

**Die Aetherhypothesen
von Descartes bis Fresnel,**

ihre Inhalt und ihre Entwicklung.



Von Dr. phil. P. Beda Anderhalden O. S. B.



Verzeichnis der citierten Werke.

- Ange P.*, L'optique divisée en trois livres. Paris 1682.
- Arago Fr.*, Sämtliche Werke, Deutsche Originalausgabe von W. G. Hankel. 13 Bände. Leipzig 1854—60.
- Aristoteles*, Opera omnia, Ausgabe Didot, Parisii 1848.
- Auerbach F.*, Kanon der Physik. Leipzig 1899.
- Bernoulli Jac.*, Dissertatio de gravitate aetheris. Amstelædami 1683.
- Bernoulli Joh.*, Opera omnia. Laus. et Gen. 1742.
- Recherches physiques et géométriques sur la question: Comment se fait la propagation de la lumière? Recueil des pièces de prix de l'Acad. de Paris. Tom. III. Paris 1752.
- Biese F.*, Die Philosophie des Aristoteles in ihrem innern Zusammenhange, mit besonderer Berücksichtigung des philosophischen Sprachgebrauchs aus dessen Schriften entwickelt. 2 Bände. Berlin 1835—42.
- Boscovich R. G.*, Theoria philosophiæ naturalis redacta ad unicam legem virium in natura existentium. Venetiis 1763.
- Dissertatio de lumine. Vindobonæ 1766.
- Opera pertinentia ad opticam et astronomiam. Bassani 1785. 5 Volumina.
- Boyle R.*, Experimenta et considerationes de coloribus. Gen. 1680.
- Introductio ad historiam qualitatum particularium. Gen. 1680.
- Brewster D.*, Sir Isaak Newton's Leben, nebst einer Darstellung seiner Entdeckungen. Deutsch von Goldberg. Leipzig 1833.
- Burckhardt-Bremser Fr.*, Leonhard Eulers Lehre vom Licht. Basel 1869. (Programm).
- Cavallo T.*, Abhandlung der theoretischen und praktischen Lehre von der Elektrizität, nebst einigen Versuchen. Aus dem Englischen übersetzt von Gehler und Baumann. 2 Bände. 4. Auflage. Leipzig 1797.
- Des-Cartes R.*, Opera philosophica Amstelodami 1656.
- Mundus, sive dissertatio de lumine, in opusculis posthumis. Amst. 1704.
- Dressel L.*, Elementares Lehrbuch der Physik. 2. Auflage. Freib. Br. 1900.
- Drude P.*, Physik des Aethers auf elektromagnetischer Grundlage. Stuttgart 1894.
- Euler L.*, Lettres à une princesse d'Allemagne sur divers sujets de physique et de philosophie. 2 Vol. Paris 1859.
- Fischer J. C.*, Geschichte der Physik seit der Wiederherstellung der Künste und Wissenschaften bis auf die neueste Zeit. 8 Bände. Göttingen 1801—1808.
- Franklin B.*, Briefe von der Elektrizität. Aus dem Englischen übersetzt von J. C. Wilcke. Leipzig 1758.
- Fresnel A.*, Oeuvres complètes publiées par M. M. Henri de Senarmont, E. Verdet et Léonor Fresnel. 3 Tomes, Paris 1866—70.
- Gehler J. S. T.*, Physikalisches Wörterbuch, oder Versuch einer Erklärung der vornehmsten Begriffe und Kunstwörter der Naturlehre. Neu bearbeitet von Brandes etc. 22 Bände. Leipzig 1825—42.
- Gilberts Annalen der Physik.*
- Grimaldi Fr.*, Physico-mathesis de lumine, coloribus et iride, Opus posthumum. Bononiæ 1665.
- Grosse W.*, Der Aether und die Fernkräfte, mit besonderer Berücksichtigung der Wellentelegraphie. Leipzig 1898.
- Guericke Ottonis de*, Experimenta nova (ut vocantur) Magdeburgica de vacuo spatio. Amstelodami 1672.
- Gutberlet C.*, Allgemeine Metaphysik. 2. Auflage. Münster 1890.
- Heller A.*, Geschichte der Physik von Aristoteles bis auf die neueste Zeit. 2 Bände. Stuttgart 1882—84.
- Herschel W.*, Vom Licht. Deutsch von E. Schmidt. Stuttgart und Tübingen 1831.
- Hertz A.*, Gesammelte Werke. 2 Bände. Leipzig 1895.
- Humboldt A. von*, Kosmos; Entwurf einer physischen Weltbeschreibung. Stuttgart und Tübingen 1845—62.
- Huygens Chr.*, Traité de la lumière. Où sont expliquées les causes de ce qui luy arrive dans la Reflexion et dans la Refraction. En particulierement dans l'étrange Refraction du Cristal d'Islande. Avec un discours de la cause de la pesanteur. Leide 1690.
- Opuscula posthuma quæ continent dioptricam. Lugd. Bat. 1703.
- Jallabert*, Expériences sur l'électricité, avec quelques conjectures sur la cause de ses effets. Paris 1749.
- Kant J.*, Werke (Hartenstein). Leipzig 1839.
- Kircher A.*, Ars magna lucis et umbræ in X libros digesta. Amstelodami 1671.
- Iter exstaticum coeleste s. Opificium quo cœli siderumque natura, vires et structura exponuntur. Herbipoli 1660.
- Lesage G. L.*, Luerèce Newtonien. Nouv. Mém. de l'Acad. Royale de Berlin. Berlin 1782.

Libri G., Histoire des sciences mathématiques en Italie. Deuxième édition. Halle s./S. 1865.
Lloyd H., Abriss einer Geschichte der Fortschritte und des gegenwärtigen Zustandes der physischen Optik. Deutsch von Kløden. Berlin 1836.
Malebranche N., De la recherche de la vérité. 4 Tomes. Paris 1762.
Marbach (Cornelius), Physikalisches Lexikon. Leipzig 1850.
Michelitsch A., Atomismus, Hylomorphismus und Naturwissenschaft. Graz 1897.
Miething E., Leonard Eulers Lehre vom Aether. Berlin 1894. (Programm.)
Newton J., Philosophiæ naturalis principia mathematica. Ausgabe Le Seur et Jacquier. Glasguæ 1822.
— Optice. Lateinische Ausgabe von Samuel Clarke. Laus. et Genev. 1740.
— Opuscula mathematica, philosophica et philologica. Rec. J. Castillionæus. Laus. et Genev. 1744.
Paulian A. H., Dictionaire de physique. 3 Tomes. Avignon 1761.
Pesch T., Institutiones philosophiæ naturalis secundum principia S. Thomæ Aquinatis. Frib. Br. 1897.
— Institutiones logicales secundum principia S. Thomæ Aquinatis. Frib. Br. 1888—90.
— Die grossen Welträtsel. Philosophie der Natur. Frib. Br. 1883—84.
Physikalische Zeitschrift, herausgegeben von E. Riecke und H. Th. Simon. Leipzig 1899 ff.
Poggendorf J. C., Geschichte der Physik. Leipzig 1879.
Priestley J., Geschichte und gegenwärtiger Zustand der Elektrizität, nebst eigentümlichen Versuchen. Deutsch von J. G. Krünitz. Berlin u. Stralsund 1772.

— Geschichte und gegenwärtiger Zustand der Optik. Deutsch von G. S. Klügel. Leipzig 1776.
Rosenberger F., Geschichte der Physik. 3 Teile. Braunschweig 1882—90.
— Newton und seine physikalischen Prinzipien. Leipzig 1895.
Secchi A., Die Einheit der Naturkräfte. Ein Beitrag zur Naturphilosophie. Autorisierte deutsche Uebersetzung von L. R. Schulze. 2. Auflage. Braunschweig 1891.
Schneid M., Naturphilosophie nach dem Geiste des hl. Thomas von Aquin. Dritte Auflage. Paderborn 1890.
— Ueber Fernwirken. In den Hist.-polit. Blättern, Bd. 95.
Schröder A., Untersuchungen über den Lichtäther. Stargard 1884. (Programm.)
S. Thomæ Aquinatis, Summa theologia. Migne. Par. 1864.
— Quæstiones disputatæ de potentia. Ed. Vives.
Verdet E., Oeuvres, publiées par les soins de ses élèves. Paris 1869—72.
— Vorlesungen über die Wellentheorie des Lichtes. Deutsch bearbeitet von K. Exner. 2 Bände. Braunschweig 1881.
Whewell W., Geschichte der induktiven Wissenschaften. Deutsch von J. J. Littrow. 3 Bände. Stuttgart 1840—41.
Wiedemanns Annalen, Bd. 41 ff.
Wilde E., Geschichte der Optik. 2 Bände. 1838—43.
Wolfers I. Ph., Sir Isaak Newtons mathematische Prinzipien der Naturlehre. Berlin 1872.
Zeller E., Die Philosophie der Griechen in ihrer geschichtlichen Entwicklung. 3. Auflage. Leipzig 1879.



Einleitung.

Anlässlich der Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte zu Heidelberg im Jahre 1889 sagte H. Hertz in seiner Rede über die Beziehungen zwischen Licht und Elektrizität: „Es erhebt sich die gewaltige Hauptfrage nach dem Wesen, nach den Eigenschaften des raumerfüllenden Mittels, des Aethers, nach seiner Struktur, seiner Ruhe oder Bewegung, seiner Unendlichkeit oder Begrenztheit. Immer mehr gewinnt es den Anschein, als überrage diese Frage alle übrigen, als müsse die Kenntnis des Aethers uns nicht allein das Wesen der ehemaligen Imponderabilien offenbaren, sondern auch das Wesen der alten Materie selbst und ihrer innersten Eigenschaften, der Schwere und der Trägheit. Die Quintessenz uralter physikalischer Lehrgebäude ist uns in den Worten aufbewahrt, dass alles, was ist, aus dem Wasser, aus dem Feuer geschaffen sei. Der heutigen Physik liegt die Frage nicht mehr ferne, ob nicht etwa alles, was ist, aus dem Aether geschaffen sei? Diese Dinge sind die äussersten Ziele unserer Wissenschaft, der Physik.“¹⁾

Diese überzeugungsvollen Worte des gelehrten Forschers sind für unsern Gegenstand von umso grösserer Tragweite, als man aus der Geschichte der Physik weiss, dass die Meinungen über die Bedeutung, ja sogar über die Berechtigung der Aetherhypothese oft geteilt waren. Auch in unserer Zeit gibt es noch Gegner des Aethers und der auf ihn Bezug nehmenden Hypothesen.²⁾ Zweifelsohne geht aber die Ansicht der massgebendsten Vertreter der Physik dahin, dass die Existenz des Aethers bis zur Gewissheit wahrscheinlich ist, mögen auch die besondern Annahmen über seine Eigenschaften zuweilen auseinander gehen. H. Hertz spricht sich beispielsweise über die Existenz des Aethers folgendermassen aus: „Nehmt aus der Welt den lichttragenden Aether, und die elektrischen und magnetischen Kräfte können nicht mehr den Raum überschreiten“, und weiter sagt er: „Die Wellentheorie des Lichtes ist, menschlich gesprochen, Gewissheit; was aus derselben mit Notwendigkeit folgt, ist ebenfalls Gewissheit. Es ist also auch gewiss, dass aller Raum, von dem wir Kunde haben, nicht leer ist, sondern erfüllt mit einem Stoffe, der fähig ist, Wellen zu schlagen, dem Aether.“³⁾

Was den Aether stets in gewissem Sinne hypothetisch erscheinen lässt, das ist seine „Unwägbarkeit“; er gehört zu den sogenannten Imponderabilien. Zu dieser Klasse von Körpern rechnete man ehemals den Wärmestoff, das magnetische und elektrische Fluidum und den Lichtäther. „Es sind das Stoffe, deren Existenz aus den Erscheinungen erschlossen wurde, ohne dass es gelungen wäre, diejenige Eigenschaft festzustellen, durch welche die gewöhnliche Materie ihre Existenz in erster Reihe kund gibt: die Masse, resp. die durch sie gemessene Trägheit oder Kraftkapazität. Damit ist die durch den Namen ausgedrückte weitere Eigenschaft verknüpft, dass sich diese Stoffe nicht wägen lassen. Im übrigen ist

¹⁾ Gesammelte Werke von H. Hertz, Bd. I. S. 354.

²⁾ Die Ansichten einiger Gelehrten gehen dahin, es sollte der Aether etwa durch eine Fortsetzung der Erdatmosphäre oder durch ein anderes ponderables dünnes Gas ersetzt werden. So Volkmann, Vorlesungen über die Theorie des Lichtes, S. 30; Auerbach, Kanon der Physik, S. 101.

³⁾ A. a. O. Bd. I. S. 339 f.

die Hypothese der Existenz eines Wärmestoffes aufgegeben, und die drei übrigen Imponderabilien haben sich auf einen einzigen, den elektrischen, magnetischen und optischen Erscheinungen gemeinschaftlich zu Grunde liegenden Stoff, den Aether, reduziert. Nach seinem allgemeinen Verhalten müsste der Aether dem gasförmigen, nach seinem elastischen Verhalten dem festen Aggregatzustande angehören¹⁾

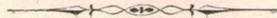
Gewiss kann man die grosse Bedeutung der Aetherhypothese als eines der Erkenntnismittel, welche der Naturlehre, insbesondere der Physik zu Gebote stehen, nicht in Abrede stellen. Darum ist der Versuch wohlberechtigt, einerseits den Inhalt der verschiedenen Aetherhypothesen darzulegen, und andererseits auf ihre mit dem Fortschritt der Physik innig verwachsene Entwicklung hinzuweisen. Es soll aber der Umfang vorliegender Arbeit so beschränkt werden, dass die vor Descartes ausgesprochenen Ansichten im Einleitungskapitel nur kurz charakterisiert werden; den eigentlichen Gegenstand der Darstellung bildet die Zeit von Descartes bis Fresnel. Im I. Teile behandeln wir die subtile Materie Descartes' und seiner Schule sowie die Vorläufer der Undulationstheorie bis Euler. Der II. Teil wird sich mit der Stellung beschäftigen, die Newton der Aetherhypothese gegenüber einnahm, und wird die Weiterentwicklung darlegen, welche diese Hypothese in neuerer Zeit bis Fresnel erfahren.

¹⁾ Auerbach F., a. a. O. S. 101.



I. Teil.

DESCARTES, JOH. BERNOULLI, GRIMALDI,
HOOKE, HUYGENS, EULER u. A.



I. Kapitel.

Charakteristik der Anschauungen vom Aether in der Zeit vor Descartes.

Die ersten Anschauungen von einer besonderen Aether genannten Materie tauchen schon im grauesten Altertum auf. A. v. Humboldt schreibt darüber: „Die Benennung Weltäther ist aus dem frühesten süd- und westasiatischen Altertume auf uns gekommen und hat im Laufe der Jahrhunderte nicht ganz dieselben Ideen bezeichnet. Bei den indischen Naturphilosophen gehörte der Aether (ākā'sa) zum Fünften, d. h. er ist eines der fünf Elemente: ein Fluidum unendlicher Feinheit, welches das Universum, das ganze Weltall durchdringt, sowohl der Anreger des Lebens als das Fortpflanzungsmittel des Schalles. Etymologisch bedeutet ākā'sa leuchtend, glänzend, und steht demnach in seiner Grundbedeutung dem Aether der Griechen so nahe, als leuchten dem brennen steht“.¹⁾ Mit dieser Angabe steht die Behauptung des Aristoteles im Einklang, wenn er sagt, dass der Name Aether aus uralter Zeit überliefert worden sei.²⁾

Der Aether (*αἰθήρ*) der Griechen war nach den Lehren der jonischen Naturphilosophie, nach Anaxagoras (geb. um 500 v. Chr., gest. um 428) und Empedokles (um die Mitte des 5. Jahrh. v. Chr.) von der eigentlichen Luft (*ἀήρ*) verschieden. Er war feuriger Natur, eine reine Feuerluft, hellstrahlend, von grosser Feinheit und ewiger Heiterkeit. Mit dieser Definition stimmt die Ableitung von brennen (*αἶθεον*). Der Aether des Empedokles hat indes als ein den Weltraum erfüllendes Mittel nur durch seine Feinheit und Dünne Analogie mit dem Aether der neueren Physik. Was beide Hypothesen des Aethers, die jonische und die neuere, von einander unterscheidet, ist die ursprüngliche, wenn auch von Aristoteles nicht ganz geteilte Annahme des Selbstleuchtens.³⁾

Bei Aristoteles (384—322 v. Chr.) findet sich zweifelsohne die Aetherhypothese am besten entwickelt, und man wird nicht fehl gehen, wenn man seine Auffassung als die am meisten massgebende ansieht. Es wird deshalb, dem Zwecke dieses Kapitels entsprechend, genügen, seine Anschauungen in ihren wesentlichen Zügen darzulegen, um die in diesem Zeitraume vorherrschenden Ansichten zu kennzeichnen.

Unter den Beweisgründen, die Aristoteles für die Existenz des Aethers anführt, findet sich folgender:

Einfache und ursprüngliche Bewegungen sind die geradlinige und die Kreisbewegung. Da es Körper geben muss, denen beide Arten von Bewegungen naturgemäss zukommen, so zerfallen sie in zwei Klassen, je nachdem ihnen eine der genannten Bewegungsarten eigen ist. Da nun keinem der bekannten vier Elemente (Erde, Wasser, Feuer, Luft) die Kreisbewegung von Natur aus zukommt, so muss es noch einen anderen Körper geben, und dies ist der Aether.⁴⁾ Dieser Definition entsprechend, leitet

¹⁾ Humboldt A., Kosmos, Bd. III, S. 42.

²⁾ Opera omnia. Meteor. I, 3.

³⁾ Humboldt, a. a. O. Bd. III, S. 42—43.

⁴⁾ Aristoteles, Opera omnia, De caelo I. 2.

Aristoteles das Wort Aether ab von der ewigen Bewegung (*ἀπὸ τοῦ θεῖν ἀεὶ*), und er tadelt den Anaxagoras, der, wie schon bemerkt worden, das Wort von „brennen“ ableitete, dass er den Aether mit dem Feuer identifiziere. Dieser Tadel scheint allerdings begründet zu sein, wenn man folgenden Gedankengang des Anaxagoras vor Augen hält. Der Nūs erteilte, so lehrt dieser, dem Chaos einen Anstoss, wodurch eine Wirbelbewegung in der Masse entstand, welche das Ungleichartige von einander trennte, das Gleichartige hingegen zusammenführte und so den gegenwärtigen Zustand des Universums veranlasste. So entstand der Aether, die Luft, das Wasser und die Erde. Einzelne Gesteinsmassen wurden in die Höhe gewirbelt, wo sie, vom Aether durchglüht, als Gestirne leuchten.¹⁾

Der Aether ist dem Stagiriten nicht ein besonderes Element, das von ihm den vier bekannten Elementen als fünftes (*quinta essentia*) wäre beigezählt worden. Ihm fehlt nämlich gerade das, was wesentlich zum Begriffe des Elementes gehört, der Gegensatz. Er ist gegensatzlos, weder leicht noch schwer, weshalb ihm auch nicht die geradlinige Bewegung zukommt, sondern die kreisende, in welcher es kein Unten und kein Oben gibt. Bei dieser Beschaffenheit ist er ohne Ab- und Zunahme, also ohne alle Veränderung und somit ewig und wesentlich verschieden von Erde, Feuer, Luft und Wasser. Mit ihm ist die ganze Welt der oberen Bewegungen erfüllt. Es existiert daher diese ätherische Substanz nicht selbständig für sich, sondern bildet den Stoff des Himmels und der Gestirne, welchen die kreisende Bewegung wesentlich ist.²⁾

Indessen findet sich nach Aristoteles der Aether nicht nur in der Region des Himmels, sondern auch in den irdischen Körpern. Biese fasst die Gedanken des Stagiriten in folgenden Worten zusammen: „Im organischen Naturreich bilden die vier Elemente die Grundlage. Aber auch der ätherische Stoff der Gestirne, durch welche der elementarische Prozess bedingt ist, fehlt in dem lebendigen Organismus nicht. Er stellt sich in demselben dar als das Prinzip der Lebenswärme, welches notwendig ist sowohl zur Erzeugung als auch zur Erneuerung. Dieser ätherische Stoff ist nach verschiedenen Graden der Reinheit in den belebten Wesen enthalten und dient der vegetativen und animalischen Natur zur Grundlage, bis er zur höchsten Lauterkeit sich im Menschen gestaltet, sodass in diesem reinsten Stoff sich der Keim des seelischen Prinzips zu erkennen gibt.“³⁾

Was den aristotelischen Aether ganz besonders auszeichnet, ist seine Kontinuität. Diese Kontinuität ergibt sich übrigens aus der Philosophie des Aristoteles, die einen leeren Raum nicht zulässt.

Im Gegensatz zu ihm hat es aber von jeher Philosophen und Naturforscher gegeben, welche die Möglichkeit und die wirkliche Existenz eines leeren Raumes befürworteten, während andere sich wieder auf den Standpunkt des griechischen Philosophen stellten und mit ihm von einem leeren Raum nichts wissen wollten. Dieses Auseinandergehen der Anschauungen hängt mit folgender Darlegung zusammen. Ein atomistischer Aether bedingt notwendig die objektive Existenz des leeren Raumes; denn es gibt überhaupt nur zwei Möglichkeiten: entweder ist der Aether atomistisch oder kontinuierlich. Ist er atomistisch, so kann man fragen, was denn zwischen den Aetheratomen sei, ob ein leerer Raum oder ein anderes raumerfüllendes Medium. Da im zweiten Falle dieselbe Frage wiederholt werden kann, so muss man entweder die Kontinuität des Aethers oder die Existenz des leeren Raumes zugeben.

Unter den neuesten Philosophen, welche das letztere annehmen, gehört Gutberlet

¹⁾ Bei Heller, a. a. O. Bd. I. S. 16.

²⁾ Biese F., Philosophie des Aristoteles, Bd. II. S. 66, 67.

³⁾ Biese a. a. O. Bd. II. S. 92 f.; die Belegstellen aus Aristoteles daselbst.

zu den Bedeutenderen. Aus der Tatsache der Bewegung einerseits und der Undurchdringlichkeit der Körper andererseits schliesst er auf die Notwendigkeit des leeren Raumes.¹⁾

Ein Gegner des leeren Raumes ist Pesch. In seinen „Welträtseln“ schreibt er: „Ueberall, das ist Thatsache, hat die Natur ihre Einrichtung so getroffen, dass nirgends zwischen den Naturdingen ein absolut leerer Raum entsteht. Wo ein solcher in Folge bestimmter Vorgänge entstehen würde, da treten sofort andere Vorgänge ein, damit die entstehende Lücke sofort ausgefüllt werde. Da nämlich die Wirksamkeit der Dinge niemals in die Ferne hinüberspringen kann, würde durch das Vorhandensein leerer Zwischenräume in dem Naturverbände die heilloseste Verwirrung entstehen. Genug. Wenn es überhaupt ein durch allgemeine Beobachtung feststehendes Naturgesetz gibt, dann gibt es dasjenige, wodurch jede unvermittelte Wirksamkeit in die Ferne von der Natur ausgeschlossen wird.“²⁾

Da also, wie wir gezeigt, die atomistische Auffassung des Aethers konsequent zur Hypothese des leeren Raumes führt, so liegt die Frage nahe, ob bei dieser Annahme nicht auch die „actio in distans“ angenommen werden müsse. Und in der Tat treten geschichtlich beide Annahmen immer mit einander auf und bedingt die eine Auffassung die andere.

Auf der anderen Seite hat die seit einigen Jahrzehnten ziemlich allgemein anerkannte Unmöglichkeit einer unvermittelten Fernwirkung zur Lehre von einem kontinuierlichen Aether geführt.

Die Annahme einer „actio in distans“ ist nicht neu. Aber erst durch Kant erlangte diese Hypothese wissenschaftliche Geltung. Seine diesbezügliche Anschauung ist niedergelegt in den Worten: „Die aller Materie wesentliche Anziehung ist eine unvermittelte Wirkung derselben auf andere durch den leeren Raum.“³⁾ Indessen, so deutlich sich Kant für die Fernwirkung ausspricht, will er doch den leeren Raum möglichst aus der Naturwissenschaft verbannt wissen. Er sagt nämlich: „Alles, was uns des Bedürfnisses überhebt, zu leeren Räumen unsere Zuflucht zu nehmen, ist wirklicher Gewinn für die Naturwissenschaft.“⁴⁾

In neuester Zeit hat auch Zöllner die Fernwirkung befürwortet, indem er glaubte, man müsse den alten Satz: Ein Körper kann dort nicht wirken, wo er nicht ist (Corpus ibi agere non potest, ubi non est), in paradoxer Weise in folgenden umkehren: Ein Körper kann dort nicht wirken, wo er ist (Corpus ibi agere non potest, ubi est).⁵⁾

Um Beseitigung der Lehre von der Fernwirkung haben sich unter den neueren Physikern Faraday, Maxwell, Helmholtz, Hertz und Andere verdient gemacht. Viel citiert wird der Ausspruch Dubois-Reymonds: „Durch den leeren Raum in die Ferne wirkende Kräfte sind an sich unbegreiflich, ja widersinnig.“ Treffend sagt auch W. Thomson: „Dieser sonderbare Gedanke (einer Fernwirkung) schlug tiefe Wurzeln, und diesen entsprossete ein unfruchtbarer Baum, welcher den Boden aussaugte und das ganze Gebiet der Molekularphysik überschattete, auf welches so viel unnütze Arbeit der grossen Mathematiker im Anfang unseres Jahrhunderts verschwendet wurde.“⁶⁾ Zu Gunsten der Nahwirkung äussert sich ferner Drude, wenn er sagt: „Der ganze Fortschritt, der in letzter Zeit in der Erforschung der Physik des Aethers gemacht ist, liegt wesentlich in konsequenter Durchführung der Idee der Nahekräfte.“⁷⁾

1) Allgemeine Metaphysik, S. 206 ff.

2) Pesch T., Welträtsel, Bd. I. S. 488.

3) Kant J., Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft, Lehrsatz 7.

4) Kant, Werke, Bd. VIII. S. 525 f.

5) Dieser Satz ist übrigens nicht neu. Bei Kant heisst es: „Ein jedes Ding im Raume wirkt auf ein anderes nur an einem Orte, wo das Wirkende nicht ist. Werke, Bd. VIII, S. 500.

6) Schneid in den Hist.-pol. Blättern, Bd. 95. S. 892 ff.

7) Drude P., Physik des Aethers, S. 11.

Seltsam erscheint es darum, wenn Auerbach¹⁾ noch der Fernwirkung das Wort redet, nachdem eine gesunde Philosophie und Autoritäten, wie die eben angeführten, sich gegen die Fernwirkung ausgesprochen haben.

Kehren wir nach dieser Abschweifung wieder zu Aristoteles zurück.

Man hat ihn als einen Vorläufer der Undulationstheorie des Lichtes bezeichnet. Anlass dazu gab eine Stelle in seiner Schrift „De anima“. Da wird nämlich behauptet, es müsse zwischen den Gegenständen und dem Auge ein Medium vorhanden sein, welches das Sehen vermittelt, auf ähnliche Art, wie der Schall, durch die Luft vermittelt, zum Ohre gelangt. Wäre ein leerer Raum vorhanden, so würden wir nichts sehen.²⁾

Uns scheint indes die erwähnte, aus diesen Worten gezogene Folgerung zu gewagt. Wir stimmen mit Heller überein, wenn er sagt: „Es ist jedenfalls zu weit gegangen, wenn jemand . . . behauptet, Aristoteles habe der Vibrationstheorie den Vorzug vor der Emanationstheorie gegeben, und dabei an unsere modernen Lichttheorien denkt.“³⁾

Hiemit glauben wir die Ansichten des Altertums über den Aether, soweit sie für uns in Frage kommen, genügend gekennzeichnet zu haben.

Wenn später in Schriften des ausgehenden Altertums und des Mittelalters vom Aether gesprochen wird, so findet sich im Gegensatze zu Aristoteles und den Neueren die Anschauung, dass der Aether eine bestimmte Region des Himmels einnehme; so bei Ptolemaeus (2. Jahrh. n. Chr.), Alhazen (1226—1274).⁴⁾

Der seinerzeit berühmte Athanasius Kircher (1601—1680) hat in seinem grossen Werke: „Ars magna lucis et umbrae etc.“ demselben Gedanken Ausdruck geliehen. Dagegen äusserte er sich in einer späteren Schrift in dem Sinne, dass der Aether alle Zwischenräume erfülle und selbst in den härtesten Körpern enthalten sei und zwar deswegen, weil die Natur einen Abscheu vor dem Leeren habe.⁵⁾

Von grösserem Interesse dürfte es sein, zu erfahren, welche Stellung die mittelalterlichen Scholastiker zu unserem Gegenstande eingenommen haben.

„Nach dem hl. Thomas von Aquin (1226—1274) und den vorzüglichsten Vertretern der peripathetischen Schule,“ sagt Schneid, „ist das Licht kein Körper, sondern eine körperliche Qualität, eine körperliche Kraft, die dem leuchtenden Körper innewohnt. Die Lichterscheinung erklärt der Aquinate nicht im Sinne der Emmissionstheorie, als ob vom leuchtenden Körper sich etwas ablöse und auf die beleuchteten Gegenstände übergehe. . . Wie aber erklärt er die Fortpflanzung des Lichtes? Durch die Annahme eines Aethers, aber eines kontinuierlichen Aethers. Der Aether als einheitliche Substanz erfüllt

¹⁾ A. a. O. S. 44.

²⁾ De anima, I, 7. Thomas von Aquin kommentiert diese Stelle in folgender Weise: „Oportet enim, ad hoc quod aliquid videatur, quod organum visus patiat a visibili. Ostensum est autem, quod non patitur ab ipso visibili immediate, quia visibile superpositum oculo non videtur. Relinquitur ergo quod oporteat organum visus pati a visibili per aliquod medium: necesse est ergo esse aliquod medium inter visibile et visum. Si autem est vacuum, nihil est medium, quod posset immutare et immutari. Relinquitur ergo quod si esset vacuum, omnino nihil videretur.“ In comm. De anima lib. II, lect. 15.

³⁾ Heller, a. a. O. Bd. I, S. 69. Heller hat hier Wilde's Programmabhandlung: „Ueber die Optik der Griechen“ im Auge. Dies ist jedoch nicht das einzige Beispiel einer zu optimistischen Interpretation von Schriftstellern. Derartige Auffassungen rühren wohl von zu geringer Beachtung der Vorschrift her, dass man einen jeden Autor aus seiner Zeit zu beurteilen hat. Doppelte Vorsicht ist diesbezüglich bei Schriftstellern des eigenen Lagers geboten; denn durch eine zu günstige Beurteilung der Alten gewinnen weder diese noch die Wissenschaft; im Gegenteil, es tritt die natürliche Reaktion in dem Sinne ein, dass auch ihre wahren Verdienste nur mit Misstrauen aufgenommen werden. Zudem ist nicht derjenige Urheber einer Theorie, der zuerst einige verschwommene Ideen über den Gegenstand ausgesprochen hat, sondern derjenige, der ein auf wissenschaftlichem Fundamente ruhendes Gebäude aus dem schon vorliegenden Material aufzurichten wusste.

⁴⁾ Heller, a. a. O. Bd. I, S. 137; Pristley J., Geschichte der Optik, S. 13.

⁵⁾ Scias itaque, totum hoc spatium a terra ad ultimum usque corporum mundanorum terminum . . . agillima aura, quam Veteres aetherem sive aetheream auram appellarunt, refertum esse; et ita quidem refertum dico, ut nihil sit in rerum natura adeo solidum et adamantinum, ejus poros non penetrat, summo sane dei sapientissimo consilio eo fine constitutum, ne alicubi vacuo tantopere naturae inimico locus concederetur. Iter extaticum coeleste, pag. 354.

die Räume des Himmels, alle Poren der Körper und alle Räume, die von elementaren Stoffen leergelassen sind. Dieser Aether besitzt seiner Natur nach ein sehr grosses Volumen, aber nur sehr geringe Quantität. Da beim Aether eine sehr geringe Stoffmasse die grösste Ausdehnung besitzt, so ist dieses kontinuierliche Aethermeer leicht beweglich und vermag deshalb die Bewegungen des Lichtes in grösster Schnelligkeit überallhin zu verbreiten und fortzupflanzen. Durch die Annahme eines kontinuierlichen Aethers von der genannten Beschaffenheit sind wir der sowohl der Mechanik, als der Philosophie widersprechenden Oscillationen der Aetheratome überhoben.¹⁾

Ferner ist Schneid der Ansicht, dass nach dem hl. Thomas das Licht durch Bewegung, wahrscheinlich sogar durch eine undulierende Bewegung, hervorgebracht werde. Er citiert dafür die Stelle: „Die Sonne ist Ursache der Wärme durch Bewegung,²⁾ und beruft sich weiter auf einen Passus im Kommentar zu des Aristoteles Schrift „De anima“.³⁾

Wir können Schneid nicht beistimmen, wenn er aus den citierten Texten auf eine mit der neueren sich deckende Anschauung über die Natur des Lichtes oder der Wärme schliesst. Ganz abgesehen davon, dass in der soeben angeführten Stelle zunächst nicht vom Lichte, sondern von der Wärme die Rede ist, erkennt man aus dem Zusatz: „ut Philosophus dicit“, dass der hl. Thomas sich an Aristoteles anlehnt.⁴⁾ Letzterer sagt aber am genannten Orte, dass Licht und Wärme durch die Reibung der Gestirne (der Sonne) an der umgebenden Luft entstehen, da die Bewegung von Natur aus Hölzer, Steine und Eisen in Feuerhitze versetze. So gewinnt der Ausdruck „per motum“ einen ganz andern Sinn. Die Ursache der Wärme und des Lichtes ist die Raumbewegung der Gestirne (der Sonne) und nicht eine Bewegung der Teilchen, wie die Lehre des Philosophen lauten müsste, wenn sie sich grundsätzlich mit der Auffassung der Neueren decken sollte. Es ist ja allerdings wahr: nachdem Aristoteles und Thomas die Materialität des Lichtes verneint und zwischen dem Auge und dem gesehenen Objekte ein Medium verlangt haben, das einer Veränderung fähig ist (man vergleiche die Anmerkung 2, Seite 12), bleibt nach unseren jetzigen Vorstellungen kaum etwas anderes übrig, als an eine Art Undulation zu denken; ob aber die genannten Philosophen ähnliche Ideen gehabt, dürfte kaum bejaht werden können, zumal Aristoteles und der hl. Thomas die augenblickliche Fortpflanzung des Lichtes bestimmt verteidigen.⁵⁾

Der hl. Thomas scheint also im Vergleich zu Aristoteles über den Aether und die Natur des Lichtes nichts wesentlich Neues gelehrt zu haben, und spätere Gelehrte dieses Zeitraumes sind kaum über ihn hinausgekommen.

Aus dem bisher Bemerkten ziehen wir den Schluss, dass zwischen der alten und der neuen Auffassung über den Aether wohl Anknüpfungspunkte vorhanden sind; wenn aber die Aetherhypothese im Altertum und Mittelalter nicht weiter entwickelt worden ist, so hatte dieses seinen tiefen Grund in der Methode der Naturwissenschaft, die bei ihrem philosophisch-spekulativen Charakter es mit sich brachte, dass man kein Be-

1) Schneid M., Naturphilosophie im Geiste des hl. Thomas von Aquin. S. 226 f. Summ. theol. qu. 67. a. 2, 3.

2) „Sol est causa caliditatis per motum, ut Philosophus dicit.“ Qu. disp. de Pot. qu. 5. art. 7. ad. 19.

3) Lib. II. lect. 14. Schneid, a. a. O. S. 226.

4) Aristoteles hat die entsprechende Stelle in der Schrift De coelo II, 7.

5) Summ. th. I. qu. 67. art. 2. Aristoteles, De anima II. 7. — Ein vorzüglicher Kenner der scholastischen Schriftsteller, Pesch, sagt über die Vorstellungen der Alten betreffs der Lichtfortpflanzung: „Ad lucis propagationem quod attinet, veteres, quum illuminationem a sole profectam contingere uno instanti putarent, lucem a sole ad terram non ita transfundi docuerunt, ut sol primo in aethere („diaphano“ illi dixerunt) sibi finito lucem produceret, quae aliam lucem in spatio sequente efficeret, et ita deinceps ad terram usque; sed solem illuminare una simul omnia corpora intermedia translucida arbitrati sunt.“ Inst. phil. nat. Tom. II, p. 63. — Cf. Pesch, Inst. logicales. Tom. III, p. 316 seq.

dürfnis empfand, den einmal angenommenen Aether den Naturerscheinungen zu Grunde zu legen und ihn hypothetisch auszugestalten.

Anders bei den Neueren. Diese fordern die Existenz eines Aethers gerade für jene Teile der Physik (physische Optik, Wärmelehre, Magnetismus und Elektrizität), die im Altertum die geringste Pflege und Ausbildung erfahren haben, sie brauchen den Aether überall da, wo sie diese Erscheinungen wahrnehmen; der Aether muss daher nicht nur das ganze Weltall erfüllen, um die Erdbewohner durch das Licht und die Gravitation mit den Himmelskörpern in Verbindung zu setzen, sondern er muss auch die irdischen Körper durchdringen und erfüllen, ja bestimmend auf ihre Konstitution einwirken.

Wir sind indes dem Altertum und Mittelalter dafür dankbar, dass sie uns den Namen und die allgemeine Idee des Aethers überliefert haben. Im übrigen ist die Aetherhypothese erst in der neueren Zeit schrittweise und selbständig nach den Forderungen der Wissenschaft von den Physikern ausgebaut worden.

Es sei uns noch eine Bemerkung erlaubt. Wenn die Aetherhypothese vor Descartes auf einer so niedrigen Stufe der Entwicklung stand, so darf man daraus nicht schliessen, dass die Optik das gleiche Schicksal gehabt habe. Die Optik der alten und mittelalterlichen Naturforscher war sozusagen ausschliesslich geometrische Optik, und diese brauchte als mathematische Disziplin keine weiteren Voraussetzungen über die Natur des Lichtes als dessen geradlinige Fortpflanzung. Deshalb konnte sie sich ohne jene Vorstellungen entwickeln, für welche man den Aether hätte beziehen müssen.



II. Kapitel.

Die subtile Materie in der Naturanschauung Descartes' und seiner Schule.

Aristoteles gebührt das Verdienst, allfällige überlieferte Anschauungen über den Aether verarbeitet und zu einem, wenn auch unvollkommenen System ausgebildet zu haben. Diesem System ist insofern geringere Bedeutung beizumessen, als Aristoteles, ohne zunächst von den Naturerscheinungen dazu genötigt zu sein, den Aether mehr aprioristisch konstruierte und ihm zur Erklärung der Erscheinungen nicht jene Aufmerksamkeit schenkte, wie spätere Physiker es getan haben.

Wenn man in der folgenden Zeit über Aristoteles nicht hinausgekommen ist, so hatte diese Art von Stagnation eine doppelte Ursache: einerseits die unfruchtbare Behandlungsmethode der Naturwissenschaft und andererseits das grosse Ansehen des Aristoteles selbst.

Eine Reaktion begann schon im 13. Jahrhundert, als Roger Bacon (1214—1294) mit grossem Eifer den Aristoteles bekämpfte¹⁾ und in die Behandlung der Naturwissenschaften neues Leben bringen wollte.

In René Descartes (Renatus Cartesius 1596—1650) stand der grösste Gegner der peripatetisch-scholastischen Lehranschauungen auf, dem es nicht an Talent und Willen gefehlt hat, eine Regeneration der Wissenschaft herbeizuführen. Hätte er — und dies gilt ganz besonders von seiner Philosophie — sich nicht auf einen so isolierten Standpunkt gestellt, hätte er vielmehr die vielen brauchbaren Resultate seiner Vorgänger benützt, so würden seine Bestrebungen ohne Zweifel einen besseren und nachhaltigeren Erfolg gehabt haben. Sein Einfluss in der Physik war ungeheuer, und mehr als hundert Jahre lang stritten die Gelehrten, in zwei grosse Lager geteilt, mit aller Hartnäckigkeit, bis schliesslich der Streit zu Gunsten Newton's entschieden wurde.

Muss nun auch vom heutigen Standpunkt der Wissenschaft das System Descartes' als ganz unhaltbar bezeichnet werden, so beansprucht es doch in der Geschichte einen Platz, und insbesondere dürfen die von ihm eingeführten feinen Elemente in einer Geschichte der Aetherhypothesen nicht umgangen werden.

Bevor wir die Natur dieser feinen Elemente und ihre Wirkungen betrachten, müssen wir in grossen Zügen das Weltsystem Descartes' darlegen.

Gott schuf eine Materie, eine Art Urstoff, und teilte sie in möglichst gleiche Stücke mittlerer Grösse. Diese Stücke hatten verschiedene Formen. Nur rund konnten sie nicht sein, da sie in diesem Falle einen leeren Raum zwischen sich gelassen hätten. Dieses Stoffmeer kam dann in Bewegung; einerseits rotierte jedes Teilchen um seinen

¹⁾ Bacon sagt irgendwo, er würde, falls er nur die Macht dazu hätte, womöglich alle Bücher des Aristoteles verbrennen, da ihr Studium doch nur Zeitverlust, eine Quelle von Irrtümern und eine Vermehrung der Unwissenheit sei. Heller, Geschichte Bd. I. S. 197.

Mittelpunkt (*circa centrum suum*)¹⁾, anderseits vereinigten sich sehr viele dieser rotierenden Teilchen zu einem sehr grossen, ungefähr kugelförmigen Wirbel, der um eine Achse rotierte, sodass der ganze Raum mit solchen Wirbeln erfüllt war.²⁾ Diese Wirbel waren von Natur aus flüssig; denn nach Descartes sind jene Körper flüssig, deren kleinste Teilchen sehr schnell und regellos bewegt sind, während jene Körper als fest anzusehen sind, deren Teilchen nebeneinander ruhen.³⁾

Die einen grossen Wirbel bildenden Teilchen schlifften sich infolge ihrer Rotationsbewegung allmählich ab und bildeten sich immer mehr zur Kugelform aus.⁴⁾

Der abgeriebene Staub füllte die Zwischenräume aus und wurde infolge der Bewegung der Kügelchen mit grosser Geschwindigkeit zwischen ihnen hindurch getrieben, in der nämlichen Weise, wie bei einem Blasbalg die Luft mit grosser Heftigkeit aus der Oeffnung dringt.⁵⁾ Diese zwei verschiedenen Materien, der feine Staub und die kleinen Kügelchen sind die zwei ersten Elemente Descartes', und zwar der feine Staub das erste Element, die kleinen Kügelchen das zweite Element.⁶⁾

Durch das beständige Abschleifen der sich stets berührenden Kügelchen des zweiten Elementes musste die Menge des ersten Elementes wachsen, sodass von demselben bald mehr vorhanden war, als zum Ausfüllen der Lücken nötig. Es fand nun eine Trennung der beiden Elemente statt. Denn, wie Descartes bemerkt, strebt jeder im Kreise bewegte Körper, z. B. ein Stein in der Schleuder, sich vom Mittelpunkte zu entfernen und ist die Fliehkraft des grösseren (schwereren) Körpers überwiegend. Darum floss in jeden sich um seine Achse drehenden Wirbel der Teil des ersten Elementes, welcher zum Ausfüllen der Räume zwischen den Kügelchen des zweiten Elementes nicht nötig war, nach der Mitte des Wirbels. Dort bildete er einen überaus flüssigen Centrankörper (Kern), der nach der Vorstellung Descartes' eine Sonne, im allgemeinen ein Fixstern ist. Eine Sonne, resp. ein Fixstern, ist daher der Mittelpunkt jedes Wirbels.

Das zweite Element drängte sich, da seine Teilchen grösser sind als die des ersten Elementes, nach aussen und bildete um den Centrankörper herum die eigentliche Wirbelmaterie. Die zwei Elemente hatten also folgende Verteilung im Wirbel: das zweite Element befand sich nur im Raum zwischen dem Centrankörper und der äusseren Umgrenzung; dagegen bildete das erste Element den Centrankörper und war ausserdem als raumerfüllendes Medium zwischen den Kügelchen der Wirbelmaterie verteilt.⁷⁾

Die einzelnen Wirbel mussten sich im Raume so anordnen, dass sie sich gegenseitig möglichst wenig hinderlich waren.⁸⁾ Dies konnte dadurch erreicht werden, dass die Pole eines Wirbels *A* in die Aequatorialgegend zweier benachbarter Wirbel *B* und *C* zu liegen kamen. Eine störende Wirkung konnte aber auch so nicht ausbleiben. Da nämlich die

¹⁾ Es versteht sich von selbst, dass hier der Ausdruck „centrum“ in einem weiteren Sinne genommen werden muss, da die Teilchen keine Kugeln waren. Wie übrigens unter Voraussetzung eckiger Teilchen eine Rotationsbewegung um ihren Mittelpunkt möglich ist, ohne dass bei der ersten Drehung ein leerer Raum zwischen ihnen entsteht, dürfte schwer zu begreifen sein.

²⁾ *Principia phil.* III, §§ 46, 48. Descartes hatte für seine Wirbeltheorie bereits einen Vorgänger in Giordano Bruno († 1600). Nach der Ansicht des letzteren ist jede Sonne von einem sehr grossen ätherischen Raum umgeben, worin sich die Erde und die Sonne wälzen. Auf solche Weise bewegen sich in unserem Sonnensystem die Erde und die übrigen Planeten um die Sonne in dem ätherischen Raum derselben. Fischer, *Gesch. d. Phys.*, Bd. I, S. 26, 27. Nach Fischer hätte Descartes die Schriften Bruno's wohl gekannt, aber nicht citiert. Dass, S. 28.

³⁾ *Corpora divisa in multas exiguas particulas, motibus a mutuo diversis agitatae, esse fluida; ea vero, quorum omnes particulae juxta se mutuo quiescunt, esse dura.* *Pr. phil.* II, § 54. Bei einem luftförmigen Körper sind die Teilchen noch kleiner und bewegen sich schneller als bei einem flüssigen. *Ibid.* IV, § 45.

⁴⁾ *Ibid.* III, § 49.

⁵⁾ *Ibid.* III, §§ 51.

⁶⁾ *Ibid.* III, § 52.

⁷⁾ *Ibid.* III, §§ 54, 55.

⁸⁾ *Ibid.* III, § 65.

Wirbel, wie bereits bemerkt, flüssig sind und die Schwungkraft am Aequator grösser ist als an den Polen, so mussten aus den Aequatorialgegenden der Wirbel *B* und *C* gewisse Mengen der Wirbelmaterie sich lösen und nach den Polgegenden des Wirbels *A* abfliessen. Die Materie fliesst also bei jedem Wirbel durch die Pole ein und am Aequator aus.¹⁾ Welche Bedeutung dies im Weltsystem Descartes' hat, werden wir bald sehen.

Die an den Polgegenden eines Wirbels einströmende Materie ist vorzüglich Materie des ersten Elementes, weil diese an sich schnellere Bewegung besitzt und wegen ihrer grösseren Feinheit leicht zwischen den Kügelchen des zweiten Elementes hindurchgeht.²⁾ Auf ihrem Gange durch den Wirbel nehmen die Teilchen des ersten Elementes sonderbare Formen an. Sie vollführen nämlich gleichzeitig zwei verschiedene Bewegungen: eine ungefähr parallel der Achse des Wirbels fortschreitende und eine rotierende Bewegung. So erhalten sie eine schneckenartig gewundene Gestalt und heissen gestreifte Teilchen (*particulae striatae*).³⁾ Descartes rechnet diese trotz ihrer sonderbaren Gestalt noch zum ersten Element, solange sie innerhalb der Wirbelmaterie, also zwischen den Kügelchen des zweiten Elementes, sich befinden, und zwar weil sie teils noch keine besonderen Wirkungen hervorbringen, teils mit anderen verschieden grossen Teilchen desselben ersten Elementes vermischt sind. Wenn nun die gestreiften Teilchen in ihrem Gange durch den Wirbel in den Centralkörper gelangen und in der Nähe seines Aequators aufsteigen (so wie fremde Bestandteile von einer heftig bewegten Flüssigkeit ausgeschieden werden) und wenn sie nicht mehr von den Kügelchen des zweiten Elementes eingeschränkt werden, ballen sie sich zu grossen Massen zusammen; sie verbinden sich am Orte, wo sie aufgetaucht sind, mit der Aussenseite des Sonnenkörpers und bilden eine Art Sonnenflecken.⁴⁾ Diese Massen, welche Descartes drittes Element nennt, machen sich in doppelter Weise geltend. Zum Verständnis müssen wir aber etwas vorgreifend den Grundgedanken der Lichttheorie Descartes' darlegen.

Es wurde schon bemerkt, dass infolge der Rotation des Wirbels alle Teilchen desselben nach aussen streben. Es kann aber kein Teilchen sich wirklich dorthin bewegen, da es von den äusseren Teilchen, diese selbst wieder und alle folgenden eines Wirbels vom anstossenden Wirbel zurückgehalten werden. Es herrscht also in den Kügelchen des zweiten Elementes ein gewisser Druck in radialer Richtung, welcher noch durch die heftige Bewegung des Centralkörpers vermehrt wird. Und dieser Druck, der sich geradlinig durch den ganzen Wirbel und selbst durch die angrenzenden Wirbel hindurch fortpflanzt, wird vom Auge als Licht wahrgenommen.⁵⁾

Betrachten wir wiederum die Wirkung der Sonnenflecken. Dort, wo die zusammengeballten Teilchen auf der Oberfläche des Centralkörpers einen Flecken bilden, wird offenbar der Aussendruck des Centralkörpers geringer; aber auch die Lichtwirkung, die ja gerade in diesem Drucke besteht, wird abgeschwächt oder gar aufgehoben.⁶⁾ Zugleich wird nach dieser Seite hin der Aussendruck des Wirbels kleiner. Die Folge davon ist, dass er den Einwirkungen des angrenzenden Wirbels an dieser Stelle

1) Pr. phil. §§ 65, 69. Es ist bemerkenswert, dass Newton bei der Untersuchung der Wirbelbewegung zu folgendem Schlusse gekommen ist: „Da die Kreisbewegung und die hieraus entspringende Centrifugalkraft am Aequator grösser als an den Polen ist, so muss irgend eine Ursache vorhanden sein, wodurch die einzelnen Teilchen in ihren Kreisen zurückgehalten werden, damit nicht die am Aequator befindliche Materie sich stets vom Mittelpunkte entferne, durch die äusseren Seiten eines Wirbels nach den Polen, und von da längs der Achse in beständiger Cirkulation zum Aequator zurückkehre.“ Pr. mathemat. II, pag. 304 seq. Deutsch nach Wolfers. Descartes' Folgerung, dass Materie von einem Wirbel zum anderen übergehen müsse, war also ganz richtig; hingegen hat er keine Ursache, welche dieses Abfliessen verhindern sollte, angenommen, weil gerade diese Cirkulation der feinen Materie für den Ausbau seines Systems wesentlich war.

2) Ibid. III, § 70.

3) Ibid. III, §§ 89, 90.

4) Ibid. III, § 94.

5) Ibid. III, § 55.

6) Ibid. III, § 94.

weniger widersteht; es werden deshalb Teilchen fortgenommen und von dem benachbarten Wirbel fortgeführt.¹⁾

Nimmt die Fleckenbildung um einen Centrankörper solche Ausdehnung an, dass derselbe ganz bedeckt wird, so schwindet zunächst jede Lichtwirkung nach aussen; der Centrankörper erlischt, und da auch der Aussendruck nach allen Richtungen sich verringert, so kann es geschehen, dass der benachbarte Wirbel nicht nur Teile fortnimmt, sondern sogar den ganzen Wirbel mit dem erloschenen Centrankörper in sich aufnimmt.²⁾ Je nach seiner Bewegungsgrösse geht der aufgesogene Wirbel entweder durch mehrere Wirbel hindurch und wird zu einem Kometen,³⁾ oder er wird in der fremden Wirbelmaterie als Planet mitgeführt, wobei er noch seine ursprüngliche Rotationsbewegung um die eigene Achse beibehält.⁴⁾ Hatte der jetzt zum Planeten gewordene Wirbel selbst schon einen kleineren Wirbel in sich aufgenommen, so führt er diesen als Trabanten in seiner Wirbelmaterie herum, so wie kleine Holzstückchen von einem Wasserwirbel im Kreise herumgeführt werden.

Damit liegt das Weltsystem Descartes' vor uns; wir sehen die Schöpfung der Materie durch Gott, ihre Teilung in grosse Wirbel, die Bildung der drei Elemente, die Entstehung der Fixsterne, der Planeten und Kometen.

Auf die mit unerschöpflicher Phantasie im vierten Teile der „Prinzipia“ dargestellte Umbildung der Erde gehen wir hier nicht ein.

Mit der Darlegung dieses Weltsystems haben wir bereits auch die Entstehung der feinen Elemente und einige Eigenschaften derselben kennen gelernt. Wir fügen noch folgendes bei.

Das erste Element ist eine überaus feine Flüssigkeit, deren Teilchen sich mit grosser Schnelligkeit bewegen. Als raumerfüllendes Medium dringt es in die feinsten Poren der Körper ein und erfüllt auch die Lücken zwischen den Kügelchen des zweiten Elementes.⁵⁾ Descartes hat sich sein erstes Element jedenfalls kontinuierlich denken müssen, da es ihm wohl kaum entgangen wäre, dass eine atomistische Konstitution dieses Elementes zu objektiv existierenden leeren Räumen führen muss, die er ja aus seiner Philosophie verbannt.

Was das zweite Element betrifft, setzt Descartes voraus, dass die Kügelchen, aus denen es besteht, nicht alle die gleiche Grösse haben, und dass ihre Geschwindigkeit im Wirbel verschieden ist. In der Nähe des Centrankörpers ist ihre Geschwindigkeit deswegen etwas grösser, weil die angrenzenden Teilchen vom Centrankörper mitgerissen werden. Und gleichwie die Geschwindigkeit eines Flusses an engen Stellen grösser wird, so bewegen sich auch die an einen äusseren Wirbel angrenzenden Teilchen schneller, weil sie von diesem einen Druck erfahren. In der mittlern Region des Wirbels ist die Geschwindigkeit der Teilchen kleiner und gleichförmig.⁶⁾

Keinem der Leiden genannten Elemente legt Descartes den Namen Aether bei. Wenn er zuweilen die gestreiften Teilchen mit diesem Namen bezeichnet,⁷⁾ so begreift man das nicht recht, wofern man mit diesem Worte die aus dem Altertum überlieferte Bedeutung verbinden will. Denn die gestreiften Teilchen finden sich nicht überall, sind also kein raumerfüllendes Medium, was man doch von einem Aether zuallererst verlangen müsste.

¹⁾ Pr. phil. III, § 111.

²⁾ Ibid. III, § 115.

³⁾ Ibid. III, § 126.

⁴⁾ Ibid. III, §§ 110, 150.

⁵⁾ De lumine, pag. 13 seq.; Pr. phil. III, §§ 76, 77.

⁶⁾ Pr. phil. III, §§ 82, 83.

⁷⁾ Sed sibi mutuo non nihil adherentes (i. e. macularum particulæ) componunt ibi magnam quandam molem, rarissimam, et aëri (sive potius aetheri) terræ circumfuso non absimilem. Pr. phil. III, § 100.

Bezüglich der beiden ersten Elemente herrscht also in der Naturanschauung Descartes' eine gewisse Unbestimmtheit, da sich beide in die Rolle teilen müssen, Träger oder Vermittler der Erscheinungen zu sein. Und obwohl das zweite Element nach ihm der eigentliche Träger der Licht- und Wärmeerscheinung ist, so hat auf der anderen Seite auch Gehler mit seiner Erklärung recht: „Descartes hat sich unter dem Namen des ersten Elementes fast eben das vorgestellt, was neue Naturlehrer Aether nennen, eine feine durch den Weltraum und die Zwischenräume der Körper verbreitete Materie, die er zwar von der Materie des Lichtes unterschied, aber doch mit zur Erklärung des Lichtes und überhaupt aller Erscheinungen der Körperwelt gebrauchte.“¹⁾

Es erübrigt nun, die Bedeutung darzulegen, welche den feinen Elementen Descartes' bei Erklärung des Lichtes, der Wärme, der Elektrizität, des Magnetismus und der Schwerkraft zuerkannt werden muss.

Man hat schon häufig Descartes den Begründer der Undulationstheorie des Lichtes genannt. Wohl mit Unrecht, wie es sich noch im folgenden herausstellen wird. Auch Huygens, der die Lichttheorie Descartes' genau kannte und als der erste eine richtige Undulationstheorie in wissenschaftlicher Weise vortrug, bemerkt ausdrücklich, dass seine eigene Theorie von jener verschieden sei.²⁾

Wie erklärt sich nun Descartes die Entstehung des Feuers? Den Ausgangspunkt bildet folgender Gedanke. Die Teilchen der irdischen Materie (drittes Element) nehmen die Natur des Feuers an, wenn sie, mit dem ersten Elemente verbunden, an seiner schnellen Bewegung teilnehmen. Fassen wir zur besseren Anschaulichkeit einen bestimmten Fall ins Auge, z. B. die Erzeugung von Funken mittelst Stahl und Kieselstein. Nach Descartes ist der Kiesel sehr hart und starr, die Zwischenräume der Teilchen sind daher klein, aber immerhin noch von verschiedener Grösse. Die grösseren Zwischenräume füllt das zweite Element aus; zwischen den Teilchen desselben und in den allerfeinsten Poren befindet sich das erste Element. Wird nun der Stein mit dem Stahle geschlagen, so wird durch die Zusammenpressung seiner Teilchen das gröbere zweite Element herausgetrieben, und die Steinteilchen, die sich loslösen, enthalten nur mehr das erste Element, sie schwimmen gleichsam in demselben, nehmen an seiner Bewegung teil und fangen so an zu leuchten.³⁾ Offenbar empfinden wir jedoch das Leuchten dieser Körperchen nach dem, was wir oben von der Anschauung Descartes' über die Natur des Lichtes bemerkt haben, erst dann, wenn die losgerissenen Teilchen durch ihre Bewegung das umgebende zweite Element pressen und wenn sich diese Pressung zum Auge fortpflanzt.

Die Natur des cartesianischen Lichtes betreffend bemerkt Rosenberger: „Descartes hält die Mitte zwischen der Emmissions- und Undulationstheorie. Das Licht wird nicht erzeugt durch eine Wellenbewegung oder durch eine Aussendung von Lichtmaterie; vielmehr pflanzt sich momentan von Himmelskugelchen zu Himmelskugelchen nur ein Druck fort, der vom Auge als Licht empfunden wird. Ein solcher Druck wird von jedem Fixstern ausgeübt, aber auch von jedem leuchtenden irdischen Körper, weil ein solcher durch die heftige Bewegung der länglich gestalteten Teilchen die Kugelchen des zweiten Elementes, welche sich in ihm und ausser ihm befinden, immerwährend drückt und stösst.“⁴⁾

Das Licht besteht demnach objektiv in einem Druck, der sich durch das zweite Ele-

1) Phys. Wörterb., I. Aufl., Bd. I. S. 83.

2) *Traité de la lumière*, pag. 6, 7.

3) *Pr. phil.* IV. §§ 80, 84.

4) Rosenberger, *Gesch.* Bd. II, S. 111. Die einschlägige Stelle aus Descartes lautet: *putemus, lucem nihil aliud esse quam motum quemdam, vel actionem, qua corpora luminosa materiam subtilem quaquaversum secundum rectas lineas a se propellant.* *Meteor.* I. § 4.

ment fortpflanzt; zur Wahrnehmung desselben muss aber dieser Druck auf das Auge appliziert werden.

So viel über die Entstehung des Lichtes. Wichtiger ist die Frage nach seiner Fortpflanzung.

Nach Descartes' Ansicht ist dieselbe eine geradlinige nach allen Richtungen, weil der vom leuchtenden Körper ausgehende Druck sich geradlinig durch die Kügelchen des zweiten Elementes fortpflanzt; sie ist selbst für den Fall geradlinig, dass diese Kügelchen zwischen zwei Punkten eines Strahles nicht in gerader Linie liegen.¹⁾

Ferner ist die Fortpflanzung eine augenblickliche. Um dies zu beweisen, zieht Descartes astronomische Erscheinungen herbei und bedient sich eines zu weit gehenden Analogieschlusses. Bedenkt man, sagt er, dass bei einem Stocke, womit etwas betastet wird, der vom äusseren Ende ausgehende Stoss sich augenblicklich nach der Hand fortpflanzt, so wird man sich auch nicht mehr wundern, wenn das Licht in einem Augenblick von der Sonne zu uns gelangt.²⁾

Descartes baut seine Anschauung auf eine offenbar falsche Voraussetzung. Es ist durchaus nicht richtig, wenn er glaubt, dass sich in einem festen Körper ein Stoss augenblicklich fortpflanze; die messbare Geschwindigkeit von Longitudinalwellen in Stäben beweist das Gegenteil.

Wir müssen überdies beachten, dass eine augenblickliche Fortpflanzung nur unter Voraussetzung einer unendlich grossen Geschwindigkeit denkbar ist. Diese unendlich grosse Geschwindigkeit ist jedoch nur dann möglich, wenn der Körper selbst, in dem sich die Bewegung fortpflanzen soll, entweder vollkommen hart oder unendlich elastisch ist. Nun scheint es aber sehr zweifelhaft, ob Descartes selbst, obwohl er den Kügelchen des zweiten Elementes eine grosse Härte zuschreibt³⁾, damit eine vollkommene Härte meint. Anderswo bemerkt er ausdrücklich, es gebe im ganzen Weltteil keine absolut harten Körper.

Auf Grund mechanischer Prinzipien dürfte es also schwer fallen, die augenblickliche Fortpflanzung des Lichtes zu beweisen, und die von Descartes aus astronomischen Beobachtungen gezogenen Folgerungen gehen zu weit; sie sind nicht weniger unhaltbar, als einer jener Beweise, womit Aristoteles und Thomas die Unkörperlichkeit des Lichtes dartun wollen.⁴⁾

Die ganze Lichttheorie Descartes' hat überhaupt etwas Unbefriedigendes an sich, weil er mit sich selbst nicht im klaren gewesen ist.

Am meisten fällt es auf, dass er an einer Stelle sogar auf die Platonische Synaגיע zurückgreift.⁵⁾

Die Farben erklärt Descartes durch Kombination verschieden starker Rotations- und Translationsbewegungen der Kügelchen des zweiten Elementes. In einem Lichtstrahl von bestimmter Farbe haben dann alle Kügelchen dieselbe Bewegung, und zwar erzeugt ein Ueberwiegen der Rotationsbewegung über die fortschreitende die rote Farbe. In dem Grade, als die Rotation gegen die Translation zurücktritt, geht die Farbe immer mehr in Violett über, wo dann die fortschreitende Bewegung der Kügelchen überwiegend ist.

Dieser Gedanke, die Farben durch eine mechanische Ursache zu erklären, ist ori-

¹⁾ De lum. II, pag. 62. Newton hat der Ansicht Descartes' mit folgendem Satz einen Schlag versetzt: „Ein Druck pflanzt sich in einer Flüssigkeit nur dann geradlinig fort, wenn ihre Teilchen in gerader Linie liegen. Pflanzt sich der Druck auf Teilchen fort, die nicht in gerader Linie liegen, so spaltet er sich in schiefer Richtung bis ins Unendliche.“ Pr. math. Tom. II, pag. 256.

²⁾ Dioptr. I, § 3.

³⁾ Pr. phil. III, § 123.

⁴⁾ Der hier gemeinte Beweis lautet so: Das Licht der Sonne pflanzt sich, wie die Beobachtung lehrt, augenblicklich fort. Es ist aber unmöglich, dass ein Körper den Raum zeitlos durchläuft; also ist das Licht kein Körper. Vgl. S. 12.

⁵⁾ Dioptr. I, §§ 5, 6.

ginell und verdient alle Anerkennung.¹⁾ Damit glaubte Descartes wirklich eine richtige Farbenerklärung gegeben zu haben; denn, sagt er, wenn die Lichtempfindung von der Bewegung einer feinen Materie, die auf das Auge einwirkt, herrührt, so müssen verschiedene Bewegungen dieser Materie auch verschiedene Empfindungen erzeugen, die als verschiedene Farben wahrgenommen werden.²⁾ Wir werden jedoch bald sehen, dass schon Malebranche die in Descartes' Farbenlehre enthaltenen Irrtümer aufgedeckt und zu verbessern gesucht hat.

Viel glücklicher war Descartes bei Erklärung der Wärme. Um die Natur der Wärme zu erfassen, sagt er, braucht man nur anzunehmen, dass die kleinsten Teilchen der Körper durch das zweite Element oder irgend eine andere Ursache mehr oder weniger heftig in Bewegung gesetzt werden; und je nachdem, wirken sie bei Berührung verschieden stark auf das Tastgefühl ein.³⁾ Diese Bewegung der irdischen Teilchen, mag sie nun durch das Licht oder durch irgend eine andere Ursache bewirkt sein, wird Wärme genannt.⁴⁾

Eine der natürlichsten Quellen der Wärme ist das Licht. Dieses besteht nämlich selbst in einem Druck, der sich durch das zweite Element fortpflanzt, welches bekanntlich nach Descartes auch zwischen die Körperteilchen eingelagert ist. Infolgedessen erfahren die Körperteilchen einen Druck; sie bewegen sich, und wir haben die Wärme. Letztere schwindet indes nicht sofort, sobald die Ursache der Wärme nicht mehr direkt einwirkt, da nach den Gesetzen der Natur die Körperteilchen auch dann noch eine Zeit lang im Zustand der Bewegung verharren.⁵⁾

Zur Erklärung der Elektrizität und des Magnetismus nimmt Descartes eine aus dem ersten Elemente gebildete Materie an.

In den elektrisierbaren Körpern befinden sich Teilchen des ersten Elementes von ganz eigener Form. Durch das Reiben werden diese Teilchen aus dem Körper herausgetrieben; da sie aber wegen ihrer eigentümlichen Form sich in der Luft nicht fortbewegen können, so kehren sie nach dem Körper zurück, von dem sie ausgegangen sind, und nehmen dabei andere leichte Körperchen mit sich (elektrische Anziehung).⁶⁾

Auch Descartes' Erklärung des Magnetismus besitzt keine grössere Wahrscheinlichkeit, obwohl ihr der Vorzug der Anschaulichkeit nicht abgesprochen werden kann.

Wie früher bemerkt wurde, wird jeder Wirbel von der Materie des ersten Elementes parallel der Richtung einer die beiden Pole verbindenden Achse durchflossen. Da auch die Erde früher ein Centalkörper war, findet bei ihr der nämliche Durchgang der Materie des ersten Elementes statt. Die gestreiften Teilchen gehen also durch das Innere der Erde in Richtung der Achse. Bei dem Pole, bei dem sie austreten, können sie jedoch vermöge ihrer gewundenen Form nicht wieder eintreten. Sie müssen demnach aussen um die Erde herumgehen und beim entgegengesetzten Pole eindringen, um ihren Lauf von neuem zu beginnen.

Auf diese Weise entsteht um die Erde herum eine Art Wirbel, und die Bahnen der einzelnen Teilchen müssen genau so gezeichnet werden, wie nach moderner Auffassung die Kraftlinien eines permanenten Magnetes.

¹⁾ Die in der Farbenlehre stark zur Geltung kommende Ansicht von einer fortschreitenden Bewegung der Teilchen des zweiten Elementes lässt sich etwas schwer mit folgender Stelle in Einklang bringen: *Ac propterea notandum est, vim luminis non in aliqua motus duratione consistere, sed tantummodo in pressione sive in prima praeparatione ad motum, etsi forte ex ea motus ipse non sequatur.* Pr. phil. III, § 63.

²⁾ Meteor. VIII, §§ 4—8.

³⁾ Ibid. I, § 7.

⁴⁾ Pr. phil. IV, § 29.

⁵⁾ Ibid. IV, §§ 28, 29.

⁶⁾ Ibid. IV, §§ 184 seqq. Die elektrische Abstossung hat bekanntlich erst Otto von Guericke entdeckt und in seinem Werke *Experimenta nova etc.* 1672 veröffentlicht, während Descartes' „*Principia*“ schon 1644 erschienen sind. Guericke spricht S. 59 seines Werkes auch vom Aether, scheint aber die Ansicht der Alten zu teilen.

Im Eisen, dem einzigen damals bekannten magnetischen Körper, sind noch solche gewundene Gänge geblieben. In einem Magnet liegen sie in der Richtung der Achse. Die um die Erde herumkreisenden Teilchen können daher nur dann durch einen Magnet gehen, wenn dieser in ihrer Richtung, d. h. in Nord-Südrichtung eingestellt ist, was sie andernfalls durch ihren Stoss selbst besorgen (Richtkraft des Magnetes).

Die gegenseitige Beeinflussung zweier Magnete geschieht in folgender Weise. Denken wir uns die zwei Magnete frei beweglich, etwa in kleinen Schiffchen auf Wasser schwimmend, und nehmen wir an, der Magnet *A* liege im Gegensatz zum Magnet *B* mehr nördlich. Vermöge ihrer Richtkraft stellen sich zunächst beide Magnete in die Nord-Südrichtung. Tritt nun die feine Materie etwa aus dem Südpol des Magnetes *A*, so kann sie wegen Uebereinstimmung der Schraubengänge ohne Hindernis in den Nordpol des Magnetes *B* eindringen. Beim Austritt am Südpol von *B* trifft sie auf Luft, die der Bewegung hinderlich ist; die Teilchen erhalten infolgedessen einen Rückstoss, und die beiden Magnete nähern sich gegenseitig.

Die Abstossung zweier feindlicher Pole geschieht in derselben Weise; denn in diesem Falle stimmt die Windungsrichtung der Gänge des einen Poles nicht mehr zu derjenigen des anderen; der Rückstoss der feinen Materie geschieht am zugewandten Pol und treibt die Magnete von einander weg.¹⁾

In jeder Hinsicht bedeutungsvoller erscheint Descartes' Theorie der Schwere, weil sie der erste Versuch ist, diese so allgemeine Naturerscheinung auf ein mechanisches Prinzip zurückzuführen, und weil sie den späteren Versuchen als Ausgangspunkt und Vorbild diene.²⁾

Wir können den Grundgedanken derselben kurz angeben, da sie nicht auf wesentlich neuen Voraussetzungen beruht.

Die Erde ist noch mit einer Sphäre feiner Materie umgeben und dreht sich zugleich mit dieser Materie, welche von aussen begrenzt ist, um ihre Achse. Infolge der Rotationsbewegung um die Erdachse erlangen die irdischen Körper und die Teilchen der Wirbelmaterie (erstes und zweites Element) eine gewisse Centrifugalkraft. Da aber die irdischen Teilchen zusammenhängen und weniger beweglich sind als die feinen Elemente, so überwiegt die Kraft der letzteren. Und weil nun der ganze Raum erfüllt ist, so kann eine gewisse Menge der Wirbelmaterie sich nicht nach aussen entfernen, ohne einen irdischen Körper an ihre Stelle, d. h. nach unten zu drücken. Dementsprechend wird die irdische Materie, da diese Verhältnisse überall statthaben, auch überall nach unten gedrückt; sie ist schwer.³⁾

Hiemit haben wir das Weltsystem Descartes', die Entstehung und die Eigenschaften der feinen Elemente dargelegt. Wir haben auch versucht, auf Grund der Eigenschaften und Wirkungen dieser Elemente eine Reihe wichtiger Naturerscheinungen im

¹⁾ Pr. phil. IV, §§ 146—155.

²⁾ Huygens erkennt Descartes' Verdienste ausdrücklich an, wenn er bei Darlegung seiner Gravitations-theorie sagt: „Je sçay que Mr. Descartes a aussi taché dans sa physique d'expliquer la pesanteur par le mouvement de certaine matière qui tourne autour de la terre; et c'est beaucoup d'avoir eu le premier cette pensée.“ Discours de la pesanteur p. 130. — Nach Fischer (Geschichte der Phys., Bd I, S. 53) hätte Kepler (1571 bis 1630) zuerst den Gedanken gehabt, die Schwere der Erdkörper auf eine mechanische Art zu erklären. Er nimmt nämlich an, dass gewisse um den Mittelpunkt der Erde herum bewegte feine Ausflüsse (spiritus, effluvia spirantia) die Körper senkrecht gegen die Erde niedertreiben. Kepler drückt sich aber so dunkel aus, dass einige meinten, er verstehe unter den „spiritus“ wirkliche Geister. Das Verdienst Descartes' bleibt also ungeschmälert.

³⁾ Pr. phil. IV, §§ 20—27; De lumine, pag. 42—47. Vgl. Rosenberger Gesch. Bd. II. S. 107. Zur Veranschaulichung kann man sich folgendes denken: Drängt sich eine Menge Personen nach einer engen Türe, so gelangen die stärkeren vorwärts, und die notwendige Folge davon ist, dass die schwächeren zurück, d. h. in einer ihrer ursprünglichen Bewegung entgegengesetzten Richtung, gedrängt werden. Dieses entspricht dem Fallen eines Körpers unter dem Einfluss der nach aussen drängenden Wirbelmaterie. Wollte nun jemand eine Person, die immer mehr zurückgeschoben wird, aufhalten, so müsste er eine ebenso grosse Kraft in entgegengesetzter Richtung (in Richtung gegen die Türe) aufwenden, als auf die Person selbst ausgeübt wird. Das nämliche geschieht bei einem am Fallen gehinderten Körper.

Sinne Descartes' zu erklären. Gerade weil diese feinen Elemente den genannten und noch anderen Erscheinungen zu Grunde liegen, müssen wir ihnen im System Descartes' die Rolle eines Aethers zuschreiben, obgleich sie darin nicht mit diesem Namen bezeichnet werden.

Descartes' Lebensaufgabe, die Wissenschaft zu erneuern und etwas Besseres an die Stelle des Alten zu setzen, wurde nun allerdings nicht allseitig von Erfolg gekrönt, zumal nicht in der Physik. Er fehlte, wie wir schon einmal bemerkt, dadurch, dass er die brauchbaren Resultate seiner Vorgänger nicht benützte und das Gesetz der Kontinuität nicht beachtete, welches auch für die Entwicklung der Wissenschaft gilt. Selbst bei den am meisten überraschenden Entdeckungen zeigt eine genauere Untersuchung, dass sie bis zu einem gewissen Punkte schon vorbereitet waren.

Ferner war er auch in der Physik ganz Philosoph, und der vortreffliche Mathematiker dachte nicht daran, seine Resultate durch die Rechnung zu prüfen.¹⁾

Dennoch muss man dem Bestreben Descartes' insofern Anerkennung zollen, als er die zahlreichen Naturerscheinungen durch Vermittlung der feinen Materien auf ein einheitliches mechanisches Prinzip zurückzuführen suchte. Und insofern darf man wohl behaupten, dass sein System bereits den Keim für eine Einheit der Naturkräfte in sich barg.

Nicht uninteressant dürfte es sein, nun auch zu erfahren, wie die Ideen des Meisters bezüglich der feinen Elemente in der cartesianischen Schule weiter ausgebildet wurden.

Anlass zur Weiterbildung des Systems waren einerseits der Kampf mit Newton und seiner Schule, andererseits die vielen Unwahrscheinlichkeiten, welche dasselbe enthielt.

Der Kampf der beiden Schulen dauerte über ein Jahrhundert und endete mit dem Siege der Newton'schen Richtung. Newtons Weltsystem war übrigens so vollkommen festgefügt, war ein so einheitliches Ganzes, dass kein Angriff es zu erschüttern vermochte. Deshalb ergaben sich ihm die Anhänger mit einem derart blinden Autoritätsglauben, wie wir hiefür nur in der Schule des Pythagoras ein Analogon finden.

Die Anhänger Descartes' waren ihrerseits für die Ideen ihres Meisters nicht weniger begeistert, mussten aber, damit der Kampf zum voraus nicht aussichtslos erscheine, daran denken, ihr System von den grössten Unwahrscheinlichkeiten zu befreien.

Malebranche²⁾ war wohl der erste, der den Nachweis lieferte, dass die harten Kügelchen des zweiten Elementes die Erklärung der Farben, wie Descartes sie gegeben, nicht ermöglichen. Wie er dartut, lässt sich nämlich auf Grund dieses Systems die feststehende Tatsache nicht begreifen, dass zahlreiche farbige Lichtstrahlen sich in einem Punkte kreuzen können, ohne sich gegenseitig zu zerstören. Der Charakter der Farbe soll ja nach ihm in einer bestimmten Rotationsgeschwindigkeit aller Kügelchen eines Strahles bestehen. Treffen also mehrere verschieden gefärbte Strahlen in einem Kügelchen (einem Punkte) zusammen, so übertragen sie auf dasselbe ihre Bewegung. Daraus resultiert nur eine Bewegung dieses Kügelchens, und weil dasselbe hart ist, so ist nicht abzusehen, wie es die verschiedenartigen Bewegungen, die es selbst empfangen hat, an andere abgeben könnte. Dieser Schwierigkeit glaubte Malebranche dadurch zu begegnen, dass er die Kügelchen flüssig annahm. Auf diese Weise konnten sich die verschiedensten Impulse fortpflanzen.³⁾

¹⁾ Glaubt man nicht einen Philosophen des Altertums zu hören, wenn Descartes sagt: *Inventis jam quibusdam principis rerum naturalium, quæ non a præjudiciis sensuum, sed a lumine rationis ita petita sunt, ut de ipsorum veritate dubitare nequeamus, examinandum est, an ex iis solis omnia naturæ phænomena possimus explicare.* Pr. phil. III, § 1.

²⁾ Nicolaus Malebranche wurde 1638 zu Paris geboren. Er war Priester des Oratoriums und starb nach bedeutender schriftstellerischer Tätigkeit im Jahre 1715. Ueber Malebranche schrieb Blampignon: „*Etude sur Malebranche d'après des documents manuscrits etc.*“ 1862.

³⁾ *Recherche de la vérité*, IV, p. 344–348.

Bei Malebranche treten also an Stelle der harten Kügelchen kleine weiche, d. h. flüssige Wirbel, die kugelförmig sind. Sie unterscheiden sich jedoch wesentlich von den durch Helmholtz und W. Thomson eingeführten ringförmigen Wirbeln, welche letztere zwar die verschiedenste Gestalt haben können, aber stets eine geschlossene Kurve bilden.

Eine gewisse Härte kommt den Wirbeln Malebranches nur insofern zu, als sie durch eine äussere Kraft, nämlich durch den Druck der umgebenden Wirbel zusammengepresst werden. Da weiter vorausgesetzt wird, dass diese kleinen Wirbel sich sehr rasch um ihren Mittelpunkt drehen und, wie bereits bemerkt, unter einem bedeutenden Drucke stehen, so findet eine fortgesetzte Teilung derselben statt. Daraus bildet sich ein überaus feines raumerfüllendes Medium,¹⁾ welches auch das erste Element Descartes' ersetzt.

Diese Auffassung von der Wirbelmaterie legte Malebranche seiner Lichttheorie zu Grunde, die gegen Descartes' einen bedeutenden Fortschritt aufweist, was sich zum Teil daraus erklären lässt, dass er die Optik Newtons und Huygens' Abhandlung über das Licht gekannt hat.

Zur Erklärung der Lichtwirkung bedient sich Malebranche eines Vergleiches. Man denke sich eine grosse Hohlkugel mit der oben beschriebenen Wirbelmaterie angefüllt. Jeder kleine Wirbel soll um seinen eigenen Mittelpunkt rotieren, die ganze Masse aber um eine Achse, und diese Masse soll ausserdem unter einem sehr grossen Drucke stehen. Wird nun irgendwo eine kleine Oeffnung in die Kugel gemacht, so streben die Teilchen der Wirbelmaterie geradlinig nach dieser Oeffnung hin. Umgekehrt geht, wenn durch die Oeffnung ein Stempel eingeführt und abwechslungsweise vor- und rückwärts geschoben wird, von der Oeffnung ein Druck nach allen Seiten aus. Die so entstandenen Erschütterungen in der Wirbelmaterie nennt Malebranche Erschütterungsschwingungen (*vibrations de percussion*).

Wenden wir dies auf das Licht an. Alles ist mit der feinen Materie erfüllt, einen leeren Raum gibt es nicht. Die feine Wirbelmaterie steht durch die Einwirkung der anderen grossen Wirbel, welche sie umgeben, unter einem sehr grossen Drucke. Ein Auge, das im Dunkeln ist, wird wohl eine Pressung von Seiten dieser Materie erfahren, empfindet sie aber nicht, so wenig man den Druck der Luft spürt. Wenn aber ein leuchtender Körper durch die Erschütterung seiner Teilchen der umlagernden Materie, dem Aether, rasche Stösse erteilt, so werden sich diese Stösse von Teilchen zu Teilchen augenblicklich (!) bis zum Auge fortpflanzen und als abnormaler Druck die Empfindung des Lichtes hervorrufen.²⁾

Wie man sieht, kann auch Malebranche sich von einer augenblicklichen Fortpflanzung des Lichtes nicht losmachen, obwohl ihm die Beobachtungen Römers bekannt waren. Diese sonderbare Ansicht eines von Teilchen zu Teilchen augenblicklich sich fortpflanzenden Druckes war eine Folge der Annahme, dass es keinen leeren Raum gebe, und dass die feine lichtvermittelnde Wirbelmaterie unter einem sozusagen unendlich grossen Drucke stehe. Man möchte allerdings erwarten, dass eine experimentell so beglaubigte Tatsache, wie die von Römer nachgewiesene zeitliche Fortpflanzung des Lichtes, Malebranche hätte veranlassen sollen, die Voraussetzungen näher zu prüfen, welche ihn zu dermassen widersprechenden Resultaten geführt haben. Und gerade deshalb, weil seine Hypothese einer feststehenden Tatsache widerspricht, verliert sie den Anspruch auf Berechtigung.

Malebranche spricht nicht ausdrücklich von einer Wellenbewegung in seinem

¹⁾ L. c. IV, p. 355—357.

²⁾ L. c. IV, p. 333 seq.

Lichtäther; dennoch erkennt man deutlich ein Hinneigen zu dieser Auffassung.¹⁾ Ganz besonders zeigt sich ein Fortschritt in seiner Erklärung der Farben, die wesentlich mit der von der Undulationstheorie gegebenen übereinstimmt. Zunächst bezeichnet er die von Descartes aufgestellte Farbenlehre als unhaltbar und bemerkt dann über Tonstärke und Tonhöhe einerseits und über Lichtstärke und Farbenverschiedenheit andererseits folgendes: „Die Tonstärke hängt ab von der Stärke der Luftschwingungen, die Tonhöhe von der Geschwindigkeit (Zahl) derselben, was jedermann zugibt. Die Stärke oder der Glanz der Farben hängt also auch ab von der Stärke der Aetherschwingungen, die Verschiedenheit der Farben aber ist bedingt durch die verschiedene Schnelligkeit dieser Aetherschwingungen.“²⁾

Zur Erklärung der Reflexion und Refraktion war Descartes von der Bewegung eines kugelförmigen Projektils ausgegangen. Es lässt sich daher mit Grund vermuten, dass Malebranche, nachdem er die Lichtmaterie anders konstituiert hatte, auch eine andere Erklärung dieser Erscheinungen geben werde. Wir wollen hier nur seine Ansicht über die Brechung darlegen, die von umso grösserem Interesse ist, weil Malebranche selbst bei Besprechung der Refraktion Gelegenheit findet, sich über die verschiedene Verteilung des Aethers in den Körpern auszusprechen. Er setzt diesbezüglich folgendes fest. Je dichter ein Körper ist, desto geringer ist die Zahl der in ihm enthaltenen Aetherwirbel.³⁾ Der spezifisch dichtere Körper ist also der ätherisch dünnere. Die gewöhnliche Materie beteiligt sich aber nur indirekt bei der Brechung des Lichtes; eigentliche Ursache der Brechung ist die Wirbelmaterie. Ein Lichtstrahl ist nichts anderes als die Linie, nach welcher der vom leuchtenden Körper ausgeübte Druck sich durch die Aethermaterie fortpflanzt. Obwohl jeder kleine Aetherwirbel wegen seiner Rotationsbewegung eine gewisse Zentrifugalkraft besitzt, so bewirkt diese letztere doch keine Verschiebung der Aetherwirbel, weil in demselben Medium die Druckverhältnisse überall sich gleich bleiben; deshalb pflanzt sich der Druck in gerader Linie fort und ist auch der Lichtstrahl geradlinig. Da aber in einem dichteren Medium die Zahl der Aetherwirbel kleiner ist, so verringert sich auch der Druck in demselben. Fällt daher ein Lichtstrahl schief auf ein brechendes Medium, so wird er, da der Ueberdruck nach dem dichteren gerichtet ist, nach dieser nämlichen Richtung gebrochen und nach unten, d. h. nach dem Einfallslot abgelenkt. Weil im brechenden Medium die Druckverhältnisse konstant sind, so ist der Lichtstrahl darin wiederum geradlinig.

Beim Austritte findet gerade das Umgekehrte statt. Der grössere Druck ist wiederum nach dem brechenden Mittel gerichtet; deshalb wird jetzt der Strahl vom Lote weg gebrochen. Ist das Medium, aus welchem der Strahl anfänglich austrat und in das er nach der Brechung wieder eintritt, dasselbe, so wird der Lichtstrahl parallel mit sich selbst verschoben.⁴⁾

Malebranche hat seine Aetherwirbel auch für die Erklärung der Gravitation, der Festigkeit und Elastizität herbeigezogen. Seine Gravitationstheorie stimmt mit derjenigen Descartes' darin überein, dass auch nach ihm der Rückstoss der sich von der Erde entfernenden Wirbelmaterie die Körper schwer macht. Er glaubt aber, dass die Rotationsbewegung der feinen Materie allein die Erscheinung nicht erklären könne.⁵⁾ Diesen Um-

¹⁾ Er äussert sich diesbezüglich folgendermassen: „Voilà ce que j'ai voulu dire lorsque j'ai avancé dans quelques uns de mes livres (Méthode), que la lumière et les couleurs ne consistoient que dans diverses secousses ou vibrations de la matiere éthérée, ou que dans des vibrations de pression, plus ou moins promptes, que la matiere subtile produisoit sur la rétine. Rech. IV, p. 337.

²⁾ L. c. IV. p. 396.

³⁾ L. c. IV. p. 396.

⁴⁾ L. c. IV. p. 393—397.

⁵⁾ L. c. IV. p. 365; 368 sqq.

stand betreffend macht er gegen die Gravitationstheorie Descartes' folgenden Einwurf. Wenn die um die Erde rotierende Aethermaterie durch den Rückstoss einer sich von der Erde entfernenden Aethermenge, welche der Masse des Körpers gleich ist, Ursache der Schwere sein soll, so müsste diese Materie sich 17 mal schneller drehen als die Erde. Dann wäre aber doch nicht einzusehen, wie diese mit einer Geschwindigkeit von etwa $7888 \frac{m}{sec.}$ sich bewegende Aethermaterie den senkrechten Fall einer Flaumfeder nicht ändern sollte. Sagt man aber, dass die rotierende feine Materie ungehindert durch die Feder hindurchgehe, so kann man fragen, warum denn dieselbe Materie den Körper niederdrücke und nicht auch da freien Durchgang finde.¹⁾

Damit haben wir die unseren Gegenstand betreffenden Ansichten Malebranches dargelegt. Wenn sie jetzt auch keinen wissenschaftlichen Wert mehr besitzen, so sieht man doch, dass dieser Gelehrte, obgleich er in seinen Anschauungen sich als Cartesianer zu erkennen gibt, doch die Lehren seines Meisters nicht blindlings angenommen, sondern sie der Kritik unterworfen und daran verschiedene Aenderungen vorgenommen hat.

Weniger bekannt ist in der Geschichte der Physik ein anderer Cartesianer, Privat de Molières, der die kleinen Wirbel Malebranches noch einmal umformte. Er lässt nämlich jeden dieser Wirbel aus einer beliebig grossen, wenn auch nicht unendlichen Zahl anderer Wirbel bestehen, von denen jeder aus einer noch feineren Materie besteht als der vorhergehende (Wirbel erster, zweiter, dritter Ordnung u. s. w.).²⁾

Wir bemerken noch, dass man in der Schule Descartes' öfter den Versuch machte, brauchbare Gravitationstheorien aufzustellen. Indessen vermochten dieselben derjenigen Newton's nicht stand zu halten.³⁾ Newton selbst hatte nämlich dem Wirbelsystem Descartes' den Todesstoss versetzt; und dies nicht allein dadurch, dass er ein wissenschaftlich streng begründetes System aufstellte, er hat selbst am Schlusse des zweiten Buches seiner „Principia“ die Wirbelbewegung zum Gegenstand einer eingehenden Untersuchung gemacht und kam dabei zu dem für die Anhänger Descartes' geradezu vernichtenden Schluss: „Demnach widerspricht die Hypothese der Wirbel durchaus den astronomischen Erscheinungen und dient nicht so sehr zu ihrer Erklärung als zu ihrer Verwirrung.“⁴⁾

Dieses Urteil fand indes nicht allseitige Beachtung; es fehlte nicht an neuen Versuchen, die Wirbeltheorie aufrecht zu erhalten. Wir führen als Beweis dafür den berühmten Basler Mathematiker Johann Bernoulli (1667—1748) an, in dessen Schriften sich verschiedene Ansichten über den Aether vorfinden.

Er suchte in der 1730 gedruckten Schrift „Nouvelles pensées sur le système de M. Descartes et la manière d'en déduire les orbites et les aphélie des Planètes“ eine brauchbare Wirbeltheorie aufzustellen. Da hiebei seine Anschauungen über die Bewegung der Planeten von denjenigen Descartes' abwichen, so musste er eine widerstandlose Wirbelmaterie ersinnen. Zu diesem Zwecke dachte er sich die Wirbelmaterie ins (aktuell) Unendliche geteilt oder vielmehr aufgelöst, vollkommen flüssig, durchaus homogen, kontinuierlich und ohne jede Kohärenz der Teilchen, sodass sie sich der Bewegung eines festen Körpers gegenüber wie ein vollkommenes Vacuum verhielt; ein Widerstand musste

¹⁾ Rech. IV, p. 365, 366. Wäre nicht die Fundamentalannahme, derzufolge die ganze Wirbelmaterie unter einem nach dem Erdmittelpunkt gerichteten Drucke steht, zur Erklärung der Schwere ausreichend gewesen?

²⁾ Paulian, Dictionnaire de Physique, Art. Tourbillons composés.

³⁾ Einige dieser Theorien findet man bei Paulian L. c. Art. gravité und bei Fischer, Gesch. Bd. II, S. 280 ff.

⁴⁾ Itaque hypothesis vorticum cum phaenomenis astronomicis pugnat, et non tam ad explicandos quam ad perturbandos motus celestes conducit. Pr. math, Tom, II, pag. 316.

also nicht mehr in Rechnung gezogen werden. Nähere Angaben über diese Materie finden sich in der 1735 gedruckten Schrift „Essai d'une nouvelle physique céleste“.¹⁾

Eigentümlich ist Joh. Bernoullis Stellung zu den drei damals angesehensten Lichttheorien. Nach der zuletzt angeführten Schrift stimmen seine Ansichten zum Teil mit denen Descartes' überein; doch findet er, dass die augenblickliche Fortpflanzung des Lichtes in Anbetracht der Entdeckung Römers nicht mehr haltbar sei. Von Huygens' Abhandlung über das Licht spricht er mit der grössten Hochachtung, ohne indessen in allen Punkten gleicher Meinung zu sein. Namentlich sieht er eine Schwierigkeit in der so grossen Fortpflanzungsgeschwindigkeit einer Bewegung von Teilchen zu Teilchen. Um dies zu erklären, müsse man eine unendlich feine, schnell bewegte Zwischenmaterie annehmen oder den Aetherkügelchen die Elastizität als angeschaffene Eigenschaft beilegen, was ebenso wenig Sinn habe als die Attraktionskraft Newtons. Endgültig spricht sich Joh. Bernoulli für eine Emissionstheorie aus, die er aber später wiederum aufgegeben hat.²⁾

In seiner Gravitationstheorie scheint Joh. Bernoulli ein Vorläufer der neuerdings wieder aufgenommenen Aetherstosstheorien gewesen zu sein.³⁾

Eine bedeutende Aenderung der Anschauung über das Wesen des Lichtes weist seine Preisschrift vom Jahre 1736 auf. Sie trägt den Titel „Recherches physiques et géométriques sur la question: Comment se fait la propagation de la lumière?“

Er hätte sich bei Lösung dieser Aufgabe für eine der drei damals angesehensten Lichttheorien entscheiden können. Er tat dies aber nicht, sondern stellte eine eigene Theorie des Lichtes auf, die insofern neu war, als er dafür zunächst einen Aether konstruirte und dann die Eigenschaften des Lichtes auf Grund des so beschaffenen Aethers ableitete.

Wie schon angedeutet, wandte er sich hier ganz von der Emissionstheorie ab.

Die ungeheure Geschwindigkeit des Lichtes, wie sie seit den Beobachtungen Römers angenommen werden muss, weist zunächst auf das Vorhandensein einer Kraft als Ursache dieser schnellen Bewegung in der Lichtmaterie hin. Indessen ist keine ausserordentlich grosse Kraft erfordert, wenn man bedenkt, dass dieselbe Kraft einem Körper eine beliebig grosse Beschleunigung erteilt, wenn nur die Masse des Körpers in demselben Verhältnis kleiner wird.⁴⁾

Haben die Anhänger Newtons eine allgemeine Attraktionskraft angenommen, ohne eine physische Ursache dafür angeben zu können, so wird es mit mehr Recht erlaubt sein, eine allgemeine ausdehnende Kraft (une force dilatatrice) vorauszusetzen, die in einer sehr feinen, den Weltraum erfüllenden Materie ihren Sitz hat.⁵⁾ Da aber die Materie des Aethers ohne eine solche elastische Kraft denkbar ist, so muss die Ursache ihrer Elastizität noch weiter zurückliegen: es ist die Bewegung der Aetherteilchen.⁶⁾ Bemerkenswert ist, dass Joh. Bernoulli bei Feststellung der

¹⁾ Opera omnia, Tom. III, p. 275 seq. — Joh. Bernoulli war sich seiner Sonderstellung wohl bewusst wenn er eingangs der genannten Schrift sagt: „On sera peut-être surpris de voir que j'ose reproduire sur la scène les tourbillons célestes, dans un tems où plusieurs Philosophes, particulièrement des Anglois, les regardent comme de pures chimeres, et n'en parlent qu'avec le dernier mépris“ Op. om. Tom. III, p. 133. — Er bemerkte auch dem jungen Genfer Gabriel Cramer gegenüber, der neben ihm das Accessit für seine Arbeit, die auf Newton'schen Anschauungen fusste, erhalten hatte, er glaube seinen Sieg nur der Behutsamkeit zu schulden, mit der er besser als Cramer die Wirbel des Descartes behandelt habe, die noch immer von den Preisrichtern verehrt würden. Rosenberger, Gesch. Bd. II, S. 276.

²⁾ De mercurio lucente in vacuo. Op. om. Tom. II, pag. 329—333; Essai d'une nouvelle phys. Op. om. Tom. III, pag. 288 seq. Huygens hat in der Tat eine sehr schnell bewegte Zwischenmaterie zur Erklärung der Elastizität des Aethers angenommen, was wir später noch sehen werden.

³⁾ Essai, Op. om. Tom. III, pag. 217; ausführlicher S. 295 ff.

⁴⁾ Recherches sur la question etc. p. 5 seq.

⁵⁾ Ibid. p. 7.

⁶⁾ Ibid. p. 8. Bernoulli macht hier Huygens und Newton einen Vorwurf, dass sie dem Aether die Elastizität zuschreiben, ohne einen näheren Grund anzugeben.

Grundeigenschaften des Aethers ausdrücklich auf Malebranche zurückgreift.¹⁾ Er denkt sich die ätherische Materie aus unendlich vielen sehr kleinen Wirbeln zusammengesetzt. Vermöge dieser Feinheit der Teile geht der Aether mit Leichtigkeit durch die engsten Poren fester und flüssiger Körper. Da alle Teilchen eines solchen Wirbels in sehr kleinen Kreisen rotieren, so entsteht in der Wirbelmaterie eine Zentrifugalkraft, die umso grösser ist, je kleiner man die Wirbel annimmt, da die Kraft dem Durchmesser der Bahn umgekehrt proportional ist. Die Elastizität des Aethers hat ihren Grund in dieser Zentrifugalkraft der Aetherteilchen.²⁾

Bis dahin unterscheidet sich dieser Aether nicht wesentlich von dem des Malebranche; das unterscheidende Merkmal liegt in folgender Annahme.

Die elastische Wirbelmaterie soll von sehr kleinen, absolut inkompressiblen Körperchen durchsetzt sein, die in Zwischenräumen so verteilt sind, dass zwischen zwei beliebigen Punkten im Raume solche Körperchen in der Verbindungsgeraden liegen.³⁾ Da diese Körperchen unter gewöhnlichen Umständen von der Wirbelmaterie überall gleichen Druck erfahren, so sind sie in Ruhe. Wird aber durch irgend eine Kraft eines dieser Körperchen aus seiner Ruhelage gebracht, so pflanzt sich die Gleichgewichtsstörung von einem Körperchen zum anderen durch Vermittlung der Wirbelmaterie geradlinig fort. Hört die ursprünglich verschiebende Kraft auf, so sucht die elastische Wirbelmaterie die Gleichgewichtslage wieder herzustellen; die Körperchen kommen jedoch über dieselbe hinaus und vollführen deshalb sehr kleine und rasche Oszillationen.⁴⁾

Joh. Bernoulli gibt die Fortpflanzungsgeschwindigkeit und die geradlinige Ausbreitung des Lichtes als Grund dafür an, warum er in die Wirbelmaterie Malebranches die festen Körperchen eingeführt habe.⁵⁾

Was die Fortpflanzungsgeschwindigkeit betrifft, möchten wir das Vorgehen Bernoullis als einen Versuch ansehen, die Theorie Descartes' mit der experimentell festgestellten zeitlichen Fortpflanzung des Lichtes in Einklang zu bringen. Descartes kam zu einer unendlich grossen Fortpflanzungsgeschwindigkeit, weil sein lichtvermittelndes Medium (zweites Element) aus harten, sich unmittelbar berührenden Kügelchen bestand. Dadurch nun, dass nach Bernoulli die harten Körperchen seines Lichtäthers sich nicht unmittelbar berühren, sondern durch eine elastische Zwischenschicht getrennt sind, muss die Fortpflanzungsgeschwindigkeit eine begrenzte sein, weil die Wirbelmaterie komprimiert wird, eine Kompression aber stets Zeit erfordert. Man könnte allerdings dagegen einwenden, dass Bernoulli ohnedies erkannt hätte, dass auch ein Stoss nach der Voraussetzung Descartes' sich nicht zeitlos fortpflanzen könne. Sei dem, wie ihm wolle, er gibt weiter keine Gründe für sein Vorgehen an, sofern es sich um die Fortpflanzungsge-

¹⁾ Je ne trouve rien de plus propre pour mon dessein que les petits tourbillons du P. Malebranche. Rech. sur la propag. de la lumière p. 9.

²⁾ Am deutlichsten wird die Elastizität des Aethers in folgender Stelle auseinandergesetzt: „Selon notre théorie, l'élasticité de l'éther consiste dans la force centrifuge perpetuelle de la matière des petits tourbillons resserrés dans des circonferences extrêmement étroites, et circulants avec une rapidité nécessaire pour causer une force centrifuge aussi grande que l'on jugera convenable; par-là les tourbillons s'appuyant les uns contre les autres, et se tenant ainsi en équilibre produisent dans la masse de tout l'éther, et dans chacune de ses parties, ce ressort général ou cet effort avec lequel l'éther cherche continuellement à se dilater.“ Rech. etc. p. 40. — Joh. Bernoulli findet in Uebereinstimmung mit Newton die Elastizität des Aethers $49 \cdot 10^{10}$ grösser als die der Luft in der Nähe der Erde. Bei dieser Gelegenheit spricht er sich dahin aus, dass der Druck des Aethers nicht Ursache der Festigkeit der Körper sei, wie Malebranche und Jac. Bernoulli vermutet haben. A. a. O. S. 41. In einer andern Schrift leitete Joh. Bernoulli die Elastizität der Körper von einer sehr feinen Materie ab, die im Wirbel kreisförmig herumgetrieben wird und dadurch eine Schwingkraft erhält, welche die Körperteilchen ausdehnt. Fischer, Gesch. der Phys. Bd. IV, S. 61.

³⁾ Je me figure présentement, que tout cet amas de petits tourbillons qui remplit les vastes espaces du Monde, est parsemé des corpuscules très-petits, durs ou solides, laissant entre eux des intervalles...; il suffit que je conçoive très-clairement que chaque ligne droite tirée d'un point à l'autre, infiltrera une infinité de ces petits corpuscules. L. c. p. 10.

⁴⁾ Ibid. p. 10, 11.

⁵⁾ Ibid. p. 25.

schwindigkeit des Lichtes handelt. — Wohl aber geschieht dies bezüglich der geradlinigen Ausbreitung. Er bemerkt, Huygens habe nur in ungenügender Weise die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes erklärt, auch habe er nicht angeben können, warum im Gegensatz zur Ausbreitung des Schalles die Ausbreitung des Lichtes zur Seite unterbleibt. In seiner Annahme falle diese Schwierigkeit weg. Da nämlich die im Aether vertheilten festen Körperchen inkompressibel sind, so vermitteln sie einen Druck nur in der Richtung, in der sie selbst davon betroffen werden, während bei der Luft, deren Teile alle elastisch sind, einer Kompression nach einer Richtung stets eine Dilatation in einer dazu senkrechten Richtung entspreche, die ihrerseits neue Schallwellen erzeuge.¹⁾

Bezüglich der im Aether erregten Schwingungen stellt er fest, dass sie longitudinal (vibrations longitudinales) und tautochron sind, und dass in demselben Medium der vom Licht durchheilte Weg der Zeit proportional ist.²⁾

Eigentümlich ist die Annahme, dass in einem bestimmten Lichtstrahle sich nur Körperchen von gleicher Grösse befinden. Ausgehend von den Resonanzerscheinungen bei schwingenden Saiten, glaubt Bernoulli zum Schlusse berechtigt zu sein, dass eine im Aether erregte Bewegung unter den festen Teilchen gleichsam eine Auswahl treffe und nur jene Teilchen in Bewegung setze, welche eine übereinstimmende Bewegungsfähigkeit besitzen; die anderen Teilchen würden ausgeschieden und einem anderen Strahle eingereiht.³⁾ Diese etwas abenteuerliche Annahme liegt dann weiter der Erklärung der Farben zu Grunde, und Bernoulli betrachtet es als einen grossen Vorzug seiner Theorie, einen physischen Grund angeben zu können, warum sich in einem Lichtstrahl von bestimmter Farbe auch Körperchen von bestimmter Grösse finden, während Newton für seine Ansicht, dass die verschiedenen Farben von verschieden grossen Lichtteilchen herrührten, keinen Grund anzugeben wusste. Indessen hat der Umstand, dass in diesen beiden Theorien ein Lichtstrahl von bestimmter Farbe aus Teilchen bestimmter Grösse bestehe, nicht denselben Sinn; denn die Theorie Bernoullis ist eine Undulationstheorie, in welcher der richtige Gedanke Malebranches, dass die Farbe durch die Zahl der Aetherschwingungen bedingt sei, leider nicht mehr beibehalten wurde.

Bei der Brechung des Lichtes bespricht Bernoulli auch die Elastizitätsverhältnisse des in den Körpern eingeschlossenen Aethers. Da er voraussetzt, dass die Poren eines Körpers umso enger sind, je dichter derselbe ist, so sind die Aetherwirbel in den engen Poren zusammengepresst. Infolgedessen wird die Zentrifugalkraft ihrer Teilchen grösser, und weil die Elastizität des Aethers, wie oben bemerkt, eine Wirkung der Zentrifugalkraft ist, so ergibt sich, dass der Aether in dichteren Medien eine grössere Elastizität besitzt.⁴⁾ Ganz verfehlt ist der Schluss, den er zieht, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes im dichteren Medium grösser, im freien Aether am kleinsten sei.⁵⁾

Der Zweck unserer Aufgabe verlangt kein weiteres Eingehen auf die in zitierten Schrift aufgestellte Lichttheorie, die eine Undulationstheorie ist. Die Geschichte der Optik hätte sie jedenfalls und vielleicht mehr, als bisher geschehen, zu berücksichtigen.

Zum Schlusse dieses Kapitels erwähnen wir noch eine Schrift des Jacob Bernoulli (1655—1705). Sie erschien 1683 zu Amsterdam und trägt den Titel „Dissertatio de gravitate aetheris“. Es werden darin die Schwere, die Erscheinungen der Kohäsion und Festigkeit durch die Wirkung einer Aethermaterie erklärt. Der Aether wird dabei

¹⁾ Ibid. p. 25. Diese Argumentation scheint uns nicht unanfechtbar zu sein. Da die zwischen den Kugeln liegende Wirbelmaterie kompressibel ist, so muss in ihr genau das stattfinden, was er bezüglich der Luft behauptet, nämlich Querdilatationen, die sich offenbar auch auf die in ihrer Richtung liegenden festen Körperchen übertragen.

²⁾ Ibid. p. 16.

³⁾ Ibid. p. 14.

⁴⁾ Ibid. p. 46, 47.

⁵⁾ Ibid. p. 49.

in einen „sublunaren“ und einen „supralunaren“ ausgeschieden. Die Sphäre des ersteren liegt zwischen Erde und Mond, die des letzteren zwischen Mond und Sonne. Jene Körper, die nach unten streben, heissen schwer (*corpora gravia*) im gewöhnlichen Sinne; jene aber, die Ursache der Schwere sind, heissen schwermachende Körper (*corpora gravitanti*). Der Aether ist ein schwermachender Körper; er ist Ursache der Schwere, und deshalb ist die Schwere nicht ein den Körpern innewohnendes Prinzip, sondern etwas, was durch äussere Kraft, nämlich durch den Druck der um die Erde wirbelnden Aethermasse, bewirkt wird.¹⁾

Damit verlassen wir die Schule Descartes'. Das Streben seiner Anhänger, das einmal lieb gewonnene System durch Einführung neuer Hypothesen dem Newton'schen gegenüber aufrecht zu erhalten, gleicht dem Versuche, ein morsches, auf sandigem Grunde gebautes Haus durch Stützen vor dem Zusammenbrechen zu bewahren. Dieses System musste unterliegen wegen mangelnder Uebereinstimmung der Theorie mit den Erfahrungstatsachen. Besonders konnten sich die Astronomen mit dem Wirbelsystem nie recht befreunden, und mehr noch als die vernichtende Sentenz Newtons, die wir oben erwähnt, trugen zur Untergrabung desselben die Beobachtungen bei, die an der Bewegung der Kometen gemacht wurden. Whewell sagt diesbezüglich: „Die Kometen waren eine Art Artillerie, denen das berühmte Plenum Descartes' nicht widerstehen konnte. Als man nämlich sah, dass die Pfade dieser Himmelswanderer jene Wirbel nach allen Richtungen willkürlich durchkreuzten, so wurde es ganz unmöglich, anzunehmen, dass jene eingebildeten Ströme die Ursache von den Bewegungen der in ihnen eingetauchten Körper sein sollten. Der ganze imaginäre Mechanismus hatte keine reelle Bedeutung mehr.“²⁾

So unterlag das System Descartes' trotz der grossen Geistesarbeit, die darauf verwendet wurde. Dennoch muss man anerkennen, dass die Cartesianer in gewisser Beziehung dem Drängen des menschlichen Geistes nach Erkenntnis der letzten Ursachen der Erscheinungen mehr Rechnung getragen haben als Newton in seinem grossartigen System. Dies tritt ganz besonders in der Theorie der Gravitation hervor, wo jene eine mechanische Ursache aufzufinden bemüht waren, während Newton sich damit begnügte, ihre Gesetze ermittelt zu haben, und das im Innern gewiss laut sich erhebende Warum gewaltsam unterdrückte. Es lag nun einmal nicht in seinem System, Hypothesen aufzustellen. In völliger Verkennung des Wertes der Hypothesen betrachtete er sie als etwas Verkehrtes; er sagte kurzweg: „*hypotheses non fingo*“, ein Grundsatz, der ein Jahrhundert lang von den Newtonianern festgehalten wurde.³⁾

Aus dieser Darlegung stellt sich klar heraus, dass die Aetherhypothese durch Descartes und seine Schule einen bedeutenden Fortschritt gemacht hat. Im Altertum und Mittelalter war der Aether etwas, mit dem man nicht viel anzufangen wusste; im System Decartes' aber ist die Rolle des Aethers bereits so umfassend, dass selbst die neuere und neueste Zeit ihn kaum vielseitiger anwendet. Freilich steht Descartes noch in der ersten Entwicklungsperiode der Aetherhypothese; diese hat noch etwas Rohes und Unbeholfenes an sich, und der grösste Fortschritt, den man später gemacht hat, besteht in der Vervollkommnung der Momente, welche bereits damals in allgemeinen Umrissen gezogen wurden.

¹⁾ Jac Bernoulli, *De gravitate aetheris*, p. 73--79; 132--138.

²⁾ Whewell, *Gesch. der ind. Naturw.*, Bd. II, S. 222.

³⁾ Man sehe den Schluss der „*Principia*“ Newtons.



III. Kapitel.

Der Aether in der Undulationstheorie bis Euler.

Mit der Frage, wie weit die Anfänge der Undulationstheorie des Lichtes zurückreichen, hängt die weitere Frage zusammen, welche Vorstellungen man anfänglich vom Aether hatte. Indessen sind beide Fragen nicht gleichbedeutend. Jedenfalls wäre es verfehlt, aus der Tatsache, dass man schon früher den Aether als eine feine, allverbreitete Flüssigkeit anschaute, auf eine bereits gegebene, damit zusammenhängende Undulationstheorie des Lichtes zu schliessen. Das Altertum und das Mittelalter hatten sicherlich keine entsprechende Vorstellung von einer wellenartigen Bewegung des Lichtes, und selbst bei Descartes konnten wir trotz des Fortschrittes, den die Aetherhypothese durch ihn erfahren, die Merkmale einer Undulationstheorie nicht finden.

Umgekehrt jedoch lässt das Vorhandensein von Vorstellungen von der Wellennatur des Lichtes mit ziemlicher Sicherheit auf entsprechende Anschauungen über den Aether folgern. Besteht nämlich das Licht analog dem durch Schwingungen der Luft vermittelten Schalle in Schwingungen einer feinen Flüssigkeit, so muss notwendig ein materieller Träger der Bewegung, ein Aether, oder wie man diesen Träger immer nennen will, angenommen werden. Die Undulationstheorie bedingt die Aetherhypothese; die Entwicklung der letzteren knüpft sich an die Fortschritte der ersteren.

Wo man also immer angefangen hat, das Licht als eine Wellenbewegung aufzufassen, musste man sich auch schon entsprechende Vorstellungen von dem Träger der Bewegung, dem Aether, gebildet haben.

Ueber die Anfänge der Undulationstheorie sagt Verdet: „Es wäre sehr schwierig, wenn nicht geradezu unmöglich, die Zeit festzustellen, wo man, wenn auch nur auf kümmerliche Weise, anfing, das Licht als eine Bewegung zu betrachten. Im Mittelalter war die Ansicht von der Materialität des Lichtes widerspruchslos angenommen.¹⁾ Aber schon in den Handschriften Leonardo da Vinci's (1432—1519)²⁾ und in der Korrespondenz Galileis (1564—1642)³⁾ begegnet man einigen Spuren einer Undulationstheorie, und im 17. Jahrhundert haben weder Huygens noch Andere, welche das Licht als Undulation auffassten, diese Anschauung als eine persönliche Erfindung, sondern als eine schon geläufige Hypothese ausgegeben. Es ist sogar glaublich, dass diese Anschauung sehr weit zurückreicht; denn wenn im Altertum das Feuer bald als Materie, bald als Bewegung angesehen wurde, so lag es nahe, diese Ansicht auch auf das Licht auszudehnen, welches ja eine der sinnenfälligen Wirkungen des Feuers ist.“⁴⁾

¹⁾ Das ist nicht genau; wir sahen ja, dass Aristoteles, der hl. Thomas von Aquin und mit ihnen die peripatetisch-scholastische Schule die Materialität des Lichtes bestritten.

²⁾ Die Angabe über Leonardo da Vinci bezieht sich auf eine Anmerkung in *Libri, Histoire etc.* Tom. III, p. 43, wo es heisst: „Léonard ne croyait pas au système de l'émission pour la lumière. Il considérait le son et la lumière comme se propageant de la même manière.“

³⁾ Ueber Galilei bemerkt Rosenberger: In wie weit Galilei an eine Wellenbewegung, also an eine Bewegung am Ort oder an eine Fortpflanzung des Lichtstoffes denkt, lässt sich ebenso wenig wie bei Aristoteles erkennen. Rosenberger, *Newton* S. 20.

⁴⁾ Verdet, *œuvres*, Tom. V. p. 19, 20. Man vergleiche oben S. 12.

Mag es sich mit dem, was Verdet hier bemerkt, wie immer verhalten, jedenfalls waren die Vorstellungen, die man bis in die Mitte des 17. Jahrh. von der Wellennatur des Lichtes hatte, sehr dunkel. Noch mehr gilt dies hinsichtlich des Aethers. Eine gewisse Uebereinstimmung zwischen Licht und Schall scheint man wohl geahnt zu haben, und damit war auch die Existenz eines Trägers der Lichtwellen von selbst gegeben. Da man jedoch über die Wellenbewegung des Lichtes nichts Näheres wusste, so fehlte es naturgemäss auch an weiteren Vorstellungen von den Eigenschaften des Aethers.

Wir übergehen deshalb diese Zeit und beschäftigen uns bloss mit jenen Vorläufern Huygens', die bestimmtere Ansichten aussprechen.

Bisweilen betrachtet man den um die Entwicklung der Optik sehr verdienten Jesuitenpater Francesco Grimaldi¹⁾ (1618—1663) als einen der ersten Vertreter der Undulationstheorie. Er spricht wirklich einigemal vom Aether; z. B. meint er, dass die Natur, die (wie man sagt) einen Abscheu vor dem Leeren hat, die Poren der Körper mit reinem Aether oder mit etwas, das mit den einzelnen Körpern innigere Verwandtschaft besitzt, ausgefüllt habe. Er sagt, dass wegen der Vermischung der Luft mit den irdischen Körpern einigen davon etwas vom reinen Aether beigemischt sei.²⁾

Diese Sprachweise lässt noch ein gewisses Anlehnen an alte Anschauungen durchblicken. Für Grimaldi ist der Aether zwar etwas Besonderes; er legt ihm aber in seiner Lichtlehre nur nebensächliche Bedeutung bei. Später erwähnt er ihn nicht mehr, und der von ihm angenommenen Lichtmaterie gibt er niemals den Namen Aether. Im höchsten Falle könnte man gerade dieser Materie, der Substanz, die Grimaldi als Wesen des Lichtes auffasst, die Rolle des Lichtäthers zuschreiben.

Letzteres geht aber auch nicht an, obwohl dieser Physiker das Licht häufig mit den Wasserwellen vergleicht, und die Ausdrücke *agitatio*, *fluitatio* und *undulatio* in seinem Werke beständig wiederkehren.

Einmal ist sein Urteil über das Wesen des Lichtes durchaus schwankend und unbestimmt. Ein Beweis hiefür liegt schon darin, dass er in den 60 Propositionen des ersten Buches die Substantialität des Lichtes zu beweisen sucht, in den 6 Propositionen des zweiten Buches dagegen dessen Akzidentalität verteidigt, ohne sich schliesslich für eine Ansicht zu entscheiden.

Sodann fasst er das Licht als eine Materie, als einen Stoff auf, während dasselbe nach der Undulationstheorie durchaus etwas Nichtstoffliches darstellt. Er definiert es folgendermassen: „Das Licht ist eine körperliche Substanz, die sehr fein und flüssig ist und sich mit räumlicher Bewegung sehr schnell durch das Durchsichtige ergiesst.“³⁾ Auch erklärt er im ersten Buche die Lichterscheinungen zumeist auf Grund der Substantialität des Lichtes, und nur selten spricht er eine Behauptung aus, die unabhängig von der Substantialität oder Akzidentalität desselben zurecht besteht.

In diesem Sinne wurde Grimaldis Ansicht auch von seinem Ordensbruder, dem P. Pardies, aufgefasst. Anlässlich einer Kontroverse über die Farben schreibt dieser den 21. Mai 1672 an Newton, Grimaldi hätte das Licht als Substanz angesehen.⁴⁾

Zudem bekämpft Grimaldi den Descartes und überhaupt alle jene, welche das Licht als Akzidenz, als eine Bewegung am Orte auffassten, woraus auch hervorgeht, dass er jene

¹⁾ Seine Anschauungen über das Licht sind niedergelegt in dem zwei Jahre nach seinem Tode erschienenen Werke „*Physico-mathesis de lumine etc.*“

²⁾ *Physico-mathesis* p. 127.

³⁾ „*Lumen est substantia corporea, subtilissima, fluida, et cum motu locali velocissime profusa per diaphanum.*“ *Ibid.* p. 341. — Gerade wegen dieser örtlichen Fortbewegung der Lichtsubstanz schliesst Grimaldi in richtiger Weise, dass seine Fortpflanzung keine augenblickliche sein könne. A. o. O. S. 153.

⁴⁾ P. Pardies' Worte sind: „*Etenim in ea hypothesis, quam fuse explicat noster Grimaldus, in qua supponitur lumen esse substantiam quandam rapidissime motam, posset fieri aliqua diffusio luminis post transitum foraminis et decupationem radorum.*“ *Newtoni opuse.* Tom. II, p. 326.

Ansichten, die einer richtigen Undulationstheorie näher lagen, wohl gekannt hat.¹⁾ Zum Ueberfluss beweist er noch, dass der Sonnenkörper durch das von ihm ausströmende Licht an Masse abnehmen müsse, wenn immerhin wegen der Feinheit der Lichtmaterie diese Abnahme nicht bald wahrnehmbar sei.²⁾

Die Tatsache, dass er im zweiten Buche seiner Physico-mathesis der Akzidentalität des Lichtes das Wort redet, beweist nicht viel dagegen. Denn diese Annahme dient ihm nicht dazu, den Charakter der Lichterscheinungen darzutun, während auf Grund der Substantialität alle diesbezüglichen Erklärungen gegeben werden. Letzteres würde er aber gewiss nicht getan haben, wenn er vom Gegenteil überzeugt gewesen wäre.

Wir stimmen daher Heller³⁾ bei, wenn er in Anbetracht der erwähnten Unbestimmtheit sagt, dass der gelehrte Forscher von der Bildung einer einheitlichen Lichttheorie noch sehr weit entfernt war.

In Rücksicht auf die Wellenbewegung des Lichtes, auf die Bewegung des Lichtträgers am Orte, welche das zweite Merkmal der Undulationstheorie bildet, muss allerdings anerkennend hervorgehoben werden, dass sich bei ihm ein stetes Drängen nach der kinetischen Erklärung des Lichtes und seiner Eigenschaften zeigt, und dass seine Anschauungen denjenigen seiner Vorgänger gegenüber einen Fortschritt aufweisen. So sagt er von der Bewegung des Lichtes, man müsse in dem durch das Durchsichtige verbreiteten Lichte ein überaus feines Fließen erkennen, das aus sehr schnellen und kleinen Wellenbewegungen besteht, ohne dass dadurch sein weiteres Fortfließen gehindert würde.⁴⁾

Etwas Eigentümliches hat aber diese Wellenbewegung doch, und dies wird gewöhnlich zu wenig hervorgehoben. Bei der Ausbreitung des Lichtes ist es nämlich keineswegs die Bewegung, welche sich durch die Lichtsubstanz hindurch fortpflanzt, sondern die Lichtmaterie fließt selbst, sie dringt durch die Poren in die Körper ein und durchsetzt sie, indem sie sich mit der schon in den Poren befindlichen Flüssigkeit vermischt.⁵⁾

Gerade seinen Gegnern gegenüber hebt Grimaldi die räumliche Fortpflanzung der Lichtsubstanz als ein seine Anschauung von der ihrigen unterscheidendes Merkmal hervor.⁶⁾

Es fehlt also der Anschauung Grimaldis auch das zweite Merkmal der Undulationstheorie, die Bewegung am Ort.

Hellers Worte: „Es ist jedenfalls verfrüht, Grimaldi die Aufstellung der Undulationshypothese zuschreiben zu wollen,“⁷⁾ erscheinen nach dem Gesagten vollkommen

1) Physico-mathesis p. 206—212; 362—365.

2) Ibid. p. 210, 211.

3) Geschichte der Physik, Bd. II, S. 24.

4) Itaque concipienda est in lumine per diaphanum sparso subtilissima fluitatio, constans ereberrimis, arc-tissimisque undulationibus, non tamen impediens ulteriorem ejus profusionem. Phys.-math. p. 342.

5) Belege dafür enthalten die eben angeführten Stellen.

6) Jam non video, quæ debeat esse maior difficultas in admittendo nobiscum, quod totum lumen, ac singulæ ipsius partes profundanter a luminoso per totum medium diaphanum. Siquidem non majus est inconveniens in re nostra, quod singulæ simul partes alicujus corporis certo aliquo tempore moveantur per spatium determinatum; quam quod eadem alia post aliam eodem illo tempore ita decurrant quælibet partem unam illius spatii (Longitudinale Schwingungen) ut omnes tandem toti illi successive coëxistant. Phys.-math. p. 208. — Secchi sagt (Einheit der Naturkräfte, Bd. I, S. 220): „Der erste, der klar ausgesprochen hat, dass das Licht in den Bewegungen einer Flüssigkeit bestehen müsse, welche sich in den durchsichtigen Mitteln vorfindet, und dass es sich wenigstens in ihnen in Form von Wellen ausbreitet, war Grimaldi.“ Dieser Satz ist mit Vorsicht aufzunehmen; denn man möchte aus ihm schliessen, dass nach Grimaldis Auffassung die Bewegung das Primäre sei, die Lichtsubstanz aber das Sekundäre, während doch das Gegenteil der Fall ist.

Auch können wir nicht begreifen, dass Rosenberger (Newton u. seine phys. Prinzipien, S. 32) den Passus aus Grimaldis Phys.-mathesis, p. 209: „Neque est cur objiciatur aliqua paritas inter sonum et lumen, quasi“ etc. in folgender Weise übersetzt: „Jedenfalls existiere kein triftiger Grund, warum man nicht eine Aehnlichkeit zwischen dem Licht und dem Ton annehmen sollte u. s. w.“ Dem historischen und dem Wortsinn gemäss muss es heissen: Jedenfalls existiere kein triftiger Grund, warum (von gegnerischer Seite; denn im Vorausgehenden polemisiert Grimaldi gegen Descartes) eine Aehnlichkeit zwischen Licht und Ton uns entgegengehalten werden sollte. Es ist also gerade das Gegenteil von dem, was Rosenberger übersetzt.

7) A. a. O. Bd. II, S. 24.

berechtigt, wenn auch nicht zu leugnen ist, dass Grimaldis Werk zur Entwicklung der physischen Optik und indirekt zum Fortschritt der Aetherhypothese beigetragen hat.

In Huygens' berühmter Abhandlung über das Licht findet man die Bemerkung, dass einige schon vor ihm angefangen hätten, die Wellen des Lichtes zu betrachten; unter diesen nennt er den Engländer Hooke und den Jesuiten P. Pardies. Letzterer habe seine Abhandlung nicht veröffentlicht, habe ihm aber einen Teil als Manuskript zur Einsicht überlassen.¹⁾ Da unseres Wissens diese Schrift auch später nicht erschienen ist, so kann direkt nicht ermittelt werden, wie weit P. Pardies in seiner neuen Lichttheorie gekommen ist. Von ihm selbst haben wir eine diesbezügliche Aeusserung in dem schon erwähnten zweiten Brief an Newton. Nachdem er dort die Lichttheorie Hookes angeführt, bemerkt er, dass auch er eine solche Undulationshypothese zur Erklärung der Farben anwende.²⁾

Es sind indessen die Ideen des P. Pardies von einem Zeitgenossen, dem P. Ango (ebenfalls aus der Gesellschaft Jesu), aufgenommen und weiter verarbeitet worden.³⁾

Wir beschäftigen uns daher zunächst mit seinen Ideen, wenngleich sein Büchlein „L'Optique divisée en trois livres, etc.“, das zu Paris herausgegeben wurde⁴⁾, im Jahre 1682, d. h. erst nach der Veröffentlichung von Hookes Undulationshypothese erschien.

Ist man bei Grimaldi darüber im Unklaren, was er unter Aether verstand und welche Bedeutung er ihm beilegte, so erscheint dieser in Angos Optik sofort von fundamentaler Bedeutung; er ist für das Licht das, was die Luft für den Schall ist: der Träger der Bewegung.

Ango setzt voraus, dass im ganzen Universum eine Substanz verbreitet sei, die Aristoteles Aether genannt hat. Dieser Aether ist unendlich feiner als die Luft, ganz flüssig, kontinuierlich und erfüllt die Poren der Körper; er soll auch durch seinen Druck die Schwere der Körper verursachen.⁵⁾

Das Licht besteht in Erschütterungen des Aethers, welche vom leuchtenden Körper ausgehen und dem Aether als Träger inhärieren. Das Licht ist also keine Substanz, sondern ein Akzidenz. Schall und Licht sind Qualitäten, die von den Bewegungen ihres Trägers abhängen. Der Träger des Schalls ist die Luft, der Träger des Lichtes der Aether.⁶⁾ Aus diesen Aeusserungen und aus der in ausgedehnter Weise verwendeten Analogie zwischen Schall und Licht, sowie aus der Bemerkung, dass die Schallwellen konzentrische, aus Verdichtungen und Verdünnungen bestehende Kugelwellen darstellen, die sich fortpflanzen, ohne dass die Luft selbst sich fortbewegt, ist man zum Schlusse berechtigt, dass nach Ango auch beim Licht nur die Bewegung, nicht aber der Aether sich fortpflanzt. Darin haben wir einen bedeutenden Fortschritt gegenüber den Anschauungen Grimaldis. Wir glauben deshalb, dass trotz einer etwas unklaren Stelle, die sich in seinem Buche findet⁷⁾ und die ein gewisses Schwan-

¹⁾ Huygens, *Traité de la lumière*, p. 18.

²⁾ *Certe et ego talem adhibeo hypothesin in dissertatione de motu undulationis . . . ut ponam colores istos apparentes (Spektralfarben) fieri in sola illa communicatione motionis, quæ ab undulationibus directe procedentibus ad latera effundantur. Newtoni opuse. Tom. II, p. 327.*

³⁾ P. Ango sagt diesbezüglich: *Le P. Pardies, dont j'avoué que j'ay tiré une partie de ce qu'il y a de meilleur dans ce traité qu'il avait commencé peu de temps avant sa mort et qui m'est tombé ensuite entre les mains sans estre achevé, parce qu'elle ne luy permit pas de digerer ses pensées sur ce sujet et de mettre la dernière perfection à son ouvrage, s'en sert (er meint die Wellenbewegung) lui-même avantageusement pour expliquer ses principales propriétés (er spricht vom Lichte). Optique, p. 14.*

⁴⁾ Das Buch scheint gar nicht beachtet worden zu sein; wir fanden es nur bei Verdet erwähnt.

⁵⁾ *Optique*, p. 7.

⁶⁾ *Ibid.*, p. 70—75.

⁷⁾ *Ibid.*, p. 69. Es heisst da: Ohne eine Art von Undulationsbewegung lassen sich die Eigenschaften des Lichtes sehr schwer erklären, mag das Licht eine Substanz oder ein Akzidenz sein. Die Ansicht, dass das Licht eine Substanz sei, hätten schon Aristoteles und der hl. Thomas widerlegt.

ken verrät, in Anbetracht der vielen bestimmten Aeusserungen der Glaube Angos an die Wellennatur des Lichtes nicht ernstlich in Zweifel gezogen werden kann.

Die Entstehung und Fortpflanzung des Lichtes geschieht in folgender Weise. Die schnelle Rotationsbewegung der glühenden Körperteilchen, sowie das schnelle Sichausdehnen und Zusammenziehen des brennenden Körpers (respiration) bewirkt eine Pressung der umgebenden Flüssigkeit, des Aethers. Da aber der Aether inkompressibel ist, so verbreitet sich diese Pressung durch das ganze Medium¹⁾; seine Teile werden erschüttert und zu schnellen Undulationen angeregt.²⁾ Die nähere Beschaffenheit dieser Schwingungsbewegung wird leider nicht beschrieben. Weil jedoch dem Aether Inkompessibilität zugeschrieben wird, so können die Wellen jedenfalls nicht aus Verdichtungen und Verdünnungen bestehen.

Unkorrekt spricht sich Ango über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes aus. Insoweit der Aether nach ihm mit der atmosphärischen Luft verbunden ist und seine Schwingungen von successiv erfolgenden Verdichtungen und Verdünnungen der Luft begleitet sind, lässt er allerdings das Licht auch bloss successiv sich verbreiten. Im reinen Aether nimmt er jedoch eine augenblickliche Fortpflanzung desselben an.³⁾

Letzteres kommt uns unbegreiflich vor und dürfte wohl davon herrühren, dass sich Ango von Aristoteles⁴⁾ nicht loszureissen wagt, führt er ja kaum eine neue Idee ein, ohne sie mit einer Stelle aus dem Stagiriten zu belegen.

Fassen wir die Gedanken Angos zusammen, so ergibt sich in Kürze folgendes. Angos Lichttheorie ist eine Undulationstheorie. Das Licht ist ihm keine Substanz, sondern ein Akzidenz; durch heftige Bewegung der Teilchen des leuchtenden Körpers wird es hervorgebracht und pflanzt sich in Form von Schwingungen im reinen Aether augenblicklich(!), in der Luft in sehr kurzer Zeit fort.

Ein weiterer Vorläufer Huygens', R. Hooke (1635—1703), findet in der Geschichte der Physik seinen Platz nicht allein wegen seiner wissenschaftlichen Arbeiten, sondern auch wegen seiner Kontroverse mit Newton.

Der Aether bildet die Grundlage seiner Anschauungen vom Lichte und von der Gravitation.

Nach seiner Vorstellung ist der Aether eine äusserst feine Materie, welche alle Körper durchdringt und in der alle Körper schwimmen. Er ist absolut flüssig und absolut inkompressibel. Die flüssigen Körper enthalten so viel von dieser subtilen Materie, dass ihre Partikeln auch bei Vibrationen nicht aufeinander treffen; ein fester Körper schliesst immer grössere oder geringere Mengen davon ein.⁵⁾

Das Licht besteht in Schwingungen des Aethers, in einer schnellen und kurzen vibrierenden Bewegung desselben. Seine Fortpflanzung kommt dadurch zustande, dass die Pulsation des leuchtenden Körpers im homogenen Medium eine sphärische Oberfläche erzeugt, die immer wächst und grösser wird, in ähnlicher Weise, wie ein in das Wasser geworfener Stein auf der Oberfläche desselben ringförmige Wellen bildet, die, im Vergleich zu den Lichtwellen allerdings langsamer, immer grössere Kreise um einen Punkt in ihrem Innern beschreiben.⁶⁾

Sehr bemerkenswert ist eine Aeusserung Hooke's über die Art der Aether-

¹⁾ Die hier erwähnte Pressung scheint nicht im Sinne Descartes' gemeint zu sein, da bei Beschreibung des Schalles derselbe Ausdruck gebraucht wird; sie ist, wie an einer anderen Stelle gesagt wird, nur Ursache der Aetherschwingungen. Vgl. *Optique*, p. 35, 71—74.

²⁾ Hier kann unter Voraussetzung, dass der Aether kontinuierlich ist, nur von Teilen im uneigentlichen Sinne die Rede sein.

³⁾ A. a. O. S. 81—83.

⁴⁾ Vgl. oben S. 13.

⁵⁾ Rosenberger-Newton, S. 35, 36.

⁶⁾ Whewell, a. a. O. Bd. II, S. 421.

schwingung. In der im Jahre 1675 der Royal Society vorgelegten Abhandlung über die Beugung des Lichtes sagt er, dass die Bewegungen des Lichtes in einem homogenen Medium sich durch Wellen fortpflanzen, deren Schwingungen auf der Richtung der Fortpflanzung senkrecht stehen.¹⁾ Dazu bemerkt Poggendorf in seiner Geschichte der Physik: „Man kann mit Recht sagen, dass dieser Satz bei Hooke mehr eine glückliche Eingebung, als eine aus seinen Beobachtungen hervorgegangene Deduktion war; denn das Phänomen der Diffraktion und Reflexion bedarf dieses Satzes nicht. Hooke liess übrigens die Sache liegen, und sein genialer Gedanke gieng verloren“.²⁾

Hookes schöne Ideen über die Natur des Lichtes haben in der Folgezeit verschiedene Beurteilung erfahren. Er hatte nämlich die augenblickliche Fortpflanzung verteidigt und dann wieder in wenig konsequenter Weise von der Wellenbewegung, von einer verschiedenen Geschwindigkeit bei der Brechung gesprochen. Dies veranlasste Verdet, die Ansicht Youngs und Aragos zu bekämpfen; letztere hielten nämlich Hooke für einen Begründer der Undulationstheorie. In einem gewissen Sinne mochte Verdet recht haben; denn verlangt man vom Schöpfer einer neuen Theorie, dass er ein widerspruchsfreies, geschlossenes System aufstelle, dann war Hooke allerdings nicht der Begründer der Undulationstheorie. Indessen darf man ihn trotz des Widerspruches in seinem System als einen Vorläufer derselben bezeichnen.

Wir hatten früher die von Aristoteles, von Thomas von Aquin und Descartes gelehrte momentane Fortpflanzung des Lichtes als Beweis dafür vorgebracht, dass ihre Lehre keine Undulationstheorie war. Wenn wir nun Hooke und Ango, die das Nämliche angenommen, dennoch als Vorläufer dieser Theorie ansehen, so glauben wir uns deshalb nicht zu widersprechen.

Die Verhältnisse liegen in beiden Fällen anders. Aristoteles und der hl. Thomas hatten sich über die physische Natur des Lichtes nicht deutlich ausgesprochen. Dagegen bildet die von ihnen klar vorgetragene augenblickliche Fortpflanzung einen genügenden Grund zur Annahme, dass ihnen irgendwelche der Undulationstheorie verwandte Anschauung ferne lag. Und Descartes lehrte bestimmt die augenblickliche Fortpflanzung, sprach nie von einer Wellenbewegung, stellte im Gegenteil eine auf ganz anderen Prinzipien beruhende Lichttheorie auf. — Bei Hooke und Ango erkennt man aber die Wellenbewegung als das Primäre, Wesentlichere. Die Frage nach der Fortpflanzungsgeschwindigkeit wurde von ihnen allerdings unrichtig beantwortet, hatte jedoch in ihrem System nur sekundäre Bedeutung.

Die Gravitationstheorie Hookes basiert auf einer Aetherhypothese, und diesbezüglich bemerkt er: „Nimmt man an, dass alle Teile der Erde sehr kurze und schnelle Schwingungen machen, die alle gegen das Zentrum gerichtet sind, sodass der ganze Erdkörper sich abwechselnd ausdehnt und zusammenzieht, so werden diese Schwingungen sich zuerst dem im Erdkörper eingeschlossenen Aether mitteilen und werden dann auch von diesem aus in dem äusseren Aether in kugelförmigen Wellen bis in alle Entfernung fortschreiten. Diese ausstrahlenden Vibrationen müssen aber nicht bloß die Teile der Erde, sondern auch alle materiellen Teilchen ausserhalb derselben bis auf alle Entfernungen nach der Erde hindrängen und so eine Gravitation der Körper erzeugen, die innerhalb wie ausserhalb der Erde wirkt. Diese Gravitation muss sich mit der Entfernung proportional der entsprechenden Kugelfläche, auf die sie ausstrahlt, vermindern und muss deswegen dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional sein.“

„Leider spricht sich Hooke nicht weiter darüber aus, wie jene Vibrationen den Druck

¹⁾ Heller, Gesch. Bd. II, S. 304.

²⁾ Poggendorf, Geschichte der Physik, S. 588.

nach dem Zentrum eigentlich hervorbringen. Nur das sagt er noch, dass die Gravitation der Menge der Materie des Körpers proportional sein muss, weil ja der Aether die Körper vollständig durchdringt und seine Schwingungen also auf alle Teilchen der Körper wirken.¹⁾

Damit haben wir die Vorläufer der Undulationstheorie, soweit sie uns interessieren, besprochen. Der Boden war durch ihre Bemühungen geebnet; es brauchte nur noch einen kräftigen, klaren Geist, um System hineinzubringen und grössere Allgemeinheit zu schaffen. Der Mann, der dies leistete, war der grosse holländische Physiker und Mathematiker Christian Huygens, dessen Ansichten über den Aether wir uns etwas näher ansehen müssen.

Christian Huygens²⁾ (1629—1695) hatte seine berühmte Schrift „Traité de la lumière“ schon im Jahre 1678 in der königlichen Akademie in Paris vorgelesen; doch erschien sie erst im Jahre 1690 im Drucke.³⁾ Greift man nach einer Lesung der früher erwähnten Schriften über die Wellenbewegung des Lichtes zu Huygens' Abhandlung, so findet man sofort einen Unterschied heraus, der aufs angenehmste berührt. Man möchte nicht glauben, die genannten Schriften wären ungefähr zu derselben Zeit verfasst worden; Huygens' Arbeit erinnert an ein Meisterwerk neueren Datums und trägt unverkennbar den Stempel des Genies an sich. Es zeigt sich da deutlich, wie grosse Geister denselben Gegenstand verschieden auffassen, wie sie die ausgetretenen Pfade ihrer Vorgänger verlassen und neue ungeahnte Wege einschlagen. Dennoch wird man das Kontinuirliche im Fortschritt der Wissenschaft auch hier nicht verkennen dürfen. Wie wir gesehen, war die Undulationstheorie von mehreren Forschern schon angebahnt worden, und Huygens hat vielleicht von seinen Vorgängern mehr Anregung erhalten, als man glaubt. Wenn er indes materiell dieselben Fragen behandelt, so ist es doch ganz besonders der formelle Fortschritt, der bei ihm hervortritt.

Die in der erwähnten Abhandlung über das Licht vorgetragene Undulationstheorie setzt als notwendige Grundlage einen Aether voraus. Huygens war ohne Zweifel der Erste, der die Teilchen des Lichtäthers selbst in Betracht zog und ihnen als konstituierenden Elementen solche Eigenschaften beilegte, dass der aus ihnen gebildete Aether ein geeigneter Träger der Lichtbewegung werden konnte. Als Vorbild mögen ihm elastische Kugeln gedient haben. Er dachte sich die Aetherteilchen vollkommen hart und vollkommen elastisch und wandte auf sie die Gesetze des Stosses vollkommen elastischer Körper an, die er zum Teil selbst aufgefunden hatte.⁴⁾

Huygens stellt sich dann die Frage, woher die Elastizität der Aetherteilchen komme? Sollte sie ihnen angeschaffen sein? Nein! Zur Erklärung nahm er an, dass diese Teilchen, trotz ihrer Kleinheit, aus noch kleineren Teilchen zusammengesetzt seien, und dass zwischen diesen eine sehr feine Materie in schnellster Bewegung nach allen Richtungen hindurchgehe. In dieser etwas kühnen Teilung der Aetherkörperchen findet Huygens nichts Befremdendes, da es sogar wahrscheinlich sei, dass die Natur ihre Wunder gerade durch verschiedene Abstufungen in der Grösse und Geschwindigkeit der Körperteilchen hervorbringe. Sollte man aber die wahre Ursache der Elastizität des Aethers nicht kennen, so berechtigt doch die Existenz dieser Eigenschaft an anderen Körpern, sie auch dem Aether beizulegen.

Weiter setzt Huygens voraus, dass die Aetherteilchen einander berühren,

¹⁾ Rosenberger-Newton, S. 156, 157.

²⁾ Die Schreibweise Huygens statt Huyghens ist jedenfalls die richtigere. Die Gründe s. bei Heller, Gesch. Bd. II, S. 180.

³⁾ Die Gründe dieser Verzögerung gibt Huygens in der Vorrede selbst an; wir brauchen nicht näher darauf einzugehen.

⁴⁾ Vgl. seine Abhandlung „De motu corporum ex percussione.“

ohne dass sie in gerader Linie aneinanderzuliegen brauchen. Ferner ist die Kugelform nicht wesentlich;¹⁾ wichtiger aber ist der Umstand, dass sie alle die gleiche Grösse haben, da sonst nach den Gesetzen des Stosses eine Reflexion der Bewegung nach rückwärts stattfinden würde.

Durch eine solche Reflexion der Bewegung würde die Ausbreitung des Lichtes zwar nicht unmöglich gemacht, aber sie würde immerhin geschwächt und verlangsamt.²⁾ Endlich ist es nicht notwendig, dass die Aetherteilchen in Ruhe seien; es sprechen sogar Gründe dafür, dass sie sich in beständiger Bewegung befinden, ohne dass dadurch die Fortpflanzung des Lichtes gestört würde, da das Licht eben nicht in der Fortbewegung, sondern in der Erschütterung der Teilchen besteht, deren Uebertragung durch die Bewegung des Aethers keineswegs beeinträchtigt wird.³⁾

Nachdem so der Träger des Lichtes konstituiert war, konnte Huygens an die Erklärung der Lichterscheinungen gehen. Unserem Gegenstande entsprechend berücksichtigen wir dieselben nur insofern, als sie auf den Aether Bezug hat.

Das Licht ist nach Huygens, wie allgemein bekannt, eine Wellenbewegung im Aether. Ursprünglich geht die Bewegung vom leuchtenden Körper aus und pflanzt sich auf die Aetherteilchen fort, von denen jedes selbst wieder Mittelpunkt einer neuen Kugelwelle wird. Indessen macht sich immer nur die umhüllende Welle (enveloppe) bemerkbar, da die Elementarwellen zu schwach sind, um wahrgenommen zu werden.

Letztere Bemerkung über die Elementarwellen scheint uns etwas ungenügend. Verdet weist durch Rechnung nach, dass die von Huygens angenommene Verdichtung dieser Wellen in der Nähe der umhüllenden Welle zur Erklärung nicht hinreiche. Ausserdem fehle dieser Lichttheorie der Begriff der Periodizität des Lichtes, und Huygens berücksichtige niemals die gegenseitige Einwirkung der Wellen aufeinander. Man könnte deshalb sein System das System der unabhängigen Wellen nennen (le système des ondes indépendantes).⁴⁾

Auf die Art und Weise, wie Huygens die Reflexion und Brechung nach dem Prinzip der Elementarwellen erklärt, brauchen wir uns nicht einzulassen; auf den eigentlichen Grund der Brechungserscheinung kommen wir noch zurück.

Ueber die Entstehung des Lichtes bemerkt Huygens: Bei flüssigen leuchtenden Körpern⁵⁾ werden deren Teilchen durch eine feine, vom Aether verschiedene Flüssigkeit, in der sie schwimmen, in heftige Bewegung versetzt und erschüttern den angrenzenden Aether, welcher seinerseits die auf ihn übertragenen Impulse weiter fortpflanzt. Dagegen setzen bei festen leuchtenden Körpern die Teilchen den Aether durch ihre eigenen Schwingungen in Bewegung.

Wie also beim Schall sein Träger, die Luft, erschüttert wird, in gleicher Weise entstehen beim Lichte Erschütterungen im Aether, nur dass in beiden Fällen die Erschütterungen sich durch verschiedene Schnelligkeit unterscheiden. Ein tönender Körper bringt kein Licht hervor, sowenig als die Bewegung der Hand einen Ton erzeugen kann.⁶⁾

¹⁾ Es ist also nicht genau, wenn gesagt wird, Huygens dachte sich die Aetherteilchen als elastische Kugeln. Er sagt davon nichts; im Gegenteil bemerkt er: Et sans supposer que les particules éthérées soient de forme sphérique, (car je ne vois pas d'ailleurs qu'il soit besoin de les supposer telles) l'on comprend bien etc. *Traité*, p. 14.

²⁾ *Traité de la lumière*, p. 11–14.

³⁾ *Ibid.* p. 15. Die Stelle heisst im Wortlaut: Où il faut encore remarquer que quoique les parties de l'éther soient supposées dans un continuel mouvement, (car il y a bien des raisons pour cela) la propagation successive des ondes n'en sçaurait être empêchée, parce qu'elle ne consiste point dans le transport de ces parties, mais seulement dans un petit ébranlement, qu'elles ne peuvent s'empêcher de communiquer à celles qui les environnent, non obstant tout le mouvement qui les agite et fait changer de place entr'elles.

⁴⁾ Verdet, *Oeuvres* tom. V. p. 31, 33, 40.

⁵⁾ Dazu gehören die selbstleuchtenden Gestirne und die Flamme.

⁶⁾ *Traité de la lumière*, p. 9 seq.

Bei Erklärung der Durchsichtigkeit der Körper bahnt sich Huygens bereits den Weg für seine geniale Erklärung der Doppelbrechung im isländischen Doppelspat.

Auf drei verschiedene Arten, sagt er, könnte man die Durchsichtigkeit begreiflich machen. Nimmt man an, dass der Aether in die Körper nicht eindringe, so würden sich doch die Erschütterungen durch die kleinen diskreten Teilchen der Substanz fortpflanzen; sie würden zunächst selbst erschüttert und würden dann die Bewegung dem Aether auf der anderen Seite mitteilen. — Ungezwungener wird die Erklärung, wenn man annimmt, dass der Aether die Körper ganz frei durchdringe und ihre Poren ausfülle. Unter dieser Voraussetzung geht die Wellenbewegung auf den im Körper enthaltenen Aether über, wobei durch die teilweise Reflexion der Bewegung an den Körperteilchen die Geschwindigkeit allerdings etwas kleiner wird. Aber gerade in dieser verschiedenen Geschwindigkeit der Welle in den verschiedenen Medien liegt der tiefste Grund der Brechung des Lichtes. — Die dritte Erklärung der Durchsichtigkeit ist eine Vereinigung der zwei ersten. Die ankommenden Lichtwellen teilen den Körperteilchen sowohl als dem sie umgebenden Aether ihre Bewegung mit.¹⁾

Diese zuletzt erwähnte Auffassung war es auch, die Huygens zur Erklärung der Doppelbrechung im isländischen Doppelspat anwandte. Er nahm an, es existierten zwei vibrierende Medien, der reine Aether und die Teilchen des Krystalls vereint mit dem Aether. Der reine Aether besitzt nach allen Richtungen die gleiche Beschaffenheit, nicht aber das zweite vibrierende Medium. Huygens dachte sich die Teilchen des Krystalls als kleine abgeplattete Rotationsellipsoide, die so angeordnet sind, dass ihre Rotationsachsen mit den Verbindungsgeraden der stumpfen Rhomboëderecken (krystallographische Achse) parallel laufen. Infolge der angegebenen Beschaffenheit breitet sich die Welle im reinen Aether nach allen Richtungen mit derselben Geschwindigkeit aus und kommt die Bewegung nach einer gewissen Zeit auf der Oberfläche einer Kugel an (Wellenfläche des ordentlichen Strahles). Dagegen ist im zweiten Medium die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle nach verschiedenen Richtungen eben auch verschieden. In der Richtung der Rotationsachse kommt sie derjenigen im freien Aether gleich; in allen anderen Richtungen ist sie aber grösser. Deshalb erreicht die Bewegung in der Zeit, in welcher sie im reinen Aether zu einer Kugelfläche gelangt, im zweiten vibrierenden Medium die Oberfläche eines Rotationsellipsoids (Wellenfläche des ausserordentlichen Strahles), dessen Achse mit der krystallographischen Achse zusammenfällt. Beide Flächen berühren sich in zwei Punkten, den Endpunkten der Rotationsachse.²⁾

So erklärt es sich, dass, wenn von einem Punkte eines solchen Krystalls eine Wellenbewegung ausgeht, wegen der verschiedenen Geschwindigkeit eine Trennung (bifurcatio) des Strahles eintreten muss.

Diese Erklärung der Doppelbrechung in einachsigen Krystallen hat immer noch Geltung und wäre allein schon hinreichend, Huygens' Namen in der Geschichte der Physik zu verewigen. Wie Newton dazu kam, diese Erklärung, ohne sie vorher mit

¹⁾ L. c. p. 28—30. Die erstgenannte Ansicht unterstützte Euler, indem er glaubte, das Licht werde allein durch die materiellen Teilchen auf dieselbe Weise fortgepflanzt wie der Schall. Young zeigte das Unhaltbare dieser Meinung, scheint aber selbst geglaubt zu haben, die Molekeln des Körpers bildeten in Vereinigung mit denen des darin befindlichen Aethers ein zusammengesetztes vibrierendes Medium, welches dichter als der Aether allein, aber nicht elastischer wäre. Lloyd, a. a. O. S. 26.

²⁾ L. c. p. 58 sqq.; 92 sqq.; ausführlich bei Wilde, Geschichte der Optik, Bd. II, S. 258 ff.

einer Sorgfalt geprüft zu haben, wie sie das Ansehen Huygens' verlangte, zu verwerfen und an deren Stelle eine ganz ungenügende zu setzen, verstehen wir nicht¹⁾.)

Die wichtige Frage, warum sich verschiedenes starkes Licht mit derselben Geschwindigkeit fortpflanze, löste Huygens auf Grund der Elastizität der Aethertheilchen, derzufolge sich alle Formänderungen eines vollkommen elastischen Körpers unabhängig von der Grösse der Deformation, in derselben Zeit herstellen.

Die Erklärung der Schwere hat Huygens in einer eigenen Abhandlung zu geben versucht.²⁾ Von der Konstitution der schwermachenden Materie setzt er voraus, dass sie aus sehr kleinen Teilchen bestehe, dass sie überaus fein und flüssig sei und sich mit grosser Schnelligkeit nach allen Richtungen hin bewege. Indessen darf sich diese Wirbelmaterie nicht um eine einzige Achse allein drehen, sonst würden die Körper nicht nach dem Mittelpunkte, sondern nach der Achse der Erde gedrückt. Die schwermachende Materie muss daher um alle möglichen Achsen rotieren, die man sich durch den Mittelpunkt der Erde gezogen denken kann. Aus einem zu diesem Zwecke angestellten Versuche schliesst Huygens, dass alle irdischen Körper, die entweder ruhen oder sich weniger schnell bewegen als die Wirbelmaterie, von dieser gegen den Mittelpunkt der Erde gedrückt werden. Die Schwere definiert er deshalb als das Streben der feinen, um die Erde kreisenden Materie, sich allseitig vom Mittelpunkte zu entfernen und die Körper, die an dieser Bewegung nicht teilnehmen, an ihre Stelle, d. h. nach unten zu drücken.³⁾

Zur Erklärung einiger Nebenerscheinungen, die beim Fall der Körper auftreten, nimmt Huygens noch eine Zahl weniger feiner Materien an und weist dann nach, dass die schwermachende Materie alle, selbst die dichtesten Körper durchdringe; denn sonst hätten alle Körper von gleichem Volumen auch gleiches Gewicht. Weil ferner der Aether die Poren der Körper, nicht aber deren Teilchen durchdringt, so erklärt sich daraus ungezwungen die Tatsache, dass das Gewicht verschiedener Körper nicht ihrem Volumen, sondern der Menge der in ihnen enthaltenen Körperteilchen, d. h. ihrer Masse, proportional ist.⁴⁾

Huygens bestimmte auch die Geschwindigkeit, mit welcher die Aethermaterie um die Erde rotieren müsste, damit die verschiedenen Erscheinungen mit der Theorie in Einklang gebracht werden könnten. Aus der Theorie der Zentralbewegung fand er, dass die Zentrifugalkraft eines Körpers dann seinem Gewichte gleich kommt, wenn die Zeit eines Umlaufes gleich gross ist, wie die Dauer zweier Schwingungen eines Pendels, das ebenso lang ist wie der Halbmesser der Kreisbahn. Ein irdischer Körper würde seine Schwere verlieren, wenn er so schnell wie die subtile Materie um die Erde sich bewegen würde; aber auch dann würde sein Gewicht durch die Zentrifugalkraft kompensiert, wenn er den Erdumfang in derselben Zeit zurücklegen würde, in der ein Pendel, das den Erdhalbmesser zur Länge hat, zwei Schwingungen vollführt. Aus der Länge des Sekundenpendels und der Grösse des Erdhalbmessers berechnete Huygens, dass die Geschwin-

¹⁾ Newton war, nach dem Anhang in seiner Optik zu schliessen, in dieser Zeit nicht mehr Freund der Undulationstheorie, und so schien ihm dasjenige, was sie zur Erklärung der Doppelbrechung aufstellte, auch nicht der Beachtung wert zu sein. — Laplace äusserte sich einmal dahin, dass das von Huygens aufgestellte Brechungsgesetz des ausserordentlichen Strahles von Newton und den späteren Physikern deshalb nicht nach Verdienst gewürdigt worden sei, weil ersterer sein Gesetz an die mit grossen Schwierigkeiten verbundene Undulationshypothese geknüpft habe. *Gilb. Ann.* XXXI, S. 275.

²⁾ Diese Abhandlung ist unter dem Titel „Discours de la cause de la pesanteur“ der Abhandlung über das Licht in fortlaufender Paginierung beige gedruckt.

³⁾ C'est l'effort que fait la matière fluide, qui tourne circulairement autour du centre de la terre en tous sens, à s'éloigner de ce centre, et à passer en sa place les corps qui ne suivent pas ce mouvement. *Discours*, p. 137.

⁴⁾ *Discours*, p. 135—139.

digkeit eines Körpers 17 mal grösser sein müsste, als die eines Aequatorpunktes; dies ist aber auch die Rotationsgeschwindigkeit der Aethermaterie.¹⁾

An einem anderen Ort bemerkt Huygens, dass er durch direkte Erfahrungstatsachen auf eine pressende Materie aufmerksam gemacht worden sei. Was er hier meint, sind Adhäsionserscheinungen im luftverdünnten Raume und andere Erscheinungen ähnlicher Natur.²⁾

Die Gravitationstheorie Huygens' ist seiner Lichttheorie durchaus nicht ebenbürtig; so schöpferisch er sich in dieser offenbarte, so sehr schliesst er sich bei jener an die Anschauungen Descartes' an. Dass übrigens fast alle bedeutenderen Physiker jener Zeit, mit Ausnahme der Newtonianer, eine mechanische Gravitationstheorie aufzustellen versuchten, zeigt das grosse Bedürfnis des forschenden Geistes nach einer anschaulichen Erklärung dieser so allgemeinen Erscheinung. Und wenn selbst Männer wie Huygens zu keinem befriedigenden Resultate gekommen sind, so muss man dies der Schwierigkeit des Problems zuschreiben, was schon dadurch bestätigt wird, dass bis in die neueste Zeit noch keine einwandfreie Theorie der Schwerkraft aufgestellt werden konnte. Es lässt sich überhaupt erwarten, dass eine allfällige Lösung ohne Beziehung des Aethers nicht auskommen wird.

Werfen wir noch einen kurzen Rückblick auf Huygens.

Mit Entschiedenheit hat er die Emmissionstheorie des Lichtes zurückgewiesen. Auf Grund der experimentell festgestellten zeitlichen Fortpflanzung des Lichtes kam er zum Schlusse, dass die Lichtbewegung eine *successiv* sich im Raume fortpflanzende Bewegung sein müsse, und dies stand ganz in Uebereinstimmung mit der Annahme, dass das Licht sich in Form von Wellen fortpflanze. Damit war der bei Anglo und Hooke so unangenehm berührende Widerspruch, den eine momentan sich fortpflanzende Wellenbewegung in sich schliesst, beseitigt. Da die Wellenbewegung einen Träger verlangt, so stand für Huygens auch die Existenz dieses Trägers, des Aethers, fest.

Huygens hat seine Annahme über die Natur des Lichtes allerdings nicht allseitig auf ihre Richtigkeit geprüft. Gewisse Erscheinungen (Diffraction und Farben) übergang er wohl deshalb mit Stillschweigen, weil ihm die Schwierigkeiten zu gross schienen. Er beachtete nicht, dass auf Grund der longitudinalen, aus Verdichtungen und Verdünnungen bestehenden Aetherwellen alle Lichterscheinungen, mit Ausnahme der Polarisation, in befriedigender Weise hätten erklärt werden können.

Bemerkenswert ist, dass Huygens schon vor der merkwürdigen Erscheinung stand, dass das aus einem Doppelspat austretende Licht sich nicht nach allen Seiten gleich verhalte. Er sah, wie die Helligkeit nach dem Durchgang durch einen zweiten Spat je nach der Achsenlage des letzteren verschiedene Werte annahm, und gestand in edler Freimütigkeit ein, dass er hiefür keine genügende Erklärung zu finden vermochte. Dies wundert uns nicht; denn die genannte Erscheinung kann nur unter Voraussetzung von Transversalschwingungen verständlich werden; für die Erkenntnis derartiger Schwingungen war aber die Zeit noch nicht gekommen.

Wie dem auch sei, Huygens' Abhandlung über das Licht ist und bleibt ein Markstein in der Geschichte der Wissenschaft. Leider konnte sich die Undulationstheorie infolge ungünstiger Zeitverhältnisse, infolge der ein Jahrhundert lang währenden Alleinherrschaft Newtons und seiner Schule, nicht weiter entwickeln; erst durch Young und Fresnel sollte sie eine grössere Ausbildung erfahren.

¹⁾ L. c. p. 142, 143.

²⁾ Eine diesbezügliche Aeusserung lautet: „Magis ergo confirmatur nostra hypothesis materiam dari prementem aëre subtiliorem.“ *Experimenta physica, Opera varia, Tom. IV, p. 776.* — Dieselbe Erscheinung erwähnt Jacob Bernoulli, und er hält sie für ein „infallibile argumentum gravitatis ætheris.“ *De gravitate ætheris, p. 206.*

Unter der grossen Zahl bedeutender Gelehrten im 18. Jahrhundert, die in der Geschichte der Physik mit Ehren erwähnt werden, findet man ausser dem früher genannten Johann Bernoulli einzig noch den grossen Basler Mathematiker Leonard Euler (1707—1783), der sich der verkannten Undulationstheorie voll und ganz angeschlossen hat. In seinen zahlreichen Schriften, die sich mit Gegenständen der Optik befassen, ist das Material zu einer weitreichenden Aetherhypothese zusammengetragen, die der Erklärung der Naturerscheinungen zu Grunde gelegt wird.

Da indessen Eulers Lehre vom Aether von anderer Seite schon eingehend gewürdigt wurde, so begnügen wir uns mit einer kurzen Skizzierung seiner Aetherhypothese und verweisen im übrigen auf die Abhandlung Miethings.¹⁾

In Euler hat die genannte Hypothese einen ganz bedeutenden Förderer gefunden; seine kühnen Anschauungen klingen zuweilen an die allerneueste Auffassung der Naturerscheinungen an.

Zunächst ist zu bemerken, dass er ein entschiedener Gegner des leeren Raumes ist, und gerade in der Unmöglichkeit der Existenz eines solchen Raumes erblickt er ein kräftiges Argument für die Existenz eines raumerfüllenden Mediums, des Aethers.

Die Himmelsräume können nicht leer sein, wie Newton meinte, vielmehr sind sie und alle Poren der Körper vom Aether erfüllt, einer flüssigen Materie, die der Luft ähnlich, aber unendlich feiner und elastischer ist. Für diese Feinheit des Aethers spricht nicht bloss die ausserordentliche Schnelligkeit des Lichtes, sondern auch der Umstand, dass die Himmelskörper in ihm keinen Widerstand erfahren.²⁾

Euler ist ferner der Ansicht, dass die Elastizität und Dichte des Aethers im ganzen Weltraum konstant sei, da im anderen Falle eine Bewegung des Aethers nach der weniger elastischen oder weniger dichten Gegend hin, also ein natürlicher Ausgleich, stattfinden müsste.³⁾

Offenbar meint er damit den freien Aether; denn er nimmt bei Erklärung der elektrischen Erscheinungen an, dass der Aether in den Körpern verschiedene Dichte haben könne.

Wir haben früher bemerkt, dass ein atomistischer Aether die Existenz eines leeren Raumes nach sich ziehe.⁴⁾ Euler mochte diese Konsequenz nicht entgangen sein, und darin dürfte der Grund gesucht werden, dass er mit solcher Bestimmtheit für jene Kontinuität des Aethers eintritt, welche schon die peripatetisch-scholastische Schule lehrte und welche auch von der neuesten Anschauung in der Physik adoptiert wurde. Ausserdem ist der Aether nach ihm sogar in den kleinsten Teilen flüssig. Wird er zusammengedrückt, so dehnt er sich aus eigener Kraft wiederum aus und erfüllt bei allen Volumänderungen, denen er unterworfen wird, stets den ganzen Raum, ohne dass er irgendwelche Zwischenräume leer lassen würde.⁵⁾

Hiemit wird die wahre Verdichtung und Verdünnung ausgesprochen, die darin besteht, dass dieselbe kontinuierliche Materie mehr oder weniger ausgedehnt sein kann, mit anderen Worten, dass dasselbe Volumen grössere oder geringere Quantitäten einer kontinuierlichen Materie enthalten kann. Mit dieser Art von Verdichtung und Verdünnung darf jedoch die der Atomisten nicht verwechselt werden. Letztere ist nur eine scheinbare und besteht darin, dass die unveränderlichen Teilchen in grösseren oder kleineren Zwischenräumen neben einander gelagert sind.

Ueberhaupt müssen diejenigen, welche an der Kontinuität aller Materie festhalten,

¹⁾ E. Miething, Leonhard Eulers Lehre vom Aether u. s. w. — Vgl. Rosenberger, Geschichte der Physik, Bd. II. S. 333—343.

²⁾ Lettres, tom. I. p. 85—87. (19. Brief).

³⁾ Ibid. p. 90. (20. Brief).

⁴⁾ Vgl. oben S. 10.

⁵⁾ Mit dem Ausdruck „durch eigene Kraft“ ist hier die Elastizität des Aethers gemeint. Miething, a. a. O. S. 10.

notwendig von einer wahren Verdichtung und Verdünnung sprechen. Dies ergibt sich aus der feststehenden Tatsache der Ausdehnung und Zusammenziehung der Körper. Die Fähigkeit hiezu bildet ja eine allgemeine Eigenschaft der Körper.¹⁾

Ferner meint Euler, dass der Aether durch eine unbekannte (!) Kraft in einem Spannungszustand erhalten werde und deshalb auf alle Körper einen Druck ausübe. Ueber diese unbekannte Kraft spricht er sich jedoch nicht näher aus. Mit der erwähnten Behauptung ist er, wie Miething bemerkt²⁾, ein Vorläufer der modernen Aetherdrucktheorien geworden.

In sehr vorteilhafter Weise unterscheidet sich Euler von Huygens darin, dass er grundsätzlich nur ein feines Fluidum, den Aether, zur Erklärung der Naturerscheinungen annehmen will. Er bemerkt diesbezüglich: „So lange die Erklärung der Begebenheiten der Natur nicht mehrere solcher Arten erheischt, würde es verwegen sein und gegen die Regeln einer gesunden Naturlehre verstossen, wenn wir bloß aus unserer Einbildung die Zahl der subtilen Materien vermehren wollten.“³⁾

Gegen diesen Grundsatz hat Huygens gefehlt, indem er ohne Bedenken wohl ein halbes Dutzend feiner Materien annahm, ohne die elektrischen und magnetischen Erscheinungen zu erwähnen, für deren Erklärung er jedenfalls noch einiger Fluida bedurft hätte. Leider sah sich Euler selbst bei Erklärung des Magnetismus genötigt, ausser dem Aether noch eine feinere Materie anzunehmen, wodurch die so geistreich begonnene Zurückführung der Erscheinungen auf ein Prinzip viel von ihrem Werte verlor.

Nachdem Euler den Aether in der angeführten Weise konstituiert hat, sucht er mittelst desselben die Natur des Lichtes, der Schwerkraft, der Elektrizität und des Magnetismus zu erklären. Einmal nimmt er auch einen Anlauf, um das Wesen der Wärme darzulegen, indem er zeigen will, dass die Wärme in den Bewegungen einer subtilen Materie bestehe. Leider begnügt er sich mit einigen Andeutungen und geht auf den Gegenstand nicht näher ein. Miething⁴⁾ glaubt, aus diesen Andeutungen und aus der ganzen Naturauffassung Eulers schliessen zu dürfen, letzterer habe mit den alten Anschauungen von einem Wärmestoff gebrochen. Indes dürfte dieser Schluss durchaus nicht so sicher sein; denn bei Fischer lesen wir, wie Euler durch die Einwürfe, welche Nollet⁵⁾ gegen Newtons Ansicht⁶⁾ vorbrachte, bewogen wurde, ein eigenes Feuerwesen anzunehmen.⁷⁾

¹⁾ Miething bemerkt (a. a. O. S. 11), dass er bei dieser Annahme Euler nicht folgen könne. — Dagegen verteidigt Michelitsch in einer Schrift neueren Datums (Atomismus und Hylemorphismus u. s. w., S. 54, 58) sowohl die Kontinuität der Materie als auch die Möglichkeit einer wahren Verdichtung und Verdünnung. — Als Vertreter der dynamischen Naturanschauung dürfte Kant ebenfalls dafür eintreten. Er sagt: „Spezifisch verschiedene Stoffe können sich bei derselben Quantität der Materie (dem Gewichte nach) ins Unendliche ausdehnen.“ *Metaphys. Anfangsgründe der Naturwissenschaft, Werke, Bd. VIII, S. 567.* Und weiter bemerkt er, dass die Vertreter der mechanischen Naturphilosophie (Atomistik) glauben, ein spezifischer Unterschied der Dichtigkeit der Materien ohne Beimischung leerer Räume sei nicht denkbar. Dagegen wendet er ein: „Nach der dynamischen Auffassung erfüllt die Materie den Raum nicht nur durch absolute Undurchdringlichkeit, sondern auch durch repulsive Kraft, die ihren Grad hat. Daher lassen der Grad der Ausdehnung dieser Materien bei derselben Quantität der Materie und umgekehrt die Quantität der Materie unter demselben Volumen (d. i. die Dichtigkeit) ursprünglich gar grosse spezifische Verschiedenheiten zu. Auf diese Art würde man es nicht unmöglich finden, sich eine Materie zu denken (wie man sich etwa den Aether vorstellt), die ihren Raum ohne alle Leere ganz erfüllte und doch mit ohne Vergleichung minderer Quantität der Materie unter gleichem Volumen, als alle Körper, die wir unseren Versuchen unterwerfen können. Die repulsive Kraft muss am Aether im Verhältnis auf die eigene Anziehungskraft desselben ohne Vergleichung grösser gedacht werden, als an allen anderen uns bekannten Materien.“ *A. a. O. S. 528. — Monadologia physica, Werke, Bd. VIII, S. 421 ff.*

²⁾ A. a. O. S. 12 f.

³⁾ Bei Miething a. a. O. S. 8 f.

⁴⁾ A. a. O. S. 30.

⁵⁾ Abbé Nollet (1700—1770) ist durch seine gelehrten Arbeiten über die Elektrizität berühmt geworden. Die vorzüglichsten Schriften, in denen er eine eigene Theorie der Elektrizität vortrug, sind: *Essai sur l'Électricité, Paris 1764; Lettres sur l'Électricité, Paris 1760—1767; und die ausführlichen Recherches sur les causes particulières des phénomènes électriques, Paris 1749.*

⁶⁾ Newton setzt das Wesen der Wärme in die schwingende Bewegung eines ätherischen Mittels.

⁷⁾ Fischer, *Geschichte der Physik, Bd. V, S. 1.*

Was zunächst die Natur des Lichtes betrifft, scheint es Euler ganz gewiss zu sein, dass dasselbe in Bezug auf den Aether das nämliche sei, was der Schall in Bezug auf die Luft, dass also die Lichtstrahlen nichts anderes darstellen, als die im Aether erregten und durch ihn in bestimmter Richtung fortgepflanzten Erschütterungen. Dementsprechend definiert er das Licht als „eine Bewegung oder Erschütterung in den kleinsten Teilchen des Aethers“.¹⁾

Die Entstehung desselben wird bei der Sonne und den selbstleuchtenden Körpern überhaupt zurückgeführt auf eine gewisse Bewegung und eine äusserst lebhaft und schnelle Erschütterung in den kleinsten Körperteilchen. Diese Erschütterungen teilen sich dem angrenzenden Aether mit und pflanzen sich dann in demselben nach allen Richtungen fort. Sehr interessant ist Eulers Versuch, einen physischen Grund für das Sichtbarwerden der an sich dunklen Körper anzugeben. So wie nämlich ein tönender Körper nicht bei allen Tönen mitschwingt, sondern nur bei einem oder mehreren ganz bestimmten Tönen, wie er dann, einmal in Schwingung versetzt, selbst zu einer Tonquelle wird und einen bestimmten Ton hören lässt: so werden die Körperteilchen durch bestimmte Schwingungen des Aethers, von denen sie getroffen werden, angeregt und teilen dann die nämlichen Schwingungen dem Aether selbst mit. Dass es einfach die reflektierten Strahlen sind, welche den Körper sichtbar machen, hält Euler für unrichtig. Denn in einem Spiegel, von welchem die Strahlen stark reflektiert werden, sieht man nicht den Spiegel; und so müsste man, wenn es sich um reflektierte Strahlen handelt, die den Körper sichtbar machen, nicht den Körper, sondern die Sonne sehen.²⁾ Hieraus zu schliessen, fehlte Euler der Begriff der diffusen Reflexion.

Sehr nahe liegt es nun, die Analogie vom Mitschwingen weiterzuführen und die Körperfarben als subjektive Eindrücke anzusehen, welche in uns durch Aetherschwingungen von bestimmter Zahl hervorgerufen werden. So würden z. B. die Teilchen der Körper, die uns rot erscheinen, eine bestimmte Anzahl von Schwingungen im Aether anregen und auf Grund dieser Schwingungszahl in uns die Empfindung der roten Farbe verursachen. Die Körperfarbe wäre demnach nur insofern objektiv, als die letzte Ursache, welche den Eindruck einer bestimmten Farbe weckt, wirklich im Körper liegt. Objektiv wäre also die Fähigkeit der Körperteilchen, vom gewöhnlichen Lichte zu Schwingungen ganz bestimmter Art und Zahl angeregt zu werden und diese Schwingungen dann auf den Aether zu übertragen.

Die verschiedene Zahl von Luftschwingungen bewirkt die Empfindung verschiedener Farben. Die Frage nach der Natur der Farben, welche die Philosophen von jeher beunruhigt hat, bemerkt Euler, wird also durch den Vergleich mit den Tönen einfach und ungesucht entschieden. Das Wesen jeder Farbe besteht in einer gewissen Anzahl von Schwingungen, welche die Teilchen, deren Farbe es ist, in einer Sekunde machen.³⁾

Den Vorzug der Anschaulichkeit könnte man dieser Erklärung der Körperfarben nicht absprechen, wenn sie nur mit den Tatsachen nicht in Widerspruch stünde. Die mechanische Wärmetheorie betrachtet den Wärmezustand nämlich auch als eine besondere Bewegungsart der Körperteilchen, als Energieform, die wenigstens zum Teil kinetische Energie ist. In Uebereinstimmung mit den Tatsachen sagt die Theorie, dass durch hinreichende Wärmezufuhr, also durch Vermehrung der kinetischen Energie der Körper-

¹⁾ „La lumière n'est autre chose qu'une agitation ou ébranlement causé dans les particules de l'éther.“
Lettres, Tom. I, p. 88. (20. Br.)

²⁾ A. a. O. Brief 24.

³⁾ 27. Brief. Zunächst spricht Euler an dieser Stelle nur von den Körperfarben. Da aber einer bestimmten Schwingungszahl der Körperteilchen eine bestimmte Zahl von Aetherschwingungen entsprechen muss, so bekundet sich damit deutlich die Abhängigkeit der Farbe von der Zahl der Aetherschwingungen.

teilchen ein Körper aus dem festen in den flüssigen und gasförmigen Zustand übergeführt werden könne. Wäre Eulers Erklärung der Farben richtig, so müsste es möglich sein, den Körperteilchen durch Wärmezufuhr ebenfalls eine schnellere Bewegung mitzuteilen; dann würden sie aber an den Aether auch mehr Schwingungen übertragen, und es müsste die Farbe eines Körpers, den wir als rot bezeichnen, nach Violett hin sich ändern. Das Umgekehrte müsste etwa bei Versuchen in flüssiger Luft stattfinden; aber die Tatsachen beweisen das Gegenteil.

Kehren wir wieder zu unserem eigentlichen Gegenstande zurück.

Da der Aether Träger des Lichtes ist, so können sich die Lichtstrahlen eigentlich nur im Aether bilden. Andere Körper sind nur deswegen durchsichtig, weil sie Aether in sich enthalten und sich mit demselben so vermischen, dass die Bewegungen, die durch das Licht darin hervorgebracht werden, sich mitteilen und fortpflanzen, ohne von den Körpern aufgehalten zu werden. Dieser Durchgang ist aber niemals so frei und ungehindert wie im freien Aether; stets geht ein Teil der Bewegung verloren, und dieser Verlust wird umso grösser sein, je dicker der Körper ist. Während demnach der Aether vermöge seiner Natur so vollkommen durchsichtig ist, dass die Grösse seiner Ausdehnung die Durchsichtigkeit nicht vermindert, hängt bei anderen Körpern der Grad der Durchsichtigkeit von der Dicke ab und zwar so, dass man sagen kann, es sei jeder Körper durchsichtig, wenn er nur hinreichend dünn ist, während jeder Körper undurchsichtig wird, wenn seine Dicke gewisse Grenzen überschreitet.¹⁾

Euler hat über das Licht viel geschrieben, namentlich über die Farben dünner Blättchen. Wir gehen darauf nicht näher ein²⁾ und heben nur noch eine Ansicht hervor, die seinen divinatorischen Blick erkennen lässt. Er vertrat nämlich die Ansicht, dass Lichtwellen einen Druck gegen die beleuchteten Körper ausüben. Diese Ansicht vermochte er freilich nicht in befriedigender Weise zu motivieren; sie wurde von De Mairan scharf kritisiert und so wieder aufgegeben. Er sollte aber trotzdem Recht behalten; denn die jetzt herrschende Maxwell'sche Theorie des Lichtes führt ebenfalls zu dem Schluss, dass die Lichtwellen auf einen Körper, gegen den sie fallen, einen Druck ausüben.³⁾

Die Theorie der Attraktion, welche Euler aufstellte, beruhte auf der Annahme eines ungleichen Aetherdruckes. Um diesen zu erreichen, musste er dem Aether eine Bewegung um die Erde zuschreiben.⁴⁾ Er schmeichelte sich übrigens nicht damit, eine befriedigende Erklärung der Schwere gefunden zu haben. Dass die Ursache eine mechanische sein müsse, davon war er fest überzeugt; es sei jedenfalls vernünftiger, meinte er, die gegenseitige Anziehung der Körper der Wirkung des Aethers zuzuschreiben, auch wenn man die Art ihrer Wirkung nicht einsehe, als zu einer ganz unverständlichen Eigenschaft seine Zuflucht zu nehmen.⁵⁾

Originell ist der Grundgedanke der von Euler gegebenen Erklärung der Elektrizität. Zunächst konstatiert er, dass man bisher zur Erklärung allgemein eine eigene Materie angenommen, aber bei Beantwortung der Frage nach ihrer Natur die ganze Lehre von der Elektrizität nur unverständlich gemacht habe. Er hält es zwar auch für notwendig, irgend ein Fluidum beizuziehen, sieht aber nicht ein, weshalb man ein besonderes

¹⁾ A. a. O. 29. Brief.

²⁾ Burckhardt-Brenner Fr. hat in einem Programm Eulers Lehre vom Licht monographisch behandelt. Basel 1869.

³⁾ Physikalische Zeitschrift, 2. Jahrg. S. 82. 1900.

⁴⁾ Euler hat einige quantitative Ergebnisse aufgestellt, worauf wir nicht näher eingehen.

⁵⁾ Il vaut toujours mieux de croire que ce qu'on nomme attraction est une force renfermée dans la matière subtile qui remplit tout l'espace du ciel, quoique nous n'en sachions pas la manière. A. a. O. 68. Brief.

Fluidum ausdenken sollte: derselbe Aether reiche hin, alle Erscheinungen der Elektrizität zu erklären.¹⁾

Nachdem er so den entscheidenden Schritt getan und die Annahme von verschiedenen elektrischen Flüssigkeiten zurückgewiesen, gibt er die Quintessenz seiner Elektrizitätslehre in einer Fassung, die an die neuesten Anschauungen erinnert; er sagt: „Dies vorausgesetzt darf ich behaupten, dass alle Erscheinungen der Elektrizität eine natürliche Folge des aufgehobenen Gleichgewichtes im Aether sind, sodass überall, wo dieses Gleichgewicht aufgehoben wird, Erscheinungen der Elektrizität entstehen müssen; mit andern Worten: ich behaupte, dass die Elektrizität nichts anderes als eine Störung im Gleichgewichte des Aethers ist.“²⁾

Was Euler über die Elektrizität weiters bemerkt, hat keinen Wert und hat auch keine Beachtung gefunden. Sein Hauptverdienst war, die Brauchbarkeit des Aethers für die Erklärung der elektrischen Erscheinungen betont zu haben. Miething sagt diesbezüglich: „Euler war der Erste, der den Aether, dessen Existenz zu seiner Zeit ja selbst auf optischem Gebiete bestritten wurde, als Träger der elektrischen Erscheinungen mit grosser Sicherheit und Bestimmtheit hinstellte. Dadurch hat er schon den Zusammenhang zwischen Licht und Elektrizität — als Gleichgewichtsstörungen des Aethers — kühn behauptet, ein Zusammenhang, der erst ein Jahrhundert später als richtig erkannt und experimentell nachgewiesen werden sollte.“³⁾

Die Euler zugesprochene Priorität, die elektrischen Erscheinungen durch den Aether erklärt zu haben, gibt uns Veranlassung zu einigen Bemerkungen darüber, wie die Beziehungen zwischen dem Aether und der als elektrisches Fluidum bezeichneten feinen Materie in jener Zeit aufgefasst wurden. Dabei wird es sich herausstellen, dass Eulers Behauptungen nicht unvermittelt waren, dass er vielmehr auch in diesem Punkte schon Vorgänger gehabt hat.

Zunächst dürfte sich damals Newtons Einfluss geltend gemacht haben; denn wo immer von einem Aether die Rede ist, heisst man ihn stets den Aether Newtons. Man kannte entweder keinen anderen oder wagte es nicht, einen anderen zu konstruieren.

Ferner wirft Priestley in seiner Geschichte der Elektrizität eine Reihe von Fragen auf, welche die Unbestimmtheit der Anschauungen erkennen lassen, in der man damals bezüglich des Aethers und der elektrischen Flüssigkeiten schwebte. Er fragt unter anderem: Gibt es blos ein elektrisches Fluidum, oder gibt es deren zwei, oder gibt es ein elektrisches Fluidum ganz besonderer Art, welches von dem sogenannten Aether Newtons verschieden ist? Und wofern es dergleichen gibt, worin ist dasselbe von dem Aether verschieden? Gibt es eine gewisse Art von Teilchen, welche nach Newtons Behauptung beständig aus der Oberfläche der Körper ausfahren und die elektrische Materie bilden, sowie andere seiner Vorstellung nach die Luft, andere den Aether u. s. f. ausmachten?⁴⁾ Diese und andere Fragen verraten das Vorhandensein eines quälenden Zweifels über die Natur der elektrischen Materie. Man konnte sich aber doch nicht dazu entschliessen, zur Erreichung grösserer Einheit der Naturkräfte den Aether an Stelle der verschiedenen elektrischen Flüssigkeiten zu setzen, von deren Existenz und Eigenschaften man doch nicht mehr wusste als über den Aether.

Immerhin fehlte es nicht an Gelehrten, die geneigt waren, den Aether als die elektrische Materie anzunehmen. Jallabert z. B. führt ein Medium ein, welches er nicht als vom Aether Newtons verschieden bezeichnen will.⁵⁾ Nach Wilson ist die bei der

¹⁾ A. a. O. 139. Brief.

²⁾ Je dis que l'électricité n'est autre chose qu'un dérangement dans l'équilibre de l'éther. A. a. O. 140. Brief.

³⁾ Miething, Leonhard Eulers Lehre vom Aether S. 27.

⁴⁾ Priestley, Gesch. d. Elektrizität, S. 322.

⁵⁾ Jallabert, Experiences etc. p. 176, 177.

Elektrizität wirkende Ursache nichts anderes als der Aether Newtons, welcher in allen Körpern mehr oder weniger dicht ist nach dem Verhältnisse ihrer Zwischenräume und Oeffnungen. Diesem Aether schreibt man die Haupterscheinung des Anziehens und Abstossens zu, wogegen man das Licht, den Geruch und andere in die Sinne fallende Eigenschaften der elektrischen Flüssigkeit den gröbereren Theilen der Körper beilegt, welche durch das mächtige Wirken des Aethers aus denselben herausgetrieben werden.¹⁾ Solche Auffassungen zu Gunsten des Aethers dürften jedoch selten gewesen sein; sonst hätte Priestley nicht schreiben können, die weit grössere Zahl von Naturforschern behaupte und zwar mit der grössten Wahrscheinlichkeit, dass es ein Fluidum besonderer Gattung gebe, welches hauptsächlich bei der Elektrizität wirke. Sie scheinen dabei, wiewohl ohne Grund, den Aether Newtons ganz ausserachtzulassen, oder wenn sie ihn beziehen, so lassen sie ihn nur in untergeordneter Weise wirken.²⁾

Zur weiteren Charakterisierung der damaligen Auffassung des Aethers und der elektrischen Materie führen wir noch die Ansicht Cavallos an, der eine Verschiedenheit des Aethers und der elektrischen Materie mit Bestimmtheit verteidigt. Er sagt nämlich: „Was die Gleichheit der elektrischen Materie mit dem Aether anbelangt, so scheint sie mir eine gänzlich unwahrscheinliche oder vielmehr schlechte und unbedeutende Hypothese zu sein. Der Hauptunterschied zwischen der elektrischen Materie und dem Aether Newtons liegt darin, dass der Aether die Theilchen der anderen Materie abstösst, die elektrische Materie sie nicht zurückstösst, sondern vielmehr eine Anziehung gegen die Theilchen der anderen Materie zeigt.“³⁾ Cavallo war übrigens dem Aether überhaupt nicht hold, was aus folgender Stelle deutlich hervorgeht: „Dieser Aether ist keine wirklich vorhandene, sondern lediglich hypothetische Materie, der nur einige Naturforscher verschiedene Eigenschaften beigelegt haben und sie für das Element verschiedener Prinzipien erklärt haben; einige nehmen die Aethermaterie für das Element des Feuers an, andere erklären sie für die Ursache der Anziehung, noch andere leiten von ihr selbst die tierischen Lebensgeister u. s. w. ab. In Wahrheit aber ist nicht allein das Wesen und die Eigenschaften dieser Materie, sondern auch sogar die Wirklichkeit ihres Daseins völlig unbekannt und unerwiesen.“⁴⁾

Wie Cavallo berichtet, herrschten zur Zeit drei verschiedene Ansichten über die Natur der elektrischen Materie. Die erste identifizierte sie schlechthin mit dem Feuer, daher der Name elektrisches Feuer. Die zweite hielt die elektrische Materie für den Aether Newtons, und nach der dritten endlich war die elektrische Materie ein Fluidum eigener Art, also von allen bekannten flüssigen Materien verschieden.⁵⁾

Wenn man also auch schon vor Euler von dem Aether Newtons sprach, so war es doch sein Verdienst, prinzipiell und mit Bestimmtheit den Aether an Stelle der elektrischen Materien gesetzt zu haben.

Wir schliessen unsere Darlegung der Aetherhypothese Eulers mit den schönen Worten Rosenbergers: „Eulers Aethertheorie hat gerade für den Physiker der Neuzeit etwas ungemein Bestechendes; trotz der vielen Mängel, ja offenbaren Unwahrscheinlichkeiten in der Erklärung der elektrischen Erscheinungen, trotz der unglücklichen Absonderung der magnetischen Erscheinungen von den elektrischen, trotz der Lücke, die bei der Erklärung der Gravitation durch den Aether bleibt, erscheint es doch von der grössten Wichtigkeit, hier einmal mechanische Kraft, Licht, Wärme und Elektrizität auf eine allgemeine Ursache, den Aether zurückgeführt

¹⁾ Priestley, a. a. O. S. 297.

²⁾ A. a. O. S. 297 ff.

³⁾ Cavallo, Abhandlung der theoretischen und praktischen Lehre von der Elektrizität. I. S. 109, 110. — Auch nach Franklin stossen sich die Teile der elektrischen Materie gegenseitig ab, werden aber von jeder anderen Materie angezogen. Briefe, übersetzt von Willeke, S. 72—74.

⁴⁾ Cavallo, a. a. O. Bd. I. S. 109.

⁵⁾ A. a. O. S. 104.

zu sehen. Das Gesetz von der Umwandlung der Kraft, das die Physik der Gegenwart experimentell gewonnen, aber geistig noch nicht einmal begrifflich gemacht hat, weist notwendig auf eine gemeinsame Wurzel aller Kraft hin. Euler verdient unseren Dank und unsere höchste Bewunderung, wenn er schon vor mehr als einem Jahrhundert auf eine solche Wurzel nicht bloss hinzuweisen, sondern auch teilweise wenigstens die Erscheinungen aus einer gemeinsamen Grundlage abzuleiten vermochte. Und wären seine Ableitungen noch weniger wahrscheinlich, als sie es an sich sind, so bleibt ihnen doch das eine Verdienst, in der Zersplitterung der physikalischen Untersuchungen wieder auf die Einheit aller Naturkräfte aufmerksam gemacht zu haben.“¹⁾

Werfen wir noch einen kurzen Rückblick auf die oben besprochene Periode, das erste Zeitalter der Undulationstheorie. Ihre Bedeutung schildert Whewell treffend, wenn er sagt: „Die Undulationstheorie des Lichtes ist die einzige unter allen anderen Entdeckungen des menschlichen Geistes, die sich der Theorie der allgemeinen Schwere kühn zur Seite stellen kann in Beziehung auf ihren hohen Standpunkt sowohl, als auf ihre Allgemeinheit, ihre Fruchtbarkeit und Sicherheit.“²⁾

Keinem Physiker ist aber ihr Schicksal unbekannt. Während ihre ersten Anfänge vielleicht in gar ferne Zeiten zurückreichen, erlangte sie in Huygens einen gewissen Höhepunkt; durch die Ungunst der Verhältnisse kam sie jedoch in eine verhängnisvolle Ruhe. Die Abhandlung, in welcher diese grosse Errungenschaft des menschlichen Geistes niedergelegt ist³⁾, wurde totgeschwiegen, und nicht einmal der grosse Newton nahm sich die Mühe, diese Theorie allseitig zu prüfen. Euler, der mannhaft für die seinerzeit schon halbvergessene und missachtete Theorie eintrat, konnte ihr das gebührende Ansehen nicht verschaffen. Der Grund dafür lag teils in den Gegenbestrebungen der Newtonianer, teils darin, dass Euler, als genialer Mathematiker berühmt, auf physikalischem Gebiet nicht dasselbe Ansehen genoss. Seine öfter als falsch nachgewiesenen Erklärungen optischer Erscheinungen mussten das ehrliche Streben für die Neubelebung der Undulationstheorie in Misskredit bringen. Dennoch war sein Einfluss wahrnehmbar, wenn auch nur vorübergehend. Fischer sagt diesbezüglich: „Euler hatte durch seine ausserordentlich schöne Anwendung der Mathematik auf seine Hypothese über das Wesen des Lichtes die meisten Physiker seiner Zeit verleitet, diese als die wahre anzunehmen. Man fing aber bald wiederum an, das Licht als eine Materie zu betrachten und ihr wie jeder anderen Materie Verwandtschaft mit den Körpern beizulegen.“⁴⁾

Der Einfluss Newtons einerseits und das geringe Verständnis für die Undulationstheorie andererseits waren so bedeutend, dass diese lange Zeit höchstens als ein merkwürdiges Beispiel der Verirrungen angeführt wurde, denen selbst hohe Talente, wie Huygens und Euler, ausgesetzt sein können.⁵⁾

¹⁾ Rosenberger, *Gesch. d. Phys.* Bd. II. S. 342.

²⁾ Whewell, *Gesch. der ind. Wissenschaften*, Bd. II. S. 408.

³⁾ Vgl. oben S. 37.

⁴⁾ Fischer, *a. a. O.* Bd. VII. S. 1, 2.

⁵⁾ Whewell, *a. a. O.* Bd. II. S. 411.

(Der II. Teil dieser Abhandlung wird als Beilage des nächsten Jahresberichtes dieser Lehranstalt erscheinen.)



