wissenschaftlern geläufig ist, trotzdem mit seinem Nachnamen allein weder

*mit den Bernoullischen Zahlen (Jacob), noch*

*der Bernoulli-Verteilung (Jacob), noch*

*der Bernoullischen Lemniskate (Jacob und Johann(I)), noch*

*den Bernoullischen Polynomen (Jacob), noch*

*dem Bernoullischen Gesetz der großen Zahl (Jacob), noch*

*die Bernoullische Ungleichung (Jacob), noch*

*der Bernoulli-Hôpital'schen Regel (Johann(I) und l'Hôpital), noch*

*der Bernoullischen Gleichung für strömende Flüssigkeiten (Daniel), noch*

*der Bernoullischen Konstante (Daniel)<sup>566</sup>*

als Namensgeber in Verbindung gebracht werden kann. Er wird immer als einer der vielen „Bernoullis“ erwähnt werden. Nur sein Name allein ist mit keinem seiner Forschungsergebnisse verbunden.

*Die Darstellung stützt sich auf folgende Texte:*

*Becker, Oscar u. Hoffmann, Jos., Geschichte der Mathematik, Bonn 1951*

*Dieudonné, J. Abrégé d'histoire des mathématiques 1700-1900, I et II; Paris 1978; deutsch Braunschweig 1985*

*Fleckenstein, J.O. in DSB, Dictionary of Scientific Biographies.....*

*Fleckenstein, J.O, Johann I Bernoulli als Kritiker der „Principia“ Newtons, in Elemente der Mathematik 1946, S. 100*

*Krafft, Fritz u. Meyer-Abich, Große Naturwissenschaftler, Frankfurt 1970*

*Smith, D.E., History of Mathematics, New York 1958*

*Spieß, Otto, Die Mathematiker Bernoulli, Rede zum 200. Todestag von Johann (I) Bernoulli, Basel 1948*

*O'Connor, John and Robertson, Edmund F., Math. Inst. Of St. Andrews /Scotland , Internet-Papers unter <http://www-history.mcs.st-and.ac.uk/history/Mathematicians> (Stand 26.10.98)*

<sup>566</sup>

Vorsichtigerweise erhebe ich keinen Anspruch auf Vollständigkeit bei der Aufzählung von mathematischen oder physikalischen Sachverhalten, die mit „Bernoulli“ verbunden sind.

## Literaturverzeichnis

### übersetzte Quellen:

- 1) BERNOULLI, Daniel, RECHERCHES PHYSIQUES ET ASTRONOMIQUES sur le probleme proposé pour la seconde fois par l'Académie Royale des Sciences de Paris. *Quelles est la cause physique de l'inclinaison des Plans des Orbites des Planetes par rapport au plan de l'Equateur de la revolution du Soleil autour de son axe; Et d'où vient que les inclinaisons de ces orbites sont differentes entre elles.* in Prix 1735, Paris; hier: nach Speiser, Andreas [Hrsg.], Daniel Bernoulli, Werke Bd. 3 Seite 303 – 326, Basel 1987 (IVb.1-St.24)  
Traduite en Français<sup>567</sup> par son Auteur
  
- 2) BERNOULLI, Johann, Essai d'une nouvelle Physique Céleste, servant à expliquer les principaux Phenomènes du Ciel, & en particulier la cause physique de l'inclinaison des Orbites des Planetes par raport<sup>568</sup> au plan de l'Equateur du Soleil, in Prix 1735, Paris; hier nach :  
Johannis Bernoulli OPERA OMNIA tam ante sparsim edita quam hactenus inedita. Tomus Tertius, LAUSANNE & GENEVAE MDCCXLII (1742) (N<sup>o</sup> CXLVI)
  
- 3) EULER, Leonhard, DE CAUSA GRAVITATIS in Aiton, Kleinert [Hrsg.], LEONHARDI EULERI OPERA OMNIA Ser. III, Vol. 31, Commentationes Mechanicae et Astronomicae ad Physicam Cosmicam pertinentes, Basel 1996 S. 373-378
  
- 4) HUGENS, Christian, Discours de la cause de la pesanteur, Leiden 1690.  
Nachgedruckt in Soc. Holl. d. Sciences [Hrsg.], Œuvres complètes de Christian Huygens, La Haye 1937; Tome XXI, p.427ff.
  
- 5) LEIBNIZ, Gottfried Wilhelm, Tentamen de motuum coelestium causis, in GERHARDT C. I. [Hrsg.]  
G.W.LEIBNIZ, Mathematische Schriften Band VI, S. 161 bis 187  
Reprografischer Nachdruck Hildesheim 1962 von ursprünglich  
Leibnizens Mathematische Schriften, Zweithe Abtheilung<sup>569</sup>, Bd. II innerhalb  
Leibnizens Gesammelte Werke aus den Handschriften  
der Königlichen Bibliothek zu Hannover, hrsg. v. G.H.Pertz,  
Dritte Folge Mathematik, Band VI Halle, 1860
  
- 6) Aus dem Brief von GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ an CHRISTIAN HUYGENS, abgedruckt in GERHARDT, LEIBNIZ' Mathematische Schriften Bd. VI, S. 187- 193

---

<sup>567</sup> Druckfehler „François“ berichtigt.

<sup>568</sup> Originalschreibweise „raport“ anstelle von „rapport“.

<sup>569</sup> Originalschreibweise

### weitere zitierte Literatur

- 1) AITON, E.J., The celestial Mechanics of LEIBNIZ, Annals of Science, 1960, S 65
- 2) AITON, E.J., The Vortex Theory of Planetary Motions, New York 1972,
- 3) ALCOBA, Manuel Luna [Hrsg.], G.W.LEIBNIZ: Geschichte des Kontinuumproblems, Studia Leibnitiana XXVIII, 1996, S. 183
- 4) Alquié, Ferdinand (Hrsg.), DESCARTES, Oeuvres philosophiques, Paris 1967
- 5) BADINTER, Elisabeth, Les Passions intellectuelles, Tome I, Désirs de gloire 1735-1751, Paris 1999
- 6) BECKER, Oskar und HOFMANN, Joseph, Geschichte der Mathematik, Bonn 1951
- 7) BERNOULLI, Daniel an BOUGUER, empfangen am 28.5.1734 und zitiert nach Transkriptionen im Editionsarchiv der Bernoulli-Edition Basel
- 8) BERNOULLI, Jean, (De causis physicis ellipticarum figurarum) Nouvelles pensées sur le système de Descartes et la manière d'en déduire les orbites et les aphélie des planetes, (prix, Paris 1730) - Opera Tomus III, p.131
- 9) BERNOULLI, Jean, ESSAI D'UNE NOUVELLE THEORIE DE LA MANOEUVRE DES VAISSEAUX; Basel 1714. Abgedruckt in OPERA OMNIA, Tome II, S.4
- 10) BERTRAND, Joseph Louis François, (1822 – 1900 ), Calcul de probabilités, 1888
- 11) BIANCHINI, Francesco (1662-1729) „Hesperii et Phosphori nova phenomena, sive Observationes circa planetam Veneris, Roma 1728
- 12) BRUNET, Pierre, L'introduction des théories de NEWTON en France au XVIII<sup>e</sup> Siècle, Paris 1931
- 13) BULFFINGER, De causa gravitatis physica generali disquisitio experimentalis, Paris 1728
- 14) CASSINI (le fils), De la figure de la terre, mémoires de l'Académie des Sciences Paris, 1713, p. 188
- 15) CASSINI (le fils) aus dem Jahre 1703 über Beobachtung von Sonnenflecken zwischen dem 24. Mai 1703 bis zum 3. Juni 1703, mémoires de l'Académie des Sciences Paris, 1703
- 16) DANIEL BERNOULLI an EULER v. 16.März 1737 in Correspondence of scientific men of the XVIIth century, [Rigaud St. J. Hrsg.], Oxford 1848, S. 438-439
- 17) De l'HÔPITAL, Guillaume François Antoine, Marquis de St. Mesme, Analyse des infiniment petits pour l'intelligence des lignes courbes, Paris 1696

- 18) de MAIRAN, Dortous de, Nouvelles Conjectures sur la cause du mouvement diurne de la terre sur son axe d'occident en orient, Mémoires de l'Académie Royale des Sciences 1729
- 19) de MAIRAN, Dortous de, Recherches Géométriques sur la Diminution des degrés terrestres. In: Mémoires de l'Académie Royale de Paris 1720, S. 231
- 20) DESCARTES, Principia philosophiae, Amsterdam 1644 bzw. Les principes de la philosophie, Paris 1647, ins Französische übersetzt von Abbé Picot, überprüft und genehmigt von Descartes, abgedruckt in ALQUIÉ a.a.O (Verz. Nr. 4).
- 21) DESCARTES, René, Traité de la Lumière, in Tripp [Hrsg.], Traité de la Lumière, Weinheim 1989
- 22) DIEUDONNÉ, J. Abrégé d'histoire des mathématiques 1700-1900, I et II; Paris 1978; deutsch, Braunschweig 1985
- 23) EINSTEIN, Albert, Die Ursache der Mäanderbildung der Flussläufe<sup>570</sup> und des BAERSCHEN Gesetzes, in: Mein Weltbild, Ullstein (Berlin?) ohne Orts- und Jahresangabe.
- 24) EULER, Leonhard, Anleitung zur Naturlehre, posthum, abgedruckt in LEONHARDI EULERI OPERA OMNIA Ser. III, Vol. 1, Commentationes Physicae, Leipzig/ Berlin 1926
- 25) EULER, Leonhard, Briefe an eine Deutsche Prinzessin<sup>571</sup> über verschiedene Gegenstände aus der Physik und Philosophie, Leipzig 1769-1763; nachgedruckt in SEXL, U. und v. MEYENN, K. [Hrsg.], Edition Vieweg Bd. 3, Braunschweig 1986. Das französische Original findet sich in Euler, Leonhard, Opera Omnia, Ser. III, 11 und 12, Basel 1960.
- 26) EULER, Leonhard, DE CAUSA GRAVITATIS in LEONHARDI EULERI OPERA OMNIA Ser. III, Vol. 31, Basel 1996 S. 373-378
- 27) EULER, Leonhard, Dissertatio de Magnete, Enestroem 109, OPERA OMNIA Ser. III, 10
- 28) Extrait de la Réponse de M. BERNOULLI à M. Hermann, datée de Basle le 7, Octobre 1710, Mém. Acad. Paris, pp. 521-533.
- 29) FATIO de DUILLERS an Ch. HUYGENS v.28.Dez.1691, in Oeuvre de Christian Huygens, T. 10, N° 2723, S.21
- 30) FATIO de DUILLIER, Nicolas, Lineae brevissimi descensus investigatio geometrica duplex, London 1699

---

<sup>570</sup> Originalschreibweise

<sup>571</sup> Originalschreibweise



- 31) FISCHER, Johann Carl, Geschichte der Naturwissenschaften. I. Geschichte der Naturlehre in: Geschichte der Künste und Wissenschaften seit der Wiederherstellung derselben bis an das Ende des achtzehnten Jahrhunderts. Von einer Gesellschaft gelehrter Männer ausgearbeitet  
Achte Abtheilung<sup>572</sup>, Göttingen 1802
- 32) FLECKENSTEIN, J.O, Johann I Bernoulli als Kritiker der „Principia“ Newtons, in Elemente der Mathematik , I/6, 1946,
- 33) FLECKENSTEIN, J.O. in DSB, Dictionary of Scientific Biographies Stichwort “Bernoulli”
- 34) FONTENELLE, Bernard le Bovyer de, Entretiens sur la pluralité des mondes, Paris 1686
- 35) GILBERT, William, DE MAGNETE, MAGNETISQUE CORPORIBUS ET DE MAGNA MAGNETE TELLURE, PHYSIOLOGIA NOVA , London 1600
- 36) HALL/HALL, Unpublished scientific papers of Isaac Newton, Cambridge 1962
- 37) <http://planetescapes.com/solar/germ/saturn.htm>
- 38) HUYGENS, Christian, TRAITE DE LA LUMIERE, Leide(n) 1690, nachgedruckt in Soc. Holl. d. Sciences [Hrsg.], Oeuvre complètes de Christian Huygens, La Haye 1937; Tome XIX
- 39) HUYGENS, Christian, Cosmotheoros, Den Haag 1698, nachgedruckt in Soc. Holl. d. Sciences [Hrsg.], Oeuvre complètes de Christian Huygens, La Haye 1937; Tome XXI
- 40) KANT, Immanuel, Allgemeine Naturgeschichte und THEORIE DES HIMMELS oder VERSUCH VON DER VERFASSUNG UND DEM MECHANISCHEN URSPRUNGE DES GANZEN WELTGEBÄUDES NACH NEWTONISCHEN GRUNDSÄTZEN ABGEHANDELT, Leipzig 1755; Nachdruck OSTWALD’S Klassiker der exakten Wissenschaften Nr.12, 1898 (A.J.von Oettingen [Hrsg.]
- 41) KEPLER, Johannes, Astronomia Nova (1610), in Johannes Kepler, Gesammelte Werke V von Max Caspar [Hrsg.], München, 1953
- 42) KEPLER, Johannes, ASTRONOMIA NOVA(1619), in FRISCH [Hrsg.], Kepleri Opera Omnia Vol. III, Frankfurt / Erlangen 1858-79
- 43) KEPLER, Johannes, Epitome Astronomiae Copernicanae (1618) in Johannes Kepler, Gesammelte Werke VII von Max Caspar [Hrsg.], München, 1953
- 44) KEPLER, Johannes, Harmonices Mundi (1619) in Johannes Kepler, Gesammelte Werke von Max Caspar [Hrsg.], München, 1953

---

<sup>572</sup>

Originalschreibweise

- 45) KEPLER, Johannes, Tabulae Rudolphinae, in Johannes Kepler, Gesammelte Werke VII von Max Caspar [Hrsg.], München, 1953
- 46) KLEINERT, ANDREAS, Einleitung zu DE CAUSA GRAVITATIS in LEONHARDI EULERI OPERA OMNIA Ser. III, Vol. 31, Basel 1996, Introduction LXXXVII
- 47) LAEVEN, A.H., De „Acta Eruditorum“ onder redactie van Otto Mencke, Amsterdam 1986
- 48) LE SAGE, Georges-Louis, Essai de Chymie mécanique, Rouen 1758
- 49) LEIBNIZ, Gottfried Wilhelm, Essay de Dynamique..., in GERHARDT, LEIBNIZ math. Schriften VI, 117 S. 215
- 50) LEIBNIZ, Gottfried Wilhelm, Brevis demonstratio erroris memorabilis Cartesii et aliorum circa legem naturalem, secundum quam volunt a Deo eandem semper quantitatem motus conservari, qua in re mechanica abutuntur, ACTA ERUDITORUM, Leipzig 1686, abgedruckt in GERHARDT, LEIBNIZ math. Schriften VI, 117
- 51) LEIBNIZ, Gottfried Wilhelm, Excerptum ex Epistola Autoris quam pro sua Hypothesi physica motus planetarii ad amicum scripsit, Acta eruditorum Lipsiae an. 1706 in GERHARDT, LEIBNIZ math. Schriften VI, 276
- 52) LEIBNIZ, Gottfried Wilhelm, Tentamen de motuum coelestium causis, in ACTA ERUDITORUM, anno M DC LXXX IX publicata, Lipsiae
- 53) Leibniz, Gottfried Wilhelm, Geschichte des Kontinuumproblems, Manuskript, in ALCOBA, Manuel Luna [Hrsg.], Studia Leibnitiana XXVIII, 1996, S. 183
- 54) MAIRAN, (Dortous de), RECHERCHES GEOMETRIQUES SUR LA DIMINUTION DES DEGRE'S TERRESTRES En allant de l'équateur vers les Poles, Hist. de l'académie Royale DCCXX, avec les Mémoires de Matématique & de Phisique pour la même Année<sup>573</sup>, p.231-277
- 55) MAIRAN, Dortous de, Nouvelle conjectures sur la cause du mouvement diurne de la terre sur son axe d'occident en orient, Mémoires de l'Academie Royal Paris 1729
- 56) MAUPERTUIS, Pierre Louis Moreau de, „Essai de Cosmologie, Amsterdam 1750
- 57) MAUPERTUIS, Pierre Louis Moreau de, Discours sur les differentes <sup>574</sup>figures des astres, avec une exposition des systèmes de Descartes et de Newton, Paris 1732.
- 58) NEWTON, Isaac, Philosophiae Naturalis Principia Mathematica (1689), abgedruckt in OPERA QUAE EXTANT OMNIA, London 1779-1785 (Horsley- Ausgabe), Faksimile-Neudruck Stuttgart 1964

---

<sup>573</sup> Originalschreibweise

<sup>574</sup> Originalschreibweise

- 59) NEWTON, Isaac, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1689), abgedruckt in *OPERA QUAE EXTANT OMNIA*, London 1779-1785 (Horsley- Ausgabe), Faksimile-Neudruck mit Kommentar von COHEN /KOYRÉ, Cambridge (Mass.) 1972
- 60) NEWTON, *Opticks, or a Treatise of the reflections, refractions, inflexions of light*, 3<sup>rd</sup> edition, London 1721, Nachdruck bei DOVER, New York 1979
- 61) O'CONNOR, John and ROBERTSON, Edmund F., *Math. Inst. of St. Andrews /Scotland*, Internet-Papers unter <http://www-history.mcs.st-and.ac.uk/history/Mathematicians>
- 62) POLONI, Joannis, *Dialogus de vorticibus coelestibus*, Padua 1712
- 63) POLONI, Joannis, *Epistolarum Mathematicarum Fasciculus*, Padua 1728
- 64) PREVOST, Pierre, *Notice de la vie et des écrits de Georges-Louis Le Sage de Genève*, Genève 1805.
- 65) SALTZER, Walter, *Problematisches zu Newtons Principia*; in Gotstedter, Anton von [Hrsg.], *Ad Radices*, Stuttgart 1994, S.553 -561
- 66) SPIEß, Otto, *Die Mathematiker Bernoulli*, Rede zum 200. Todestag von Johann (I) Bernoulli, Basel 1948
- 67) van LUNTEREN, Frans Herbert, *Framing Hypotheses, concepts of gravity in 18th and 19th centuries*, Proefschrift van de graad van doctor, Utrecht 1991
- 68) VILLEMOT, Philippe, *Nouveau système ou nouvelle explication du mouvement des planètes*, Lyon 1707
- 69) VOLTAIRE, *Diatribes du docteur Akakia*, Berlin 1752, Manuskript. Unautorisierte Nachdrucke
- 70) VOLTAIRE, *Werke Bd. 15, Eléments de la Philosophie de NEWTON (1734)*, Oxford 1992

### **Nachschlagewerke**

- 1) BRAUDEL Fernand, *Sozialgeschichte d. 15. bis 18. Jahrhunderts*, Frankfurt a.M. 1985
- 2) GEORGES, Karl Ernst, *Lateinisch- Deutsches Handwörterbuch*, Leipzig 1880
- 3) Gillispie, Charles, [Hrsg.], *DSB, Dictionary of Scientific Biography*, New York 1973
- 4) KRAFFT, Fritz u. MEYER-ABICH, *Große Naturwissenschaftler*, Frankfurt 1970
- 5) MENZEL, Donald H., *Astronomy*, New York 1970
- 6) MEYERS *Handbuch über das Weltall*, Mannheim 1961

- 7) MEYERS Lexikon, Leipzig 1927 und Mannheim 1973
- 8) MEYERS Lexikon der Technik und der exakten Naturwissenschaften, Mannheim 1970
- 9) O'CONNOR, John and ROBERTSON, Edmund F., Math. Inst. of St. Andrews /Scotland , Internet-Papers unter <http://www-history.mcs.st-and.ac.uk/history/Mathematicians>
- 10) POGGENDORFF, Johann Christian, Poggendorffs Annalen 1897 -, Leipzig 1863
- 11) SACHS, Charles und VILLATTE, Césaire, Enzyklopädisches Wörterbuch Französisch - Deutsch, Berlin 1905
- 12) SMITH, History of Mathematics, Boston, 1925; Nachdruck New-York 1958
- 13) STOWASSER, Joseph M., Lateinisch- Deutsch, Wien 1994
- 14) STRUVE, Otto, Astronomie, Berlin 1963
- 15) TRAPP, Kl. Handbuch der Maße, Zahlen, Gewichte und der Zeitrechnung, Stuttgart 1998

## Lebenslauf

Geboren am 27.10.1934 in Alzey/ Rheinhessen.

Durch Krieg bedingte turbulente Schulzeit an diversen Volks- und Mittelschulen. Schließlich Abitur am 9.3.1954 an der Pestalozzi- Aufbauschule Alzey / Rhh.

SS 1954 bis WS 1957/58 Studium der Fächer Mathematik, Physik, Philosophie und Pädagogik an der Johannes Gutenberg- Universität Mainz.

Meine akademischen Lehrer waren Rohrbach, Köthe, Grunsky, Schäfke und Neumer in Mathematik, Klumb, Klages, Bechert, Müller und Schubert in Physik. In Philosophie hörte ich Martin, in Pädagogik Holzamer, in Psychologie Wellek, ferner im „Studium Generale“ Stuloff, Geschichte der Mathematik, und Kühn, Vor- und Frühgeschichte.

SS 1958 bis WS 1958/59 Examensemester; 23.Feb.1959 Staatsexamen mit Lehrbefähigung für das Gymnasium in Mathematik und Physik. Publikation der Staatsarbeit im Fach Mathematik in „Ärztliche Forschung, 13/H.2 Feb.1959, S.67“ unter dem Titel:

„Albrecht, Joachim und Nick, Klaus, Zur Prüfung virusinaktivierender Maßnahmen mit Hilfe des Tierversuchs“.

1959 Eheschließung mit Karola Eberhardt.

Ab April 1959 Studienreferendar am Staatl. Nordpfalzgymnasium Kirchheimbolanden/Pfalz. 1960 wechselte ich dann ans Altsprachliche und Naturwissenschaftliche Gymnasium Speyer. Am 13.3.1961 zweites Staatsexamen für das Lehramt an Gymnasien. (Assessor des Lehramtes)

Wechsel ins Bundesland Hessen.

Ab 1.4.1961	„Assessor im Lehramt“ an der Goetheschule, Gymnasium des Landkreises Offenbach.	
27.3.1962	Studienassessor	Beamter a. Widerruf.
16.8.1962		Beamter a. Probe.
7.4.1965	Studienrat	Beamter a. Lebenszeit.
24.10.1970	Wechsel der Dienststelle: Studienseminar für das Lehramt an Gymnasien Offenbach am Main. Fachleiter mit erziehungs- und gesellschaftswissenschaftlichem Schwerpunkt.	
1.1.1970	Studiendirektor.	
1.3.1974	Fachleiter für Mathematik am Studienseminar Offenbach a.M.	
31.7.1997	Pensionierung auf eigenen Wunsch.	
WS 1997/98	Aufnahme eines Promotionsstudiums am Fachbereich 13 der Johann Wolfgang Goethe- Universität Frankfurt am Main. Arbeit am Institut für Geschichte der Naturwissenschaften. Akademische Lehrer: Saltzer, King und Eisenhardt.	

Sonstige weitere Veröffentlichungen:

Gemeinsam mit Heinrich Dücker die Endredaktion des Buches:

Andelfinger et al., Mathematik für Erwachsene, Westermann 1970 (Theorie und Praxis der Erwachsenenbildung Bd. 72, dort auch der Artikel „Mathematik für Eltern“.

Weitere kleinere didaktische Artikel in MNU und mathe matica didactica.