Geschichte
der
inductiven Wissenschaften,
der
Astronomie, Physik, Mechanik, Chemie, Geologie 2c.
von der frühesten bis zu unserer Zeit.

Nach dem Englischen des W. Whewell,

mit Anmerkungen

von

J. J. v. Littrow,
Direktor der kaiserl. königl. Sternwarte in Wien.

Λαμπάδια ἔχοντες διαδώσουσιν ἀλλήλοις.

Zweiter Theil.

Stuttgart.
Hoffmann'sche Verlags-Buchhandlung.

1840.

Sechstes Buch.

Geschichte der mechanischen Wissenschaften

Κρατος βιατε, σφων μεν εντολη Διος
Εχει τελος δη, κ'ουδεν εμποδων ετι.

Stärke und Kraft, der euch von Zeus
gegebene Auftrag hat einen Zweck,
den nichts hindern kann.

Aeschylus, Prom. Vinct. 13.

Sechstes Buch.

Geschichte der mechanischen Wissenschaften.

E i n l e i t u n g.

Wir treten nun in ganz neue Regionen der Thätigkeit des menschlichen Geistes. Indem wir von der Astronomie der Alten zu der Mechanik der Neueren übergehen, schreiten wir von den formellen zu den rein physischen Wissenschaften über, von Raum und Zeit zur Materie und zur Kraft, von den Erscheinungen zu den Ursachen derselben. Bisher haben wir uns nur mit den Bahnen, den Perioden, den Winkeln und Distanzen der von uns betrachteten Gegenstände, besonders der himmlischen Körper, beschäftigt. Aber wie die Bewegungen derselben entstehen; durch welche Kräfte sie erzeugt werden; und worin das Wesen derselben bestehe — diese Fragen haben wir bisher noch nicht aufgeworfen. Ehe wir aber nun zur Beantwortung derselben übergehen, müssen wir zuerst den Begriff der Bewegung, bei irdischen sowohl, als auch bei himmlischen Körpern, näher betrachten, oder wir müssen uns vorerst zur Mechanik wenden, um von ihr wieder zur Astronomie zurückzukehren.

Ganz auf dieselbe Weise, wie die Entwicklung der reinen Mathematik, die mit den Griechen begann, die nothwendige Bedingung alles Fortschritts der formellen Astronomie gewesen ist, eben so mußte auch die Entwicklung der mechanischen Wissenschaften der Entstehung und Ausbildung der physischen Astronomie vorhergehen. Zwar wurden beide Wissenschaften, die Geometrie und die Mechanik, um ihrer selbst willen bebaut, allein sie mußten doch vorausgehen, um die anderen, von ihr abhängigen Wissenschaften, erst möglich zu machen, und denselben ihre Ideen, ihre Sprache, und selbst ihre Schlüsse zu liefern. Wenn die Griechen die Kegelschnitte nicht betrachtet hätten, so würde sich Kepler nicht über Ptolemäus erhoben haben, und wenn dieselben Griechen auch schon die Lehre von der Bewegung erfunden hätten, so würde vielleicht Kepler die großen Newtonschen Entdeckungen für sich vorweg genommen haben.

Erstes Kapitel.

Eingang in die Epoche Galilei's.

Erster Abschnitt.

Einleitung in die Wissenschaft der Statik.

Schon die Alten haben, wie wir bereits oben bemerkten, einige Schritte vorwärts in der Lehre von der Bewegung, oder vielmehr in der von dem Gleichgewichte, gemacht. Archimedes setzte auf eine befriedigende Weise die Lehre von dem Hebel fest, so wie er auch einige wichtige Eigenschaften des Schwerpunkts, und eben so das Grundgesetz der Hydrostatik bestimmt hat. — Allein dieser schöne Anfang hatte keine stetigen Folgen. Ob Archimedes den Unterschied zwischen dem Prinzip des Gleichgewichts und den der Bewegung klar aufgefaßt hat, können wir jetzt nicht entscheiden, aber dieser Unterschied wurde gewiß von keinem seiner Nachfolger, im Alterthum sowohl als auch im Mittelalter, festgehalten. Und was noch schlechter war, selbst jene ersten Eroberungen Archimeds, in dem neuen Reiche der Wissenschaft, sind später wieder aufgegeben worden.

Wir haben bereits oben einige Beispiele von der weitgehenden Unwissenheit der griechischen Philosophen über solche Gegenstände mitgetheilt, indem wir die sonderbare Weise erzählten, wie Aristoteles das Gleichgewicht am Hebel und die Stellung eines von seinem Stuhle aufstehenden Mannes zu erklären versucht hat. Auch haben wir, als wir von der Unbestimmtheit der Ideen des Mittelalters sprachen, gesehen, daß alle Versuche, die wahre Lehre des Archimedes von dem Gleichgewichte weiter zu führen, deßwegen so völlig mißlungen sind, weil die Nachfolger des Stagiriten nicht einmal die Ideen desselben richtig aufgefaßt und verstanden haben. Der Scharfsinn des großen Mannes war allerdings nahe daran, die so tief verborgene Wahrheit zu entdecken, aber der dichte Nebel, den er auf einen Augenblick durchbrach, schloß sich sofort hinter seinen Schritten, und die alte Finsterniß und Verwirrung lagerte sich wieder auf das ganze Land.

Und diese dunkle Nacht währte beinahe volle zwei Jahrtausende, bis auf die Zeit, bei der wir jetzt in unserer Geschichtserzählung angekommen sind, namentlich bis zur ersten Ausbreitung der Copernikanischen Entdeckung. — Diese Bemerkung ist so wichtig, daß sie eine besondere Betrachtung verdient.

Gewisse allgemeine Begriffe von dem Zusammhange der Ursache und der Wirkung bei der Bewegung sieht man in allen Perioden der menschlichen Kulturgeschichte sich geltend machen. Die diese Begriffe bezeichnenden Wörter sind, wie natürlich, aus der gemeinen Sprachweise genommen worden, und sie kommen daher auch bei den gewöhnlichsten Geschäften des Lebens wieder vor. Aber solche Worte sind noch nicht im Stande, eine W i s s e n s c h a f t der Bewegung zu konstituiren, so wenig als die bloßen Worte „rund“ oder „dreieckig“ u. s. w. schon eine Geometrie, oder die „Monat“ und „Jahr“ schon eine Astronomie bilden können. Um aus ihnen eine eigentliche Wissenschaft entstehen zu machen, müssen diese unbestimmten Ausdrücke mit klaren, scharf bezeichneten Begriffen in Verbindung gebracht werden, mit solchen Begriffen nämlich, auf welche man Grundsätze und Vernunftschlüsse bauen kann. Allein es währte sehr lange, bis es mit der Mechanik so weit kommen konnte. Die Ideen der Menschen blieben viele Jahrhunderte durch in den Fesseln ihrer ersten, unbestimmten und unwissenschaftlichen Ansichten gefangen.

Wir wollen nur einige von diesen dunklen und unrichtigen Ansichten aus derjenigen Periode anführen, in welcher wir nun angekommen sind.

Bereits oben wurde des Unterschiedes zwischen der n a t ü r l i c h e n und der g e w a l t s a m e n Bewegung erwähnt, den die griechischen Schulphilosophen aufgestellt hatten, so wie der Behauptung derselben, daß die himmlischen Körper in demselben Verhältnisse geschwinder fallen, in welchem ihr Gewicht größer ist. Diese Lehren wurden auch lange nach ihnen beibehalten, aber die Ansichten, die man damit verband, wurden immer mehr fehlerhaft und unrichtig, da keiner von diesen Nachfolgern der Griechen mit Bestimmtheit auf eine Kraft, als Ursache der Bewegung, hinwies, und da es auch keinem derselben einfiel, das, was Bewegung hervorbringt, von dem zu unterscheiden, was eine schon bestehende Bewegung erhält. Daher konnte auch alles Nachdenken über solche Vordersätze zu keinem eigentlichen Fortschritt der Erkenntniß führen, obschon es an Versuchen nicht fehlte, jene Sätze auf die Bewegungen der irdischen sowohl, als auch der himmlischen Körper anzuwenden.

Die Erscheinung, welche uns die Bewegung der Körper auf schiefen Ebenen darbietet, war eine der ersten und wichtigsten, in welcher die Neueren ihre Kräfte versuchten. Man fand bald, daß ein Körper auf einer solchen Ebene durch eine Kraft oder durch einen Zug zurückgehalten werden kann, die denselben Körper, im freien Zustande, nicht zurückzuhalten im Stande ist. Deshalb wurde auch die schiefe Ebene in die Liste der einfachen Maschinen aufgenommen, durch welche die Wirkung der Kraft, die man an die Körper anbringen will, vermehrt wird. Allein die Frage war: in welchem Verhältnisse wird diese Kraft bei der schiefen Ebene vermehrt? — Man sah bald, daß die Kraft, die den Körper auf der Ebene erhält, desto kleiner ist, je kleiner die Neigung dieser Ebene gegen den Horizont ist. Cardanus[1])

1) Cardan, Hieronymus, im Jahr 1501 zu Parma geboren, wo er auch an der Universität seine erste Bildung erhielt, und in seinem 22sten Jahre als Professor der Geometrie daselbst angestellt wurde. Im Jahr 1525 wurde er Doctor der Medizin in Padua, und lehrte seitdem an verschiedenen Universitäten Oberitaliens bald Mathematik, bald Medizin. Von seinen zwei Söhnen wurde der eine hingerichtet, weil er sein Weib vergiftet hatte, und der andere wurde seiner schlechten Aufführung wegen von seinem Vater enterbt. — Seine äußerst zahlreichen Schriften, deren er selbst 126 aufzählt, wurden größtentheils von Sponius gesammelt, und 1663 zu Lyon in zehn Foliobänden herausgegeben; sie verbreiten sich über Astrologie, Mathematik, Medizin, Moral, und ihr Verfasser erscheint darin als ein excentrisches Genie voll von selbstgefälliger Thorheit und Mysticismus. Er rühmte sich, blos zu dem Zwecke geboren zu sein, die Welt von ihren Irrthümern zu erlösen, und er behauptete, die griechische, lateinische, französische und spanische Sprache, jede in vierundzwanzig Stunden von einer Ausgabe des Apuleius in diesen vier Sprachen erlernt zu haben; er gab vor, seine Seele aus ihrem Körper ziehen und allein agiren lassen zu können, durch seine Träume in die Zukunft zu schauen, an der Spitze

(dessen Werk De Proportionibus numerorum, motuum, ponderum etc. im Jahr 1545 herauskam) behauptete, daß diese Kraft verdoppelt werden müsse, wenn der Winkel der Neigung der Ebene verdoppelt wird, und so fort für andere Neigungen. Allein das war offenbar nur eine Muthmaßung von Cardan, und eine ganz falsche dazu. — Der Marquis Guido Ubaldi, von Marchmont, publizirte im Jahr 1577 zu Pesaro sein Werk (Mechanicorum Liber), in welchem er sich viele Mühe gibt, zu zeigen, daß ein spitzer Keil einen größern mechanischen Effekt haben müsse, als ein stumpfer, aber er sagt nichts von dem Verhältniß, das dabei statthaben soll. Es hat, setzt er blos hinzu, „ein gewisses Widerstreben“ statt, zwischen der Richtung, in welcher der Keil den ihm entgegenstehenden Körper forttreiben muß, und derjenigen, in welcher er in der That fortgehen will. Weiter erkennt er auch richtig, daß der Keil und die schiefe Ebene in ihrem Prinzip zusammen gehören. Er verweiset sogar auf die Schraube, als auf denselben Gründen mit jenen beiden beruhend. Aber die eigentlichen Verhältnisse, unter welchen sie alle wirken, konnte er doch nicht angeben. — Benedetti (1585), behandelt die Lehre von dem Keil auf eine andere Weise, die zwar auch nicht richtig ist, aber dem ungeachtet schon eine dunkle Ahnung von Kraft und andern mechanischen Begriffen verräth. — Michael Varro, dessen Tractatus de motu im Jahr 1584 zu Genua erschien, leitet die Lehre von dem Keil aus der Zu-

---

aller Geisterseher zu stehen u. s. w. Als Arzt, in praktischer sowohl als auch in theoretischer Beziehung durch seine Schriften, war sein Ruf durch ganz Europa verbreitet. Jetzt ist er, als solcher, ganz vergessen, aber seine Verdienste um die Mathematik werden noch immer rühmlich erwähnt. In seiner Ars magna (Nürnberg 1545) trägt er seine Auflösung der kubischen Gleichungen vor, wegen der er mit Tartaglia in heftigen Streit gerieth, der dieselbe Auflösung schon früher gefunden und dem Cardan mitgetheilt hatte. Cardan war auch der erste, der den wahren Begriff der negativen Wurzeln der Gleichungen aufgefaßt hat. Immerhin zeigt dieses Werk, daß er ein sehr vorzügliches mathematisches Talent besaß. Man sagt, daß der wunderliche Mann, der sich schon durch seine von allem Gewöhnlichen abweichende Kleidung als ein Sonderling verrieth, im Jahr 1576 den freiwilligen Hungertod gestorben sei, blos um die astrologische Vorhersagung seines Todestages wahr zu machen. L.

sammensetzung von zwei hypothetischen Bewegungen ab, und zwar auf eine Weise, die manchem unserer Leser schon als eine Antizipation der Lehre von der Zerlegung der Kräfte erscheinen mag.

Noch hat man eine andere Schrift dieser Art, die schon im sechszehnten Jahrhundert mehrere Auflagen erlebt hat, und die diesen Gegenstand nahe auf dieselbe Weise, wie Varro, behandelt. Man hat [2]) die, wie mich dünkt, sehr ungegründete Vermuthung aufgestellt, als ob diese Schrift das wahre Prinzip der Bewegung enthalte. Dieses Werk (De Ponderositate) ist von Jordanus Nemorarius. Die Zeit und die Geschichte dieses Schriftstellers ist wahrscheinlich schon im sechszehnten Jahrhundert nicht mehr bekannt gewesen, da Benedetti, der im Jahr 1599 einige Irrthümer des Tartalea [3]) verbessern will, sagt, daß dieselben von einem „Jordano quodam antiquo" genommen seien. Das Buch war wahrscheinlich ein für den öffentlichen Unterricht bestimmtes, und damals schon sehr im Gebrauche. Denn in einer zu Frankfurt im Jahr 1533 gedruckten Auflage desselben heißt es: Cum gratia et privilegio Imperiali, Petro Apiano [4]) mathematico In-

---

2) Drinkwater's Life of Galileo, in dem Lib. of useful Knowledge, S. 83.

3) Tartalea oder Tartaglia, Nicolaus, von Brescia, Professor der Mathematik in Venedig, Entdecker der Auflösung der kubischen Gleichungen und einer der ersten Bearbeiter der wissenschaftl. Artillerie. Man sehe dessen Werke: Di numeri e mesure. Vened. 1551. Fol., und Quesiti ed inventioni diverse. 1538. Seine gesammten Werke sind 1606 zu Venedig erschienen. Er starb im Jahr 1557. L.

4) Apianus, Peter (oder Bienewitz), geboren 1495 zu Leisnik in Meißen, Professor der Mathematik zu Ingolstadt. Kaiser Karl V., der ihn sehr achtete, erhob ihn in die Reichsritterschaft und schenkte ihm 3000 Goldstücke. Sein vorzüglichstes Werk ist das Astronomicum Cæsareum, Ingolstadt, 1540, in gr. Fol., dem Kaiser Karl V. und Ferdinand I. gewidmet. Er sucht in demselben den bisherigen astronomischen Rechnungen und Tafeln durch eigene Instrumente abzuhelfen, um dadurch für jede Zeit die Stellung der Planeten, die Phasen des Monds, die Umstände der Verfinsterungen u. s. w. auf mechanische Weise zu bestimmen. Der Einfall ist unglücklich, weil er unausführbar ist, aber seine Versuche, das Ziel auf solchem Wege zu erreichen, zeigen von mechanischem Talent, von Scharfsinn und großem Fleiße, welchen aber Kepler mit Recht industriam miserabilem nennt. In dem zweiten Theile

golstadiano ad XXX annos concesso. Allein diese Ausgabe enthält nichts von der schiefen Ebene. Wenn nun auch einige Kompilatoren dieses Werks in unbestimmten Worten etwas dergleichen, wie eine verkehrte Proportion des Gewichts und der Geschwindigkeit, hingeschrieben haben mögen, so wußten sie doch zu jener Zeit noch keine Anwendung dieses Satzes auf die schiefe Ebene zu machen, und sie waren auch nicht im Stande, einen verständigen Grund davon anzugeben. In der Ausgabe, Venedig 1565, aber wird eine solche Anwendung in der That versucht. Allein die ganze Schlußreihe ist auf die Annahme des Aristoteles gegründet, „daß die Körper desto schneller fallen, je „größer ihr Gewicht ist.“ Diesem Prinzip werden noch einige andere beigefügt, als z. B. „daß ein Körper in demselben Verhältniß schwerer ist, je mehr er in direkter Richtung gegen den „Mittelpunkt fortgeht.“ Mit Hülfe dieser Prinzipien wird die „absteigende Kraft“ der Körper auf geneigten Ebenen mit einer andern Erscheinung verglichen, die, wenn sie überhaupt als ein Beweis gelten soll, ein wahrhaft sonderbares Beispiel eines ver-

---

dieses Werkes theilt er auch die Einrichtung eines von ihm erfundenen Instruments mit, um alle sphärischen Dreiecke ohne Rechnung aufzulösen. Derselbe Theil enthält auch seine Beobachtungen von fünf verschiedenen Kometen. Er soll der erste gewesen sein, der die Bemerkung machte, daß die Schweife der Kometen stets von der Sonne abgewendet und in der Richtung des Radius Vectors dieser Himmelskörper liegen. — In seiner Cosmographia, Landshut 1524, schlug er bereits die Beobachtungen des Monds zur Bestimmung der geographischen Länge vor, indem er zu diesem Zwecke die Entfernung des Monds von einem der Ekliptik nahen Fixsterne zu beobachten rieth. Er starb am 21. April 1551 zu Ingolstadt. Das Verzeichniß seiner Werke sieht man in Vossius De scientiis mathematicis; in Montucla's Hist. des mathématiques, I. S. 623, und am umständlichsten in Kästner's Geschichte der Mathematik, II. S. 548. Sein Sohn Philipp folgte ihm als Professor der Mathematik in Ingolstadt, aber er mußte im Jahr 1568 dieser Stelle entsagen, da er zu der protestantischen Religion übertrat. Auch er genoß die Gunst des Kaisers Maximilian II. und zeichnete sich durch mehrere zu seiner Zeit geschätzte Schriften über Geographie, Medizin und Optik aus. Für seine Beschreibung Baierns erhielt er von dem Herzog Albert von Baiern 2000 Goldthaler. Er starb als Lehrer der Mathematik in Tübingen im Jahr 1589 in einem Alter von 58 Jahren.
L.

wirrten und fehlerhaften Schlusses abgeben kann. Wenn zwei Körper auf zwei geneigten Ebenen, wie z. B. auf den beiden Seiten eines Daches sich bewegen, und durch eine über die Schneide dieses Daches gehende Schnur verbunden sind, so wird der eine dieser Körper so viel fallen, als der andere steigt; aber auf der schieferen (dem Horizonte näheren) Ebene wird die vertikale Bewegung in demselben Verhältniß geringer sein, als diese Ebene länger ist, denn die andere. Demnach wird, nach dem Prinzip des Aristoteles, das Gewicht des auf der schiefen Ebene sich bewegenden Körpers kleiner sein, als das des andern Körpers, und, um die Gleichheit der Wirkungen zu erhalten, wird jener Körper in demselben Verhältnisse größer sein müssen. — Man sieht, daß das Aristotelische Prinzip nicht nur unrichtig, sondern hier auch noch mißverstanden ist, denn der wahre Sinn dieses Prinzips ist, daß freifallende Körper sich desto schneller bewegen, je größer ihr Gewicht ist; hier aber wird diese Regel auf einen Fall angewendet, wo die Körper durch eine ihrer natürlichen Schwere fremde, oder doch durch eine modifizirte Schwere bewegt werden. Das Prinzip wurde von den Peripatetikern nur für wirkliche oder aktuelle Geschwindigkeiten aufgestellt, und Jordanus wendet ihn hier ohne Weiteres auch auf virtuelle Geschwindigkeiten an; er unterscheidet nicht zwischen dem Weg, den der Körper auf der schiefen Ebene zurücklegt, und demjenigen, der ihm in vertikaler Richtung entspricht, noch bedenkt er, ob die „absteigende Kraft" des Körpers von seinem Gewichte verschieden ist, oder nicht. Wenn man ihn fragen könnte, auf welche bestimmte Fälle seine Schlüsse angewendet werden können, und auf welche nicht, so würde er ohne Zweifel keine genügende Antwort geben, da ihm der Grundbegriff von „Kraft und Druck" noch fehlte, auf denen allein eine wahre Erkenntniß in diesen Dingen beruht. Der ganze Beweis des Jordanus ist ein Beispiel der Gedankenverirrung seines Zeitalters, und nichts weiter. Er setzte noch eben so gut die Hülfe eines Mannes von höheren Talenten voraus, welcher dem Gegenstande eine wahre wissenschaftliche Begründung gibt, als die Kenntniß des Aristoteles, von dem Verhältnisse der Gewichte an dem Hebel, die Nothwendigkeit des Archimedischen Beweises dieses Satzes vorausgesetzt hat.

Wir können uns daher nicht verwundern, daß, obschon dieses sogenannte Theorem von vielen Schriftstellern, wie z. B. von Tartalea in seinen Quesiti et Inventioni Diversi von dem Jahre 1554, nachgeschrieben wurde, doch in diesem Theile der Mechanik durchaus kein wahrer Fortgang zu bemerken ist. Guido Ubaldi, der im Jahr 1577 auf eine Weise schrieb, die wohl zeigte, daß er den Gegenstand für seine Zeit gut aufgefaßt hatte, bezieht sich doch auf die Auflösung des Pappus bei dem Problem der schiefen Ebene, aber er nennt weder Jordanus, noch Tartalea. Ueberhaupt wurde kein Schritt vorwärts gemacht, bis die Mathematiker den eigentlichen Begriff des Drucks, als einer das Gleichgewicht erzeugenden Kraft, wieder aufgenommen hatten, welchen Archimedes besaß, und welcher erst im Stevinus wieder auflebte.

Die Eigenschaften des Hebels waren den Mathematikern immer bekannt, obschon in der dunkeln Zeit des Mittelalters die Vortrefflichkeit des Archimedischen Beweises nicht eingesehen wurde. Es war daher nicht zu verwundern, wenn Schlüsse, ähnlich denen des Jordanus, auch auf den Hebel mit scheinbarem Erfolge angewendet wurden. Die Schriftsteller über Mechanik waren, wie wir gesehen haben, so schwankend in ihrer Logodädalie, daß sie alles beweisen mochten, was sie einmal als wahr anerkannten. — Wir wollen nun zu dem Anfang des wahren Fortschritts der Mechanik in den neuern Zeiten übergehen.

Zweiter Abschnitt.

Wiederaufleben der wissenschaftlichen Ideen des Drucks — Stevinus. — Gleichgewicht schiefer Kräfte.

Die Lehre von dem Schwerpunkte war derjenige Theil der Archimedischen Entdeckungen, welchen seine Nachfolger noch am meisten kultivirten. Pappus [5]) und andere, unter den Alten,

5) Pappus lebte gegen das Ende des vierten Jahrhunderts zu Alexandrien, und ist vorzüglich durch seine „Mathematischen Sammlungen“ bekannt, Pesaro 1588 und Bologna 1660, die Auszüge aus andern, größtentheils für uns verlornen mathematischen Werken der Griechen enthalten. Er hatte der erste die sinnreiche Idee, die Bewegung des Schwerpunkts zur Bestimmung der Oberfläche und des Volums der Körper zu benutzen, die später unter dem Namen der Gul-

lösten mehrere hieher gehörigen Probleme auf, und Commandinus [6]) schrieb im Jahr 1565 sein Werk De Centro Gravitatis

dinschen Regel allgemein bekannt wurde, wovon später. — Commandinus gab die erste lateinische Uebersetzung dieses Werkes, das aber unvollständig ist. Von den acht Büchern desselben sind nur die fünf letzten gerettet worden, und dem dritten fehlt der Anfang. Die zwei ersten verloren gegangenen Bücher enthielten die Arithmetik der Griechen, mit den Bereicherungen, welche diese Wissenschaft von Archimedes und Apollonius erhalten haben soll. Pappus kommentirte auch einige Bücher des Almagest's von Ptolemäus, aber er scheint weniger Astronom, als Geometer gewesen zu sein. Unter den verlornen Werken desselben bedauert man vorzüglich seine „Geographie", von welcher wir nur mehr ein Bruchstück einer lateinischen Uebersetzung aus dem Armenischen besitzen. — Die erwähnte Guldinische Regel hat der Jesuit Guldin in seinem Werke „De Centro Gravitatis" mitgetheilt, dessen erster Theil zu Wien 1635, und der Rest 1640 erschienen ist. Guldin hatte den Pappus, wie man aus dieser seiner Schrift sieht, sehr eifrig gelesen, und wollte von der hier in Rede stehenden Proposition der Griechen einen Beweis geben, der aber sehr mißlungen ist. Cavalleri, gegen dessen Methodus Indivisibilium Guldin aufgetreten war, gab aber durch Hülfe dieser Methode den ersten eigentlichen Beweis jenes Satzes. Guldin war 1577 in St. Gallen als Protestant geboren und ging 1597 zur katholischen Kirche über. Er war Professor der Mathematik zu Grätz und später zu Wien. Wir haben von ihm noch mehrere unbedeutende Schriften, besonders über den Gregorianischen Kalender gegen Calvisius und Scaliger, ferner über die Präzession der Nachtgleichen, über die Art, bei einer Schifffahrt zu den Antipoden die Tage zu zählen u. dergl. L.

6) Commandino, Friedrich, ein vorzüglich durch seine Uebersetzungen alter griechischer Mathematiker berühmter Italiäner, geboren zu Urbino 1509. Er war zuerst geheimer Kämmerer bei Clemens VII., und verließ nach dessen Tode Rom, um zu Padua die griechische Sprache und die Medizin zu studiren. Später widmete er sich ganz der Mathematik, und wurde als Lehrer derselben bei dem Herzog von Urbino nach Verona berufen. Er starb zu Verona 1575. Seine Hauptverdienste bestehen in seinen Uebersetzungen und Kommentaren der griechischen Mathematiker. Seine vorzüglichsten hieher gehörenden Schriften sind: Archimedis opera, Vened. 1558; Ptolemæi planisphærium, Vened. 1558; Ptolemæi de analemmate liber, Rom. 1562; Archimedes, de iis quæ vehuntur in aqua, Bonon, 1568; Apollonii Pergæi Conicorum libri IV una cum Panni Lemmatibus etc., Bon. 1566; Machometes Bagdedinus de superficierum divisionibus, Pesaro 1570; Euclidis Elementa, Pesaro 1572, und italiänisch von demselben, Urbino 1575; Aristarchus, de magnitudine ac distantia

Solidorum. Solche Abhandlungen enthielten meistens nur mathematische Folgerungen des Archimedischen Problems. Indeß behielt man doch auch den festen Begriff der mechanischen Eigenschaft des Schwerpunktes bei, nach welchem nehmlich das Gewicht des ganzen Körpers in diesem Punkte vereinigt gedacht werden kann, ohne dadurch das mechanische Resultat zu ändern; ein Begriff, der mit unsern Grundideen der mechanischen Wirkung innig verbunden ist. Ein solches Prinzip setzt uns in den Stand, die Resultate von gar manchen mechanischen Vorrichtungen zu bestimmen. Wenn z. B. ein Mathematiker unserer Tage gefragt würde, ob man einem festen Körper eine solche Gestalt geben könne, daß er, auf eine horizontale Ebene gebracht, blos durch die Wirkung seines eigenen Gewichts immerwährend fortrollen müßte, so wird er diese Frage verneinen und sagen, daß der Schwerpunkt des Körpers seinen tiefsten Punkt suchen, und wenn er ihn gefunden, in Ruhe bleiben wird. Und bei einem solchen Schlusse wird er auf keine weiteren Beweise von der Unmöglichkeit einer immerwährenden Bewegung eingehen, die man aus späteren Prinzipien abgeleitet hat, sondern er würde die Frage auf gewisse Grundsätze zurückführen, welche, sie mögen nun Axiome sein oder nicht, doch stets unsere mechanischen Conceptionen begleiten.

Ganz ebenso würde Stevinus [7]), von Brügge, als er im

---

zolis, Pesaro 1572; Pappi Alexandrini Collectiones mathematicæ, Pesaro 1588. Von mehreren dieser Schriften war der griechische Text damals schon ganz verloren, und Commandino mußte sich mit einigen alten, fehlerhaften lateinischen Verbesserungen aus dem Arabischen behelfen. Viele dieser Uebersetzungen des Commandino gelten noch jetzt für die besten, die wir haben, besonders die der Elemente Euklids. Außer diesen, mit meistens sehr guten Kommentaren versehenen Uebersetzungen der griechischen Mathematiker, schrieb er auch eigene Werke, von denen wir hier nur die zwei folgenden nennen: Horologiorum descriptio, Rom. 1562; und De centro gravitatis solidorum, Bonon. 1565. L.

7) Stevin oder Stevinus (Simon), geboren in Brügge um die Mitte des sechszehnten Jahrhunderts, war einer der ersten Begründer der neuen wissenschaftlichen Mechanik. Er lebte größtentheils in Holland, wo er anfangs Erzieher des Prinzen Moriz von Oranien und später Oberaufseher der Deichbauten des Landes war, und sich auch um die Nautik und den Festungsbau große Verdienste erwarb. Seine übrigen

Jahr 1586 seine **Beghinselen der Waaghconst** (Prinzipien des Gleichgewichts) herausgab, wenn er gefragt worden wäre, warum eine Kette, über einen dreieckigen Balken aufgehängt, sich nicht, wie er auch behauptete, blos durch die Wirkung ihres eigenen Gewichts immer fort bewegen kann, ohne Zweifel geantwortet haben, daß dieses Gewicht der Kette, wenn es überhaupt eine Bewegung hervorbringt, blos ein Bestreben äußern kann, diese Kette in eine bestimmte Lage zu bringen, und daß sie, wann sie einmal diese Lage erreicht hat, sich nicht mehr weiter bewegen würde. Auf diese Weise würde er die Unmöglichkeit eines Mobile perpetuum auf den Begriff der Schwere, als einer Gleichgewicht erzeugenden Kraft, das heißt, auf ein vollkommen richtiges Prinzip zurückgeführt haben.

Auf dasselbe Prinzip, so angewendet, baute auch Stevinus die Grundeigenschaft der schiefen Ebene. Er nahm eine Kette an, mit vierzehn gleich großen Kugeln in gleichen Zwischenräumen belastet, hängend über einem dreiseitigen Balken, dessen Basis horizontal ist. Die zwei andern Seiten, die sich in ihrer Länge wie zwei zu eins verhielten, trugen die eine vier und die andere zwei Kugeln. Er zeigte, daß die Kette in dieser Lage in

---

Lebensverhältnisse und sein Sterbejahr ist unbekannt, da Weidler (Hist. Astron. p. 410) und Montucla (Hist. de Mathem. II. p. 179), die ihn 1633 in Leyden sterben lassen, ihn offenbar mit Albert Girard, dem Uebersetzer seiner Werke, verwechseln. Stevin erkannte der erste das wahre Verhältniß der Kraft zur Last bei der schiefen Ebene, das er, eben so genau als allgemein, für alle besondere Fälle bestimmte. Seine vorzüglichsten Werke sind: Praktische Arithmetik, Antwerpen 1585; Problematum geometricorum libri V. Ibid. 1585; Prinzipien der Statik und Hydrostatik, Leyden 1586; Neues Fortifikationssystem, ibid. 1589; Libri tres de motu cœli, ibid. 1589; Abhandlungen über die Schifffahrt, ibid. 1599; die oben erwähnten Beghinselen der Wagkonst, 1596; Wiskonstighe Gedachtnissen, Leyden 1601; Hypomnemata mathematica, Leiden 1605. — Stevin's Werke wurden gesammelt und zu Leyden 1605 in zwei Foliobänden herausgegeben. Willebord Snellius hat den größten Theil derselben in die lateinische Sprache unter dem Titel übersetzt: Hypomnemata, id est de cosmographia, de praxi geometrica, de statica, de optica etc., aber er konnte sein Werk nicht vollenden. Alb. Girard hat Stevin's Schriften in das Französische übersetzt, Leyden 1634 in Fol. Stevin's Porträt ist eines von denen, das die Stadtbibliothek von Leyden ziert. L.

Ruhe bleiben müsse, weil nämlich jede Bewegung derselben sie auf dieselbe Lage wieder zurückführen würde; daß der andere, mit den übrigen acht Kugeln beladene Theil der Kette immerhin ganz weggenommen werden könnte, ohne das Gleichgewicht zu stören, und daß daher vier Kugeln auf der längern Fläche jene zwei auf der kürzern ebenfalls im Gleichgewicht erhalten, das heißt: daß die Gewichte sich wie die Längen dieser Flächen verhalten.

Stevinus bestätigte seine feste Ueberzeugung von der Wahrheit dieses Prinzips, indem er aus ihm die Wirkung der Kräfte mit schiefen Richtungen jeder Art ableitete, oder mit andern Worten: er zeigte seine Fähigkeit, auf diesem Prinzip eine vollständige Lehre des Gleichgewichts zu erbauen. Auf dieser Basis hätte man, ohne irgend eine andere Beihülfe, die mathematische Wissenschaft der Statik selbst bis zu dem Grade der Vollendung errichten können, welche sie jetzt erreicht hat. Die eigentliche Genesis dieser Wissenschaft war hiemit geendet, aber noch erübrigte die mathematische Entwicklung und Erweiterung derselben.

Die gleichzeitige Ausbildung der andern mechanischen Zweige der Lehre von der Bewegung, kreuzte sich jedoch mit diesem unabhängigen Fortschritte der Statik. Indem wir aber nun zu jener ersten zurückkehren, müssen wir bemerken, daß sich besonders über die Zusammensetzung der Kräfte mehrere wahre Ansichten um dieselbe Zeit zu verbreiten angefangen hatten. Der Tractatus de Motu des Michael Varro von Genf, dessen wir bereits oben erwähnten, und der im Jahr 1584 erschien, stellte bereits den Satz auf, daß Kräfte, die an den Seiten eines rechtwinklichten Dreiecks sich im Gleichgewichte halten, diesen Seiten proportionirt sind; und obschon diese Behauptung nicht aus einer bestimmten Idee des Drucks hervorgegangen zu sein scheint, so wußte der Verfasser doch daraus auf ganz richtige Weise die Eigenschaften des Keils und der Schraube abzuleiten. Bald darauf erbaute auch Galilei dieselben Resultate auf ganz andere Prinzipien. In seiner Abhandlung Delle Scienze Mechaniche, die 1592 erschien, bezieht er die schiefe Ebene auf den Hebel auf eine sehr befriedigende Weise, indem er sich den Hebel so gestellt denkt, daß die Bewegung eines Körpers an dem Ende des einen Hebelarmes dieselbe Richtung habe, wie auf der schiefen

Ebene. Mit einer leichten Modifikation dieser Darstellung kann daraus ein vollständiger Beweis des Satzes abgeleitet werden.

Dritter Abschnitt.

Eingang zur Dynamik. Versuche zur Entdeckung des ersten Gesetzes der Bewegung.

Wir haben bereits gesehen, daß Aristoteles die Bewegung in eine natürliche und gewaltsame eingetheilt hat. Cardan suchte dies zu verbessern, indem er drei Klassen von Bewegungen aufstellt.

Die willkührliche Bewegung, die gleichförmig im Kreise vor sich geht, und die den himmlischen Körpern eigen sein soll; die natürliche, die gegen das Ende schneller wird, wie z. B. die Bewegung der fallenden Körper, die in einer geraden Linie vor sich geht, weil sie eine Bewegung zu einem bestimmten Zweck ist, und weil die Natur ihren Zweck immer auf dem kürzesten Wege sucht; und endlich drittens die gewaltsame Bewegung, welche alle von jenen beiden verschiedene Bewegungen enthält. Cardan war überzeugt, daß eine solche gewaltsame Bewegung schon durch die kleinste Kraft hervorgebracht werden könne. So würde, sagt er, eine auf einer horizontalen Ebene liegende Kugel schon durch eine Kraft in Bewegung gesetzt werden, welche nur eben die Luft zu theilen im Stande ist. Aber davon suchte er irrig den Grund in der Kleinheit des Berührungspunktes [8]). Aber der gemeinschaftliche Fehler aller Schriftsteller dieser Periode war, daß sie für die Bewegung eines Körpers die fortdauernde Wirkung einer Kraft als nothwendig voraussetzten, und alles das, was Kepler seine „physischen Gründe“ nannte, beruhte auf dieser Annahme. Er mühte sich ab, die Kräfte zu finden, durch welche die Bewegung der Planeten um die Sonne erzeugt werden, aber dabei ging er immer von der Voraussetzung aus, daß die Richtung dieser Kräfte in der Richtung der Bewegung selbst, also in der Tangente der von den

---

8) Indem er von der Kraft spricht, die ein Körper in einer schiefen Ebene aufwärts ziehen kann, setzt er hinzu, daß also auch, für eine ganz horizontale Ebene, per communem animi sententiam, die Kraft gleich Null sein würde.

Planeten beschriebenen Bahn liegen müsse. Diese Versuche Keplers, die in dieser Beziehung wenigstens noch so schwach und unbedeutend waren, wurden von einigen späteren Schriftstellern als der erste Keim, ja als eine förmliche Antizipation des Newton'schen Gesetzes von der allgemeinen Schwere angesehen. Allein zwischen beiden ist keine weitere Verwandtschaft, als daß in ihnen von Kräften, obschon unter ganz verschiedenen Bedeutungen dieses Worts, gesprochen wird. Keplers Kräfte waren gewisse imaginäre Eigenschaften, die in der wirklichen Bewegung der Himmelskörper zum Vorschein kamen; Newtons Kräfte aber waren Ursachen, deren Wirkungen sich in den Veränderungen dieser Bewegungen zeigten; jene trieben die Planeten in der Tangente ihrer Bahnen vorwärts, diese aber bogen sie stets von dieser Tangente ab. Wenn die Kräfte Keplers zu wirken aufhören, so steht der bewegte Körper sogleich still, während bei dem Verschwinden von Newtons Kräften der Körper fortan in einer geraden Linie ohne Ende weiter geht. Kepler vergleicht die Wirkung seiner Kraft mit der Bewegung eines Körpers, der zwischen die Flügel einer Windmühle gebracht wird; Newton aber mit der eines am Ende einer Schleuder befestigten Körpers, der durch ein Seil stets gegen den Mittelpunkt seiner Bahn gezogen wird. Newtons Kraft ist blos eine gegenseitige Attraction der Körper, während das, was Kepler Kraft nennt, von der eigentlichen Anziehung ganz verschieden ist. Zwar erläutert er seine Ansichten oft genug durch Beispiele, die von dem Magnet genommen sind, aber er warnt zugleich seine Leser, die Kraft der Sonne nicht mit der des Magnets zu verwechseln, da jene nicht blos attractiv, sondern auch zugleich directiv ist [9]). Mit größerm Rechte kann man Keplers Darstellung als eine Antizipation der Wirbeltheorie von Descartes, nimmermehr aber als die der dynamischen Theorie Newtons betrachten.

Diese Unklarheit der Ansicht, welche die Geometer hinderte, den Unterschied zwischen einer neu entstehenden und einer schon früher entstandenen und blos fortdauernden Bewegung deutlich einzusehen, hinderte auch zugleich alle eigentlichen Fortschritte der Wissenschaft. Wir haben bereits oben der Schwierigkeiten erwähnt,

---

9) Kepler, Epitome Astron. Copern., S. 176.

in welche sich Aristoteles verwickelte, indem er die Ursache suchte, warum ein geworfener Stein, nachdem er die ihn werfende Hand verlassen, sich doch noch zu bewegen fortfahre, welche Ursache er der Luft oder irgend einem andern Medium zuschrieb, in welchem sich der Stein bewege. Tartalea, dessen Nova Scienza im Jahr 1551 herauskam, und der ein guter Mathematiker war, ist doch noch in den die Mechanik betreffenden Dingen ganz im Dunkeln. Eine seiner Propositionen (in der erwähnten Schrift, B. I. Prop. 3) wird mit folgenden Worten ausgedrückt: „Je mehr ein schwerer Körper von dem Anfang seiner „Bewegung sich entfernt oder je näher er dem Ende seiner gewaltsamen Bewegung kommt, desto langsamer und träger „bewegt er sich,“ welchen Satz er sofort auf die horizontal geworfenen Körper anwendet. Auf ähnliche Weise stellten sich die meisten andern mechanischen Schriftsteller dieses Zeitraums vor, daß eine Kanonenkugel so lange vorwärts geht, bis sie alle ihre positive Bewegung verliert, wo sie dann abwärts fällt. Benedetti, dessen wir schon oben gedacht haben, muß als einer der ersten betrachtet werden, welche sich diesen Irrthümern und Einfällen des Aristoteles auf eine verständige Weise widersetzten. In seinem Speculationum Liber (Venedig 1585) erklärt er sich gegen die Ansichten des Stagiriten mit Ausdrücken von großer Hochachtung, aber auch zugleich auf eine sehr oberflächliche Weise. Sein XXIV. Kapitel trägt die Aufschrift: „Ob dieser ausgezeichnete „Mann in Beziehung auf seine natürliche und gewaltsame Be„wegung auf dem wahren Wege war?“ Er führt dann den oben erwähnten Grund desselben an, daß der geworfene Stein durch die Luft getrieben werde, und setzt hinzu: „daß der Stein „durch die Luft mehr gehindert als angetrieben werden müsse[10]), „und daß die Bewegung des Steins, nachdem er die werfende „Hand verlassen hat, von einer gewissen Impression, von der „Impetuosität (ex impetuositate) komme, die der Stein von „der ersten bewegenden Kraft (von der Hand) bekommen habe.“ Bei den natürlichen Bewegungen (der frei fallenden Körper), setzt er hinzu, wächst diese Impetuosität immer fort, weil die Ursache derselben ebenfalls immerfort währt — nämlich die

---

10) Benedetti, Specul. Liber, S. 184.

Neigung der Körper, den ihnen von der Natur angewiesenen Platz zu suchen, so daß also die Geschwindigkeit dieser Körper immer größer wird, je näher sie diesem Platze kommen. Diese Darstellung zeugt von einer Klarheit des Begriffs der accelerirender Bewegung, die selbst Galilei erst spät sich eigen machen konnte. Obschon Benedetti solchergestalt auf dem Wege war, das erste Gesetz der Bewegung (das Gesetz der Trägheit) zu entdecken, nach welchem alle Bewegung geradlinig und gleichförmig ist, so lange sie nicht durch äußere Kräfte verändert wird, so konnte doch dieses Prinzip nicht eher allgemein aufgefaßt, noch gehörig bewiesen werden, bis auch das andere Gesetz, durch welches die eigentliche Wirkung der Kräfte bestimmt wird, in Betrachtung gezogen wurde. Wenn also auch eine unvollständige Appreception dieses Prinzips der Entdeckung der Gesetze der Bewegung vorausgegangen war, so muß doch die wahre Aufstellung desselben erst in die Periode, wo alle diese Gesetze selbst entdeckt wurden, das heißt, in die Periode des Galilei und seiner ersten Nachfolger gesetzt werden.

Erst nach Vollendung dieses Kapitels erhielt ich Venturini's „Essai sur les ouvrages physico-mathématiques de Léonhard da Vinci. Paris 1797," aus welcher Schrift ich hier das Folgende nachtrage. — Leonardo da Vinci war 1452 geboren, und starb 1519. Er war ausgezeichnet als Mathematiker, Ingenieur, als Maler, Bildhauer und als Architekt. Die folgenden kurzen Nachrichten werden zeigen, daß er in jener Zeit, der Einleitung zu den großen Entdeckungen in der Astronomie und Mechanik, keine unbedeutende Rolle gespielt hat, wenn man ihn auch nicht an Stevins Seite stellen kann, welcher letzte ohne Zweifel der erste die Wirkung eines schiefen Drucks (bei der sogenannten schiefen Fläche) richtig begriffen hat.

Leonardo zeigte um das Jahr 1510, wie ein Körper in einer spiralförmigen Curve gegen eine um ihre Achse sich drehende Kugel so herabsteigen kann, daß die scheinbare Bewegung dieses Körpers, von einem Punkt der Kugelfläche betrachtet, in einer geraden Linie gegen den Mittelpunkt der Kugel gerichtet ist. Er setzt hinzu, daß er dabei die sich drehende Erde im Auge hatte, und daß er dadurch die Schwierigkeiten entfernen wollte, welche sich hier aus der Zusammensetzung der beiden Bewegungen, jenes Körpers und dieser Kugel, ergeben.

Schon im Jahr 1499 gab er eine sehr richtige Darstellung von dem Verhältniß der Kräfte in dem Falle, wo eine Schnur in schiefer Richtung auf einen mit einem Gewichte belasteten Hebel wirkt. Er unterscheidet hier zwischen dem reellen und dem potentiellen Hebel, d. h. von den zwei geraden Linien, die von dem Unterstützungspunkt des Hebels auf die schiefe Richtung der Kräfte senkrecht gezogen werden. Nichts kann richtiger und genügender zugleich sein, und diese Bemerkung Leonardo's ist ganz eben so gut, als der oben erwähnte Beweis des Stevinus. Diese Ansichten mußten aber höchst wahrscheinlich zur Zeit des Galilei schon sehr verbreitet sein, um Einfluß auf die Betrachtungen zu nehmen, die Galilei über den Hebel anstellte, und die in der That mit denen des Leonardo da Vinci viel Aehnlichkeit haben.

Auch darin kam Leonardo dem Galilei zuvor, daß er die Zeit des Herabgangs eines Körpers von einer schiefen Ebene und die Zeit des freien Falls des Körpers von demselben Anfangspunkte in dem Verhältniß der Länge und der Höhe der schiefen Ebene gefunden hat. Doch war dies wohl nur eine Vermuthung von Leonardo, da ich nicht finde, daß er diesen Satz auch bewiesen hat.

Die allgemeine Betrachtung, zu der diese Bemerkungen Anlaß geben, ist wohl die, daß die ersten wahren Ansichten von der Bewegung der Himmelskörper um die Sonne, und von der Bewegung überhaupt, seit dem Anfang des sechszehnten Jahrhunderts in den besseren Köpfen sich zu regen und zu fermentiren begannen, und daß sie allmählig Klarheit und Festigkeit schon etwas vor jener Zeit angenommen haben, wo sie öffentlich aufgestellt worden sind [11]).

---

11) Leonardo da Vinci, i. J. 1452 in dem Flecken Vinci bei Florenz geboren, zeichnete sich früh schon durch sein hohes Talent für Malerei, Architektur, Mathematik, Mechanik und Musik aus, und trat 1482 als Maler in des Herzogs von Mailand Dienste, wo er das berühmteste seiner Gemälde, das Abendmahl in dem Refektorium der Dominikaner von Sta. Maria delle Grazie verfertigte, das später Raphael Morghen so trefflich in Kupfer gestochen hat. Im Jahr 1500 hatte er

Zweites Kapitel.

Induktive Epoche Galilei's. Entdeckung der Gesetze der Bewegung in einfachen Fällen.

Erster Abschnitt.

Aufstellung des ersten Gesetzes oder des Gesetzes der Trägheit.

Nachdem die Mathematiker endlich einmal angefangen hatten, die Autorität des Aristoteles zu bezweifeln oder sie auch wohl ganz zu verwerfen, brauchten sie doch noch längere Zeit, zu dem Entschlusse zu kommen, die so lange festgehaltene Idee einer „natürlichen und gewaltsamen" Bewegung für nicht weiter haltbar zu erklären. Es wollte ihnen nicht klar werden, daß die Geschwindigkeit eines in Bewegung begriffenen Körpers zu- oder abnehme, blos in Folge der auf ihn einwirkenden Ursachen (oder Kräfte), nicht aber, wie sie bisher dachten, in Folge einer dem Körper oder der Bewegung desselben selbst inwohnenden Eigen-

---

den Auftrag erhalten, den großen Rathssaal zu Florenz, zugleich mit Michel Angelo, mit Gemälden zu verzieren. Im Jahr 1513 begab er sich zu Leo X. nach Rom, und von da 1515 auf Franz I. Einladung nach Frankreich. Hier starb er auch 1519 in den Armen dieses Königs, indem er sich bei dem Besuche desselben von seinem Krankenlager aufrichten wollte. Nur wenige Gemälde sind von ihm vorhanden, an die er selbst die letzte Hand gelegt hat, wovon die Schuld größtentheils seine bis in's Alter fortschreitenden Studien trugen, die ihm nicht erlaubten, sich eine längere Zeit durch auf bestimmte, mechanische Arbeiten zu beschränken. Auch war er beim Anfange einer Arbeit oft bis zum Zittern furchtsam, und mit dem Fortgange derselben stieg auch seine Unzufriedenheit damit, bis er sie, meistens noch vor der Vollendung derselben, wieder aufgab. Seine Thätigkeit verbreitete sich auch über andere Unternehmungen von oft sehr großem Umfange. So leitete er das Wasser der Adda durch einen Kanal bis nach Mailand, zog den schiffbaren Kanal von Mortesana nach dem Veltlin durch eine Strecke von 200 Miglien u. f. Er hinterließ sehr schätzbare Schriften. In seinem Trattato della pittura, Paris 1651, und Rom 1817 behandelt er die Lehren vom Lichte, vom Schatten u. f. mit tiefer Einsicht. Andere noch ungedruckte Schriften sind in der Ambrosianischen Bibliothek von Mailand. Sein Leben beschrieb Braun. Halle 1819.

schaft; und daß die immer langsamere Bewegung der geworfenen Körper (die sogenannte „gewaltsame“ Bewegung) von äußeren Einwirkungen, dem Widerstand der Luft, der Reibung u. s. herrühre, nicht aber in ihnen selbst zu suchen sei. Indeß kamen sie denn doch immer so weit, zu glauben, daß diese und ähnliche äußere Einwirkungen statthaben könnten, so oft die Geschwindigkeit eines Körpers irgend eine Aenderung erleidet, und daß, ohne solche Einwirkungen, die Bewegung aller Körper gleichförmig, und geradlinig und immerdauernd sein würde.

Es ist schwer zu sagen, wer dieses Gesetz zuerst bestimmt und allgemein ausgesprochen hat. Man nahm indeß die genaue oder doch die genäherte Wahrheit desselben bei der Erklärung der frei fallenden und der auf der Oberfläche der Erde geworfenen Körper, anfangs vielleicht ohne nähere Untersuchung, als ausgemacht oder als nothwendig an. In Galilei's [1]) erstem

---

1) Galilei oder eigentlich Galileo (auch Galileo Galilei sc. filius) genannt, war am 15ten Februar 1564 zu Pisa geboren. Sein Vater war Vincentio Galilei, der sich als Theoretiker in der Musik und besonders durch sein Werk: Dialogo della Musica antica e moderna, Florenz 1581, bedeutenden Ruhm erworben hatte. Sein Sohn betrat in seinem neunzehnten Jahre die Universität von Pisa, wo er, nach dem Willen seiner Aeltern, sich der Medizin widmen sollte. Allein die Bekanntschaft mit Guido Ubaldi, die er bei Gelegenheit seiner ersten Versuche über eine Wasserwage machte, entfernte ihn bald von der Arzneikunde, die er der Mathematik und der Experimentalphysik weit nachsetzte.

Seine erste Entdeckung war die des Isochronismus der Pendelschwingungen, wozu ihm die Bewegungen einer an einem langen Seile hängenden Lampe einer Kirche Gelegenheit gab. Dieser Isochronismus ist eigentlich nur genähert, und für größere Schwingungsbogen nicht mehr genau wahr. Auch waren damals die Kenntnisse Galilei's von der Kraft der Schwere, von der Zerlegung der Kräfte, von dem Widerstand der Luft u. dergl. noch viel zu unvollkommen, als daß man die Ansprüche, die später Huyghens auf diese Entdeckungen machte, nicht gern sollte gelten lassen, um so mehr, da es dem Galilei an so vielen andern glänzenden Erfindungen nicht fehlt. Er bemerkte übrigens diesen Isochronismus der Pendel blos dadurch, daß er die Zeiten der Schwingungen jener Lampe mit seinen eigenen Pulsschlägen verglich. Da er auch bald sah, daß ein längeres Pendel langsamer schwinge, als ein kürzeres, so schlug er dieses Instrument zuerst zum Gebrauche an dem Krankenbette vor, um die Geschwindigkeit des Pulses der Kranken genauer zu bestimmen, Versuche, das Problem der frei fallenden Körper zu lösen, führte er seine Analyse noch nicht bis zu dem Begriffe einer „Kraft"

---

ein Verfahren, das die Aerzte Italiens längere Zeit durch beibehalten haben.

Durch die Freundschaft Ubaldi's wurde er dem Großherzog Ferdinand I. aus dem Hause der Medici in Toskana vorgestellt, wo er im Jahr 1589 die Professur der Mathematik in Pisa mit einem übrigens nur sehr geringem Gehalte erhielt. Hier begann er sofort eine Reihe von Experimenten über die Bewegung, die aber erst spät nachher, und auch dann noch nur theilweise, bekannt gemacht wurden. Wahrscheinlich haben wir dabei nicht viel verloren, da seine in den ersten Jahren seiner Versuche angenommene Hypothese über das Verhältniß des Raumes zur Geschwindigkeit ganz unrichtig war. Indeß gaben ihm dieselben Experimente bald die Ueberzeugung, daß alles das, was man bisher, besonders durch Aristoteles, über Bewegung gehört hatte, voll Zweifel und Unrichtigkeiten sei. Sich so allmählig von den Fesseln des Vorurtheils und der Autorität befreiend, wagte er sich an die Untersuchung der beiden, damals eben um den Vorrang streitenden Weltsysteme von Ptolemäus und Copernikus. Ein Mann seiner Art mußte bald für das letzte gewonnen werden, dessen Vorkämpfer und dessen erster Märtyrer er auch geworden ist.

Der vorzüglichste Irrthum, der aus den ältesten Zeiten bis in sein Jahrhundert gelangt war, war der, daß schwerere Körper auch schneller fallen, als leichte. Ein Körper von 100 Pfund sollte durch 100 Fuß in der Zeit fallen, in welcher ein Körper von einem Pfund nur durch 10 Fuß fällt. Das Experiment wurde an dem sogenannten hängenden Thurm in Pisa gemacht, und beide Körper kamen auch in der That sehr nahe in derselben Zeit an dem Fuß des Thurmes an. Die kleine Differenz, die man bemerkte, schrieb G. mit Recht dem Widerstand der Luft zu. Allein die übrigen Zeugen bei dem Versuche wurden durch diese Differenz schüchtern gemacht und sie blieben alle bei ihren früheren Ansichten. Nicht nur keine Anhänger, sondern nur Feinde hatte er sich durch diese Neuerungen gemacht, und diese Feinde benahmen sich so daß er 1592 Pisa verlassen und nach Padua flüchten mußte, wo er für sechs Jahre als Professor der Mathematik angestellt wurde. Hier erfand er eine, übrigens noch sehr unvollkommene Art von Thermometer, und hier begann auch sein lebhafter Briefwechsel mit Kepler, der erst mit seinem Tode endete. — Als er nach Verfluß jener sechs Jahre in Padua noch einmal und nun für immer angestellt wurde, verdoppelte man seine Besoldung, da in jener Zeit sein Ruhm mit der Zahl seiner Zuhörer bereits bedeutend gewachsen war. Allein nun quälte ihn eine Krank-zurück, weshalb denn auch dieses Gesetz von ihm damals noch nicht angegeben wurde. Noch im Jahre 1604 hatte er eine

---

heit, die immer wieder kam und ihn auch bis an das Ende seines Lebens verfolgte. Im Jahre 1604 erschien ein neuer Stern in dem Sternbilde des Ophiuchus, den er zum Gegenstande eigener Vorlesungen machte, in welchen er sich bereits öfter und deutlicher, als ihm seine vorsichtigeren Freunde gerathen hatten, für das neue copernikanische System zu erklären wagte.

Um dieselbe Zeit beschäftigte er sich auch mit anderen Gegenständen. Gilberts Werk „Ueber die Natur der Körper" bewog ihn, die Ansichten dieses Verfassers über die terrestrische Schwere auch zu den seinigen zu machen, und er verfertigte deshalb viele Magnete nach Gilberts Anweisung. Mit einem gewissen Capra kam er in heftigen Streit, weil dieser sich die Entdeckung des Proportionalzirkels aneignen wollte. Bald darauf machte er auf eine etwas sonderbare Weise bekannt, daß er nach einander mehrere Werke herausgeben wolle, nämlich drei Bücher über das Weltsystem, drei andere über die Bewegung, wieder drei über die Mechanik, und eben so über die Akustik, die Optik, über die Sprache, über Ebbe und Fluth, über die Continuität der Materie, über die thierische Bewegung, über die Ausmessung der militärischen Lager u. s. f. Viele von diesen Werken soll er in der That verfaßt haben, aber sie wurden nach seinem Tode von seinen Verwandten auf den Rath ihres Beichtvaters unterdrückt.

Das Jahr 1609 war eines der merkwürdigsten seines Lebens, da er in demselben das erste (später nach ihm benannte Galileische) Fernrohr verfertigte. Es bestand aus einem planconvexen Objektiv und einem planconcaven Ocular. Zwar hat Jansen, ein holländischer Optiker, und wohl auch noch einige andere vor Galilei, Mikroskope, und vielleicht auch unvollkommene Telescope verfertigt,, aber die Erfindung des eigentlichen astronomischen Teleskops können sie doch für sich selbst nicht in Anspruch nehmen, da ihre Instrumente mehr zu Spielzeugen, zur Unterhaltung ohne höheren Werth bestimmt waren, und da es ihnen gar nicht in den Sinn kam, dieselbe auf den Himmel oder sonst zu einem wissenschaftlichen Zweck anzuwenden, wozu diese höchst unvollkommenen Werkzeuge auch wohl nicht geeignet sein konnten. Wie aber auch immer die eigentliche Entdeckung des Fernrohrs vielleicht später noch entschieden werden mag, die Anwendung desselben auf den Himmel gehört unbestritten dem Galilei. Er legte sein erstes Fernrohr dem Doge von Venedig vor, und dieser bestätigte, zum Zeichen seiner Anerkennung, die bisher nur provisorische Lehrerstelle Galilei's an der Universität zu Padua auf seine Lebenszeit mit dem größten Gehalte, den bis zu dieser offenbar falsche Vorstellung von dem Gegenstande, und wir wissen nicht genau, wann er auf die wahre geleitet wurde, die er im

---

Zeit irgend einer der mathematischen Professoren erhalten hatte, nämlich mit 1000 Goldgulden jährlich.

In kurzer Zeit darauf verfertigte er noch ein zweites, bedeutend besseres Fernrohr von derselben Construktion, und mit diesem letzten machte er eigentlich seine berühmten astronomischen Entdeckungen. Er sah der erste damit die Berge und Thäler des Mondes; er erkannte durch die Reflexion des Lichts in den dunkeln Stellen des Mondes, daß dies sein Licht nur von der Sonne geborgt sei; daß die erwähnten Berge auf der Oberfläche des Mondes verhältnißmäßig viel größer seien, als die der Erde; daß der Mond beständig dieselbe Hälfte seiner kugelförmigen Gestalt der Erde zuwende, und daß uns daher die andere Hälfte stets unsichtbar sei u. s. w. Selbst die Librationen dieses Gestirns erkannte er sehr deutlich, obschon er keine genügende Erklärung derselben zu geben im Stande war.

Von dem Monde wendete er sein Fernrohr zu andern Gegenständen des Himmels, und zwar zuerst zu verschiedenen Theilen der Milchstraße, wo er sah, daß der lichte Schimmer derselben von einer unzählbaren Menge von Fixsternen entsteht, die daselbst enge zusammen gedrängt erschienen.

Bald darauf verkündigte ihm der Planet Jupiter neue, noch größere Wunder. Er erkannte gleich anfangs, am 7ten Januar 1610, drei kleine Sternchen, die ganz nahe in einer geraden Linie standen. Noch in derselben Nacht bemerkte er auch die Bewegung von zweien derselben, und er stand nicht an, sie für die Satelliten dieses Planeten zu erklären. Bald darauf entdeckte er auch den vierten dieser Jupiters-Monde. Es ist merkwürdig, daß er schon in dem Entdeckungsjahr dieser Monde ihre hohe Brauchbarkeit zur Bestimmung der geographischen Länge richtig erkannte. Er trug diese Idee dem Könige von Spanien vor, der die größte Seemacht jener Zeit besaß. Aber der Werth derselben wurde nicht erkannt, konnte auch wohl, da man noch keine verläßlichen Seeuhren hatte, damals noch nicht wohl praktisch ausgeführt werden. Uebrigens wurden diese seine wichtigen und höchst interessanten Entdeckungen anfangs nur mit Sträuben oder auch gar nicht aufgenommen. Einige gaben diese Erscheinungen nur für Trugbilder, für optische Täuschungen aus, die das Fernrohr erzeugt hätte; ein gewisser Horky schrieb gegen ihn ein Buch, in welchem er behauptete, sein eigenes Fernrohr auch auf alle diese Gegenstände des Himmels gerichtet, aber nichts von dem gesehen zu haben, was Galilei vorgegeben hätte; wieder ein anderer erklärte ihn für einen eitlen Thoren, für den die Natur sich

Jahr 1638 in seinen Discorsen bekannt gemacht hat. In dem dritten dieser Gespräche gibt er das Beispiel von einem in ein

---

herablassen sollte, dem Jupiter vier Monde zu geben, blos damit Galilei, (der diese Monde zu Ehren des Medici, seines Gönners, die mediceischen Gestirne genannt wissen wollte) seinem Beschützer schmeicheln könnte. Bald darauf hatte ein anderer seiner Gegner fünf, und ein zweiter sogar im Jahr 1610 neun solcher Satelliten um Jupiter gesehen, und daran Gelegenheit genommen, sich über die Kurzsichtigkeit Galilei's lustig zu machen u. s. w.

Indem er sein Fernrohr weiter auf den Saturnus wendete, erkannte er, daß er an zwei einander entgegen stehenden Seiten mit noch zwei anderen kleinen Planeten verbunden sei. Für solche hielt er nämlich die beiden fernestehenden Enden des Rings. Er machte diese Entdeckung zuerst nur mit versetzten Buchstaben bekannt, die, gehörig zusammengestellt, den Satz enthielten:

Altissimum Planetam tergeminum observavi
(Ich sah den äußersten Planeten dreifach).

Es ist merkwürdig daß der Scharfsinn Galilei's die wahre, dieser Erscheinung zu Grunde liegende Gestalt des Saturns nicht errathen konnte, obschon einige Jahre darauf (wegen der veränderten Lage des Rings) jene zwei Seitenplaneten für einige Zeit verschwunden waren. Diese Entdeckung war seinem großen Nachfolger Huyghens aufbehalten, da Galilei's Fernrohr doch wohl zu schwach dafür sein mußte.

Von seiner Entdeckung der Lichtgestalten der Venus und der Sonnenflecken ist bereits oben im Texte gesprochen worden, so wie auch von seiner Verurtheilung in Rom im ersten Bande das Vorzüglichste mitgetheilt worden ist. Wir tragen dazu nur noch folgende nähere Umstände nach. — Sein erster und eigentlicher Ankläger war Caccini im Jahr 1615. Aber Galilei vertheidigte sich so gut, daß er als schuldlos entlassen wurde. Im März 1616 hatte er eine Audienz bei Paul V., der ihm ungestörten Frieden versprach, wenn er das copernikanische System nicht weiter öffentlich lehren würde. Galilei zog sich sodann nach Florenz zurück. Später wurde er wieder Urban VIII. in Rom vorgestellt und von ihm sehr gütig aufgenommen. Im Jahre 1632 endigte er sein Werk: „Dia„logen über das Ptolemäische und Copernikanische System," in welchen drei fingirte Personen auftraten: Salviati, ein Copernikaner, Sagredo, ein Zwischenredner, und Simplicio ein Ptolemäer, welcher letzte von den beiden ersten durch Scherz und Ernst in die Enge getrieben wird. Gegen dieses Werk erhoben sich sogleich mehrere Aristoteliker, am heftigsten aber Scipione Chiaramonti, Professor der Philosophie zu Padua. Urban VIII.

Gefäß eingeschlossenen Wasser, um dadurch zu beweisen, daß die kreisförmige Bewegung eine Neigung in sich habe, immerfort zu dauern. Und in seinem ersten Dialog, über das Copernikanische System [2]), der im Jahr 1630 erschien, behauptet er noch, daß die kreisförmige Bewegung allein eine ihrer Natur nach gleichförmige sei, und hier behält er die Aristotelische Distinktion, zwischen natürlicher und gewaltsamer Bewegung, noch bei. In den oben erwähnten, im Jahr 1638 herausgekommenen Dialogen über Mechanik aber, (die jedoch offenbar schon vor diesem Jahre geschrieben waren), gibt er, in seiner Lehre von den geworfenen

---

glaubte überdies in den Gegenreden Simplicio's einige seiner eigenen früheren Aeußerungen gegen Galilei wieder zu erkennen, und wurde dadurch gegen den letzten aufgeregt. In Folge dieses Zerwürfnisses wurde Galilei, ein siebenzigjähriger und sehr kränklicher Mann, nach Rom citirt, wo er aber nicht in dem Gefängnisse, sondern in dem Palast des Nicolini, des Gesandten von Toskana, angenehm wohnte. Am 20sten Juni 1632 wurde er vor Gericht citirt und schwor daselbst am 23sten Juni 1633 seine frühere Meinung über das neue Weltsystem ab. Im Jahre 1634 erhielt er die Erlaubniß, nach Arcetri zurückzukehren, und auch zuweilen nach Florenz zu gehen, doch unter beständiger Aufsicht seiner früheren Richter. In demselben Jahre hatte er auch seine Tochter, die er sehr liebte, durch den Tod verloren. Im Jahre 1636 wurde er an beiden Augen blind, und um dieselbe Zeit vollendete er auch seine „Dialogen über die Bewegung," die aber, aus Furcht vor seinen Verfolgern, in Italien keinen Verleger fanden, bis sie einige Jahre später in Amsterdam herausgegeben wurden. Im November 1641 ergriff den siebenundsiebzigjährigen Greis eine ungewöhnliche Palpitation des Herzens, unter der er auch nach zwei Monaten, am 8ten Januar 1642 starb. Er soll von sehr lebhaftem Temperamente gewesen sein, leicht zu erzürnen, und eben so schnell wieder zu versöhnen. Seine Liebe zu seinen Verwandten, die er von früher Jugend bis an seinen Tod pflegte, ging oft so weit, daß er selbst darüber in Mangel gerieth. Er war auch als ein großer Kenner der Malerei, der Musik und der Poesie bekannt, und der edle und reine Styl seiner Dialogen wird jetzt noch unter seinen Landsleuten gepriesen. Seine sämmtlichen Werke kamen im Jahr 1811 in 13 Bänden zu Mailand heraus. Sein geliebtester Schüler, Viviani, hat zugleich seine erste Lebensbeschreibung geliefert; eine spätere ist von Drinkwater und von Nelli, Florenz 1821. Seine Leiche wurde in der Kirche Sta. Croce zu Florenz beigesetzt, wo ihm 1737 neben Michel Angelo ein prachtvolles Denkmal errichtet wurde. L.

2) Galilei, Dialog. I. p. 40.

Körpern, jenes Gesetz bereits bestimmt an [3]), „Mobile super „planum horizontale projectum mente concipio omni se„cluso impedimento, jam constat ex his, quae fusius „alibi dicta sunt, illius motum aequabilem et perpetuum super „ipso plano futurum esse, si planum in infinitum extendatur." „Ich denke mir einen auf einer horizontalen Ebene geworfenen „Körper ohne alle äußeren Hindernisse, wo dann aus dem, „was ich schon an einem andern Orte umständlich gezeigt habe, „folgt, daß die Bewegung dieses Körpers gleichförmig und immer„dauernd auf dieser Ebene sein werde, vorausgesetzt, daß diese „Ebene selbst ohne Grenzen ist." — Sein Schüler, Borelli [4]), drückt in seiner Abhandlung (De Vi percussionis, 1667) den Satz so aus, „daß die Geschwindigkeit ihrer Natur nach gleich„förmig und immerdauernd ist," und diese Meinung scheint um jene Zeit die allgemein herrschende gewesen zu sein, wie wir in Wallis und anderer Schriften sehen. — Man nimmt gewöhnlich an, daß Descartes der erste diesen Satz so allgemein aufgestellt habe. Seine Principia sind von dem Jahre 1644, aber sein Beweis von dem ersten Gesetz der Bewegung ist mehr theologischer, als mechanischer Natur. Seine Gründe sind [5]) „die „Einfachheit und Unveränderlichkeit aller der Operationen, durch „welche Gott in den Körpern die Bewegung immerdar erhält,

---

3) Discorso S. 141.

4) Borelli, geb. zu Neapel 1608, erhielt seine Bildung zu Florenz, ward dann Professor der Mathematik zu Pisa, und ging später nach Rom, wo er der Gunst der Königin Christine von Schweden sich erfreute. Mit einem von dem Großherzog von Florenz erhaltenen guten Fernrohre von Campani verfolgte er durch viele Jahre besonders die Satelliten Jupiters, und aus diesen Beobachtungen gingen später seine Theoriae Mediceorum planetarum ex causis physicis deductae hervor, die Florenz 1666 und Leyden 1686 herauskamen. Diese Schrift gründet sich aber doch nicht sowohl auf eigentliche Beobachtungen, als auf theoretische Ansichten und Hypothesen, wodurch der Gegenstand selbst nicht eben sehr gefördert wurde. Er soll der erste die parabolische Bahn der Kometen erkannt haben. Bleibender ist sein Verdienst um die Kenntniß der Muskelbewegung des thierischen Körpers, in seinem Werke De motu animalium, Rom 1680. Er starb zu Rom i. J. 1679.

L.

5) Descartes, Princip. S. 34.

„denn er erhält sie genau so, wie sie in dem Augenblick ist, wo „er sie zu erhalten beginnt, ohne sich darum zu kümmern, was „sie vor diesem Augenblick gewesen sein mag.“ Ein Raisonnement a priori von so abstrakter Form, wenn man es auch zu Gunsten der Wahrheit, nachdem diese einmal auf induktivem Wege gefunden ist, anführen mag, ist doch immer geeignet, leicht auf Irrwege zu führen, wie wir oben bei der Philosophie des Aristoteles gesehen haben. Doch wollen wir dabei nicht übersehen, daß die Zuflucht zu solchen Beweisgründen immer als eine Anzeige jener Nothwendigkeit und absoluten Allgemeinheit gelten mag, die wir in vollendeten Wissenschaften zu erstreben suchen, und als ein Resultat jener Fakultät des menschlichen Geistes, durch welche eine solche Wissenschaft erst möglich gemacht wird.

Die Induktion, welcher das erste Gesetz der Bewegung ihren Ursprung verdankt, besteht hier, wie in allen andern Fällen, in einer klaren Auffassung des Begriffs, und in der gehörigen Unterordnung der Beobachtungen unter diesen Begriff. Allein dieses Gesetz spricht von Körpern, auf die keine äußere Kraft einwirkt, ein Fall, der in der That nie vorkommt. Die eigentliche Schwierigkeit in der Aufstellung dieses Gesetzes bestand darin, daß man alle beobachteten Fälle, in welchen die Bewegung allmählig langsamer wird und endlich ganz aufhört, unter dem Begriff einer retardirenden Kraft auffassen sollte. Um dies zu thun, zeigte Hooke und andere, daß bei allen diesen Bewegungen die bemerkte Verzögerung immer kleiner wird, je geringer man den ihnen entgegenstehenden Widerstand macht. So wurde man allmählig zu einer deutlichen Schätzung des Widerstandes, der Reibung und dergl. geführt, die bei allen Bewegungen auf der Oberfläche unserer Erde das deutliche Hervortreten jenes Gesetzes verhindern, und so wurde endlich ein Gesetz, für welches man kein Experiment als Beispiel anführen konnte, demungeachtet auf dem Weg der Experimente bewiesen. Die natürliche Gleichförmigkeit der Bewegung wurde durch Experimente über alle Bewegungen, die selbst nicht gleichförmig waren, dargethan. Die allgemeine Regel wurde aus dem konkreten Experiment herausgezogen, obschon diese Regel, in jedem besondern Falle, wieder mit andern Regeln vermischt war, und obschon jede dieser andern Regeln aus dem Versuche nur dann herausgenommen werden konnte, wenn die übrigen alle bereits als bekannt angenommen werden durften. Die vollkommene Einfachheit, die wir in jedem wahren Naturgesetze anzunehmen gleichsam gezwungen sind, setzt uns in den Stand, die Verwirrung, welche eine solche Complikation auf den ersten Blick hervorzubringen scheint, wieder aufzulösen.

Dieses erste Gesetz der Bewegung, das unter der Benennung des Gesetzes der Trägheit bekannt ist, sagt aus, daß die Bewegung eines sich selbst überlassenen Körpers gleichförmig und geradlinig ist. Diese letzte Eigenschaft leuchtet gleichsam von selbst ein, sobald wir uns einen Körper denken, der von allen Einflüssen äußerer Dinge frei und unabhängig ist. Die Gleichförmigkeit aber wurde von Galilei, wie wir oben gesehen haben, anfangs nur der kreisförmigen Bewegung, nicht der geradlinigen, zuerkannt, obschon Benedetti schon vor ihm im Jahr 1585 richtigere Begriffe über diesen Gegenstand hatte. Indem er das Aristotelische Problem kommentirte, warum man mit einer Schleuder weiter werfen kann, als mit der blosen Hand, sagt er [6]), „daß der Körper, wenn er durch die Schleuder herumgedreht „wird, in einer geraden Linie fortzugehen strebt." In Galilei's zweitem Dialog gibt Simplicius, einer der Sprechenden, nachdem er den Gegenstand eine Weile discutirt hat, dieselbe Meinung ab, und seit dieser Zeit ist sie auch von allen Schriftstellern über die Ballistik als ausgemacht vorausgesetzt worden.

Zweiter Abschnitt.

Accelerirende Kraft. — Gesetz der fallenden Körper.

Wir haben oben gesehen, wie roh und unbestimmt die Versuche des Aristoteles und seiner Nachfolger gewesen sind, um eine Theorie der im freien Raume fallenden oder geworfenen Körper aufzustellen. Wenn man das erste Gesetz der Bewegung klar aufgefaßt und wohl verstanden hätte, so würde man wohl auch bald bemerkt haben, daß das wahre Mittel, die Bewegung der Körper kennen zu lernen, in der Aufsuchung der „Ursachen" bestehe,

6) Corpus vellet rectâ iter peragere. Benedetti, Speculationum Liber, S. 160.

durch welche diese Bewegung jeden Augenblick geändert wird. Auf diesem Wege würde man zu dem Begriff der „accelerirenden Kraft" d. h. einer solchen Kraft gelangt sein, die auf schon bewegte Körper wirkt, und durch die ihre Geschwindigkeit sowohl als auch ihre Richtung geändert wird. Allein zu diesem Ziele gelang man nur nach vielen anderen, meist mißlungenen Versuchen. Man begann mit der Betrachtung der „ganzen Bewegung," zu der man sich mit Hülfe eines abstrakten, und noch dazu falsch verstandenen Begriffes erheben wollte, da man doch, ganz umgekehrt, die „einzelnen Theile," aus welchen die Bewegung gleichsam besteht, mit Beziehung auf die „Ursachen" derselben, zuerst hätte betrachten sollen. So sprach man von der „Tendenz" aller Körper gegen den Mittelpunkt, oder gegen den ihnen von der Natur angewiesenen Ort, man sprach von „Impetus," von „Retraktion," und was dergleichen Worte mehr waren, die der wahren Erkenntniß des Gegenstandes, den man untersuchen wollte, nur kleinen oder gar keinen Nutzen bringen konnten. Man wird die Unbestimmtheit dieser Begriffe am besten aus den Schriften über die Ballistik (Lehre der geworfenen Körper) aus jener Zeit kennen lernen. Santbach [7]), dessen Werk im Jahr 1561 erschien, behauptet, daß ein mit großer Geschwindigkeit geworfener Körper, z. B. eine Kanonenkugel, in einer geraden Linie so lange fortgehe, bis seine Geschwindigkeit ganz erschöpft ist, wo er dann senkrecht herabfällt. Er schrieb ein Werk über Artillerie, das auf diese absurde Annahme gegründet ist. — Dieser folgte bald darauf eine andere Hypothese, die zwar nicht viel philosophischer war, als die erste, die aber doch mit den Beobachtungen besser übereinstimmte. Nicolo Tartalea (Nuova Scienza, Venize 1537, Quesiti et inventioni Diversi 1554) und Gualtier Rivius (Architectura. Basil. 1582) behauptete, daß der Weg einer Kanonenkugel zuerst eine gerade Linie, und dann ein Kreisbogen sei, in welchem letzten die Kugel so weit fortgehe, bis sie endlich senkrecht abwärts fällt. Tartalea jedoch meinte, daß dieser Weg gleich anfangs eine krumme Linie sein müsse, die er aber doch als eine gerade behan-

7) Problematum Astronomicorum et Geometricorum Sectiones VII. Auctore Daniele Santbach, Noviomago. Basileae 1561.

delte, weil ihre Abweichung von einer geraden Linie nur sehr gering ist. Auch Santbach stellt seine Kugeln, ehe sie senkrecht zur Erde fallen, schief abwärts fallend vor, aber nicht in einer krummen, sondern in einer mehrmals gebrochenen geraden Linie. Der letzte scheint demnach die „Zusammensetzung" der Wirkung der Schwere mit der des ersten Impulses nicht begriffen zu haben, indem er sie nur stoßweise oder abwechselnd wirken ließ, während Rivius dies richtig auffaßte, indem er die Schwere als eine Kraft betrachtete, welche den Weg der Kugel in jedem Punkte ihrer Bahn ablenkt. In Galilei's zweitem Dialog [8]) kommt Simplicius zu demselben Schlusse: „Da nichts da ist, „sagt er, was die Kugel unterstützen oder tragen könnte, wenn „sie einmal die Kanone verlassen hat, so muß ihre eigene „Schwere auf sie wirken, und sie muß daher gleich anfangs „abwärts zu gehen streben."

Diese Kraft der Schwere, welche jene Ablenkung oder Krümmung in der Bahn eines schiefgeworfenen Körpers hervorbringt, muß auch die Geschwindigkei eines senkrecht herabfallenden Körpers immerfort vergrößern. Diese Beschleunigung der fallenden Körper war im Allgemeinen damals schon bekannt, aus Beobachtungen sowohl, als auch aus blosen Schlüssen. Allein das Gesetz dieser Beschleunigung konnte nur aus ganz genauen Beobachtungen abgeleitet werden, und eine vollständige Analyse dieses Problems erforderte noch ein bestimmtes „Maß" für die Größe einer solchen accelerirenden Kraft. — Galilei, der das Problem zuerst auflöste, begann mit der Voraussetzung, daß das gesuchte Gesetz das möglichst einfache sein müsse. „Alle Körper, sagt er [9]), „müssen auf die möglichst einfache Weise fallen, weil alle natür„lichen Bewegungen auch zugleich die einfachsten ihrer Art sind. „Wenn ein Stein zur Erde fällt, so werden wir schon bei einiger „Aufmerksamkeit finden, daß die einfachste Art, seine Geschwin„digkeit zu vermehren, diejenige ist, die ihm jeden Augenblick „auf dieselbe Weise ertheilt wird (d. h. wenn die Zunahme der „Geschwindigkeiten in gleichen Zeiten auch gleich groß sind), was „leicht einzusehen ist, wenn wir auf den innigen Zusammenhang

---

8) Galilei, Dialog. S. 147.

9) Galilei. Dial. Sc. IV. S. 91.

„sehen, der zwischen der Bewegung und der Zeit statt hat.“ Aus dem so angenommenen Gesetze folgert er, daß die Räume, die der fallende Körper zurücklegt, sich wie die Quadrate der Zeiten verhalten. Indem er ferner voraussetzt, daß die Gesetze für die Bewegung der Körper, die auf einer schiefen Ebene abwärts gehen, dieselben mit den, von ihm so eben entdeckten Gesetzen des freien Falls sein müssen, bestätigt er auch die Wahrheit seiner Entdeckung durch Experimente auf solchen schiefen Ebenen.

Bei dieser Erzählung mag es vielleicht den Lesern aufgefallen sein, daß der eigentliche Grund, auf welchem jene Entdeckung ruhte, die vorausgesetzte Simplicität der Natur, etwas unsicher erscheinen mag. Es ist für uns nicht immer so leicht, zu entscheiden, welcher unter allen möglichen Fällen der einfachste ist. Auch wurde Galilei von demselben Grundsatz, der ihn später auf den rechten Weg leitete, früher auf einen Irrweg geführt. Er setzte nämlich zuerst, ebenfalls als einen solchen einfachsten Fall voraus, daß die Geschwindigkeit, die der Körper in jedem Punkte seiner Bahn hat, dem Raume proportional sei, welchen er seit dem Anfange seiner Bewegung durchlaufen hat. Dieses falsche Gesetz ist oder scheint uns wenigstens ganz eben so einfach, als das wahre (daß nämlich die Geschwindigkeit der Zeit proportionel ist) und jenes wurde auch von mehreren andern Schriftstellern in Schutz genommen, wie z. B. von M. Varro (De motu tractatus, Genevae 1584), und von Baliani [10]), einem Edelmann aus Genua, der sein Werk im Jahr 1638 herausgegeben hat. Allein Galilei, der, wie gesagt, zuerst dieses Gesetz für das wahre Naturgesetz gehalten hatte, bemerkte seinen Irrthum bald, obwohl er später von Casräus, einem von den vielen Gegnern Galilei's, wieder aufgenommen und vertheidigt worden ist. Sonderbarer Weise war dieses falsche Gesetz, auf das Galilei zuerst verfiel, nicht nur mit den Beobachtungen, sondern mit dem gesunden Verstande selbst ganz unverträglich, denn es enthielt einen mathematischen Widerspruch in sich, da, bei einem solchen Naturgesetze, alle Bewegung in der Natur ganz unmöglich wäre. Doch war dies blos Sache des Zufalls, daß er gleich anfangs auf eine so ganz

---

10) Baliani, ein genuesischer Senator, geb. 1586, gest. 1666, ist der Verfasser des Werkes De motu naturali corporum gravium, das 1638 und vermehrt 1646 erschienen ist. L.

absurde Hypothese verfiel. Denn es würde nicht schwer sein, noch mehrere andere Gesetze für den freien Fall der Körper aufzustellen, die ebenfalls sehr einfach sind, und doch nicht mit den Erfahrungen übereinstimmen, obschon sie keinen Widerspruch mit sich selbst enthalten.

Bisher wurde, wie man gesehen hat, das Gesetz der Geschwindigkeit bei freifallenden Körpern als eine blose „Regel für die Erscheinungen" betrachtet, ohne alle Beziehung auf die Ursache, welche diese Erscheinungen hervorbringt. „Die Ursache „dieses Gesetzes, sagte Galilei selbst, ist kein nothwendiger Theil „unserer Untersuchung, und die Meinungen der Menschen darüber „sind verschieden. Einige beziehen diese Beschleunigung der Ge„schwindigkeit auf die Annäherung der Körper zu dem Mittel„punkte der Erde; andere behaupten, daß das centrische Medium „(eine Art unseres neueren Aethers) eine gewisse Ausdehnung „über die Oberfläche der Erde hinaus habe, und daß dieses Me„dium, wenn es sich (gleich einer Flüssigkeit) hinter dem Körper „schließt, denselben abwärts treibe. Allein für uns ist es gegen„wärtig genug, die Eigenschaften dieser Bewegung unter der „Voraussetzung jenes einfachen Gesetzes kennen zu lernen, daß „die Geschwindigkeit der Zeit proportionirt sei. Und wenn wir „finden, daß diese Eigenschaften durch Experimente mit freifallen„den Körpern in der That bestätigt werden, so mögen wir dar„aus den Schluß ziehen, daß unsere obige Voraussetzung mit „der Natur übereinstimmt [11])."

Und doch war es so leicht, diese Beschleunigung der Geschwindigkeit als die blose Wirkung der beständigen Wirkung der Schwere anzusehen. Benedetti hat dies, wie bereits oben erwähnt, auch schon früher gesagt, und dies einmal angenommen, mußte man diese Schwere sofort als eine „beständige und gleichförmige Kraft" ansehen. Auch waren über diesen Punkt die Anhänger Galilei's, so wie die seines Gegners Casräus, vollkommen einig. Allein die Frage war, was ist eine gleichförmige Kraft? — Galilei beantwortete diese Frage ganz einfach dahin, daß eine gleichförmige Kraft diejenige sei, die in gleichen Zeiten gleiche Geschwindigkeiten erzeugt, und dieser Satz leitete sofort

---

11) Galil. Dial. III. 91. 92.

zu der Lehre, daß man die Kräfte unter sich vergleichen kann, indem man die Geschwindigkeiten unter sich vergleicht, welche von jenen Kräften in gleichen Zeiten hervorgebracht werden.

Obschon aber dies eine natürliche Folgerung aus der Regel war, nach welcher die Schwere als eine konstante Kraft vorgestellt wird, so bot doch der Gegenstand bei seinem ersten Anblick einige Schwierigkeit dar. Es ist nämlich nicht sogleich in die Augen fallend, daß die Kräfte durch diejenigen Geschwindigkeiten gemessen werden können, die in jedem Augenblick hinzu kommen, ohne auch zugleich auf die Geschwindigkeiten Rücksicht zu nehmen, die der Körper etwa schon früher gebabt hat. Wenn man einem Körper z. B. durch die Hand oder durch eine elastische Feder eine gewisse Geschwindigkeit beibringen will, so wird die Wirkung, die wir in jeder Zeitsekunde auf diese Weise hervorbringen, offenbar kleiner sein, wenn der Körper schon früher eine Geschwindigkeit besaß, die ihn dem Eindrucke der Feder entzieht. Aber es ist klar, daß sich dies bei der Schwere anders verhält, wo die in jeder Sekunde hinzukommende Geschwindigkeit dieselbe bleibt, welche Bewegung der Körper auch zu irgend einer Zeit während seines Falles haben mag. Ein aus der Ruhe fallender Körper erhält durch die Schwere, in jeder einzelnen Sekunde, eine neue Geschwindigkeit von nahe fünfzehn Fuß, und wenn eine Kanonenkugel mit einer anfänglichen Geschwindigkeit von tausend Fuß in senkrechter Richtung abwärts geschossen würde, so würde auch die Geschwindigkeit dieser Kugel in jeder folgenden Sekunde um eine neue Geschwindigkeit vermehrt werden, vermöge welcher sie, wenn sie blos von dieser neuen Geschwindigkeit bewegt würde, in jeder Sekunde den Raum von fünfzehn Fuß in gleichförmiger Bewegung zurücklegen würde.

Dieser Begriff der Schwere als einer konstanten Kraft, d. h. als einer die Geschwindigkeit des fallenden Körpers konstant und gleichförmig vermehrenden Kraft, so klar er uns jetzt bei einiger Aufmerksamkeit erscheint, muß doch damals, als er zuerst in dem menschlichen Verstande entstand, einige Schwierigkeiten dargeboten haben. Darum finden wir denn auch, daß selbst Descartes [12]) diesen Begriff nicht gehörig aufgefaßt hat. „Es

---

12) Descartes (René), auch Cartesius genannt, wurde am 31. März 1596 zu La Haye en Touraine aus einer adelichen Bretagne'schen Fa-

„ist offenbar, sagt er, daß ein Stein nicht auf gleiche Weise „geeignet ist, eine neue Bewegung oder eine Vermehrung seiner

---

milie geboren und in dem Jesuitenkollegium zu La Flèche erzogen, wo er mit Mersenne eine Jugendfreundschaft schloß, die bis an sein Ende dauerte. Er fühlte sich, wie er selbst erzählt, der scholastischen Philosophie seiner Zeit bald ganz entfremdet, und er suchte daher nach seinem Austritt aus dem Kollegium in seinem 19ten Jahre, allen Büchern zu entsagen und seinen Weg im Reiche der Erkenntniß allein zu suchen. Damals schon soll er im Besitze seiner schönsten geometrischen Entdeckungen gewesen sein, die er aber bis zu ihrer gänzlichen Reife noch vor der Welt zurückhalten wollte. Da er das Reisen als das beste Mittel hielt, sich Kenntnisse zu verschaffen, so ergriff er die seiner Zeit und seinen Verhältnissen angemessenste Art, fremde Länder zu sehen, indem er im Jahr 1616 Militärdienste nahm, wo er im Jahr 1620 der Schlacht bei Prag beiwohnte. Später verließ er die Kriegsdienste wieder, und reiste als Privatmann in Deutschland, Holland, Frankreich und Italien, wo er aber in dem letzten Lande den berühmten Galilei, wie es scheint, absichtlich nicht besuchte, wie er sich denn auch später immer als Gegner dieses Mannes zeigte. Am Ende seiner Wanderungen verkaufte er seine Güter in Frankreich und zog im Jahr 1629 nach Holland, um da ungestört seinen Studien zu leben. Hier schrieb er seinen Traité du système du monde, aber bei der Nachricht von Galilei's Einkerkerung unterdrückte er dieses Werk wieder, und erklärte sich auch späterhin für das Tychonische System. Bald darauf gerieth er in Streitigkeiten mit Roberval, der ihn mit Unrecht des Plagiats beschuldigt hatte, und mit Fermat, dem er, wie es scheint, nicht ganz Gerechtigkeit widerfahren ließ. Nach langem Zureden seiner Freunde entschloß er sich endlich, seine Entdeckungen, die er in der Metaphysik und Mathematik gemacht hatte, herauszugeben, von denen er aber auf die erstere bei weitem das größte Gewicht legte, daher er auch seine Geometrie nur, wie er selbst sagt, als ein leicht und flüchtig bearbeitetes Kapitel seiner allgemeinen Methodenlehre anhängte. Die Nachwelt hat dieses Urtheil umgekehrt, da er bei ihr noch als großer Geometer iebt und als Metaphysiker ganz vergessen ist. In der Mathematik gebührt ihm das Verdienst, die Bezeichnung der Potenzen durch Exponenten auf die noch jetzt gewöhnliche Art, und vor allem die Anwendung der Algebra auf die Geometrie eingeführt zu haben, so daß er als der eigentliche Begründer der analytischen Geometrie zu betrachten ist. Er lehrte uns zuerst, die Natur einer krummen Linie durch eine Gleichung zwischen ihren Coordinaten auszudrücken, wodurch der Fortgang der Mathematik und aller von ihr abhängigen Wissenschaften mehr als durch irgend eine andere Entdeckung gefördert wurde. Uebri-

„Geschwindigkeit anzunehmen, wenn er sich bereits sehr schnell, „oder wenn er sich nur langsam bewegt.“ Derselbe Descartes

---

gens war seine Geometrie schwer zu lesen, wahrscheinlich weil er ihr absichtlich eine so wenig entwickelte Form gegeben hat. — Seine Dioptrik enthält viele sehr sinnreiche geometrische Anwendungen, aber das Wichtigste, das in ihr aufgestellte Brechungsgesetz der Lichtstrahlen, hat er, wie wenigstens Huyghens behauptet, nicht in seinem eigenen Kopfe, sondern nur in den Manuscripten des Holländers Snellius gefunden. Eine andere Abtheilung seiner allgemeinen Methodenlehre enthält einen Traité des Meteores, wo er seiner Phantasie freien Lauf gelassen, aber doch zugleich die wahre Theorie des Regenbogens zuerst aufgestellt hat.

Sein Hauptwerk, wie man gewöhnlich dafür hält, seine „Prinzipien der Philosophie,“ erschienen zuerst im Jahr 1644. Es besteht aus vier Büchern. Das erste enthält die Metaphysik; das zweite die „Prinzipien der Natur der Dinge,“ oder eine blos aus der Phantasie geschöpfte, ganz unbegründete Mechanik; die beiden letzten Bücher endlich begreifen seine „Theorie des Weltsystems,“ in welchen er seine bekannte Wirbellehre vorträgt. Diese Wirbel, welche nach ihm alle Himmelskörper umkreisen, sind bald von einer feinen, durchaus gleichartigen Materie, die er das erste Element der Natur nennt, bald von sehr kleinen kugelförmigen Molecülen geformt, bald wieder von unzähligen Kanälen nach allen Richtungen durchschnitten, um die beiden ersten aufzunehmen und durchzulassen. Mit solchen Mitteln sucht er alle Erscheinungen der Natur am Himmel und auf der Erde, oft auf sehr schwärmerische Weise, zu erklären.

Er selbst setzte, wie gesagt, auf seine Metaphysik den größten Werth, die er gänzlich aus dem einzigen Prinzip: Cogito, ergo sum, abzuleiten sucht, in welcher aber die Phantasie nur zu oft die Leitung des ruhigen Verstandes übernimmt. In seinem Vaterlande Frankreich wurde diese Philosophie mit raschem und allgemeinem Beifall aufgenommen, wie denn auch auf ihr Malebranche seinen mystischen Spiritualismus, Berkely seinen reinen Idealismus und vielleicht selbst Spinosa seinen verfeinerten Materialismus aufgebaut hat. So vorsichtig und selbst furchtsam er bei der Bekanntmachung seiner Philosopheme verfuhr, so konnte er doch nicht seinen Gegnern und Feinden entgehen. Der leidenschaftlichste von diesen war Gisbert Voët, Professor der Theologie an der reformirten Universität zu Utrecht, der den Descartes des Atheismus beschuldigte und es dahin brachte, daß die Lehren seines Gegners an der Universität nicht weiter vorgetragen werden durften. Die Widerlegung, die Descartes gegen Voëts Schmähschrift an den Magistrat geschickt hatte, wurde von dem letzten selbst wieder, als ein ehrenrühriges Libell, verdammt, und ihr Verfasser, auf Voëts Betrieb, zeigt auch an einem andern Orte, daß er den Begriff einer accelerirenden Kraft keineswegs richtig aufgefaßt hat. So sagt er in einem Brief an Mersenne: „Ich verwundere mich sehr „über den Satz, welchen Sie durch Ihre Versuche gefunden haben „wollen, daß senkrecht aufwärts geworfene Körper dieselbe Zeit „brauchen, aufwärts zu steigen, als dann durch denselben Raum „wieder zurück zu fallen, und Sie werden mich entschuldigen, „wenn ich sage, daß ein Experiment dieser Art sehr schwer mit „Genauigkeit anzustellen ist.“ Allein es folgt schon aus dem blosen richtigen Begriff einer konstanten Kraft, daß (abgesehen von dem Widerstande der Luft) diese Gleichheit des Raumes statt haben muß, da dieselbe Kraft, welche in einer gewissen Zeit die anfängliche Geschwindigkeit des aufsteigenden Körpers gänzlich vernichten soll, da dieselbe Kraft in derselben Zeit bei dem fallen-

---

vor das Gericht dieser Stadt citirt. Selbst die thätige Zwischenkunft des Prinzen von Oranien, der sich des Verfolgten eifrig annahm, konnte die Wuth seiner Feinde nicht hemmen. Nach langen Bemühungen erhielt endlich Descartes volle Rechtfertigung, und Voët, der nun öffentlich als der Verfasser jenes pseudonymen Libells dastand, versank in Schmach und Schande.

Schon erhob sich ein zweiter ähnlicher Streit mit den Theologen zu Leyden, als er von der Königin Christine von Schweden an ihren Hof berufen wurde, wohin er sich auch sofort verfügte. Auf seine Bitte wurde er hier von allen Lasten des Hofceremoniels befreit, wofür er täglich um fünf Uhr Morgens zu der Königin in die Bibliothek derselben zu kommen sich verpflichtete. Allein sein bereits sehr geschwächter Körper konnte dem rauhen Klima seines neuen Vaterlandes nicht lange widerstehen. Er wurde von einer Brustkrankheit befallen, die sich durch Delirien ankündigte, und starb am 11. Februar 1650 in einem Alter von 54 Jahren. Die Königin ließ ihm sein Grabmal unter die der ersten Familien Schwedens setzen, aber der französische Gesandte reclamirte ihn für Frankreich, und seine Leiche ward im Jahr 1666 nach Paris gebracht. Er hatte seit 1647 durch den Minister Mazarin eine jährliche Pension von 3000 Livres von Frankreich bezogen. Descartes war unverheirathet und hinterließ nur eine natürliche Tochter, die aber auch schon in ihrer Jugend starb. Man rühmt seinen männlichen Charakter, seine Mäßigung und einfache Sitte. Seine sämmtlichen Werke erschienen zu Amsterdam 1690—1701, und wieder 1713 in neun Quartbänden. Man sehe über ihn die Lobrede des Akademikers Thomas vom Jahr 1705, und seine Biographie von Baillet, Paris, 1691 in 2 Bänden. L.

den Körper auch wieder dieselbe Geschwindigkeit, nur in verkehrter Gradation, erzeugen muß, so daß also der steigende und der fallende Körper in derselben Zeit immer denselben Raum zurücklegt, wenn nämlich die anfängliche Geschwindigkeit des steigenden gleich ist der Endgeschwindigkeit des fallenden Körpers.

Eine andere Schwierigkeit entstand aus der nothwendigen Folge der Annahme dieses Gesetzes des freien Falls, daß nämlich der bewegte Körper nach und nach durch alle Zwischengrade seiner Geschwindigkeit gehen solle, von der ersten kaum bemerkbaren, bis zu der vielleicht sehr großen, die er am Ende seines Falles hat. Wenn ein Körper aus der Ruhe fällt, so ist im ersten Anfange seiner Bewegung die Geschwindigkeit desselben gleich Null, er hat gar keine Geschwindigkeit. Aber wie er eine wirkliche Bewegung annimmt, wächst auch seine Geschwindigkeit mit der Zeit proportional, so daß er in den ersten Tausendtheilchen einer Zeitsekunde auch nur den tausendsten Theil derjenigen Geschwindigkeit erhält, die er in jeder einzelnen ganzen Sekunde bekömmt. Diese Behauptung wollte anfangs vielen nicht recht einleuchten, und es entstanden selbst Streitigkeiten über diejenige Geschwindigkeit, mit welcher ein Körper seinen Fall *anfangen* soll. Auch darüber hatte Descartes keine klare Ansicht. Er schrieb einem seiner Freunde: „Ich habe meine Bemerkungen „über Galilei nachgesehen, in welchen ich aber nicht ausdrücklich „gesagt habe, daß die fallenden Körper nicht durch alle Grade „ihrer Geschwindigkeit gehen, sondern ich sagte nur, daß man „dies nicht wissen kann, wenn man nicht zuerst weiß, was Gewicht „ist, und dies kommt auf dasselbe hinaus. Was das angeführte „Exempel betrifft, so gebe ich zu, daß es die unendliche Theilbar„keit jeder gegebenen Geschwindigkeit beweist, aber nicht, daß ein „fallender Körper auch in der That durch alle diese Theile der „Geschwindigkeit geht."

Nachdem nun einmal die Grundsätze des freien Falls durch Galilei aufgestellt waren, so wurde, wie dies gewöhnlich ist, die „Deduktion" der mathematischen Folgerungen dieser Grundsätze, schnell entwickelt und ausgebildet, wie man dies in seinen und in den Werken seiner Schüler und Nachfolger findet. Uebrigens wurde in diesen Schriften die Bewegung der frei fallenden Körper immer in Verbindung mit der Bewegung der Körper auf schiefen

Ebenen verbunden. Wir glauben aber, hier noch einige Bemerkungen zu dieser Theorie hier nachtragen zu müssen.

Der einmal aufgestellte Begriff einer accelerirenden Kraft und ihrer Wirkung wurde natürlich auch auf andere Fälle, außer den freifallenden Körpern, angewendet. Die verschiedene Geschwindigkeit der leichten und schweren Körper, wenn sie in der Luft fallen, wurde dem Widerstande dieser Luft zugeschrieben, durch welche jene accelerirende Kraft vermindert wird [13]), und man behauptete kühnlich, daß im leeren Raume eine Wollflocke eben so schnell, als ein Bleistück, fallen müsse. Auch wurde gefolgert [14]), daß jeder in der Luft fallende Körper durch den Widerstand derselben allmählig in eine „gleichförmige Bewegung“ versetzt werde, sobald nämlich der, immer aufwärts gerichtete, Widerstand gleich wird der abwärts gerichteten accelerirenden Kraft der Schwere. Obschon der eigentliche mathematische Beweis des letzten Satzes erst später, in Newton's Prinzipien, gegeben wurde, so waren doch die Ansichten, auf welche Galilei seine Behauptung gründete, ganz richtig, und sie zeigten zugleich, daß er die Natur und die eigentliche Wirkung einer accelerirenden und retardirenden Kraft vollkommen klar aufgefaßt hatte.

Nachdem man so den Begriff einer konstanten accelerirenden Kraft einmal festgestellt hatte, blieb noch die Anwendung desselben auf andere, veränderliche Kräfte zu untersuchen übrig. Da man aber schon eine veränderliche Geschwindigkeit durch den kleinsten Theil (durch das Differential) des Raums, in Beziehung auf die kleinsten Theile der Zeit, zu messen gelernt hatte, so war man dadurch gleichsam von selbst darauf geführt, auch eine variable Kraft durch den kleinsten Theil der Geschwindigkeit in Beziehung auf die kleinsten Theile der Zeit zu messen. (Unter dem Wort Geschwindigkeit versteht man nämlich den Raum, welchen ein Körper zurücklegt, dividirt durch die Zeit in welcher er zurückgelegt wird. So lange keine Kraft auf einen bereits in Bewegung begriffenen Körper wirkt, bleibt dieses Verhältniß, des Raums zur Zeit, konstant, oder der Körper geht, nach dem Gesetze der Trägheit, immer mit derselben Geschwindigkeit und

---

13) Galilei. III. 43.
14) Id. III. 54.

in derselben geradlinigen Richtung ohne Ende fort. Wenn aber die Geschwindigkeit eines bewegten Körpers eine Aenderung erleidet, so kann dies nur in Folge einer neuen auf ihn einwirkenden Kraft geschehen, und man kam darin überein, die Veränderung dieser Geschwindigkeit mit der accelerirenden Kraft selbst für identisch, für gleichbedeutend zu nennen, so daß also diese accelerirende Kraft gleich gesetzt wurde der Veränderung der Geschwindigkeit des Körpers, dividirt durch die Zeit, in welcher diese Veränderung eingetreten ist. Da aber diese Veränderungen des Raums und der Geschwindigkeit, so wie die der Zeit selbst, nach dem Vorhergehenden, bei einer „stetig" fortgehenden Bewegung jeden Augenblick eintreten, so müßte man, um auf diese stetigen Veränderungen Rücksicht zu nehmen, auch die kleinsten Theile (oder die sogenannten Differentialien) jener drei Größen betrachten, und auf diese Weise entstanden die folgenden zwei Hauptgrundsätze der Bewegung, auf welchem auch jetzt noch die gesammte Wissenschaft der Mechanik beruht. I. Die Geschwindigkeit wird ausgedrückt durch das Differential des Raums, dividirt durch das Differential der Zeit, und II. die accelerirende Kraft wird vorgestellt durch das Differential der Geschwindigkeit, dividirt durch das Differential der Zeit, oder was, da das Differential der Zeit seiner Natur nach konstant ist, in der Sprache der mathematischen Analyse dasselbe ist: die Kraft ist gleich dem zweiten Differential des Raums, dividirt durch das Quadrat des Differentials der Zeit. L.)

Mit dieser Einführung des Begriffs von unendlich kleinen Theilen oder von Differentialien des Raums und der Zeit sind wir nun an die Grenze des Gebiets der höheren mathematischen Analyse (oder der sogenannten Infinitesimalrechnung) gekommen. Newton hat in seinen Prinzipien die allgemeinen Gesetze des Falls der Körper unter Einwirkung veränderlicher Kräfte mitgetheilt (Princip. Sect. VII.). Der Gegenstand wird in diesem Werke, der Vorliebe Newtons für geometrische Methoden gemäß, durch die bekannten Mittel der Quadraturen krummer Linien vorgetragen, nachdem er die Lehre von den unendlichkleinen Incrementen der veränderlichen Größen, oder von den Grenzen ihrer Veränderungen, in demselben Werke (Sect. I.) auf seine Weise auseinander gesetzt hatte. Leibnitz, Bernoulli, Euler und seitdem viele andere Geometer haben die hieher gehörenden

Probleme durch eine rein analytische Methode, durch die sogenannte Differentialrechnung, behandelt. — Die geradlinige Bewegung der von veränderlichen Kräften getriebenen Körper ist ihrer Natur nach einfacher, als die Bewegung derselben in krummen Linien, zu welchen wir nun übergehen wollen. Doch muß zuerst bemerkt werden, daß Newton, nachdem er die Gesetze der krummlinigen Bewegung in einem großen Theile des siebenten Abschnitts seines Werks, an sich selbst und unabhängig vorgetragen hatte, darauf die geradlinige Bewegung nur als einen besonderen Fall von jener mehr zusammengesetzten schön und scharfsinnig entwickelt.

Dritter Abschnitt.

Zweites Gesetz der Bewegung, von der Zerlegung der Kräfte. Bewegung in krummen Linien.

Schon ein geringer Grad der Unterscheidung bei mechanischen Begriffen wird uns, wie bereits gesagt, darauf führen, daß ein in einer krummen Linie einhergehender Körper von einer Kraft getrieben werden muß, die ihn stets von derjenigen geraden Linie ableitet, in welcher er, wenn er von keiner Kraft getrieben wird, einhergehen muß. Wenn ein Körper eine Kreislinie beschreibt, wenn z. B. ein Stein in einer Schleuder rings herumgetrieben wird, so finden wir, daß das Band derselben eine solche Kraft auf den Stein ausübt, denn dieses Band wird durch jene Kraft gespannt, und wenn es zu schwach ist, selbst zerrissen. Diese Centrifugalkraft der in Kreisen sich bewegender Körper wurde schon von den Alten bemerkt. Die über der Erde geworfenen Körper beschreiben, durch solche Kräfte getrieben, andere krumme Linien. Auch haben wir bereits gesehen, daß Rivius dieses sehr wohl, sein Zeitgenosse Tartalea aber, noch nicht deutlich genug eingesehen hat.

Der Begriff, daß eine solche Seitenkraft eine krumme Linie erzeugen müsse, war ein Schritt; die nähere Bestimmung dieser Linie aber, war ein zweiter, und dieser enthielt die Entdeckung eines andern allgemeinen Gesetzes der Bewegung in sich. Diese neue Aufgabe löste Galilei. In seinen „Dialogen über die Bewegung" behauptet er, daß ein horizontal geworfener Körper, wenn man blos seine horizontale Richtung betrachtet, gleichförmig fortgeht, während er, in Beziehung auf seine vertikale Richtung, mit beschleunigter Bewegung abwärts geht, gleich einem aus der Ruhe fallenden Steine, und daß er, in Verbindung dieser beiden Bewegungen, eine Parabel beschreiben muß.

Dieses zweite Gesetz der Bewegung besteht, in seiner allgemeinen Gestalt, in folgendem Satze: „In allen Fällen wird die „Bewegung, welche aus der einwirkenden Kraft entsteht, ver„bunden mit derjenigen, welche der Körper schon früher hatte.“ Dieser Satz scheint aber kein schon für sich selbst einleuchtender zu sein, denn Cardanus hatte behauptet [15]), daß ein Körper, der zu gleicher Zeit in zwei Bewegungen begriffen ist, zu der Stelle, zu welcher er vermöge dieser zusammengesetzten Bewegung gelangen soll, später kommen würde, als er durch jede einzelne dieser zwei Bewegungen nach einander gekommen wäre. Galilei's Beweis dafür, so weit wir aus seinen Dialogen sehen können, scheint blos die Einfachheit dieser Voraussetzung gewesen zu sein, verbunden mit der klaren Auffassung derjenigen Ursachen, welche in einzelnen Fällen eine sichtbare Abweichung in der Praxis von dieser theoretischen Regel hervorbringen. Denn es kann bemerkt werden, daß die krumme Linie, welche Rivius und Tartalea in Italien, so wie Digges und Norton in England, den Kanonenkugeln angewiesen hatten, obschon sehr verschieden von der Parabel, doch in der That dem wahren Wege dieser Körper näher kamen, als eine Parabel thun würde. Diese Annäherung folgt aber aus einem Umstande, der auf den ersten Blick in der Theorie absurd scheint: daß nämlich die Kugel, die anfangs schief aufsteigt, mit einem vertikalen Falle endige. In Folge des Widerstandes der Luft ist dies in der That der Weg jener Kugel, und wenn ihre anfängliche Geschwindigkeit sehr groß ist, so ist auch ihre Abweichung von der Parabel sehr beträchtlich. Galilei sah die Ursache dieser Verschiedenheit zwischen der Theorie, die auf jenen Widerstand keine Rücksicht nahm, und der Thatsache selbst, sehr wohl ein. Er sagt [16]) nämlich, daß die Geschwindigkeit der Kugel in solchen Fällen außerordentlich und übernatürlich ist. Mit der gehörigen Rücksicht auf diese Ur-

---

15) Cardani, Opp. Vol IV. S. 400.
16) Galilei, Opp. III. 147.

sachen, setzt er hinzu, würde seine Theorie bestätigt und mit der Anwendung übereinstimmend gefunden werden. Diese Anwendung hat ohne Zweifel ihren guten Theil in der Aufstellung seiner Ansichten. Wir müssen jedoch nicht vergessen, daß die Begründung dieses zweiten Gesetzes eigentlich das Resultat der früheren theoretischen und praktischen Discussionen über die Bewegung der Erde war. Sein Schicksal war in dem des Copernikanischen Systems enthalten, wie es auch den Triumph dieses Systems theilte. Beide wurden allerdings schon zu Galileis Zeit bestimmt aufgestellt, aber erst in Newtons Tagen vollständig entwickelt.

Vierter Abschnitt.

Generalisation des Gesetzes vom Gleichgewicht. Prinzip der virtuellen Geschwindigkeit.

Schon zu Aristoteles Zeiten war bekannt, daß die zwei Gewichte, die an dem Hebel einander Gleichgewicht halten, wenn sie sich überhaupt bewegen, sich mit solchen Geschwindigkeiten bewegen, die sich verkehrt, wie diese Gewichte, verhalten. Die eigenthümliche Kraft der griechischen Sprache, welche diese Relation der verkehrten Proportionalität durch ein einziges Wort (αντιπεπονθεν) ausdrückte, fixirte dasselbe gleichsam in dem menschlichen Geiste, und veranlaßte denselben, den in ihm enhaltenen Begriff weiter auszudehnen. Solche Versuche wurden aber zuerst auf eine sehr unbestimmte Weise gleichsam nur tappend gemacht und hatten auch daher keinen wissenschaftlichen Werth. — Dies ist das Urtheil, welches wir über die bereits erwähnte Schrift des Jordanus Nemorarius fällen müssen. Sein Raisonnement beruht offenbar auf Aristotelischen Begriffen und zeigt auch den gewöhnlichen Aristotelischen Mangel aller bestimmten mechanischen Notionen. Bei Varro aber, dessen Tractatus de Motu im Jahr 1584 erschien, finden wir dieses Prinzip auf eine allgemeine Weise, zwar nicht genügend bewiesen, aber doch viel bestimmter aufgefaßt. Sein erstes Theorem ist: Duarum virium connexarum, quarum (si moveantur) motus erunt ipsis αντιπεπονθως proportionales, neutra alteram movebit, sed equilibrium facient. Den Beweis, den er dafür bringt, ist der, daß der Widerstand einer Kraft sich wie die von ihr hervorgebrachte Bewegung erhält. Dieses Theorem wurde, wie wir oben gesehen haben, bei dem Beispiele von dem Keile richtig angewendet. Seit dieser Zeit scheint auch der Gebrauch aufgekommen zu sein, die Eigenschaften der Maschinen mit Hülfe dieser Prinzipien zu erläutern. Dies geschieht z. B. in den Raisons des forces mouvantes, eine Schrift des Salomon de Caus [17]), Ingenieur des Churfürsten von der Pfalz, die 1616 zu Antwerpen erschien, und in welcher die Wirkung der gezähnten Räder und der Schraube auf diese Weise festgesetzt wird, obschon die schiefe Ebene darin nicht erwähnt ist. Dasselbe ist auch der Fall in der mathematischen Magik, die der Bischof Wilkins 1648 herausgab.

Als einmal die wahre Lehre der schiefen Ebene festgesetzt war, wurden auch die Gesetze des Gleichgewichts für alle die einfachen Maschinen, die gewöhnlich in den mechanischen Werken angeführt werden, in Untersuchung gebracht. Denn es war leicht zu sehen, daß der Keil und die Schraube dasselbe Prinzip wie die schiefe Ebene enthielt, und daß der Klobe (oder die Rolle) offenbar auf den Hebel zurückgeführt werden konnte. Auch war es nicht schwer, für einen mit klaren mechanischen Begriffen begabten Mann, zu sehen, daß auch jede andere Combination von Körpern, auf welche ein Druck oder ein Zug wirkt, auf diese einfachen Maschinen zurück geführt werden kann, wodurch das Verhältniß der Kräfte offenbar wurde. Auf diese Art wurden, durch die Entdeckung des Stevinus, alle Fragen über das Gleichgewicht wesentlich aufgelöst.

Die erwähnte Generalisation der Eigenschaft des Hebels gab den Mathematikern ein Mittel, die Antwort auf alle jene Fragen durch einen einzigen Satz auszudrücken. Dies geschah, indem sie sagten, daß bei der Hebung eines Gewichtes durch eine

---

17) Salomon de Caus, ein französischer Ingenieur zu Heidelberg, im Dienste des Churfürsten von der Pfalz. Er hat in seinem Werke: „Les raisons des forces mouvantes avec divers machines, Frankfurt 1615 der erste eine Dampfmaschine ihrem Grundwesen nach angegeben und beschrieben. Erst später kamen die Engländer, ohne wohl von Caus etwas zu wissen, auf die Idee, den Dampf als bewegende Kraft zu gebrauchen, die dann vorzüglich von Watt bis zum Bewunderungswürdigen ausgebildet wurde. M. s. darüber die „allgemeine Encyclopädie" von Ersch und Gruber. L.

Maschine man immer in Zeit eben so viel verliert, als man an Kraft gewinnt; das gehobene Gewicht oder die Last bewegt sich nämlich desto langsamer, als die Kraft, je größer jene gegen diese ist. Galilei setzte dies klar auseinander in der Vorrede zu seiner Abhandlung „über die Wissenschaft der Mechanik," die im Jahr 1592 erschien.

Die Bewegungen aber, von denen wir hier annehmen, daß sie in den einzelnen Theilen der Maschine statt haben, sind nicht diejenigen, welche von den Kräften unmittelbar hervorgebracht werden; denn hier ist die Rede von dem Falle, in welchem sich die Kräfte gegenseitig das Gleichgewicht halten, und eben deswegen keine Bewegung hervorbringen. Allein wir schreiben der Kraft, so wie der Last, hypothetische Bewegungen zu, die aus einer andern Quelle entspringen, und dann müssen, bei der Construktion der Maschine, die Geschwindigkeiten, welche von der Kraft und die, welche von der Last erzeugt werden, gewisse bestimmte Verhältnisse unter einander eingehen. Diese Geschwindigkeiten, die also nur hypothetisch vorausgesetzt werden, und die von den durch die Kräfte wirklich erzeugten verschieden sind, werden virtuelle Geschwindigkeiten [18]) genannt.

---

18) In der neuern Mechanik werden unter „virtuellen Geschwindigkeiten" die unendlich kleinen Räume verstanden, welche bei einem System von Punkten jeder dieser Punkte in dem Falle, daß das Gleichgewicht des Systems gestört werden sollte, in dem ersten Augenblicke dieser Störung, und zwar nach der Richtung jeder der störenden Kräfte genommen, beschreiben würde. Denkt man sich durch diesen Punkt A des Systems eine willkürliche gerade Linie AB, und überdies noch mehrere andere Gerade AP, AP′ AP″ . . . AR gezogen, welche die Richtungen der auf dem Punkt A gerichteten Kräfte P, P′ P″ . . vorstellen, deren mittlere Kraft R sein soll; fällt man dann von irgend einem Punkte C der Linie AB auf die Linie AP, AP′ . AP″ . . AR Lothe, und nennt man p, p,′ p″ . . . r die Projektionen der Linie AC auf die Linie AP, AP,′ AP″ . . AR, so erhält man in Folge dieses Prinzips der virtuellen Geschwindigkeiten, die Gleichung

$$Rr = Pp + P'p' + P''p'' + \ldots$$

oder da diese Gleichung auch dann noch statt hat, wenn der Punkt C unendlich nahe bei A oder wenn AC, also auch, wenn die Projektionen p, p′, p″ . . r unendlich klein sind, was wir durch die Differentialien

Sonach besteht das allgemeine Gesetz des Gleichgewichts darin, daß bei jeder Maschine die Kräfte, die einander das Gleichgewicht halten, sich unter einander verkehrt, wie ihre virtuellen Geschwindigkeiten, verhalten. Dieser Satz wird das „Prinzip der „virtuellen Geschwindigkeiten“ genannt.

Dieses Prinzip, das späterhin noch weiter entwickelt wurde, wird von mehreren Bewunderern Galilei's als einer jener großen Dienste betrachtet, welche er der Mechanik geleistet hat. Wenn wir aber dasselbe näher betrachten, so sehen wir, daß es für unsere Geschichte keine so große Wichtigkeit hat. Es ist allerdings eine Generalisation, aber eine solche, die mehr aus der Aufzählung verschiedener einzelner Fälle, als aus einer eigentlichen, auf einer bestimmten Idee gebauten Induktion entstanden ist, gleich jenen großen Generalisationen von einzelnen Erscheinungen, die zu wahren Naturgesetzen auf dem kürzesten Weg geführt haben. Jene diente gleichsam nur dazu, die bereits bekannten Gesetze durch ein Wort, durch einen Satz, in Verbindung

---

dp, dp′, dp″ . . dr dieser Größe auszudrücken pflegen, so geht die vorige Gleichung in die folgende über:

$$\mathrm{Rdr} = \mathrm{Pdp} + \mathrm{P'dp'} + \mathrm{P''dp''} + \ldots \text{ (I)},$$

wo also, nach dem Vorhergehenden, der Punkt A des Systems durch die Kraft P während einem Augenblick in der Richtung der Linie AP durch den Raum dp, und eben so durch die Kraft P′, P″ . . . R durch den Raum dp′, dp″ . . dr getrieben wird. Sollen daher die Kräfte P, P′, P″ . . um den Punkt A im Gleichgewichte sein, so werden sie keine Bewegung dieses Punktes hervorbringen, oder die mittlere Kraft R aller dieser Kräfte wird gleich Null sein, so daß man also für das Gleichgewicht dieses Punktes die Gleichung haben wird:

$$0 = \mathrm{Pdp} + \mathrm{P'dp'} + \mathrm{P''dp''} + \ldots \text{ (II)}.$$

Auf die allgemeine Gleichung (II) hat Lagrange in seiner Mécanique analytique die ganze Theorie der Statik, und auf die Gleichung (I), von der die (II) nur ein besonderer Fall ist, die gesammte Dynamik gegründet, und dadurch haben diese beiden Wissenschaften eine ganz neue Gestalt erhalten, welche sie, da sie einer Erweiterung nicht mehr fähig scheint, wohl immer behalten werden. Man vergleiche Poisson's Mécanique, IIte Auflage, Paris 1833, und Littrow's theoretische und praktische Astronomie. Wien 1827. Vol. III. 8. 9 u. f. L.

unter einander zu bringen; sie war mehr eine Nachhülfe für das Gedächtniß, als eine Bestätigung für den Verstand.

Dieses Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten ist so weit entfernt, den klaren Besitz eines mechanischen Begriffs zu involviren, daß Jedermann, der die Eigenschaft des Hebels nur eben kennt, er mag den Grund derselben einsehen oder nicht, sofort bemerken muß, daß das größere Gewicht genau in dem Verhältniß seiner Größe sich langsamer bewegt, als das andere. Deshalb hat auch Aristoteles, obschon er keinen richtigen Begriff von dem Gegenstande hatte, doch diese Wahrheit bemerkt. Und wenn Galilei denselben Gegenstand behandelt, so gibt er keineswegs die Gründe an, aus denen dieses Prinzip abgeleitet werden könnte, sondern er zählt blos eine Anzahl von Analogien und Erläuterungen auf, von denen noch mehrere unbestimmt genug ausgedrückt werden. So erklärt er das Heben eines großen Gewichts durch ein kleines aus der Annahme, daß das größere Gewicht in mehrere kleine getheilt werde, die dann eines nach dem andern gehoben werden sollen. Andere Schriftsteller nehmen die schon oben erwähnte Analogie von Gewicht und Verlust zu Hülfe. Allein Bilder dieser Art können wohl die Phantasie unterhalten, der Verstand aber wird sie nicht als wahre mechanische Gründe gelten lassen.

Da also Galilei diesen Satz weder zuerst ausgesprochen, noch auch denselben, als ein unabhängiges Prinzip der Mechanik, bewiesen hat, so kann man ihn auch nicht als eine seiner Entdeckungen ansehen. Noch weniger aber kann man ihn mit dem Beweis des Stevinus von der schiefen Ebene vergleichen, der, wie wir gesehen haben, auf eine streng wissenschaftliche Weise von dem zweiten Axiom abgeleitet wurde, daß ein Körper nicht selbst sich in Bewegung setzen kann. Wollten wir dem reellen und für sich evidenten Axiom des Stevinus blos aus der Ursache beipflichten, weil Galilei eine verbale Generalisation ohne Beweis gegeben hat, so würden wir in die Gefahr gerathen, uns selbst zu erlauben, von einer Wahrheit zur andern fortzuschreiten, ohne die vernünftige Aussicht, je zu irgend einem letzten und fundamentalen Satze zu gelangen.

Obschon aber dies Prinzip nicht zu den bedeutenden Entdeckungen Galilei's gezählt werden darf, so ist es doch immer von großem Nutzen gewesen, und die verschiedenen Formen, unter welchen er und sein Nachfolger dasselbe dargestellt haben, trugen schon dazu bei, jener unstäten Verwunderung ein Ende zu machen, mit welcher man die Wirkungen der Maschinen damals so oft zu betrachten pflegte, und eben dadurch auch bessere und reinere Begriffe über diese Gegenstände in Gang zu bringen.

Dieses Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten wirkte auch noch auf den Fortgang der mechanischen Wissenschaften in einem andern Weg, indem es einige von jenen Analogien an die Hand gab, durch welche das dritte Gesetz der Bewegung entdeckt wurde, und indem es zugleich auf die Annahme des Begriffs des Moments führte, durch welches Wort man das Produkt des Gewichts in die Geschwindigkeit verstand. Wenn in einer Maschine das Gewicht von zwei Pfunden auf der einen Seite, ein Gewicht von drei Pfunden auf der andern Seite in Gleichgewicht hält, und wenn dann das erste Gewicht durch drei Zolle, das andere aber in derselben nur durch zwei Zolle sich bewegt, so sieht man, (da dreimal zwei gleich zweimal drei ist), daß das Produkt des Gewichts in die Geschwindigkeit dasselbe ist, so oft zwei Gewichte sich das Gleichgewicht halten; und wenn man dieses Produkt Moment nennt, so läßt sich das Gesetz des Gleichgewichts auch so ausdrücken, daß für zwei in einer Maschine im Gleichgewichte stehenden Körper, wenn diese Körper in Bewegung gesetzt werden, das Moment des einen gleich dem Momente des andern Körpers sein muß.

Hier wird der Begriff von Moment in Beziehung auf die virtuelle Geschwindigkeit gebracht, aber man hat bald darauf denselben Begriff auch auf wirkliche oder aktuelle Geschwindigkeiten angewendet, wie wir in der Folge sehen werden.

Fünfter Abschnitt.

Versuche zur Entdeckung des dritten Gesetzes der Bewegung. Begriff vom Moment.

Im Vorhergehenden haben wir die Bewegung im Allgemeinen, blos in Beziehung auf ihre Richtung und Geschwindigkeit betrachtet, ohne auf die Größe des bewegten Körpers Rücksicht zu nehmen. Wir wollen nun sehen, wie man bei dem Fortschritte dieser Untersuchungen auf den Einfluß gekommen ist, welchen die Masse des Körpers auf die Wirkung der bewegenden Kraft äußert. Dieser Theil des Gegenstandes ist etwas schwerer und verwickelter, aber er fordert ebenso, wie der erste, unsere Aufmerksamkeit. — Uebrigens findet man mehrere hieher gehörende Fragen schon in den mechanischen Problemen des Aristoteles angeführt. „Wie kommt es, fragt er, daß weder „sehr kleine, noch auch sehr große Körper, wenn sie geworfen „werden, so weit gehen, als die andern? Kömmt es daher, daß „der geworfene Körper gegen die werfende Kraft reagirt, (αντε-„ρειδει), und daß ein großer Körper, der gar nicht nachgibt, der Wurfkraft entgegen ist?" — Dieselbe Verwirrung der Begriffe, die sich in diesen Aeußerungen kund gibt, blieb auch in den späteren Zeiten herrschend, wo man überhaupt alle mechanischen Fragen mit solchen allgemeinen und abstrakten Ausdrücken abthun wollte, mit denen Niemand eine deutliche und bestimmte Ansicht verband, wie z. B. mit den Worten impetus, vis, momentum, virtus, energia und dergl. Mehrere dieser Spekulationen scheinen ganz besonders geeignet, die totale Verwirrung aller mechanischen Begriffe jener Zeit zu zeigen. Cardan verwickelte sich in die bereits erwähnten Schwierigkeiten, die er sich mit seiner Vergleichung derjenigen Kräfte geschaffen hatte, die den ruhenden und den schon in Bewegung begriffenen Körpern angehören sollten. Wenn die Kraft eines Körpers von seiner Geschwindigkeit abhängt, wie es doch scheint, daß es so ist, wie kömmt es, daß ein ruhender Körper überhaupt noch eine Kraft haben kann, und auf welche Weise soll er auch nur der kleinsten äußeren Kraft widerstehen oder einen Druck ausüben? Er schmeichelt sich, diese Fragen dadurch glücklich gelöst zu haben, daß er den ruhenden Körpern eine verborgene Bewegung (occultam motionem) zuschreibt. „Corpus movetur, sagt er, occulto motu quiescendo." — Eine andere Grille, mit der er sich ebenfalls vergebens abmüht, wird von ihm mit den folgenden Worten ausgedrückt: „Wenn ein Mann die Hälfte eines gewissen Gewichts, und ein „anderer eben so viel tragen kann, und wenn dann beide Männer „zusammen wirken, so muß jeder von ihnen nur die Hälfte von „der Hälfte, oder nur den vierten Theil des Gewichts tragen." Selbst die besseren Köpfe jener Zeit scheinen ein eigenes Talent besessen zu haben, sich in solchen Schlingen zu verwickeln. Arriaga [19]), der um die Zeit von 1640 schrieb, stellt sich von der Beob-

19) Roderich de Arriaga, Cursus Philosophicus. Paris 1639.

achtung sehr überrascht, daß mehrere platte Gewichte über einander auf einen Tisch gelegt, einen größeren Druck auf den Tisch hervorbringen, als das unterste Gewicht allein hervorbringt, da doch nur das letzte den Tisch selbst berührt. Unter andern Auflösungen, die er für die Einwirkung des Tisches auf die oberen Gewichte zu Markte bringt, die er doch selbst nicht berührt, nimmt er auch eine derselben von der Ubication (Woheit) des Tisches her.

Die Lehre des Aristoteles, daß ein zehnmal schwererer Körper auch zehnmal schneller fallen müsse, ist ein anderer Beweis von der Verwirrung aller statischen und dynamischen Begriffe. Die Kraft des größeren Körpers ist, so lange er ruht, allerdings zehnmal größer, als die des anderen, aber diejenige Kraft, welche durch die Geschwindigkeit dieser Körper, wenn sie in Bewegung sind, gemessen wird, ist bei beiden Körpern gleich. Beide Körper werden gleichschnell fallen, so lange keine äußere Störungen auf sie einwirken. Das Verdienst, diesen Satz durch unmittelbare Beobachtung bewiesen, und dadurch das aristotelische Dogma widerlegt zu haben, wird gewöhnlich dem Galilei zugeschrieben, der sein bekanntes Experiment an dem berühmten geneigten Thurm von Pisa im Jahr 1590 angestellt hat. Aber auch andere hatten um dieselbe Zeit eine so offenbare Thatsache nicht übersehen. So sagt F. Piccolomini [20]) in seinem Liber Scientiae de Natura, das im Jahr 1597 zu Padua herauskam: „Was die Bewegung der leichten und schweren Körper betrifft, „so hat Aristoteles mehrere Meinungen aufgestellt, die gegen „die Erfahrung sind, und seine Regeln über die Verhältnisse „der Geschwindigkeiten sind offenbar falsch, da ein doppelt so großer „Stein keineswegs doppelt so schnell fällt, als ein einfacher.“

---

20) Piccolomini, Alexander, geb. zu Siena 1508 aus der Familie des gleichnamigen Pabstes Pius II. Er war als ein allseitig gebildeter Philomath berühmt in der Poesie, Mathematik, Theologie, Medizin, Philosophie und in den alten und neuen Sprachen. Er lebte meistens in Padua und Rom. Im Jahr 1574 wurde er Erzbischof von Patras und starb in Siena am 12ten März 1578. Wir haben von ihm nebst mehreren dramatischen und andern Schriften eine Uebersetzung der Poetik und Rhetorik des Aristoteles; die Questiones mechanicae Aristotelis; Della sfera del mondo; Liber Scientiae de Natura u. s. Seine Biographie von Fabiani kam 1749 und 1759 zu Siena heraus. L.

Stevinus beschreibt in dem Anhang zu seiner Statik (im Jahr 1586) die von ihm angestellten Experimente und spricht sehr bestimmt von den Abweichungen jener Regel, die aus dem Widerstand der Luft erzeugt werden. In der That folgte dieses Resultat aus dem Experimente durch einen sehr einfachen Schluß, da zehn unter einander verbundene Ziegel in derselben Zeit zu Boden fielen, als ein einziger, obgleich jene als ein zehnmal größerer Körper anzusehen sind. Daher beurtheilt auch Benedetti im Jahre 1585 den Gegenstand ganz auf dieselbe Weise in Beziehung auf die verschiedene Größe der Körper, obschon er den Irrthum des Aristoteles in Beziehung auf die verschiedene Dichtigkeit der Körper noch beibehält.

Der nächste Schritt in dieser Sache gehört mit mehr Gewißheit dem Galilei zu. Er entdeckte nämlich das wahre Verhältniß zwischen der accelerirenden Kraft eines frei fallenden und eines die schiefe Ebene herabgleitenden Körpers. Anfänglich war dies blos eine glückliche Conjektur, aber diese Conjektur wurde durch Experimente bestätigt, und später endlich, nach einiger Zögerung allerdings, wurde sie mit besonderer elementarer Einfachheit auf ihr wahres Prinzip, auf das dritte Gesetz der Bewegung, zurückgeführt. Dieses Prinzip aber besteht darin, „daß für denselben Körper die dynamische Wirkung der Kraft „sich wie die statische Wirkung derselben verhält, das heißt, daß „die von einer Kraft in einer gegebenen Zeit erzeugte Geschwin„digkeit, wenn sie den Körper in Bewegung setzt, sich wie der „Druck verhält, den dieselbe Kraft auf den ruhenden Körper „ausübt." — Dies so ausgedrückte Prinzip erscheint sehr einfach und offenbar, aber es wurde nicht in dieser Form weder von Galilei, noch von Anderen, die es suchten, aufgestellt. Galilei nimmt in seinen Dialogen über die Bewegung zu seinem Hauptgrundsatz einen viel weniger einleuchtenden an, als den eben aufgestellten, aber einen, in welchen jener immerhin enthalten ist. Sein Postulat ist: „Wenn derselbe Körper in verschiedenen „geneigten Ebenen von derselben Höhe herabfällt, so ist „seine, am Ende des Falls erlangte Geschwindigkeit immer die„selbe [21])." Er erklärt und bestätigt dies durch einen sehr sinn-

21) Galilei, Opere. III. 96.

reichen Versuch an einem Pendel, indem er zeigt, daß das Gewicht des Pendels immer durch dieselbe Höhe schwingt, welchen Weg es auch zu nehmen gezwungen wird. Torricelli [22]) sagt in seiner im Jahr 1644 herausgekommenen Abhandlung, er habe gehört, daß Galilei in seinen letzten Jahren jenen von ihm aufgestellten Satz bewiesen habe; da er aber diesen Beweis nicht kenne, so wolle er selbst einen geben. In diesem Beweise bezieht er sich wohl auf das richtige Prinzip, aber er scheint es doch nicht ganz klar eingesehen zu haben, da er das Wort „Moment" ohne Unterschied für den statischen Druck eines ruhenden Körpers und für die Geschwindigkeit eines bewegenden Körpers hält, als ob diese zwei Dinge schon gleichsam von selbst für identisch

---

22) Torricelli, (Evangelista), geb. 1608 zu Faenza. In seinem 18ten Jahre kam er nach Rom unter die Leitung des berühmten Mathematikers Benedetto Castelli. Die eifrige Lectüre der Schriften Galilei's machte ihn zu einen der eifrigsten Anhänger des letzten, mit dem er auch die letzten Zeiten in näherem Umgange lebte. Nach dessen Tod wurde er von dem Großherzog Ferdinand II. Professor der Mathematik und Philosophie zu Florenz, wo er auch 1647 im 39sten Jahre seines Alters starb. Wir haben von ihm einen Trattato del moto und Opera geometrica, Flor. 1644. Auch um die Verfertigung der Mikroskope und Fernröhre erwarb er sich bedeutende Verdienste, wie man aus seinem Lezioni academiche sieht, die Tomaso Bonaventuri (Florenz 1715) herausgegeben hat.

Castelli (Benedetto), geb. 1577 zu Brescia, Mönch und Abt von Monte Casino, starb als Professor der Mathematik 1644 zu Rom. Er war unter den Mathematikern der eifrigste Vertheidiger Galilei's, und wird als einer der ersten Begründer der praktischen Hydraulik geachtet. Sein Hauptwerk: Della misura dell' aqua corrente, Rom 1638, fand großen Beifall und wurde auch in mehrere Sprachen übersetzt.

Viviani (Vincenzo), geb. 1622 zu Florenz, der Liebling Galilei's, der sich auch bis an sein Ende von ihm nicht trennte. Im Jahr 1666 wurde er Professor der Mathematik in seiner Vaterstadt, wo ihn Ferdinand II. sehr begünstigte. Von Ludwig XIV. erhielt er, obschon in Florenz bleibend, einen ansehnlichen Jahrgehalt, von dem er sich ein Haus erbaute, das durch Büsten und Basreliefs ganz ein Denkmal Galilei's darstellte. Er starb 1703 mit dem Rufe eines ausgezeichneten Mathematikers. Seinen Scharfsinn bewies er durch seine Ergänzung der griechischen Werke des Aristäus und des Apollonius über die Kegelschnitte. L.

genommen werden könnten. Huyghens [23]) im Jahr 1673 zeigt sich auch unzufrieden mit dem Beweise, der für Galilei's Annahme

---

23) Huyghens (von Zuylichem) Christian, der zweite Sohn von Constantin Huyghens, Sekretärs des Prinzen von Oranien, ward am 14ten April 1629 zu Haag geboren. Sein vermögender und selbst sehr wissenschaftlich gebildeter Vater war sein erster Lehrer in der Musik, Mathematik und Maschinenkunde, für welche letzte der Sohn schon früh große Anlagen zeigte. In seinem 16ten Jahre bezog er die Universität zu Leyden, um daselbst die Rechte zu studiren. Descartes rühmte schon damals das besondere Talent des Jünglings für Mathematik öffentlich. Im Jahre 1649 machte er mit dem Grafen von Nassau eine Reise durch mehrere Länder Europa's. Nach seiner Zurückkunft erschien sein erstes Werk: „Theoreme über die Quadratur der Hyperbel, der Ellipse und des Kreises.“ Leyden 1654 und „Entdeckungen über die Größe des Kreises. Ibid. 1654. Im Jahr 1655 beschäftigte er sich bereits sammt seinem ältern Bruder mit der Verbesserung der Objektive zu Fernröhren. Er verfertigte ein Fernrohr von 12 Fuß Brennweite, mit dem er sofort einen (den sechsten) Satelliten Saturns entdeckte, worüber er eine kleine Schrift (Haag. 1656) herausgab. Im folgenden Jahre 1657 vollendete er sein Werk „über die Anwendung der Mathematik auf die Glücksspiele,“ dessen Vortrefflichkeit ein halbes Jahrhundert später Jakob Bemoulli nicht besser anerkennen konnte, als indem er es als Einleitung seiner eigenen „Ars conjectandi“ mit einem Commentar vordrucken ließ. Bald darauf beschäftigte er sich mit der Verbesserung der Pendeluhren, deren gegenwärtige Vollkommenheit wir größtentheils ihm verdanken. Schon im Jahr 1657 widmete er die erste der von ihm verbesserten Uhren den Generalstaaten, und schlug zugleich deren Gebrauch zur Bestimmung der geographischen Länge vor. Bald darauf hatte er ein Objektiv von 22 Fuß Brennweite zu Stande gebracht, mit dem er vorzüglich den Saturn eifrig beobachtete. Er entdeckte damit den merkwürdigen Ring dieses Planeten, den Galilei mit seinem viel schwächern Fernrohr nicht erkennen konnte. Im Jahre 1659 erschien sein Systema Saturnium, in welchem er diese und andere merkwürdige Entdeckungen über den Nebel im Orion, über die Streifen an Jupiter und Mars u. s. bekannt machte. Im Jahr 1660 und 1663 reiste er nach Paris und London, um die persönliche Bekanntschaft der großen Gelehrten dieser beiden Hauptstädte zu machen. Im Jahre 1665 wurde er von Ludwig XIV. mit einem ansehnlichen Jahresgehalte als Mitglied der neuerrichteten Akademie der Wissenschaften nach Paris geladen, wo er auch in den Gebäuden der k. Bibliothek seine Wohnung erhielt. Hier schrieb er 1666 seine Optik. Wegen

in der letzten Ausgabe seiner Werke enthalten ist. Sein eigener Beweis ruht auf dem Grundsatze, daß wenn ein Körper auf einer schiefen Ebene herabgefallen ist und dann mit der erlangten

---

seiner durch viele Arbeiten geschwächten Gesundheit kehrte er 1670 auf einige Zeit in seine Vaterstadt zurück, kam aber bald wieder in Paris an, wo er 1673 sein berühmtes Werk „Horologium oscillatorium" herausgab. In diesem Werke legte er nicht nur alle seine praktischen Verbesserungen über diese Instrumente nieder, sondern er schmückte es auch noch mit den scharfsinnigsten Betrachtungen der höheren Geometrie aus, mit seinen neuen Theorien der Evoluten, der tautochronen Curven, der Oscillationsmittelpunkte u. s. In demselben Werke lehrt er das eigentliche Maß der terrestrischen Schwere aus der Länge des Sekundpendels kennen, und aus derselben Quelle zugleich ein unveränderliches Urmaß aller Längen abzuleiten. Den Schluß des Ganzen machen seine berühmten Theoreme über die Centrifugalkraft bei der Kreisbewegung. — Auch die erste und wichtigste Verbesserung der Taschen- oder Federuhren verdankt man ihm, da er der Erfinder der Spirale ist, ohne welche jene Uhren nie auf Vollkommenheit hätten Anspruch machen können. Durch diese und viele andere wissenschaftliche Arbeiten wieder in seiner Gesundheit zurückgesetzt, entschloß er sich endlich, 1681, Frankreich ganz zu verlassen und in seine Vaterstadt zurückzukehren, wozu auch vorzüglich die Aufhebung des Ediktes von Nantes beigetragen haben soll. Im Haag beschäftigte er sich nun vorzüglich mit der Verfertigung eines Planetariums, einer Maschine, mit welcher er die Bewegungen aller Körper unseres Sonnensystems darstellen wollte, wodurch er auf die interessante Entwicklung der Kettenbrüche geführt wurde. Auch verfertigte er wieder, wie anfangs, mit seinem Bruder Konstantin Objektive zu Fernröhren, deren er mehrere von 160 und eines sogar von 210 Fuß Focaldistanz zu Stande brachte. Um das Jahr 1690 beschäftigten ihn die wichtigen Untersuchungen über die doppelte Brechung des Lichts im Kalkspath, und über die eigentliche Gestalt der Erde. Im Anfange des Jahres 1695 ward er gefährlich krank; seine Verstandeskräfte nahmen schnell ab und er behielt nur noch so viel derselben, um über sein Vermögen und seine nachgelassenen Manuscripte verfügen zu können, welche letzte er der Bibliothek zu Leyden überließ. Bald darauf starb er im Haag am 8ten Juli 1695 in einem Alter von 76 Jahren. Er war nie verheirathet, und lebte zurückgezogen, größtentheils nur seinen Studien. Drei Jahre nach seinem Tode erschien noch sein Kosmotheoros oder Vermuthungen über die physische Beschaffenheit und die Bewohner der Planeten. Seine sämmtlichen Werke sind von s' Gravesande zu Leyden 1724 und Amsterdam 1728 herausgegeben worden. L.

Geschwindigkeit wieder eine andere schiefe Ebene heraufsteigt, daß er auf der zweiten Ebene nur wieder bis zu derjenigen Höhe steigen kann, von welcher er auf der ersten Ebene herabgefallen ist. Dieses Prinzip fällt sehr nahe mit Galilei's experimentaler Erläuterung zusammen. In der That kann jedoch Galilei's Prinzip, das Huyghens so gering schätzt, als eine genügende Darstellung des wahren Gesetzes betrachtet werden, daß nämlich, bei demselben Körper, die erzeugte Geschwindigkeit sich wie der Druck verhält, welchen er erzeugt. „Es ist also ausgemacht, sagt er [24]), daß in einem beweglichen Körper der Impetus, die Energie, das Moment oder die Neigung zur Bewegung genau eben so groß ist, als die Kraft oder der Widerstand, „der hinreicht, ihn zu unterstützen." Die verschiedenen Ausdrücke, die er hier für beide Kräfte braucht, für die statischen und für die dynamischen, zeigen, daß die Ideen Galilei's durch diese Vielnamigkeit keineswegs verwirrt worden sind, wie dies wohl mehreren anderen Schriftstellern seiner Zeit widerfuhr. Das von ihm auf solche Art aufgestellte Prinzip ist, wie wir sehen werden, von weiter Ausdehnung und von großem Werthe, und man kann nur mit Theilnahme die näheren Umstände dieser Entdeckung vernehmen, die auf folgende Weise erzählt werden [25]). Viviani, der vorzüglichste Schüler Galilei's drückte einmal seinem Lehrer die Unzufriedenheit aus über den noch immer bestehenden Mangel eines klaren Grundes für das von Galilei aufgestellte Postulat, daß bei schiefen Ebenen von derselben Höhe die erlangten Geschwindigkeiten immer auch dieselben sein sollen. Die Folge davon war, daß Galilei, der eben einer Krankheit wegen zu Bette lag, seine nächste schlaflose Nacht zur Entdeckung des so lange vergebens gesuchten Beweises benützte. Dieser wurde denn auch in die folgende Ausgabe seiner Werke aufgenommen. Wenn man diesen Beweis näher betrachtet, so sieht man bald, daß Galilei hier nicht sowohl mit den Zwischensätzen zweier von einander sehr entfernten Wahrheiten, wie dies bei den Problemen der Geometrie der Fall ist, zu thun hatte, sondern daß er nur um die klare Auffassung von einander sehr nahe liegenden Begriffe kämpfen mußte, die er bisher noch nicht

24) Galilei. III. 104.

25) Drinkwater, Life of Galilei. S. 59.

einander näher bringen konnte, weil er sie selbst noch nicht scharf aufgefaßt und fest ergriffen hatte. Solche Ausdrücke, wie Kraft, Moment und dergl. waren seit Aristoteles die Quellen von vielen Irrthümern und Mißbegriffen gewesen, und es gehörte gewiß schon eine nicht gewöhnliche Stetigkeit des Geistes dazu, unter dem Gewühle jener dunklen und unbestimmten Ideen, den Unterschied zwischen den Kräften, bei ruhenden und bei bewegten Körpern, gehörig aufzufassen.

Das Wort Moment wurde zur Bezeichnung der Kraft eines bewegten Körpers eingeführt, zu einer Zeit, wo man von dem Worte „Kraft“ selbst noch keinen bestimmten, richtigen Begriff hatte. Galilei sagt in seinem Discorso intorno alle Cose che stanno in su l'Acqua: „Moment sei die Kraft, die Wirkung „oder die Eigenschaft, mit welcher die Bewegung vor sich geht, „und mit welcher der bewegte Körper widersteht, und dies Mo„ment ist abhängig, nicht blos von dem Gewichte, sondern auch „von der Geschwindigkeit, von der Neigung und von mehreren „anderen Dingen.“ Als er aber später zu einer größern Klarheit in seinen Ansichten kam, so setzte er fest, wie bereits erwähnt, daß in demselben Körper das Moment der Geschwindigkeit desselben proportional sei, und daraus ließ sich dann leicht ableiten, daß bei verschiedenen Körpern das Moment dem Produkte der Geschwindigkeit in die Masse dieser Körper proportionel sein müsse. Dieses so aufgestellte Prinzip ist einer sehr weiten Anwendung fähig, und führt unter anderm unmittelbar zu den Lehren von dem gegenseitigen Stoß der Körper. Allein obschon Galilei und meh ere andere seiner Vorgänger und Zeitgenossen über das Problem der Percussion viel gedacht und geschrieben hatten, so gelangten sie doch zu keiner befriedigenden Auflösung desselben, die daher den Mathematikern der folgenden Periode aufbehalten bleiben mußte.

Erwähnen wir hier noch des Descartes und seines „Gesetzes „der Bewegung,“ dessen Bekanntmachung von einigen Schriftstellern als Epoche machend in der Geschichte der Mechanik bezeichnet wird. Damit gingen eben diese seine Verehrer viel zu weit, denn die Prinzipien des Descartes haben den Naturwissenschaften nur einen sehr geringen Dienst erwiesen. Sein Ausdruck des Gesetzes der Bewegung, in dessen allgemeinsten Gestalt, war vielleicht eine Verbesserung in der Form, aber sein sogenanntes drittes Gesetz ist selbst seinem Inhalte nach falsch. Descartes wollte mehrere Entdeckungen Galilei's und anderer seiner Zeitgenossen für sich vindiciren. Aber wir können seinen Forderungen nicht beistimmen, wenn wir sehen, daß er die Gesetze der Bewegung, die er doch schon vor sich hatte, entweder nicht gehörig verstand, oder daß er sie doch nicht anwenden wollte. Wir werden später wieder auf diesen Gegenstand zurückkommen. Wenn man aber Descartes mit Galilei zusammenstellen wollte, so könnte man sagen, daß von all' den mechanischen Entdeckungen, die im Anfang des siebenzehnten Jahrhunderts noch ohne zu große Mühe erreichbar waren, Galilei so viel und Descartes so wenig gemacht hat, als einem Manne von Talent eben möglich gewesen ist.

Drittes Kapitel.

Folgen der Epoche Galilei's. Zeitraum der Verifikation und Deduktion.

Der Grund, auf welchen Galilei die von ihm aufgestellten Gesetze der Bewegung gründete, bestand, wie wir gesehen haben, in der Einfachheit dieser Gesetze und in der Uebereinstimmung ihrer Folgen mit den Beobachtungen. Eigene Beschränkungen derselben wurden übrigens für die störenden Ursachen hinzugefügt. Seine Nachfolger setzten das Werk wiederholter Vergleichungen der Theorie mit den Experimenten fort, bis endlich kein Zweifel über die Wahrheit der fundamentalen Lehren zurückblieb. Sie bestrebten sich auch, die Art der Aufstellung dieser Lehren so viel möglich zu vereinfachen, und die Folgerungen aus denselben in verschiedenen Problemen mit Hülfe der mathematischen Analysis zu zeigen. Diese Arbeiten führten zu der Bekanntmachung verschiedener Abhandlungen über die fallenden Körper, über die schiefen Ebenen, das Pendel, die schief geworfenen Körper, das in Röhren fließende Wasser u. s. w., die einen großen Theil des siebenzehnten Jahrhunderts beschäftigten.

Die Verfasser dieser Schriften bilden gleichsam die Galileische Schule. Auch waren in der That viele von ihnen seine Schüler oder doch seine persönliche Freunde. Castelli z. B. war sein Zuhörer und sein astronomischer Gehülfe zu Florenz, später aber sein eifriger Korrespondent. Torricelli war zuerst Schüler Castelli's, und später Hausgenosse und Mitarbeiter Galilei's im Jahr 1641; folgte ihm auch in seiner Stellung am Hofe zu Florenz bis an seinen Tod nach, der wenige Monate nachher eintraf. Viviani lebte während der drei letzten Jahre Galilei's in seiner Familie, und überlebte ihn und seine Zeitgenossen, wie er denn offen seine Freude und seinen Stolz bekannte, sich selbst den letzten Schüler Galilei's zu nennen. Gassendi, ein ausgezeichneter französischer Mathematiker und Professor, hatte ihn im Jahr 1628 besucht, und es zeugt von seinem ausgebreiteten Ruhme, wenn wir Milton von seiner Reise nach Italien sprechen hören [1]): „Hier war es, wo ich den berühmten Galilei fand, „den alten ehrwürdigen Greis, den Gefangenen der Inquisition, „blos weil er in der Astronomie anders dachte, als seine Censoren."

Nebst diesen Schriftstellern kann man auch noch mehrere andere nennen, welche die Lehre Galilei's auszubilden oder zu erläutern suchten. Borelli, Professor zu Florenz und Pisa, Mersenne, der Korrespondent von Descartes und Professor zu Paris, so wie Wallis [2]), der im Jahr 1649 zum Savilianischen Professor in Oxford ernannt wurde, nachdem sein Vorgänger Whiston [3])

---

1) Man sehe Miltons Rede for the liberty of unlicensed Printing.

2) Wallis (John), wurde im Jahr 1649 Professor der Geometrie in Oxford, und war einer der ausgezeichnetsten Mathematiker. In den bürgerlichen Kriegen von 1640 zeichnete er sich durch seine Kunst aus, die verwickeltsten Chifferschriften zu entziffern. Seine berühmte Arithmetica infinitorum erschien 1655 zu Oxford. Im Jahre 1660 wurde er Kaplan des Königs Karl II.; 1663 trat er in die neu errichtete Londoner Akademie der Wissenschaften, gab 1690 noch mehrere theologische Werke heraus, und starb 1703. Seine sämmtlichen Werke erschienen 1692 zu Oxford in 3 Foliobänden.

3) Whiston (William), geboren 1667, wurde Professor der Mathematik zu Cambridge, wo er von Newton selbst als sein Nachfolger in dieser Stelle empfohlen wurde. Nebst der Mathematik, für die er ein ausgezeichnetes Talent besaß, beschäftigte er sich auch mit Philosophie, Theologie und den alten Sprachen. Im Jahr 1708 gab er eine Schrift über die Dreieinigkeit heraus, und wurde deßhalb 1710 von seinem Amte entfernt. Er begab sich nach London, wo er sich und seine

durch die Commissionäre des Parlaments von dieser Universität entfernt worden war. Es wird nicht nöthig sein, die Reihe aller dieser rein mathematischen Versuche, die einen großen Theil der Werke dieser Männer bilden, umständlich anzuführen, wofür wir uns blos auf einige Bemerkungen beschränken.

Die Frage über das zweite Gesetz der Bewegung wurde zuerst mit den Streitigkeiten vermischt, die sich auf die Wahrheit des Copernikanischen Systems bezogen. Dieses Gesetz gab nehmlich die wahre Antwort auf die stärkste aller Einwendungen, die man gegen die Bewegungen der Erde vorgebracht hatte, daß nämlich die Körper, welche von einer großen Höhe herabfallen, hinter ihrer anfänglichen Stelle zurückbleiben. Dieses Argument wurde von den Gegnern der neuen Lehre in verschiedenen Formen aufgestellt. Die Antworten auf dasselbe gehören eigentlich in die Geschichte der Astronomie und bilden einen Theil der Folge der Copernikanischen Epoche; eigentlicher noch aber wird man sie zur Geschichte der Mechanik zählen, da sie unmittelbar aus den Entdeckungen Galilei's entstanden sind. So weit dies nehmlich jenen mechanischen Streit anging, so bezogen sich die Vertheidiger des zweiten Gesetzes mit Recht triumphirend auf ihre Experimente. Gassendi machte verschiedene öffentliche Versuche über diesen Gegenstand, von denen er in seinen Epistolæ tres de Motu Impresso a Motore Translato [4]) Bericht erstattete. Man sah aus diesem Versuche, daß fallende oder auf-, vor- und rückwärts in einem ruhenden oder bewegten Schiffe geworfene Körper immer dieselbe Bewegung in Beziehung auf den Werfenden haben. In der Anwendung dieses Prinzips hatten sich Gassendi und andere Schriftsteller seiner Zeit in der That sehr verwickelt, da die Rücksicht auf religiöse Bedenklichkeiten ihnen nicht erlaubten, zu sagen, daß die Erde sich bewege, sondern nur, daß die physischen Ursachen, die man gegen ihre Bewegung anführt, zu schwach seien. Diese Beschränkung setzte den Riccioli und andere von der Gegenpartei in den Stand, die Sache mit metaphysischen Hindernissen zu umgeben. Allein durch

---

Familie durch Unterricht in der Mathematik erhielt. Er starb 1752. Die Schicksale dieses sonderbaren Mannes werden von ihm selbst (Memoirs, 3 Bände, Lond. 1749) geschildert. L.

4) Montucla. II. 199.

diese wurde die Ueberzeugung der andern wenigstens nicht auf zu lange Zeit erschüttert, und das zweite Gesetz der Bewegung wurde bald allgemein als unbezweifelt angenommen.

Die Gesetze der Bewegung der fallenden Körper, wie sie Galilei bezeichnet hatte, wurden durch die Beweise von Gassendi und Fermat [5]), so wie durch die Experimente von Riccioli [6]) und

---

5) Fermat (Peter), geboren 1595 zu Toulouse, wo er auch im Januar 1665 als Parlamentsrath starb. Einer der größten Mathematiker Frankreichs, der auch mit beinahe allen berühmten Mathematikern seiner Zeit, mit Descartes, Pascal, Roberval, Huyghens, Wallis, Leibnitz u. a. durch eine ausgebreitete Korrespondenz in der innigsten Verbindung lebte. Er ist als einer der ersten Begründer der Infinitesimalrechnung zu betrachten. Seine Lieblingsbeschäftigung scheint die mit der Natur der Zahlen, mit der unbestimmten Analysis und mit der Wahrscheinlichkeit-rechnung gewesen zu sein. Seine vielen Amtsgeschäfte scheinen ihn gehindert zu haben, eigentliche gelehrte Werke zu verfassen, daher er sich meistens nur mit kurzen Anzeigen seiner Entdeckungen begnügt. Sein Sohn Samuel gab, Toulouse, 1679, in Fol. die Opera varia seines berühmten Vaters heraus. Einzelne Briefe von ihm findet man in den Lettres de Descartes und in den Werken von Wallis.

6) Riccioli (Johann), geboren 1598 zu Ferrara, trat in seinem sechszehnten Jahre in den Jesuitenorden und widmete sich vorzüglich der Astronomie. Er wird als der Verfechter der Anticopernikaner angesehen. Er verwarf nicht nur das System des Copernikus, sondern auch das des Ptolemäus und des Tycho, und stellte ein anderes als das allein wahre auf, in welchem sich nämlich der Mond, die Sonne, Jupiter und Saturn unmittelbar um die Erde drehen, Merkur, Venus und Mars aber als Satelliten der Sonne betrachtet werden. Seine Absicht war, eine ganz neue Astronomie zu gründen, oder doch die alte in allen ihren Theilen zu reformiren, worin ihn besonders Grimaldi, sein Schüler und Freund, eifrig unterstützte. In den Jahren 1644 – 56 unternahm er eine Messung der Größe und Gestalt der Erde nach einer neuen Methode, die aber noch unsicherer ist, als die des Snellius, welche letzte Riccioli doch so sehr tadelte. Glücklicher war er in seiner Arbeit über die Topographie des Mondes, an welchem er 600 Flecken beobachtete und nach ihrer Lage verzeichnete, während seine Vorgänger Langren nur 270 und Helvetius 550 beobachtet hatten. Die von Riccioli eingeführte Nomenclatur dieser Flecken hat man bis auf unsere Tage beibehalten. Ob er den wahren Werth der Entdeckungen des Copernikus und Keplers in der That verkannte, oder ob er nur aus andern, nicht astronomischen Gründen, als der Gegner dieser Männer auftrat, ist

Grimaldi [7]) bestätigt, und die Wirkung des Widerstands der Luft wurde von Mersenne und Dechales [8]) ausgemittelt. Die parabolische Bewegung der geworfenen Körper wurde besonders durch Experimente über den Wasserstrahl erläutert, der aus der Oeffnung eines mit Flüssigkeit gefüllten Gefäßes dringt. Versuche dieser Art sind besonders geeignet, die Aufmerksamkeit zu erregen, weil die beschriebene Curve, die bei einem festen geworfenen Körper vorübergehend und unsichtbar ist, bei einem beständigen Wasserstrom unveränderlich und sichtbar ist. Auch wurde die Lehre von der Bewegung der Flüssigkeiten durch die Italiener stets eifrig ausgebildet. Castelli's Abhandlung Della Missura dell' Acque Corrente (1638), ist die erste über diesen Gegenstand, und Montucla nennt ihn mit Recht „den Schöpfer „eines neuen Zweiges der Hydraulik“ [9]), obschon er unrichtig annimmt, daß die Geschwindigkeit des Ausflusses sich wie die Tiefe der Oeffnung unter dem Wasserspiegel verhält. Mersenne und Torricelli, und nach ihnen mehrere andere, verfolgten ebenfalls denselben Gegenstand. Der Glaube Galilei's, denn mehr war

---

unentschieden. Er starb am 25. Juni 1671. Seine vorzüglichsten Werke sind: Almagestum novum, Bologna 1651. II Vol. fol.; Astronomia reformata, Bologna 1665. II Vol. fol.; Geographiæ et Hydrographiæ reformatæ libri duodecim, Bologna 1661; Chronologia reformata, Bologna 1669. III Vol. fol.

7) Grimaldi (Franz Maria), geboren 1613 zu Bologna, der oben erwähnte Freund und Gehülfe Riccioli's. Sein vorzüglichstes Werk ist die Physicomathesis de lumine, coloribus et iride, Bolog. 1665, in welcher Schrift er der erste von der Zerstreuung der Lichtstrahlen durch das Prisma, und von der Beugung derselben durch nahestehende Körper handelt. Er starb 1663 zu Bologna. L.

8) Dechales (Claude), geboren 1611 zu Chambery in Savoyen, ist der Verfasser verschiedener mathematischer Werke, von denen sich vorzüglich seine Ausgabe des Euklids sehr lange Zeit als das allgemeine Lehrbuch der Geometrie in Frankreich und auch in andern Ländern erhalten hat. Auch seine übrigen Werke zeugen, zwar nicht von seiner Kraft die Wissenschaft zu erweitern, aber wohl von seiner Kunst, sie andern klar und zugänglich zu machen. Er war Professor der Mathematik in Clermont, später in Marseille, und endlich in Turin, wo er 1678 starb. Seine Werke kamen 1690 in 4 Foliobänden unter dem Titel Mundus Mathematicus heraus. L.

9) Montucla. II. 201.

es nicht, an die parabolische Form der Bahn von schief geworfenen Körpern, wurde von den ihm nachfolgenden Schriftstellern über diesen Gegenstand etwas zu folgsam angenommen. Sie alle übersahen, so wie er selbst, die Wirkung des Widerstandes der Luft, die doch so groß ist, daß dadurch die Gestalt jener Curve völlig geändert wird. Demungeachtet wurde diese parabolische Theorie wieder gebraucht in Anderson's Art of Gunnery (1674), und in Blondel's Kunst, Bomben zu werfen (1683), und nicht blos Tafeln berechnete man unter dieser Voraussetzung, sondern man suchte auch die Einwendungen förmlich zu widerlegen, welche Andere gegen die parabolische Form jener Curve gemacht hatten. Erst viel später, im Jahr 1740, machte Robins eine Reihe von sorgfältigen und scharfsinnigen Versuchen bekannt, und als dann einige ausgezeichnete Mathematiker diese Curven in Bezug auf den Widerstand der Luft bestimmt hatten, da erst konnte man mit Recht sagen, daß diese Theorie durch die Beobachtungen ihre volle Bestätigung gefunden hat.

Das dritte Gesetz der Bewegung lag zur Zeit des Todes von Galilei immer noch, wie wir gesehen haben, auf eine unklare Weise vor. Der nächste Schritt dazu in der Galilei'schen Schule war die Bestimmung der Theorie des Stoßes der Körper, so weit als dieser Stoß die progressive Bewegung der Körper afficirt. Die Schwierigkeit dieses Problems entsprang zum Theil aus der heterogenen Natur des Druckes (bei einem ruhenden) und dem Momente (bei einem bewegten Körper); und zum Theil auch daraus, daß man die Wirkungen des Stoßes auf die einzelnen Theile des Körpers, wie z. B. beim Brechen, Quetschen, Einschneiden der Körper, mit derjenigen Wirkung verwechselte, welche die Bewegung des Ganzen betrafen.

Die erste Schwierigkeit hatte schon Galilei selbst mit einiger Klarheit eingesehen. In einem erst nach seinem Tode erschienenen Zusatze zu seinen mechanischen Dialogen sagt er: „In einem „bewegten Körper gibt es zwei Gattungen Widerstands, einen „i n n e r n (wenn man z. B. sagt, daß es schwerer ist, ein Ge„wicht von tausend, als eins von hundert Pfund zu heben), „und einen andern ä u ß e r n, der sich blos auf den Raum bezieht „(wenn man z. B. sagt, daß es mehr Kraft erfordere, einen

„Stein hundert, als fünfzig Fuß weit zu werfen) [10])". Indem er nun diesen Unterschied weiter bespricht, kömmt er zu dem Resultate: „daß das Moment der Percussion unendlich groß ist, „weil es keine noch so große Geschwindigkeit gibt, die nicht durch „eine noch so kleine Kraft der Percussion überwältigt werden „könnte [11])." Er erklärt sich noch weiter darüber durch die Bemerkung, daß der Widerstand des Stoßes eine gewisse Zeit brauchen müsse, obschon diese Zeit unendlich klein sein könne. Diese völlig richtige Art, die scheinbare Unangemessenheit einer continuirlichen und doch augenblicklichen Kraft zu entfernen, war ein sehr wesentlicher Schritt zur Auflösung des Problems.

Descartes hat in seinen „Prinzipien" die Gesetze des Stoßes unrichtig dargestellt, und sie scheinen erst von Wren, Wallis und Huyghens gehörig aus einander gesetzt worden zu sein, von dem letzten durch eine Schrift, die er im Jahr 1669 der königlichen Gesellschaft der Wissenschaften in London eingesendet hatte. Erst in diesen richtigen Auflösungen des Problems sieht man, wie diese Männer nur allmählig zu der Anerkennung des wahren dritten Gesetzes in seiner allgemeinsten Bedeutung gelangten, „daß nämlich das Moment (das dem Produkte der „Masse in die Geschwindigkeit des Körpers proportional ist) „als das eigentliche Maaß der Wirkung angesehen werden soll," so daß dieses Moment in dem stoßenden Körper durch den Widerstand, den er erfährt, eben so viel vermindert wird, als es in dem gestoßenen Körper durch den Stoß selbst vermehrt worden ist. Dies wurde auch zuweilen so ausgedrückt, daß man sagte: „daß die Quantität der Bewegung (welchen Ausdruck man „statt Moment substituirte) unverändert bleibt." — Newton drückte dies so aus: „Wirkung und Gegenwirkung sind einander gleich „und entgegengesetzt," und in dieser Gestalt wird dieses Gesetz, in England wenigstens, noch jetzt öfter gebraucht.

In dieser Art, das dritte Gesetz darzustellen, sieht man ein Beispiel von jenem Bestreben der Mathematiker, das nunmehr immer mehr um sich griff, die fundamentalen Gesetze der Ruhe und der Bewegung so zu betrachten, als wären sie für sich klar und unter einander identisch. In der That führte die enge Ver-

10) Galilei, opera. III. 210.
11) Ibid. III. 211.

wandtschaft, die zwischen den Prinzipien des Gleichgewichts und der Bewegung besteht, jene Männer auch öfter dahin, diese Klarheit der Einsicht in beide wieder zu trüben, und daraus entstand eine gewisse Zweideutigkeit der Worte, wie wir oben bei den Ausdrücken Moment, Kraft und dergl. gesehen haben. Dasselbe kann auch von den Worten „Wirkung" und „Gegenwirkung" gesagt werden, die beide eine statische und zugleich auch eine dynamische Bedeutung hatten. Auf diese Weise wurden die Regeln für die Gesetze der Bewegung so dargestellt, daß sie mit den allgemeinsten Vorschriften der Statik gleichsam zusammen fielen. So zog z. B. Newton aus seinem Prinzip die Folgerung, daß bei einer gegenseitigen Einwirkung der Körper ihre Schwerpunkte nicht afficirt werden. Mariotte [12]) schon hatte diesen Satz in seinem Traité de la percussion (1684) für den Fall des direkten Stoßes aufgestellt. Durch die Dynamiker zu Newtons Zeit aber wurde der Satz, daß die Bewegung des Schwerpunkts durch die wirkliche freie Bewegung und durch den Stoß der Körper nicht geändert werde, mit dem statischen Satze verbunden, daß bei im Gleichgewicht stehenden Körpern die Schwerpunkte derselben durch die virtuelle Bewegung weder zum Steigen noch zum Fallen gebracht werden können. Dieser letzte Satz war von Torricelli als an sich selbst evident angenommen worden, aber es schien seinen Nachfolgern mit Recht angemessen, die Wahrheit desselben aus den ersten statischen Elementen zu beweisen.

Dieser Hang, die ersten Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung zu identificiren, machte jene Männer von der alten,

---

12) Mariotte (Eduard), geb. zu Bourgogne, trat früh in den geistlichen Stand und starb als Mitglied der k. Akademie zu Paris im Jahr 1684. Er verlegte sich einer der ersten und mit großem Fortgang auf die experimentale Physik. Er erwarb sich ein entschiedenes Verdienst um die Hydrostatik und Hydraulik. Seine Schriften standen zu ihrer Zeit in klassischem Ansehn. Nach ihm wird der bekannte Lehrsatz benannt, daß sich die Dichte der Luft wie das auf ihr lastende Gewicht verhält. Auch um die Mechanik machte er sich verdient.

Seine sämmtlichen Werke erschienen zu Leyden 1717 (2 Bde.) und im Haag 1740. Die wichtigsten derselben sind: Traité de la percussion des corps; Traité du mouvement de l'eau; Sur la végétation des plantes und sur la nature des couleurs. L.

soliden Grundlage der Statik, von dem Hebel, etwas zu leicht denken. Als die Dynamiker diesen Gegenstand von einer größeren Höhe betrachteten, hielten sie es für tadelnswerth, die gesammte Wissenschaft auf den Eigenschaften einer einzelnen Maschine zu erbauen. Descartes sagt in seinen Briefen sogar, daß es lächerlich wäre, die Eigenschaften der Rolle oder des Rads an der Welle durch die des Hebels erklären zu wollen. Varignon wurde durch ähnliche Ansichten zu dem Versuche seiner Nouvelle mécanique verleitet, in welchen er die ganze Statik auf die Lehre von der Zusammensetzung der Kräfte erbaute. Dieser sein Vorschlag wurde schon im Jahr 1687 bekannt gemacht, das Werk selbst aber erschien erst nach dem Tode seines Verfassers. Obschon nun der Versuch, das Gleichgewicht aller Maschinen auf die Zusammensetzung der Kraft zu gründen, als ein philosophischer betrachtet werden kann und auch nicht ohne Verdienst ist, so war doch die Bemühung, die Komposition des Drucks auf die Komposition der Bewegungen zu reduziren, was der Zweck dieser Schrift Verignon's ist, ein wahrer Rückschritt in der Wissenschaft, da der Fortgang der klaren mechanischen Begriffe darunter nur leiden konnte.

Auf diese Weise waren also in der Zeit, zu welcher wir nun gelangt sind, die Prinzipien der Elementarmechanik im Allgemeinen bekannt, und bei den Mathematikern das Bestreben vorherrschend geworden, dieselben auf die möglichst einfache und verständliche Form zurückzuführen. Die Ausführung dieser Vereinfachung und zugleich die damit verbundene weitere Ausdehnung der mechanischen Begriffe, die wir mit einem Worte die Generalisation jener Gesetze genannt haben, ist ein so wichtiger Gegenstand, daß er, obschon er nur ein Theil der natürlichen „Folge" von Galilei's Lehre ist, eine eigene Behandlung in einem besonderen Kapitel verdient. Zuvor müssen wir aber die Geschichte der Hydrostatik auf denselben Zeitpunkt vorwärts führen, an welchem wir nun bei der Mechanik der festen Körper angelangt sind.

Viertes Kapitel.

Entdeckung der mechanischen Prinzipien der Flüssigkeiten.

Erster Abschnitt.

Wiederentdeckung der Gesetze des Gleichgewichts der Flüssigkeiten.

Wir haben bereits gesagt, daß die wahren Gesetze des Gleichgewichts flüssiger Körper von Archimedes entdeckt und von Galilei und Stevinus wieder gefunden worden sind. Die zwischen diesen Männern liegende lange Zeit wurde von unbestimmten und verwirrten Ideen über alle Erscheinungen in der Natur in solchem Maaße eingenommen, daß es den Menschen ganz unmöglich fiel, die klaren Begriffe, die Archimedes aufgestellt hatte, zu erfassen. Stevinus muß, von jenen beiden Neueren, als der erste Wiederfinder jener Gesetze betrachtet werden, denn sein Werk erschien schon im Jahr 1585 in holländischer Sprache, und in demselben sind seine Ansichten über den Gegenstand bereits vollkommen richtig und klar ausgedrückt. Er stellt die Lehren des Archimedes wieder auf, und zeigt, daß, in Folge derselben, der Druck der Flüssigkeit auf den Boden eines Gefäßes viel größer sein könne, als das Gewicht der ganzen Flüssigkeit selbst. Er beweist dies, indem er annimmt, daß einige der obern Theile des Gefäßes mit festen Körpern angefüllt sind, welche die Stelle der Flüssigkeit einnehmen und doch den Druck dieser Flüssigkeit auf den Boden des Gefäßes nicht vermindern. Er zeigt auch, wie groß der Druck der Flüssigkeit auf jeden Theil eines gegen den Horizont schief liegenden Bodens sein müsse, und daraus findet er, mit Hülfe einiger mathematischen Kunstgriffe, die als eine Annäherung zu der späteren Analysis des Unendlichen gelten können, auch den ganzen Druck der Flüssigkeit auf alle Theile eines solchen schiefen Bodens. Diese Art der Behandlung des Gegenstandes könnte selbst noch heutzutage als ein wesentlicher Theil unserer elementaren Hydrostatik aufgenommen werden. Galilei sah die Eigenschaften der Flüssigkeiten nicht weniger deutlich ein, und er setzte sie im Jahr 1612 in seinem Gespräche über die schwimmenden Körper sehr klar auseinander. Die Aristoteliker hatten behauptet, daß die „Form" der Körper die Ursachen ihres Schwimmens sei, woraus sie folgerten, daß das Eis nur verdichtetes Wasser ist, wobei sie aber offenbar wieder die Begriffe von Rigidität und Densität unter einander wirrten. Galilei im Gegentheil behauptete, daß das Eis verdünntes oder rareficirtes Wasser sei, was eben aus dem Schwimmen desselben im Wasser folge, und von da ausgehend zeigte er durch verschiedene Experimente, daß das Schwimmen der Körper keineswegs von der Form derselben abhängig ist. Das glückliche Talent Galileis erscheint hier in einem um so helleren Lichte, da der gelehrte Streit, den er deßwegen führen mußte, großentheils noch durch die Beimischung eines ganz andern Phänomens sehr verwickelt wurde, das sich auf die sogenannte Kapillar- oder Molecular-Attraktion bezog. So zeigte die Erfahrung, daß eine elfenbeinerne Kugel im Wasser untersinkt, während ein dünner Streifen von diesem Material auf der Oberfläche des Wassers schwimmt, und es gehörte schon ein mehr als gewöhnlicher Scharfsinn dazu, sich durch solche Erscheinungen nicht irre machen zu lassen und die Ausnahme dieser besondern Fälle von der allgemeinen Regel richtig zu erkennen. Galilei's Ansichten wurden von mehreren Schriftstellern angegriffen, wie von Nozzolini, Vincenzio des Gracia, Ludovico delle Colombe, und andern. Die Vertheidigung desselben übernahm sein Schüler Castelli, der seine Antwort auf die Schriften jener Gegner im Jahr 1615 bekannt machte. Galilei's Meinungen aber verbreiteten sich schnell und wurden allgemein angenommen. Etwas später nahm Pascal[1]) den ganzen Gegenstand

1) Pascal (Blasius), einer der größten Geometer und überhaupt einer der ausgezeichnetsten Schriftsteller Frankreichs, geboren am 19. Juni 1623 zu Clermont in Auvergne. Sein Vater, ein hochgebildeter Mann, war Präsident à la cour des aides in Clermont, übernahm selbst die erste Erziehung seines einzigen Sohnes, mit dem er 1631 nach Paris zog, wo er bald in der engsten Verbindung mit den vorzüglichsten Geistern dieser Hauptstadt lebte, mit Mersenne, Roberval, Carcavi u. a. Die häufigen Zusammenkünfte dieser Männer in Pascal's Haus legten den eigentlichen Grund zu der bald darauf entstehenden Akademie der Wissenschaften in Paris. Seine erste Schrift über die Natur des Schalls wurde durch die Bemerkung veranlaßt, daß eine Schaale von Porzellain, mit einem Hammer geschlagen, ihren Klang sogleich verliert, wie sie mit den Fingern berührt wird. Pascal zählte damals kaum

mehr systematisch wieder auf in seiner „Abhandlung von dem „Gleichgewicht der Flüssigkeiten,“ die im Jahr 1653 erschien und in welcher er zeigt, daß die in einem Gefäße eingeschlossene Flüssigkeit nach allen Richtungen denselben Druck ausüben müsse. Er stellt sich, diesen Satz zu beweisen, einen in die Flüssigkeit gestellten Heber vor, von dem ein Arm hundertmal breiter ist, als der andere, und er zeigt, daß die Kraft eines einzigen Mannes, den Stempel des dünneren Arms nieder zu drücken, der Kraft von hundert Männern an dem andern Arm das Gleichgewicht halten muß, „woraus dann, wie er hinzu setzt, „folgt, daß ein solcher mit Wasser gefüllter Heber als eine neue

---

zwölf Jahre, wie seine Schwester, Mad. Perrier, in dem von ihr verfaßten Leben ihres Bruders erzählt. Da sein Vater ihn, wenigstens anfangs, mehr den alten Sprachen und den schönen Wissenschaften zuwenden wollte, so mußte er die Mathematik, zu der er früh schon große Neigung zeigte, heimlich und ohne viele Bücherhülfe erlernen. In seinem sechszehnten Jahre soll er bereits eine sehr treffliche Abhandlung über die Kegelschnitte geschrieben haben, die den ungetheilten Beifall des Descartes erhielt. Aber durch seine zu anhaltenden jugendlichen Studien hatte er schon im achtzehnten Jahre seine Gesundheit zerstört. Um dieselbe Zeit erfand er mehrere, damals großes Aufsehen machende Maschinen. In sein dreiundzwanzigstes Jahr fielen seine Beobachtungen der Berghöhen durch das Barometer. Im Jahr 1649 erschien seine berühmte Abhandlung über die Cyclois; gegen das Jahr 1653 beschäftigte er sich mit der Natur der Zahlen und der Wahrscheinlichkeitsrechnung, und löste oft schwere Probleme, an denen Andere Monate gearbeitet hatten, in wenigen Minuten auf, obschon damals sein Körper bereits sehr leidend war. Dieses Siechthum war auch wohl die Ursache, die ihn zu einem strengen, ascetischen Leben und endlich zur völligen Verlassung der Welt führte. Im Jahr 1653 bezog er seine neue Wohnung in der berühmten Abtei des Port-Royal, wo er in der Nähe seiner Freunde Arnault, Nicole, Lancelot und anderer Jansenisten lebte. Im Jahre 1656 erschienen seine Briefe gegen die Molinisten: Les Provinciales, die durch Inhalt und Styl ausgezeichnet, mehr als sechszig Auflagen erlebt haben. Seine Pensées sur la religion erschienen Amsterdam 1692, erst dreißig Jahre nach seinem Tod. Seit 1658 lag er an einer Todeskrankheit darnieder, bis er am 29. Aug. 1662 im neununddreißigsten Jahre seines Alters starb. Seine Oeuvres complètes sind von Bossut (Paris 1779 und neue Auflage 1819 in fünf Bänden) erschienen. Die neuesten Ausgaben seiner Werke besorgte Lemercier, Paris 1830. L.

„Maschine zu betrachten ist, durch welche man jede gegebene „Kraft so oft, als man nur will, vervielfachen kann.“ Auch wußte Pascal schon die Lehren von dem Gleichgewichte der Flüssigkeiten auf das „Prinzip der virtuellen Geschwindigkeit“ zurückzuführen, durch welches man bisher nur das Gleichgewicht der festen Maschinen regulirt hatte. Dies letzte hat auch schon Galilei vor ihm geleistet, denn es folgte unmittelbar aus seinem Satze, daß der Druck, den jeder untere Theil einer Flüssigkeit erleidet, blos von dem Gewichte der über ihm liegenden Theile komme.

In allem diesem war nichts, dem man nicht leicht beipflichten konnte. Aber die Ausdehnung dieser Lehre auf die Luft erforderte noch das Hinzutreten einiger neuen mechanischen Konzeptionen. Der allseitige Druck der Luft auf unsern Körper, und das Gleichgewicht der über uns stehenden Luft, diese zwei Dinge wollte man sehr lange nicht recht klar einsehen. Seneca spricht zwar [2]) von der „Schwere der Luft,“ und von der Kraft, mit welcher sie sich ausdehnt, wenn sie, wie z. B. von dem Winde, zusammen gedrückt wird, aber man darf auf diese Phrasen kein großes Gewicht legen, da er unmittelbar nachher sagt: „wir haben eine „Kraft, durch die wir uns selbst in Bewegung setzen, und eben „so ist auch die Luft nicht ohne eine solche Kraft, sich selbst zu „bewegen, wie denn auch das Wasser eine solche eigene Bewe„gungskraft hat, die wir bei dem Wachsen der Pflanzen sehen.“ Welchen Werth kann man auf eine solche Darstellung der Schwere und der Elasticität der Luft legen? — Indeß waren die Wirkungen dieser Kräfte so zahlreich und so offenbar, daß die Aristoteliker sich gezwungen sahen, ein eigenes Prinzip für diese Erscheinungen in dem „Horror Vacui“ der Natur aufzustellen. Auf dieses Prinzip wurden dann mehrere alltägliche Phänomene zurückgeführt, wie das Saugen, das Athmen, die Wirkungen des Blasebalgs u. dgl. Die Erscheinungen bei dem Schröpfkopfe, wenn die Luft durch das Feuer verdünnt wird; die Erfahrung, daß eine offene, mit Wasser gefüllte Flasche, umgekehrt in ein mit Wasser gefülltes Gefäß getaucht, nicht ausfließt; dieselbe Erscheinung bei einer unten offenen und oben verschlossenen Röhre, und das Ausfließen des Wassers aus einer solchen Röhre, sobald

2) Seneca, Quaest. Nat. V. 5

ihre obere Mündung wieder geöffnet wird; die Wirkung des Hebers, der Spritze, der Pumpe; die Adhäsion zweier polirter Platten, diese und viele andere Erscheinungen wurden alle durch jene Furcht der Natur vor dem leeren Raume erklärt. In der That muß man auch gestehen, daß dieses Prinzip für ein gut gewähltes gelten konnte, sofern es alle diese Phänomene, die sämmtlich derselben Art sind, in sich vereinigte und auf eine gemeinsame Ursache zurückführte. Aber als ein „letztes Prinzip“ war es doch nicht nur unphilosophisch, sondern auch unvollkommen und selbst schlecht. Es war unphilosophisch, weil es einen moralischen Begriff (der Furcht oder des Abscheus) als Erklärung einer Naturerscheinung aufstellte; es war unvollkommen, weil es höchstens nur ein Gesetz ausdrückte, ohne die physische Ursache desselben anzugeben; es war endlich auch schlecht, weil es der beabsichtigten Wirkung eine ganz unbegrenzte Ausdehnung gab. Deshalb verleitete auch dieses Prinzip zu vielen Mißverständnissen. So sprach Mersenne im Jahr 1644 von einem Heber, der das Wasser über einen Berg führen sollte, weil er damals noch nicht wußte, daß die Wirkung eines solchen Instruments blos auf 34 Fuß beschränkt ist. Einige Jahre später aber entdeckte er seinen Mißgriff, und in dem dritten Theile seines Werkes, der im Jahr 1647 erschien, setzt er seinen Heber unter die Emendanda, und hier drückt er sich auch schon richtig über das „Gewicht der Luft“ aus, durch welches das Quecksilber in der Torricellischen Röhre schwebend erhalten wird. In der That wurde auch das wahre, jenen Erscheinungen zu Grunde liegende Prinzip eben durch diese Grenze jenes vermeintlichen Abscheus der Natur, die bei 34 Fuß aufhören sollte, entdeckt. Man hatte gefunden, daß, wenn man den Versuch machte, das Wasser über diese Grenze zu erheben, die Natur den leeren Raum über dem gehobenen Wasser sehr wohl ertragen konnte. Im Jahre 1643 unternahm es Torricelli, diesen leeren Raum schon in einer viel geringeren Höhe zu erzeugen, indem er statt Wasser das viel schwerere Quecksilber zu seinen Versuchen wählte, wo sich dann die wahre Erklärung der Erscheinung, nämlich des Gleichgewichts der Wassermasse mit dem Druck der Luft, gleichsam von selbst anbot. — Zu denselben Schlüssen kam man auch noch auf anderen Wegen. Schon Galilei hatte gelehrt, daß die Luft ein bestimmtes Gewicht hat, und Baliani, der ihm im

Jahr 1630 schrieb, sagte:[3]) „Wenn wir im leeren Raume uns „befänden, so würde uns das Gewicht der Luft über uns sehr fühlbar „werden.“ Auch Descartes scheint seinen Theil an dieser Entdeckung zu haben, denn in einem Briefe vom Jahre 1631 setzt er die Ursache der Suspension des Quecksilbers in einer oben verschlossenen Röhre in den Druck der Luftsäule, die bis zu den Wolken reicht.

Noch fehlte aber die gewünschte vollkommene Bestätigung dieser Ansicht, bis endlich Pascal im Jahr 1647 auf experimentellem Wege zeigte, daß, wenn man durch Besteigung eines Berges die Höhe der unter uns stehenden Luftsäule ändert, damit auch der Druck derselben geändert wird. Dieser berühmte Versuch wurde von Pascal selbst auf einem Kirchthurm in Paris gemacht, und zwar mittels einer mit Quecksilber gefüllten Torricellischen Röhre, durch welche er das Gewicht der Luft messen wollte. Er schrieb auch deshalb an seinen Schwager, der in der Nähe des hohen Berges Puy-de-Dome in der Auvergne wohnte, und ersuchte ihn, das Experiment auf diesem Berge zu wiederholen, wo das Resultat ohne Zweifel entscheidender ausfallen würde. „Du „siehst, schreibt er, daß, wenn die Höhe des Quecksilbers auf dem „Gipfel des Berges kleiner sein sollte, als an dem Fuße dessel„ben, (was ich aus manchen Gründen glaube, obschon alle, die „bisher darüber geschrieben haben, der entgegengesetzten Mei„nung sind,) daß dann daraus sofort folgt, daß das Gewicht „und der Druck der Luft die einzige Ursache dieser Erscheinung „sein muß, nicht aber jener Horror Vacui, da es offenbar ist, „daß an dem Fuß des Berges mehr Luft abzuwägen ist, als auf „dem Gipfel desselben, und da wir doch unmöglich sagen können, „daß die Luft am Fuß des Berges eine größere Scheu vor dem „leeren Raum haben soll, als auf seinem Gipfel.“ — Perrier, Pascal's Correspondent, stellte dieses Experiment nach des letztern Wunsch an, und fand eine Differenz von drei Zollen in der Höhe des Quecksilbers, „was uns alle, wie er hinzusetzt, mit „Verwunderung und Erstaunen erfüllte.“

Als sonach die letzten Resultate des Gewichts und des Drucks der Luft in's Reine gebracht waren, hatte der Fortgang der Theorie keine weiteren Hindernisse zu bekämpfen. Später be-

---

3) M. s. Drinkwater's Galilei. S. 90.

gannen die Mathematiker noch allgemeinere Fälle, als die der bloßen Schwere, zu betrachten, und es erhoben sich Schwierigkeiten in der Anwendung der bereits aufgestellten Prinzipien; doch bezogen sich diese Schwierigkeiten nicht mehr auf den einmal festgestellten Begriff von dem eigentlichen Wesen des Gleichgewichts der flüssigen Körper, der auch deshalb unangefochten bleiben mußte.

Zweiter Abschnitt.

Entdeckung des Gesetzes der Bewegung der Flüssigkeiten.

Die Kunst, das Wasser in Röhren zu leiten, oder die Richtung seiner Bewegung für verschiedene Zwecke zu ändern, ist sehr alt. Diese Kunst, systematisch behandelt, wurde gewöhnlich Hydraulik genannt, doch ist Hydrodynamik die angemessene allgemeine Benennung der Wissenschaft für die Gesetze der Bewegung flüssiger Körper. Die Kunst ist, wie gesagt, so alt, als die Civilisation des ersten Volkes, bei dem sie entstand; die Wissenschaft aber geht nicht weiter, als bis zu Newtons Zeit, obschon verschiedene Versuche zu diesem Zwecke schon von Galilei und seinen Schülern gemacht worden sind.

Wenn die Flüssigkeit aus einer Oeffnung des Gefäßes, in welchem sie enthalten ist, herausströmt, so bemerkte Castelli sehr wohl, daß die Geschwindigkeit des Ausflusses von der Tiefe der Oeffnung unter dem Wasserspiegel abhängt; allein er nahm irriger Weise an, daß die Geschwindigkeit jener Höhe genau proportional ist. Torricelli fand aus seinem Versuche, daß die volle Geschwindigkeit des ausströmenden Wassers diejenige ist, die ein fester Körper erhalten wird, wenn er durch die ganze Höhe des Wassers gefallen ist, daß demnach die Geschwindigkeit des Wassers sich wie die Quadratwurzel der Höhe desselben verhalte. Er gibt dies Resultat übrigens nur als die Folge seines Experiments oder als einstweiliges Gesetz des Phänomens, am Ende seiner Schrift: De motu naturaliter accelerato, die im Jahr 1643 erschien.

Newton behandelte diesen Gegenstand theoretisch in seinen „Prinzipien,“ vom Jahre 1667, aber man muß, mit Lagrange, gestehen, daß dies die am wenigsten genügende Stelle seines großen Werkes ist. Newton hatte seine Beobachtungen auf eine andere Weise, als Torricelli, angestellt, indem er nämlich die „Menge“ des ausgeflossenen Wassers, statt die Geschwindigkeit desselben, maß, wodurch er dann auch ein dem Torricellischen widersprechendes Resultat gefunden hatte. Nach Newton war die auf diese Weise gefundene Geschwindigkeit des Wassers nur jener des Falls durch die Hälfte der Wasserhöhe proportionirt.

In der ersten Ausgabe der Prinzipien [4]) theilt Newton eine Reihe von Schlüssen mit, durch die er sein Resultat auf theoretischem Wege zu beweisen sucht, und wo er von dem Prinzip ausgeht, daß das Moment der ausgeströmten Flüssigkeit gleich ist dem Moment, welches die vertikale Wassersäule über der Oeffnung des Gefäßes durch seine Schwere erzeugen würde. Allein die Versuche Torricellis, welches die der ganzen Höhe entsprechende Geschwindigkeit gab, wurden durch wiederholte Experimente bestätigt. Wie sollte man also diese Abweichungen deuten?

Newton erklärte sie durch die Bemerkung einer Kontraktion des Wassers, die der Strahl oder die Wasserader, gleich nachdem sie die Oeffnung verlassen hat, erleidet, und die er daher vena contracta nannte. An der Oeffnung selbst ist die Geschwindigkeit des Wassers die der halben Höhe zugehörige, an der vena contracta aber ist sie der ganzen Höhe entsprechend. Die erste Geschwindigkeit sollte die Quantität des ausfließenden Wassers, die zweite aber die Bahn des Wasserstrahls bestimmen.

Diese Erklärung war ein wichtiger Schritt in Beziehung auf die Erkenntniß des Gegenstandes, aber sie schien auch zugleich, den mildesten Ausdruck zu brauchen, Newtons ersten Beweis sehr mangelhaft zu machen. In der zweiten Ausgabe der Prinzipien, im Jahre 1714, griff er dasselbe Problem auf eine ganz neue Art an. — Er nimmt hier an, daß, wenn ein cylindrisches Gefäß in seinem Boden eine Oeffnung hat, die Flüssigkeit als eine conoidische Masse angesehen werden kann, deren Basis in dem Wasserspiegel, und deren Scheitel in der Oeffnung liegt. Diesen Theil des Wassers nennt er den „Katarakt,“ und er zeigt, daß, während dieser Theil abwärts geht, die ihn umgebende übrige Wassermenge unbewegt bleibt, so als wenn sie gefroren wäre. Auf diese Art findet

---

4) Newton's Prinzipien. Buch II. Prop. 37.

er ein Resultat, das in Beziehung auf die Geschwindigkeit des Ausflusses mit den Experimenten des Torricelli übereinstimmt.

Man muß gestehen, daß die Annahme, durch welche dieses Resultat erhalten wird, etwas willkührlich ist, und dasselbe darf wohl auch von derjenigen gesagt werden, die Newton anwendet, um das Problem des ausfließenden Wassers mit dem des Widerstands eines im Wasser bewegten Körpers übereinstimmend zu machen. Allein selbst in unsern Tagen noch sind die Mathematiker nicht im Stande gewesen, die Probleme in der Bewegung der Flüssigkeiten auf mathematischen Prinzipien und Berechnungen zurückzuführen, ohne sich ähnliche willkührliche Voraussetzungen zu erlauben.

Daher ist aber auch die Wissenschaft der Bewegung der Flüssigkeiten, unähnlich allen übrigen Theilen der Mechanik, noch heutzutage ein Gegenstand, der noch immer der Experimente und Beobachtungen bedarf, um die fundamentalen Prinzipien derselben einmal fest zu stellen. Bereits sind viele solche Versuche angestellt worden, in der Absicht, entweder die Resultate der Berechnung mit den Beobachtungen zu vergleichen, oder, wenn diese Vergleichung nicht erwünscht ausfällt, wenigstens rein empirische Regeln zu erhalten. In dieser Beziehung wurde der Widerstand der Flüssigkeiten, und die Bewegung des Wassers in Röhren, Kanälen und Bächen häufig untersucht. Italien besonders hat schon seit langer Zeit viele Beobachter dieser Art aufzuweisen. Die früheren Versuche zu diesem Zwecke wurden in einer eigenen Sammlung von sechzehn Quartbänden aufgestellt. In den neueren Zeiten hat Lecchi und Michelotti um das Jahr 1765, und nach ihnen Bidone, diesen Gegenstand eifrig verfolgt. Bossut, Buat, und Hachette in Frankreich bearbeiteten denselben Gegenstand, so wie auch Coulomb, Prony, Girard und Poncelet. Eitelweins „Hydraulik" enthält die Nachrichten von diesen fremden und von seinen eigenen Untersuchungen. Viele von diesen Versuchen, besonders in Frankreich und Italien, wurden auf Kosten der Regierungen, und die meisten in großem Maßstabe gemacht. In England geschah in dieser Beziehung während dem letzten Jahrhundert weniger, als in andern Ländern. Die **Philosophical Transactions** der Londoner Societät z. B. enthalten kaum eine einzige Abhandlung über diesen Gegenstand, der sich auf eigene Experimente gründet [5]). Thomas Young, der in Beziehung auf so manchem anderen wissenschaftlichen Zweig an der Spitze seiner Landsleute stand, war auch einer der ersten, der die allgemeine Aufmerksamkeit wieder auf diesen Gegenstand zurückgeführt hat; Rennie aber und einige Andere haben vor Kurzem wieder einige schätzbare Versuche angestellt. In vielen Fällen ist die Uebereinstimmung zwischen der Rechnung und den Experimenten allerdings recht gut, aber die meisten dieser Rechnungen sind nur mit Hülfe von empirischen Formeln gemacht worden, die nicht zeigen, wie die beobachteten Erscheinungen mit ihren Ursachen zusammen hängen, und die daher noch viel zu wünschen übrig lassen, um daraus eigentliche Theorie dieses Gegenstandes ableiten zu können.

In der Zwischenzeit wurden indeß alle übrigen Theile der Mechanik auf allgemeine Gesetze und auf ein rein analytisches Verfahren zurückgebracht; ja man hat endlich selbst Mittel gefunden, auch die Hydrodynamik in diese allgemeinen analytischen Formeln mit einzuschließen, ungeachtet aller der Schwierigkeiten, die noch immer auf der Auflösung der meisten speziellen Probleme dieser Wissenschaft ruhen, wie wir in der Folge sehen werden.

Fünftes Kapitel.

Generalisation der Prinzipien der Mechanik.

Erster Abschnitt.

Generalisation des zweiten Gesetzes der Bewegung. Centralkraft.

Das zweite Gesetz der Bewegung war nur für konstante Kräfte, die in unter sich parallelen Richtungen wirken, bewiesen, so wie das dritte, wenigstens für alle direkten Wirkungen der Körper, ebenfalls als bewiesen angenommen werden konnte. Aber es erforderte ohne Zweifel noch ein ganz vorzügliches mathematisches Talent und eine besondere induktive Kraft des Geistes, um nun auch diejenigen Gesetze zu entdecken, durch welche die Bewegungen derjenigen Körper beherrscht werden, die unter sich selbst gegen-

5) Rennie, Report to Brit. Assoc.

seitig auf einander wirken, und die von Kräften getrieben werden, welche in Beziehung auf ihre Größe sowohl, als auch auf ihre Richtungen veränderlich sind. Darin besteht aber eben das, was wir hier die Generalisation jener zwei mechanischen Gesetze nennen.

Galilei hatte sich überzeugt, daß bei den auf der Oberfläche der Erde schief gegen den Horizont geworfenen Körpern die Geschwindigkeit des Wurfs sowohl, als auch diejenige Geschwindigkeit, die blos von der Wirkung der Schwere erzeugt wird, „jede für sich abgesondert bestehe, ohne daß die eine von der „andern verändert oder gestört, oder auf irgend eine Weise, bei „ihrem Zusammentritte, gehindert werden könne." Man muß jedoch bemerken, daß die Wahrheit dieses Resultats nur für den besonderen Fall galt, wo die Kraft, wie z. B. die Schwere, in allen ihren Richtungen als parallel angenommen werden kann. Wenn man aber solche Fälle betrachtet, wo dies nicht mehr Statt hat, wenn z. B. die Richtungen einer Kraft alle nach einem bestimmten Mittelpunkt gehen, so kann jenes Gesetz, der Trennung oder Zusammensetzung zweier Kräfte, nicht mehr auf den von Galilei eingeschlagenen Weg angewendet werden, und das Problem, in dieser Allgemeinheit aufgestellt, bot den Mathematikern mehrere, nicht unbedeutende Schwierigkeiten dar.

Eines dieser Hindernisse, das hier zu besiegen war, entsprang aus dem scheinbaren Mangel an Zusammenhang zwischen dem statischen und dynamischen Maaß der Kräfte. Wenn sich ein Körper in der Peripherie eines Kreises bewegt, so besteht die Kraft, die den Körper zu dem Mittelpunkt dieses Kreises drängt, blos in einem Bestreben zur Bewegung, da der Körper diesem Mittelpunkte in der That nicht näher kömmt. Dieses bloße Streben zur Bewegung wird hier mit der wirklichen Bewegung des Körpers verbunden, die in der Richtung der Peripherie des Kreises Statt hat. Auf diese Weise werden hier, wie es scheint, zwei ganz heterogene Dinge mit einander in Verbindung gebracht. Descartes hat diesen Umstand schon sehr wohl bemerkt, aber er konnte den Widerspruch, den er scheinbar involvirt, nicht auflösen [1]). Wenn man eine gegen oder von dem Mittelpunkte in der That statthabende Bewegung mit derjenigen kombinirt, die um diesen Mittelpunkt in der Peripherie des Kreises vor sich

1) Descartes, Princip. P. III. 59.

geht, so erhält man ein ganz unrichtiges Resultat. Galilei bemühte sich, auf diesem Wege die krumme Linie zu finden, die ein gegen den Mittelpunkt der Erde fallender Körper beschreibt, der zugleich an der täglichen Rotation der Erde um ihre Achse Theil nimmt, und er erhielt eine ganz falsche Auflösung dieses Problems. Kepler und Fermat versuchten ihre Kräfte an derselben Aufgabe, und sie erhielten eine von der des Galilei verschiedene, aber demungeachtet nicht minder falsche Auflösung derselben.

Selbst Newton hatte, in seinen früheren Jahren, noch eine irrige Ansicht von dieser krummen Linie, die er für eine Art von Spirale hielt. Als er diese seine Meinung im Jahr 1679 der Londoner Akademie mittheilte, bemerkte Hooke [6]), daß diese Curven, wenn man die Wirkung des Widerstandes der Luft unberücksichtigt läßt, „eine excentrische Ellipse," d. h. eine einer Ellipse ähnliche Figur sein müsse, was allerdings der Wahrheit schon näher lag. Aber obschon er die Form dieser Curve nähe-

---

6) Hooke (Robert), geb. 1635 auf der Insel Wight, wo sein Vater Pfarrer war. Im Jahr 1653 bezog er die Universität von Oxford. Einige Jahre darauf finden wir ihn als Assistent von Wallis und Robert Boyle bei ihren chemischen Experimenten. 1662 wurde er als Curator of experiments bei der k. Societät der Wissenschaften angestellt, von welcher er bald darauf auch ein ordentliches Mitglied wurde. 1664 wurde er Professor der Geometrie, und als er 1666 einen Plan zur Wiedererbauung Londons, das durch eine Feuersbrunst beinahe ganz zerstört war, eingereicht hatte, wurde er zum Aufseher der noch übrigen Gebäude dieser Stadt mit einem beträchtlichen Gehalte ernannt. Im Jahr 1667 folgte er dem Oldenburg als Sekretär der k. Societät; 1691 wurde er durch den Erzbischof Tillotson zum Doktor der Physik erhoben, und 1702 starb er von Arbeit und Nachtwachen erschöpft. Seine Leiche wurde von allen Mitgliedern der k. Societät begleitet, da er allgemein als einer der scharfsinnigsten und erfindungsreichsten Männer geachtet wurde, der zugleich eine seltene Dexterität im Beobachten und Experimentiren besaß. Seiner vielen Collisionen mit Newton wird im Text erwähnt. Seine wegen ihrem Inhalt merkwürdige, der k. Societät im Jahre 1674 vorgelegte Abhandlung über die Bewegung der Erde findet man in den Philos. Transact. N. 101, Seite 12. Auch seine Mikrographie, Lond. 1664 ist eine für ihre Zeit höchst merkwürdige Schrift. Die übrigen sehr zahlreichen Werke Hooke's findet man in Ward's Lives of the Gresham Professors, London, 1740. fol. L.

rungsweise auf einem Wege, den er nicht weiter angab, gefunden hatte, so haben wir doch keinen Grund, anzunehmen, daß er die Mittel besaß, die Eigenschaften derselben durch mathematische Analysis zu bestimmen.

Eigentlich konnte die immerwährende und jeden Augenblick statthabende Composition einer Centralkraft mit der bereits bestehenden Bewegung des Körpers, nicht mit Erfolg ohne Kenntniß der Infinitesimalrechnung, oder einer dieser ähnlichen Methode behandelt werden. Das erste mir bekannte Beispiel der richtigen Auflösung eines solchen Problems findet sich in den Theoremen, die Huyghens, über die Bewegung der Körper in Kreisen, am Ende seines Horologium Oscillatorium im Jahr 1673 aufgestellt hat. Hier wird gesagt, daß, wenn gleiche Körper in gleichen Zeiten die Peripherien von Kreisen zurücklegen, die Centralkräfte sich wie die Durchmesser dieser Kreise verhalten, und daß, wenn die Geschwindigkeiten dieser Körper gleich sind, die Centralkräfte sich wie verkehrt die Durchmesser der Kreise verhalten u. s. f. Um zu diesen Sätzen zu gelangen, mußte Huyghens auf irgend eine Weise das zweite Gesetz der Bewegung auf die Elemente des Kreises anzuwenden wissen, wie dies einige Jahre später Newton gethan hat, der auch den eigentlichen Beweis dieser Huyghens'schen Probleme in seinen Prinzipien mittheilt.

Die immer mehr sich aufdringende Ueberzeugung, daß die Bewegungen der Himmelskörper um die Sonne aus solchen Centralkräften entstehen, gab diesen mechanischen Spekulationen zu jener Zeit ein ganz besonderes, hohes Interesse. In der That ist es eine wohl dem Zwecke dieser Schrift angemessene, aber demungeachtet nicht leichte Sache, die Fortschritte der Mechanik von jenen der Astronomie immer getrennt zu halten. Demungeachtet sind auf der andern Seite diese beiden Gegenstände, schon durch ihre eigene Natur, so sehr verschieden, daß sie nicht wohl mit einander verwechselt werden können. Diese Verschiedenheit ist nämlich nahe dieselbe, wie die, welche zwischen einer blos logischen und einer objektiven Wahrheit statt hat. Diejenigen, welche sich mit der Ausbildung der Wissenschaft der Bewegung beschäftigten, hatten nur die Begriffe, die Namen und Regeln festzusetzen, durch welche oder welchen gemäß fernerhin jede mechanische Wahrheit ausgedrückt werden sollte; die Astronomen aber forschten nur nach den Ursachen von dem, was in der

Mechanik des Himmels als objektive Wahrheit durch ihre Beobachtungen erkannt wird. Auf diese Weise wurde zu der Zeit, von welcher wir hier sprechen, die theoretische Mechanik von der Astronomie in demselben Maße beherrscht, wie kurz zuvor die Statik von der Dynamik beherrscht und gleichsam, auf einige Zeit wenigstens, in den Hintergrund gestellt worden war.

Die Lehre von der Bewegung der Körper in krummen Linien, wenn veränderliche Kräfte auf sie wirken, wurde nicht weiter ausgebildet, bis die Erfindung der Differentialrechnung die Aufmerksamkeit der Mathematiker wieder auf jenen Gegenstand zurückgeführt hatte, der ihnen eine leichte und interessante Anwendung dieses neuen Kalkuls anbot. Davon macht jedoch Newton's großes Werk, dessen zwei erste Bücher rein dynamischen Inhalts sind, eine merkwürdige Ausnahme. Diese „Prinzipien" enthalten eine große Menge der schönsten Auflösungen sehr allgemeiner mechanischen Probleme, und sie gelten selbst jetzt noch für eine der vollständigsten Sammlung von Abhandlungen, die wir über diese Gegenstände besitzen.

Wir haben oben gesehen, daß Kepler bei seinem Versuche, die Bewegung der Planeten um die Sonne durch eine Centralkraft zu erklären, auf einen ganz falschen Weg gerathen ist, indem er voraussetzte, daß eine fortwährende Tangentialkraft oder eine Transversalkraft der Sonne, wie er sie nannte, nöthig sei, um eine solche Bewegung hervorzubringen. Galilei hatte seine Theorie der Wurfbewegung ohne die Annahme einer solchen Transversalkraft begründet. Borelli aber, der Schüler Galilei's, der im Jahr 1666 seine „Theorie der mediceischen Sterne" (der Jupiterssatelliten) herausgab, schien wieder, obschon auf eine etwas unklare Weise, demselben Fehler anzuhängen, der Keplern bei seinen Untersuchungen verführt hatte. Descartes nahm gewiß vorzüglich deßwegen seine Zuflucht zu der Theorie der Wirbel," weil es ihm an der deutlichen Ueberzeugung von oder an dem nöthigen Vertrauen zu der Existenz des ersten Gesetzes der Bewegung fehlte. Er ließ die Planeten und Kometen in einem Ocean von Aether, der über das ganze Weltall ausgegossen und selbst in immerwährender kreisförmiger Bewegung ist, um die Sonne kreisen, weil er sich vor der Idee entsetzte, diese Himmelskörper den über sie waltenden Kräften in einem ganz leeren Raume anzuvertrauen. Aber allmählig fing man doch an, den

Gegenstand mehr und mehr mit einem philosophischen Auge zu betrachten und der wahren Natur der Sache näher zu treten. Schon in dem Jahre 1666 fand man in den Memoiren der k. Gesellschaft zu London die Nachricht, „daß Hooke eine Abhand„lung vorgelesen habe, in welcher er die Beugung einer gerad„linigen Bewegung in eine krummlinige durch das Hinzutreten „einer anziehenden Kraft erklärte." Und noch vor der ersten Bekanntmachung der Prinzipien im Jahr 1687 hatte Huyghens in Holland, und Wren [7]), Halley und Hooke in England, schon sehr namhafte Fortschritte in der wahren Theorie der Kreisbewegung gemacht, wobei sie auch das Problem von der Bewegung eines Körpers, der durch eine Zentralkraft in einer Ellipse sich bewegt, wiederholt vorgenommen haben, jedoch ohne es gehörig auflösen zu können [8]). Halley reiste im Jahr 1684 in der Absicht nach Cambridge, um Newton über die Möglichkeit einer elliptischen Bewegung der Planeten durch eine Zentralkraft zu befragen, und am zehnten Dezember desselben Jahres berichtete er [9]) der Londoner Akademie, daß er Newtons Werk „De motu corporum" bereits bei ihm gesehen habe. Die Ahnung, daß man am Vorabende großer Entdeckungen in der Mechanik und Astronomie sei, war so stark, daß Halley von den Mitgliedern der Akademie ersucht wurde, Newton an seine

---

7) Wren (Christoph), geb. 1632 in Wiltshire, einer der gelehrtesten und berühmtesten Architekten. Er war Professor der Astronomie in Gresham-College zu London, und später zu Oxford, und zeichnete sich durch Arbeiten in beinahe allen Theilen der Mathematik und der Naturwissenschaften aus. Er erbaute das Sheldon-Theater in Oxford und das Pembrokkollegium in Cambridge. Nach dem großen Brand von London 1666 wurde sein Plan zur Erbauung einer neuen Stadt allen andern vorgezogen und nach seinen Entwürfen wurde auch die Paulskirche 1676 ausgeführt. Man zählt über 60 Kirchen und öffentliche Gebäude, die nach seinem Plan oder unter seiner Aufsicht vollendet wurden. Er starb 1723 und wurde in der Paulskirche begraben. Sein Grabstein trägt die Aufschrift: Si monumentum quaeris — circumspice. Er war Mitglied des Parlaments und Präsident der k. Gesellschaft der Wissenschaften. M. s. Elmes, Memoirs of the life and works of Sir Christopher Wren. Lond. 1823. L.

8) M. s. Newton, Princip. Schol. zu Prop. IV.

9) Drensters Leben Newtons, S. 154 und 184.

Zusage zu erinnern, seine Entdeckungen in den Geheimschriften der Akademie aufzubewahren, „um ihm dadurch das Recht der „Priorität bis zu der Zeit zu sichern, wo er seine Entdeckungen „selbst bekannt zu machen gedenkt.“ Am 28sten April 1686 wurde der Akademie von Newton sein Manuscript zugeschickt, das die Aufschrift trug: „Philosophiae naturalis principia mathematica.“ Vincent, der dieses Werk der Versammlung vorlegte, sprach von dem hohen Werthe und der Neuheit seines Inhaltes, und der Präsident der Akademie, (Sir. J. Hoskins), setzte mit vollem Rechte hinzu, „daß das Werk um so preiswürdiger sei, da der „Inhalt desselben beinahe in derselben Zeit erfunden und ausgebildet worden ist.“

Die Leser werden bemerken, daß wir hier von den Prinzipien nur als von einem Werke über die Mechanik sprechen. Wir werden späterhin sehen, daß dasselbe Werk auch zugleich die wichtigsten Entdeckungen in der mathematischen Analysis sowohl, als auch in der physischen Astronomie enthält. In Beziehung auf die Mechanik aber besteht das vorzüglichste Verdienst dieses Werkes darin, daß es einen wahrhaft bewunderungswürdigen Vorrath von feinen und sinnreichen mathematischen Kunstgriffen enthält, die der Verfasser anwendet, um viele sehr schwere und zugleich sehr allgemeine Probleme der Dynamik aufzulösen. Man kann nicht wohl sagen, daß es irgend eine neue induktive Entdeckung in Beziehung auf mechanische Prinzipien enthält, denn obschon „die Axiome und Gesetze der Bewegung,“ die im Anfange der Schrift stehen, die ersten Gründe der Mechanik viel deutlicher, bestimmter und allgemeiner enthalten, als man bisher in irgend einem andern Werke gefunden hatte, so läßt sich doch nicht behaupten, daß irgend einer derselben nicht schon früher von anderen ebenfalls aufgestellt oder doch angenommen gewesen wäre.

Demungeachtet hat dieses Werk, nebst seinem unbestrittenen Werth in Beziehung auf den feinen Scharfsinn, mit welchem jene ersten Gesetze der Bewegung auf die verschiedenen Probleme der Dynamik angewendet werden, und in Beziehung auf die großen astronomischen Entdeckungen, auf die wir später wieder zurückkommen wollen, noch das hohe philosophische Verdienst in der Geschichte der Mechanik, daß es zuerst eine klare und umfassende Conception von dem wahren Charakter und von den eigentlichen Funktionen dieser neuen Wissenschaft aufgestellt hat. „Eine rationelle Mechanik, sagt der unsterbliche Verfasser in „der Vorrede zu seinem Werke, soll die Wissenschaft der Be- „wegung, die von willkührlich gegebenen Kräften kommt, und „zugleich die Wissenschaft der Kräfte sein, die irgend eine gege- „bene Bewegung hervorbringen, beide mathematisch genau be- „stimmt und bewiesen. Denn gar manches veranlaßt mich, zu „glauben, daß alle Erscheinungen in der Natur von gewissen „Kräften hervorgebracht werden, durch welche entweder die Kör- „per und die Atome der Körper einander genähert, oder von „einander entfernt werden. Da aber diese Kräfte bisher ganz „unbekannt gewesen sind, so sind auch alle unsere Bemühungen, „die Ursachen jener Erscheinungen zu finden, vergeblich gewesen. „Ich hoffe, daß die in diesem Werke auseinander gesetzten Prin- „zipien einiges Licht über diese Gegenstände verbreiten werden, „um entweder den hier eingeschlagenen Weg weiter zu verfolgen, „oder um von ihm zu einem andern, bessern zu übergehen.“

Ehe wir aber diesen Gegenstand weiter verfolgen, müssen wir noch die Geschichte des dritten Gesetzes der Bewegung vollenden.

Zweiter Abschnitt.

Generalisation des dritten Gesetzes der Bewegung. Schwingungs-Mittelpunkt. Huyghens.

Das dritte Gesetz der Bewegung, es mochte nun mit Newtons Worten, (daß die Wirkung der Gegenwirkung gleich ist), oder auf irgend eine andere zu jener Zeit gebräuchliche Weise ausgedrückt werden, gab eine leichte Auflösung aller derjenigen mechanischen Probleme, die sich auf eine direkte Wirkung beziehen, wo nämlich ein Körper unmittelbar auf einen andern wirkt. Aber nun waren noch alle jene Probleme zurück, wo diese Wirkung indirekt ist, d. h. wo die Körper auf einander mittels Hebeln oder Ketten oder durch irgend ein anderes Mittelglied wirken. Wenn ein fester Stab, der durch zwei Körper geht, um seinen obersten Punkt in Schwingungen versetzt wird, so daß er eine Art von Pendel bildet, so wird von den beiden Körpern oder Gewichten das eine auf das andere mittels jenes Stabes wirken und von ihm wieder auf demselben Wege eine Gegenwirkung empfangen. Welches wird in diesem Falle die Folge aller dieser Wirkungen und Gegenwirkungen sein? In welcher Zeit wird dieses Pendel durch die Kraft der Schwere seine Oscillationen um den Aufhängepunkt vollenden? Welches ist der Punkt dieses Stabes, welches ist der Abstand dieses Punktes von dem Suspensionspunkt, in welchen ein einfaches Gewicht ohne jene Strenge angebracht, ganz in derselben Zeit, wie jenes Pendel, seine Schwingungen vollenden würde, d. h. mit andern Worten: Welches ist der Schwingungspunkt (centrum oscillationis) jenes Pendels?

Dies war die Aufgabe, (ein besonderer Fall nur von dem allgemeinen Probleme der indirekten Wirkung), welches die Mathematiker auflösen sollten. Daß es aber keine wegs leicht war, das Gesetz von der Mittheilung der Bewegung von den einfachsten Fällen auf jene fortzuführen, wo eine drehende Bewegung der Körper erzeugt wird, wird Newton selbst am besten bezeugen, der bei seiner Auflösung des Problems von der Präcession der Nachtgleichen in einen schweren Irrthum verfallen ist. Da nämlich der am Aequator hervorragende Theil des an seinen beiden Polen abgeglatteten Erdsphäroids, wenn er von der Sonne und dem Monde angezogen wird, der ganzen Masse der Erde eine kleine rotatorische Bewegung mittheilt, so gehört dieses Problem zu den hier in Rede stehenden Aufgaben der Mechanik. Nun nahm Newton an, daß, wenn ein Theil eines Körpers seine rotatorische Bewegung der ganzen Masse dieses Körpers mittheilt, daß dann die „Quantität der Bewegung" oder daß der „motus" des Körpers, wie er es nannte, durch diese Mittheilung nicht geändert werde. Dies ist auch allerdings wahr, wenn man durch jenen motus das versteht, was man in der Statik das Moment der Trägheit zu nennen pflegt, eine Größe, in welcher zwei Dinge, die Geschwindigkeit des Elements des Körpers und seine Entfernung von der Rotationsaxe, in Betrachtung gezogen werden. Aber Newton nahm bei seiner Berechnung blos auf die Geschwindigkeit des Elements Rücksicht, und sein motus war daher identisch mit dem, was wir Moment überhaupt nennen, welches letztere er auch früher bei allen den einfacheren Problemen gebraucht hatte, wo es sich um eine direkte Einwirkung eines Körpers auf einen andern handelte.

Derselbe Fehler Newtons wurde selbst in den spätern Ausgaben der Prinzipien beibehalten [10]).

Diese Frage von den Schwingungspunkten wurde schon etwas früher von Mersenne im Jahr 1646 vorgelegt [11]). Obschon aber dieses Problem ganz außer dem Bereiche der Prinzipien lag, die zu jener Zeit noch nicht bekannt waren, so hatten doch die damals lebenden Mathematiker wenigstens einige besondere Fälle desselben richtig aufgelöst, indem sie dabei ganz eben so zu Werke gingen, als hätten sie den „Mittelpunkt des Stoßes" (Centrum Percussionis) finden wollen. Dieser Mittelpunkt des Stoßes ist aber derjenige Punkt eines Körpers, um welchen herum die Momente aller Elemente desselben unter sich das Gleichgewicht halten, wenn sich der Körper um eine Achse dreht, und dessen Befestigung daher das Aufhören aller Rotation des Körpers zur Folge hat. Roberval [12]) fand diesen Mittelpunkt des Stoßes der Körper für mehrere einfache Fälle. Auch Descartes versuchte sich an demselben Probleme, und ihre beiderseitigen Arbeiten gaben zu heftigen Streitigkeiten unter ihnen Veranlassung. Descartes war, wie gewöhnlich bei allen seinen physischen Spekulationen, auch hier etwas anmaßend, obschon er in der That nur halb im Rechte war.

Huyghens war kaum aus seinem Knabenalter getreten, als Mersenne sein Problem bekannt machte. Jener konnte anfangs,

---

10) M. s. Princip. Buch III. Lemma III. zur Propos. 39.

11) Montucla, Hist. des Math. II. 423.

12) Roberval, geb. 1602 von armen Aeltern in Beauvais. In seiner Jugend that er Soldatendienste und ging 1629 nach Paris, wo er sich bald mit Mersenne und anderen Mathematikern verband. 1631 wurde er Professor der Philosophie im Collége royal als Nachfolger des Ramus. Er hatte sich eine eigene Methode erfunden, durch die er die schwersten Probleme auflöste, die er aber sorgfältig verborgen hielt, bis Cavalleri seine Méthode des indivisibles bekannt gemacht und ihm dadurch den Ruhm, die Differentialrechnung entdeckt zu haben, benahm. Mit Descartes und Toricelli lebte er lange in literarischen Fehden. Seine Arbeiten über den Mittelpunkt des Stoßes wurden von seinen Zeitgenossen sehr geachtet.

Er starb 1675. Seine Werke erschienen 1693 in einem Foliobande.

wie er selbst sagt [13]), durchaus kein Prinzip finden, das ihm einen Weg zu diesem Ziele bahnen möchte, und er würde daher gleich an der Schwelle zu diesem Geheimnisse zurückgeschreckt. Als aber im Jahr 1673 sein Horologium Oscillatorium herauskam, fand man den vierten Theil dieses Werkes jenen Problemen von dem Mittelpunkt der Schwingung (oder der Agitation, wie er es nannte) gewidmet. Das Prinzip, auf welches er seine Auflösungen gebaut hatte, war zwar nicht so einfach und einleuchtend, wie die, auf welche man späterhin dergleichen Probleme reduzirte, aber es war vollkommen richtig und allgemein, und führte daher auch in allen Fällen zu der wahren Auflösung. — Die Leser werden schon mehr als einmal in dem Laufe unserer Geschichte bemerkt haben, daß die komplicirten Prinzipien sich dem menschlichen Geiste gewöhnlich vor den einfachen und elementaren darstellen. Huyghen's Hypothese drückt er selbst mit den folgenden Worten aus: „Wenn mehrere Körper von der Kraft der „Schwere zugleich in Bewegung gesetzt werden, so können sie „sich nicht so bewegen, daß ihr Schwerpunkt höher steigt, als „der Ort, von dem er gefallen ist.“ Bei dieser Annahme ist es leicht zu zeigen, daß unter allen Verhältnissen der Schwerpunkt der Körper eben so hoch, als seine anfängliche Lage war, steigen wird, und diese Betrachtung führt sofort zu der Bestimmung der Schwingungen eines zusammengesetzten Pendels. In diesem so ausgedrückten Prinzip liegt zugleich die Idee, daß bei allen mechanischen Wirkungen der Schwerpunkt des Körpers als der Repräsentant des ganzen Körpers selbst betrachtet werden kann. Dieselbe Idee kann auch, wie wir gesehen haben, aus dem Axiom des Archimedes abgeleitet werden, und Huyghens selbst sucht im Verfolge seines Werks [14]) zu zeigen, er nehme mit seinem Prinzip eigentlich nichts anderes an, als daß ein schwerer Körper nicht von selbst aufwärts gehen kann. So klar nun aber auch das Prinzip des Huyghens ihm selbst erscheinen mochte, so wurde die Wahrheit desselben doch später von dem Abbé Catelan, einem eifrigen Cartesianer, angefochten. Catelan brachte seine eigenen Prinzipien zu Markte, die er für sehr evi-

---

13) **Huyghens, Horol. Oscillat.** Vorrede.

14) **Hor. Oscill.** S. 121.

dent ausgab, und aus denen er Folgerungen zu ziehen wußte, die mit denen des Huyghens im Widerspruche standen. Diese Prinzipien erscheinen uns jetzt, wo wir ihre Unrichtigkeit längst erkannt haben, sehr willkührlich gewählt zu sein. Eines derselben war: „In jedem zusammengesetzten Pendel ist die Summe der „Geschwindigkeiten der einzelnen Gewichte gleich der Summe der-„jenigen Geschwindigkeiten, welche diese Gewichte haben würden, „wenn jedes für sich das Pendel gebildet hätte.“ Ein anderes Prinzip des Catelan sagte aus, „daß die Schwingungszeit eines „zusammengesetzten Pendels das arithmetische Mittel aus den „Schwingungszeiten ist, welche jedes Gewicht haben würde, wenn „es für sich allein ein Pendel gebildet hätte.“ Huyghens zeigte seinem Gegner ohne Mühe, daß solche Voraussetzungen den Schwerpunkt des zusammengesetzten Pendels zu einer größeren Höhe treiben würde, als die, von welcher er gefallen ist. — Einige Zeit darauf betrat auch Jakob Bernoulli den Kampfplatz und trat sogleich auf Huyghens Seite. Während der Streit über diesen Gegenstand fortging, fing man an, einzusehen, daß die eigentliche Frage, um die es sich handelte, die sei, auf welche Art man das dritte Gesetz auf die indirekte Einwirkung der Körper anwenden soll, ob durch die Vertheilung der Wirkung und Gegenwirkung nach den Prinzipien der Statik, oder auf eine andere Weise. „Ich schlage es den Untersuchungen der „Mathematiker vor, sagte Bernoulli im Jahr 1686, welches „Gesetz der Mittheilung der Geschwindigkeit bei denjenigen be-„wegten Körpern stattbat, die an einem ihrer Endpunkte durch „eine feste Stütze, und an den anderen durch einen Körper ge-„halten werden, der sich ebenfalls, aber langsamer bewegt. Wird „der Ueberschuß der Geschwindigkeit, die ein Körper dem andern „mittheilt, so vertheilt, wie die Last bei dem Hebel?“ — Wird diese Frage, setzt er hinzu, bejaht, so ist Huyghens im Irrthum. — Aber dies war ein Mißverständniß. Das Prinzip, daß Wirkung und Gegenwirkung, wie bei dem Hebel, vertheilt wird; ist wahr, aber Bernoulli irrte, indem er diese Wirkung und Gegenwirkung durch die Geschwindigkeit messen wollte, welche die Körper in jedem Augenblicke besitzen, statt daß er dafür nur den Zuwachs der Geschwindigkeit hätte nehmen sollen, welcher die Schwere den Körpern in jedem folgenden Augenblicke mittheilt. Dies zeigte zuerst der Marquis von Hopital, der ganz richtig noch hinzusetzte, daß er hiemit der Aufforderung Bernoulli's vollkommen entsprochen zu haben glaube, diesen Gegenstand auf rein mathematischem Wege zu untersuchen.

Man kann daher annehmen, daß zu dieser Zeit der Satz, daß bei bewegten Körpern ihre gegenseitigen Einwirkungen den statischen Gesetzen unterliegen, bereits bekannt, obschon noch nicht vollständig erwiesen war. Indeß begegnete man immer noch manchen Schwierigkeiten bei der Anwendung und Erweiterung dieses Gesetzes. Jakob Bernoulli gab im Jahr 1703 einen „allgemeinen Beweis für die Bestimmung des Mittelpunkts des „Schwungs, der sich auf die Theorie des Hebels gründete.“ In diesem Beweise [15]) geht er von dem Prinzip aus, daß bewegte Körper, die durch Hebel verbunden sind, im Gleichgewichte stehen, wenn die Produkte ihrer Momente in die Länge ihrer Hebelsarme in entgegengesetzten Richtungen einander gleich sind. Für die Wahrheit dieses Satzes bezieht er sich auf Mariotte, der ihn für den Stoß der Körper bewiesen hatte [16]), und der, zu diesem Zwecke, die Wirkung eines Wasserstrahls auf einen Hebel untersucht, und das so gefundene Resultat auch noch auf manchem andern Wege geprüft hatte [17]). Ueberdies, meinte Bernoulli, ist dies Prinzip der Art, daß es von Niemand geläugnet werden kann. — Demungeachtet konnte diese Art von Beweis nicht gut für genügend betrachtet werden.

Daher nahm Johann Bernoulli diesen Gegenstand nach dem Tode seines Bruders wieder auf. Er machte seine Schrift „Meditatio de natura centri oscillationis“ im Jahr 1714 bekannt. In derselben nimmt er mit seinem Bruder an, daß die Wirkungen der Kräfte auf einen bewegten Hebel nach den gewöhnlichen, bekannten Gesetzen des Hebels vertheilt werden [18]). Die vorzüglichste Neuerung aber, die er hier einführte, bestand darin, daß er die Schwere, welche die Körper zu bewegen strebt, als eine Kraft betrachtete, die für verschiedene Körper auch vielleicht eine verschiedene Intensität hat.

---

15) Jac. Bernoulli, Op. II. 930.

16) Choq. des Corps. S. 296.

17) Ibid. Prop. XI.

18) Joan. Bernoulli, Meditatio. S. 172.

Zu derselben Zeit löste dieses Problem auch Brook Taylor [19]) in England nach denselben Prinzipien, wie Bernoulli, auf, woraus ein heftiger Streit über die Priorität dieser Entdeckung zwischen den englischen Mathematikern und jenen des Kontinents entstand. Auch Hermann [20]) in Petersburg gab in seiner „Phoronomie," die im Jahr 1716 erschien, einen eigenen Beweis, den er, wie er sagte, schon gefunden hatte, noch ehe er von dem des Joh. Bernoulli Kenntniß bekam. Hermann gründete seinen Beweis auf die „statische Aequivalenz der solicitatio gravitatis „und der vicaria solicitatio, die der in der That statthabenden „Bewegung jedes einzelnen Körpers entspricht," oder wie man

---

19) Taylor (Thomas), geb. 1758 zu London, widmete sich früh schon der Mathematik. Seine heimliche Ehe mit einer Jugendfreundin setzte ihn lange in eine hülflose Lage. Im Jahre 1804 gab er seine Uebersetzung des Plato in fünf Bänden, und bald darauf auch die des Aristoteles in neun Bänden, nebst mehreren alten griechischen Werken heraus. Unter seinen mathematischen Werken bemerken wir vorzüglich seine Grundsätze „der Infinitesimalrechnung." Er beschäftigte sich mit Erfolg mit der Bestimmung der Gestalt der Saiten, die durch ein gegebenes Gewicht gespannt, und dann bewegt werden. Am meisten Ruhm brachte ihm der nach ihm benannte Taylor'sche Lehrsatz, der zur Entwicklung der Funktionen im Reihen von sehr großem Nutzen ist.

20) Hermann (Jakob), geb. 16ten Juli 1678 zu Basel, wo er Theologie studirte und Bernoulli's math. Vorlesungen hörte. Im Jahr 1700 gab er seine erste Schrift zur Vertheidigung der von Leibnitz erfundenen Infinitesimalrechnung gegen Nieuwentydt, der diesen Kalkul angegriffen hatte, heraus, wodurch er in der mathematischen Welt bekannt und sofort durch Leibnitz zum Mitglied der Berliner Akademie erwählt wurde. Im Jahre 1707 wurde er Professor der Mathematik zu Padua, und 1727 ging er, auf Einladung Peters des Großen, nach Petersburg, um dem Großfürsten die Mathematik zu lehren, und die daselbst neu errichtete Akademie mit seinen Arbeiten aufrecht zu erhalten. Im Jahr 1731 ging er als Professor der moralischen Wissenschaften wieder nach Basel zurück, wo er am 11ten Juli 1733 starb. Sein vorzüglichstes Werk ist: De phoronomia sive de viribus et motibus corporum solidorum et fluidorum, Amsterdam 1716. Viele einzelne math. Abhandlungen von ihm findet man in dem Giornali de litterati d'Italia; in dem Journal helvetique, den Actis eruditor. Lipsiensium, und in den Memoiren der Akademie von Berlin und Petersburg. L.

dies in der neueren Sprache der Mechanik auszudrücken pflegt, „auf das Gleichgewicht zwischen der mitgetheilten und effektiven „Kraft.“

Johann Bernoulli und Hermann hatten gezeigt, wie es denn auch leicht zu finden war, daß das von Huyghens für seine Auflösung angenommene Prinzip in der That nur eine einfache Folgerung aus denjenigen elementaren Prinzipien war, die zu diesem Zweige der Mechanik gehören. Allein diese Huyghenische Annahme gab zugleich Gelegenheit zu einem sehr allgemeinen Lehrsatz, der von einigen Mathematikern jener Zeit als ein elementares Urgesetz, als ein Prinzip betrachtet wurde, durch welches das bisher gewöhnliche Maß der Kräfte ganz überflüssig gemacht werden sollte. Man nannte dieses Prinzip das Gesetz der Erhaltung der lebendigen Kraft.

Der Versuch, dieses Gesetz als ein allgemeines in der Mechanik aufzustellen, gab Gelegenheit zu einer der heftigsten und merkwürdigsten Streitigkeiten, die in der Geschichte dieser Wissenschaft vorkommen. Der berühmte Leibnitz hatte der erste dieses neue Gesetz aufgestellt. Im Jahre 1686 erschien sein Aufsatz in den Actis eruditor. Lips. unter dem Titel: „Kurzer Beweis „eines merkwürdigen Fehlers des Descartes und anderer, in „Beziehung auf das Naturgesetz, durch welches, wie jene glauben, „der Schöpfer immer dieselbe Quantität der Bewegung in der „Natur zu erhalten sucht, durch welches aber die Wissenschaft „der Mechanik ganz verdorben wird.“ Das Prinzip, daß in der Natur dieselbe Quantität der Bewegung, also auch dieselbe bewegende Kraft immer erhalten wird, folgt aus der Gleichheit der Wirkung und Gegenwirkung, obschon Descartes dafür, nach seiner Weise, einen theologischen Grund aufgestellt hat. Leibnitz gab zu, daß die Quantität der bewegenden Kraft immer dieselbe bleibe, aber er läugnete, daß diese Kraft durch die Quantität der Bewegung oder durch das Moment gemessen werde. Er behauptete, daß dieselbe Kraft erforderlich ist, ein Gewicht von einem Pfunde durch vier Fuß, oder ein Gewicht von vier Pfunden durch einen Fuß zu heben, obschon die Momente in diesen beiden Fällen sich, wie eins zu zwei, verhalten. Dagegen trat der Abbe de Conti auf, der richtig bemerkte, daß, wenn man auch zugibt, daß die Wirkungen in jenen zwei Fällen dieselben sind, daraus noch nicht die Gleichheit der Kräfte folge, da in dem ersten Falle die Wirkung erst in der doppelten Zeit hervorgebracht werde, weshalb man auch in diesem Falle die Kraft nur halb so groß nehmen müsse. Allein Leibnitz beharrte bei seinem neuen Satze, und setzte im Jahr 1695 seine Distinktion fest zwischen der todten Kraft, wie er den Druck nannte, und der lebendigen Kraft, welche letzte Benennung er dem von ihm eingeführten Maße der Kraft gegeben hatte. Er trat darüber in eine umständliche Correspondenz mit Johann Bernoulli, den er, in dieser Beziehung, zu seiner Ansicht bekehrt hatte, oder vielmehr, wie Bernoulli selbst sagte[21]), den er hierin für sich selbst denken ließ, und dieser Briefwechsel endete damit, daß Bernoulli nun auf eine strenge und direkte Art bewies, was Leibnitz nur auf eine sehr indirekte Weise als seine Erfindung vertheidigt hatte. Unter anderen nahm sich Bernoulli heraus, zu zeigen, daß, wenn man das bisher gewöhnliche Maß der Kräfte beibehielte, daraus die Möglichkeit eines mobile perpetuum folgen würde, was aber unrichtig ist.

Es wäre leicht, eine große Menge von Problemen anzugeben, die sich, mit Hülfe dieses Prinzips von der Erhaltung der lebendigen Kraft, auf eine sehr einfache und angemessene Weise auflösen lassen, indem man nämlich annimmt, daß die Kraft dem Quadrate der Geschwindigkeit, nicht aber, (wie dies in der That der Fall ist), der Geschwindigkeit selbst proportional sei. Um z. B. dem abgeschossenen Pfeile die doppelte Geschwindigkeit zu geben, muß die Spannung des Bogens viermal größer gemacht werden, und so kann man sich auch dieses Satzes in allen denjenigen Fällen bedienen, wo man auf die Zeit, in welcher eine bestimmte Wirkung hervorgebracht werden soll, keine Rücksicht nehmen will.

Indeß erregte dieser Gegenstand die allgemeine Aufmerksamkeit erst in einer spätern Periode. Die Pariser Akademie der Wissenschaften hatte im Jahr 1724 die Bestimmung der Gesetze des Stoßes der Körper zu einer Preisfrage gemacht. Bernoulli schrieb, als Mitwerber um diesen Preis, eine Abhandlung nach den Leibnitz'schen Prinzipien, die zwar den Preis der Akademie nicht erhielt, aber doch von derselben mit einer ehren=

---

21) Joan. Bern. Op. III. 40.

vollen Erwähnung dem Drucke übergeben wurde [22]). Die Ansichten, die Bernoulli in dieser Schrift vertheidigt und erläutert, wurden von mehreren Mathematikern angenommen. Die andern aber wußten den über diese Ansichten entstandenen Streit bald von der mathematischen auf die ganze übrige wissenschaftliche Welt zu verbreiten, was damals sehr leicht war, da man auf die Disputationen der Mathematiker zu jener Zeit sehr aufmerksam war, indem sich eben erst der große Kampf zwischen den Anhängern Newtons und Descartes erhoben hatte.

Demungeachtet war zu derselben Zeit das Interesse dieser Untersuchungen, so weit sie die Prinzipien der Dynamik betrafen, als bereits erloschen zu betrachten, da die eigentlichen Anführer des Kampfes unter sich als einverstanden, und da die eigentlichen Gesetze der Bewegung als unveränderlich aufgestellt, betrachtet werden konnten. Nur die Frage war noch übrig, wie man diese abstrakten Gesetze am besten und zweckmäßigsten ausdrücken soll; eine metaphysische mehr, als eine rein physische Frage, also eine solche, an deren Beantwortung die „Buchphilosophen," wie sie Galilei spottend nannte, auch mit Theil nehmen konnten. In dem ersten Bande der Memoiren der Petersburger Akademie, der in dem Jahre 1728 herauskam, erschienen drei solche Leibnitz'sche Abhandlungen von Hermann, Bullfinger und Wolff. In England zeigte sich Clarke [23]) als ein eifriger Gegner der deutschen Mathematiker, die im Gegentheil Gravesande [24]) wieder zu vertheidigen suchte. In

22) Jean Bernoulli, Discours sur les loix de la communication du mouvement.

23) Clarke (Samuel), geb. 1675, erhielt seine wissenschaftliche Bildung auf der Universität zu Cambridge, und hat sich durch seine theologischen, philologischen und mathematischen Schriften ausgezeichnet. Für sein bestes Werk werden seine acht Predigten of the being and attributes of God gehalten. Durch sein Werk über die Dreieinigkeit zog er sich viele Unannehmlichkeiten zu. Wir haben von ihm eine Uebersetzung von Newtons Optik in die lateinische Sprache. Seine schöne Ausgabe des Homer konnte erst sein Sohn, Samuel, vollenden. Er starb 1729.

24) Gravesand (oder Wilhelm van s' Gravesande), geb. 1688 zu Holland, Professor der Mathematik und Astronomie zu Leyden, wo

Frankreich hatte Mairan [25]) im Jahr 1728 die „lebendige Kraft“ der Leibnitzianer angegriffen, und zwar „mit scharfen und siegreichen Waffen,“ wie die Marquisin von Chatelet in der ersten Ausgabe ihrer Abhandlung von dem „Feuer“ sagte [26]). Allein bald darauf wurde das Schloß von Cirey, wo die Marquisin mit Voltaire sich gewöhnlich aufhielt, eine wahre Pflanzschule aller Leibnitz'schen Theorien und der Vereinigungspunkt der vorzüglichsten Anhänger der „lebendigen Kraft.“ „Schnell änderte „sich nun, sagt Mairan, die Sprache dieser Leute, und die Vis „viva wurde an der Seite der Monaden auf den Thron erhoben.“ Die gelehrte Dame bemühte sich, ihr früheres Lob, das sie dem Mairan so freiwillig gespendet hatte, wieder zurückzuziehen, indem sie das Gewicht ihrer neuen Gründe in die andere Schale der Wage legte. Aber die große Frage blieb demungeachtet noch länger unentschieden, und selbst ihr alter Freund Voltaire wollte sich nicht bekehren lassen. Er schrieb im Jahr 1741 ein Memoire „Ueber das Maß und die Natur der bewegenden Kraft,“ in welchem er noch die älteren Meinungen in seinen Schutz nehmen wollte. Endlich erklärte d'Alembert im Jahr 1743 die ganze Controverse als einen blosen Wortstreit, wie sie es denn auch in der Art war, und da die Dynamik zu derselben Zeit durch d'Alembert, eine ganz neue Gestalt annahm, so konnte jener Wortwechsel für die eigentliche Mathematiker kein weiteres Interesse mehr haben.

Die eigentliche Aufstellung der Gesetze der Bewegung in ihrer allgemeinsten Gestalt und in der Sprache der mathematischen Analysis wurden in der That erst in d'Alembert's Zeiten vollendet, obschon die erste Entdeckung derselben, wie gesagt, in eine frühere Periode fällt. Die letzte analytische Gestalt dieser Ge-

---

er auch 1742 starb. Er ist als Mathematiker, Physiker und Philosoph ausgezeichnet. Seine Oeuvres philos. et mathém. erschienen zu Amsterdam 1774 in zwei Bänden.

25) Mairan (Jean Jaques), geb. 1678 zu Beziers in Frankreich, als Physiker und Mathematiker bekannt. Seine zahlreichen Arbeiten sind meistens in den Mem. der Pariser Akademie, und in dem Journal des Savans enthalten. Sein vorzüglichstes Werk ist sein Traité de l'aurore boréale. Paris 1731. Er starb 1771 zu Paris. L.

26) Montucla, Hist. des mathem. III. 640.

setze, die sich auf die von d'Alembert zuerst sogenannten „verlorenen Kräfte“ bezog, wurde nicht sowohl durch einen einzelnen Mann, sondern vielmehr durch die Vereinigung aller vorzüglichen Geometer am Ende des siebenzehnten Jahrhunderts in die Wissenschaft eingeführt. Huyghens, Mariotte, Jakob und Johann Bernoulli, l'Hopital, Leibnitz, Kepler und Hermann, jeder trug seinen Theil zu diesem größten und letzten Vorschritt der Dynamik bei, ohne daß man einem derselben eine besondere reelle induktive Spürkraft in dem, was er selbst geleistet hat, zuschreiben könnte, Huyghens ausgenommen, welcher der erste das Prinzip in derjenigen Form ergriff, durch welche er selbst den Mittelpunkt des Schwungs bei allen Körpern gefunden hat. In der That wurden die Fortschritte und Erweiterungen, welche das Prinzip des Huyghens in der Folge erhielt, gleichsam schon von der Sprache selbst, in welcher diese seine Nachfolger schrieben, eingeleitet, und es war wohl viel Sorgfalt und Scharfsinn nöthig, um die alten Fälle, auf welche das Gesetz bereits richtig angewendet war, von denjenigen zu unterscheiden, auf die es noch angewendet werden sollte.

Sechstes Kapitel.

Folgen der Generalisation der Prinzipien der Mechanik. Periode der mathematischen Deduktion. Analytische Mechanik.

Wir haben nun die Geschichte der Entdeckung der mechanischen Prinzipien, dieselben im engern Sinne genommen, vollendet. Die drei Gesetze der Bewegung, in der Allgemeinheit, in welcher wir sie betrachtet haben, aufgefaßt, enthalten die Materialien des ganzen Gebäudes der wissenschaftlichen Mechanik, und in der nun folgenden Geschichte der Wissenschaft werden wir keiner neuen Wahrheit begegnen, die nicht schon, mittelbar wenigstens, in jenen drei Gesetzen enthalten wäre. Es mag daher manche bedünken, daß Alles noch Uebrige unserer Erzählung vergleichungsweise nur ein geringes Interesse der Leser in Anspruch nehmen werde. Auch wollen wir nicht behaupten, daß die Anwendung und die große Erweiterung eines wissenschaftlichen Prinzips für die Philosophie der Geschichte der Wissenschaft eben so wichtig sei, als die Entdeckung desselben. Demungeachtet gibt es noch gar manche Stellen des Weges, den wir noch zu durchlaufen haben, die unsere Aufmerksamkeit in sehr hohem Grade verdienen, und die daher wenigstens einen schnellen Ueberblick dieses letzten Theils der Geschichte der Mechanik für unseren Zweck nothwendig machen.

Die Gesetze der Bewegung werden durch Zeichen des Raums und der Zeiten ausgedrückt. Die Entwicklung der Folgen dieser Gesetze gehört daher in das Gebiet der Mathematik, und da die letzte in zwei Theile, in die Algebra und in die Geometrie, zerfällt, so wird auch die Wissenschaft der Bewegung, je nachdem sie durch den einen, oder durch den andern Theil der Mathematik behandelt wird, eine analytische oder eine rein geometrische Gestalt annehmen; sie wird überdies, gleich der Mathematik, entweder von den einfachen Fällen beginnen, und zu einer höheren und zusammengesetzten fortschreiten, oder auch zuerst die allgemeinsten Sätze aufstellen, um aus ihnen die specielleren Fälle abzuleiten; sie wird sich endlich die neuen Kunstgriffe und Entdeckungen der Mathematik anzueignen, und zu ihrem Zwecke zu verwenden suchen. Wir wollen die vorzüglichsten Veränderungen, welche die Mathematik auf diesen Wegen erhielt, hier in Kürze anzeigen.

1) Geometrische Mechanik. Newton. — Die erste große systematische Abhandlung der Mechanik, das Wort in seinem allgemeinsten Sinne genommen, ist in den zwei ersten Büchern der Prinzipien Newtons enthalten. In diesem Werke ist die geometrische Methode vorherrschend, da nicht einmal der Raum hier symbolisch, d. h. durch Zahlen, sondern da selbst die Zahlen, durch welche man die Zeiten oder die Kräfte zu messen pflegt, nur wieder durch Räume vorgestellt, und da die Gesetze der Veränderungen aller dieser Größen wieder nicht durch Zahlen, sondern blos durch Eigenschaften von krummen Linien bezeichnet werden. Es ist sehr bekannt, daß Newton in der schriftlichen Darstellung der von ihm gefundenen Resultate diese Darstellungsart vorzugsweise gewählt hat, selbst wenn er die Entdeckung derselben vielleicht auf dem Wege der analytischen Berechnung gefunden hatte. Die Anschauung des Raumes schien

ihm, und eben so vielen seiner Nachfolger, ein besseres und deutlicheres Mittel zur Erkenntniß, als die Operationen der symbolischen Sprache der mathematischen Analysis.

Hermann, dessen Phoronomie das nächstfolgende große Werk über Mechanik ist, verfolgte denselben Weg, indem er immerwährend krumme Linien anwendet, die er die „Scalen der Kräfte, der Geschwindigkeiten" u. s. zu nennen pflegt. Die zwei ersten Bernoulli, und andere Mathematiker derselben Zeit bedienten sich ähnlicher Mittel, und wir sehen selbst jetzt noch die Spuren derselben in mehreren Ausdrücken z. B. bei der „Reduktion eines Problems auf Quadraturen," wo man den Flächeninhalt von denjenigen Curven sucht, die man bei dieser Methode anwendet.

2) Analytische Mechanik. Euler. — Wie die Analysis mehr ausgebildet wurde, fing sie an, die Geometrie zu beherrschen. Man fand bald, daß sie ein leichteres und kräftigeres Instrument ist, um zu neuen, meistens sehr allgemeinen Resultaten zu gelangen, und daß sie eigenthümliche Vorzüge besitzt, die, obschon sehr verschieden von denen der Geometrie, doch für alle diejenigen, die sich mit ihrer Sprache vertraut gemacht haben, besondere Reize entwickeln. Derselbe Mann, der am meisten dazu beitrug, der Analysis die Allgemeinheit und die Symmetrie zu geben, die jetzt ihre schönste Zierde ist, war auch der eigentliche Gründer der analytischen Mechanik: Leonhard Euler. Er begann seine Unternehmung in verschiedenen Memoiren in den ersten Bänden der Petersburger Akademie, und im Jahr 1736 gab er seine Mechanica seu motus scientia in zwei Quartbänden heraus. In der Vorrede zu diesem Werke sagt er, daß zwar die Auflösungen von Newton und Hermann vollkommen genügend wären, daß er aber eigene Schwierigkeiten in der Anwendung derselben auf neue Probleme gefunden habe, selbst wenn sie nur wenig von den älteren verschieden sind, weswegen er es versuchen wolle, das, was jene auf synthetischem Wege gefunden hatten, auf den analytischen darzustellen.

3) Mechanische Probleme. — In der That hat aber Euler nicht blos eine rein analytische Methode für die Mechanik aufgestellt, sondern er hat auch den Reichthum und die Vorzüge dieser Methode in ihrer Anwendung auf beinahe zahllose Beispiele gezeigt. Sein hohes mathematisches Talent, sein langes

und thätiges Leben, und der Eifer, mit dem er seinen Gegenstand verfolgte, machten ihn zu einen der größten Beförderer der mathematischen Wissenschaften überhaupt und insbesonders der Mathematik, zu welcher letzten sich ihm die Gelegenheiten beinahe auf allen Seiten darboten. Eines seiner Memoiren beginnt mit der Bemerkung, daß er sich zufällig des Verses aus Virgil erinnerte:

Anchora de prora jacitur, stant litore puppes,

und daß er nicht umhin konnte, die Natur der Bewegung des Schiffs unter den hier beschriebenen Verhältnissen durch Rechnung zu untersuchen. Noch am letzten Tage seines Lebens hatte er in den Zeitungen eine Nachricht über einen Luftballon gelesen, dessen Bewegungen er sogleich zu berechnen suchte. Man fand ihn entseelt, vom Schlage getroffen, und neben ihm die Schiefertafel mit der unvollendeten Rechnung. — So groß war die wissenschaftliche Thätigkeit und Fruchtbarkeit dieses Mannes, daß seine Aufsätze den größten Theil jedes Bandes der Petersburger Akademie von 1728 bis zu seinem Todesjahre 1783, einnahmen, und daß er derselben Akademie die Zusage machen konnte, sie noch zwanzig Jahre nach seinem Tode mit seinen Memoiren zu versehen, ein Versprechen, das er beinahe doppelt erfüllte, da die Gedenkschriften dieser Gesellschaft noch bis zu dem Jahre 1818 mit seinen Aufsätzen angefüllt blieben. Man kann sagen, daß er und seine Zeitgenossen diesen Gegenstand beinahe erschöpft haben, da man unter den seitdem behandelten Problemen nur sehr wenige findet, welche Jene nicht wenigstens berührt haben.

Ich werde aber bei diesen einzelnen Problemen um so weniger verweilen, da der nächste große Schritt der analytischen Mechanik, die Bekanntmachung des Prinzips von d'Alembert im Jahre 1743, das Interesse, welches jene isolirten Probleme zu ihrer Zeit gehabt haben mögen, größtentheils vernichtet hat. Die Memoiren der Akademien von Paris, Berlin und Petersburg aus dieser Zeit sind mit verschiedenen hieher gehörenden Untersuchungen und Aufgaben versehen. Diese beschäftigen sich größtentheils mit der Bestimmung der Bewegungen verschiedener Körper, mit oder ohne Gewicht, die auf einander durch Drähte, Stangen oder Ketten wirken, an welche sie befestigt sind, oder längs welchen sie frei gleiten können, und die, nach einem gegebenen anfänglichen Anstoß, entweder sich selbst im freien Raume überlassen, oder gezwungen sind, sich auf gegebenen Curven und Flächen zu bewegen. Das Huyghen'sche Prinzip von der Bewegung des Schwerpunkts war der gewöhnliche Grund, auf den alle diese Auflösungen gebaut wurden, doch war man auch gezwungen, je nach der Natur der Aufgabe, andere Prinzipien zu Hülfe zu rufen, und es gehörte oft viel Geschick und Scharfsinn dazu, für jeden besondern Fall das angemessenste Prinzip aufzufinden. Diese Probleme wurden eine längere Zeit durch als eine Prüfung des mathematischen Talents betrachtet, daher sie auch in den öffentlichen Blättern zur Auflösung vorgelegt wurden. D'Alembert machte dieser Art von gegenseitigen Herausforderungen ein Ende, indem er eine direkte und ganz allgemeine Methode angab, jedes nur denkbare mechanische Problem aufzulösen oder doch durch Differentialgleichungen auszudrücken, deren Integration dann der eigentlichen mathematischen Analysis überlassen werden konnte.

4) D'Alemberts Prinzip. — Das Prinzip d'Alemberts ist eigentlich nur der analytische Ausdruck, aber in der allgemeinsten Gestalt, von demjenigen Prinzip, das Johann Bernoulli, Hermann und andere zur Auflösung des Problems von dem Schwingungspunkte gebraucht haben. Es wurde auf folgende Weise ausgedrückt. — „Die Bewegung, die jedem einzelnen Theile eines Körpersystems von den auf dasselbe wirkenden „Kräften mitgetheilt wird, kann in zwei Bewegungen aufgelöst „werden: in die effektive und in die verlorene Bewegung „des Systems. Die effektive ist die in der That statthabende „Bewegung des Systems und aller seiner Theile, und die verlorene ist der Art, daß sie, wenn sie allein in dem Systeme „statt hätte, dasselbe im Gleichgewichte erhalten würde."

Die bisher angenommene Unterscheidung zwischen Statik (der Lehre von dem Gleichgewicht) und zwischen Dynamik (der Lehre von der Bewegung) war, wie wir gesehen haben, wesentlich und in der Natur des Gegenstandes begründet. Auch hatten die Mathematiker bisher die viel größere Schwierigkeiten dieses letztern Theils der Mechanik sehr wohl erkannt. Durch d'Alemberts Prinzip wurde nun jedes dynamische Problem auf ein statisches zurückgebracht, und dadurch der Wissenschaft selbst eine neue Gestalt gegeben. (Allerdings bieten die Integrationen der Differentialgleichungen, die man durch dieses Prinzip erhält, oft sehr große Schwierigkeiten dar, aber diese gehören der Mathematik, nicht der Mechanik an, und sie werden immer geringer werden, je mehr sich die mathematische Analysis in der Folge ausbilden wird. Zwar gibt es noch immer einige Fälle, wo andere, einfache und direkte Betrachtungen, schneller und bequemer zum Ziele führen, allein dies kann der Vortrefflichkeit der von d'Alembert vorgeschlagenen Methode eben so wenig Eintrag thun, als man z. B. die sogenannte „analytische Geometrie" aus dem Grunde nicht geringer achten wird, weil sich einige Probleme durch die gewöhnliche Geometrie kürzer oder bequemer auflösen lassen, als durch die analytische. L.)

5) Bewegung in widerstehenden Mitteln. Ballistik. — Obschon Johann Bernoulli immer nur mit Bewunderung von den Prinzipien Newtons sprach, so konnte er sich doch nicht enthalten, in diesem Werke Mängel und Fehler, wahre oder erdichtete, aufzusuchen. Gegen Newtons Bestimmung der Bahn eines Körpers, der an irgend einem Orte unseres Sonnensystems mit einer bestimmten Kraft und Richtung geworfen wird, brachte er Einwürfe, von denen man schwer begreifen kann, wie ein Mathematiker seines Gewichtes darauf kommen und sie sogar für wohlbegründet halten konnte. Gegründeter ist sein Tadel gegen Newtons Bestimmung der Bewegung der Körper im widerstehenden Mittel. Bernoulli wies den Fehler in Newtons Auflösung nach, und der letzte erhielt davon Nachricht, im Oktober 1712, als eben die zweite Ausgabe der Prinzipien, die Cotes [1]) in Cambridge besorgte, geschlossen werden

---

1) Cotes (Roger), geb. 1682 in England, einer der ausgezeichnetsten Mathematiker, Professor der Astronomie und Physik zu Cambridge, wo er im Jahr 1713 die zweite Ausgabe von Newtons Prinzipien besorgte, und sie mit einer trefflichen Vorrede begleitete. Die Philos. Transact. von 1714—16 enthalten mehrere seiner sehr geschätzten Aufsätze. Er starb 1716 im 34sten Jahre seines Lebens. In der reinen Mathematik entdeckte er den nach ihm benannten Satz über die Eintheilung der Kreisperipherie. Der größte Theil seiner Schriften wurde 1722 zu Cambridge unter der Aufschrift: Harmonia mensurarum, herausgegeben, ein noch jetzt lehrreiches und interessantes Werk; 1738 erschie-

sollte. Newton vernichtete sogleich das Blatt seines Werkes, welches diese Auflösung enthielt und verbesserte den Fehler [2]).

Dieses Problem von der Bewegung der Körper im widerstehenden Mittel führte zu einer andern Collission zwischen den Mathematikern Englands und Deutschlands. In Newtons Werken ist blos eine indirekte Bestimmung der Curven gegeben, die ein in der Luft geworfener Körper beschreibt, und es ist wahrscheinlich, daß Newton zur Zeit, als er die Prinzipien schrieb, keinen Weg zu einer direkten und vollständigen Auflösung seines Problems gesehen hat. Als späterhin, im Jahr 1718, der Kampf zwischen den Anhängern von Newton und Leibnitz heißer wurde, schlug Keill [3]), der als Kempe auf Newtons Seite auftrat, dieses Problem den Mathematikern des Festlandes in Gestalt einer Herausforderung vor. Keill dachte wahrscheinlich, daß, was Newton nicht finden konnte, auch keiner seiner Zeitgenossen finden werde. Aber die eifrige Kultur der mathematischen Analyse bei den Deutschen hatte ihnen eine Kraft verliehen, welche die Erwartungen der Engländer weit übertraf. Die letzten aber hatten, was auch sonst ihre Talente sein mochten, in dem Gebrauch der allgemeinen analytischen Methoden seit Newton nur geringe Fortschritte gemacht, indem sie eben durch die Bewunderung dieses großen Mannes, lange Zeit gleichsam auf

---

nen noch seine Vorlesungen über Hydrostatik und Pneumatik. Newton soll bei dem Tod seines jungen Freundes gesagt haben:

If Cotes had lived, we had kown something. L.

2) M. S. Correspondence in Trin. Coll. Library.

3) Keill (Johann), geb. 1671 zu Edinburg, ein ausgezeichneter Mathematiker, Professor der Astronomie zu Oxford und einer der eifrigsten Anhänger und Verbreiter der neuen Lehre Newtons. Seine Prüfung der Burnet'schen Theorie der Erde, 1698, hatte mehrere Streitschriften zwischen ihm, Burnet und Whiston zur Folge. Noch haben wir von ihm seine früher sehr geschätzte Introductio ad veram physicam, 1700 und 1705. Am bekanntesten wurde er durch seine Streitigkeiten mit Leibnitz über die Erfindung der Differentialrechnung, die er ganz dem Newton vindiciren wollte. M. s. den Anfang dieses Streits in der Philos. Transact. für das Jahr 1708. Sehr gerühmt wurde auch zu seiner Zeit seine Introductio ad veram astronomiam, Lond. 1718 und 1721. Er starb 1721. L.

der Stelle festgebannt schienen, auf die sie durch Newton gestellt worden waren. — Bernoulli löste das von Keill aufgestellte Problem in kurzer Zeit, und forderte nun, wie es der Billigkeit und dem Ehrengesetze jener Herausforderungen vollkommen gemäß war, Keill auf, auch seine eigene Auflösung vorzuzeigen. Allein dieser war nicht im Stande, jenem Verlangen zu genügen. Er versuchte einige Zeit durch die Sache zu verschieben, und nahm endlich seine Zuflucht zu sehr armseligen Ausflüchten. Nun gab Bernoulli seine Auflösung mit sehr gerechten Ausdrücken der Mißachtung für seinen Gegner. — Diese direkte Bestimmung der Bahn der geworfenen Körper im widerstehenden Mittel kann vielleicht als die erste wesentliche Erweiterung des Newton'schen Werkes durch seine Nachfolger betrachtet werden.

6) Stellung und Verbindung der Mathematiker. — Nur mit großer Bewunderung gehen wir durch die lange Reihe von ausgezeichneten Mathematikern, die seit Newton bis auf unsere Zeit an der Ausbildung der mechanischen Wissenschaften gearbeitet haben. In der ganzen Geschichte der Menschheit gibt es keinen anderen Kreis von wissenschaftlichen Männern, deren Ruhm größer und glänzender gewesen wäre. Die für immerwährende Zeiten merkwürdigen Entdeckungen des Copernikus, Galilei, Kepler und Newton hatten aller Augen auf den erhabensten Gegenstand der menschlichen Erkenntniß gerichtet, an welchen nun die Nachfolger jener Männer ihre besten Kräfte versuchten. Die mathematische Sicherheit, die mit dieser Gattung von Kenntnissen verbunden ist, schien diejenigen, die sich derselben weihten, weit über alle anderen wissenschaftlichen Männer zu erheben, und die Schönheit der auf diesem Felde gewonnenen Entdeckungen, so wie die Schärfe und Feinheit des menschlichen Geistes, die sich hier in ihrer vollsten Kraft entwickelte, schien die unbegrenzte Bewunderung der Mit- und Nachwelt an sich zu fesseln. Die Nachfolger von Newton, Leibnitz und Bernoulli, Männer wie Euler, Clairaut, d'Alembert, Lagrange, Laplace, der noch lebenden zu geschweigen, werden immerdar als die höchstgestellten, talentreichsten verehrt werden, welche die Erde in irgend einer Zeit getragen hat. Daß übrigens ihr Geist von dem jener ersten Entdecker der Naturgesetze, größtentheils wenigstens, verschieden war, werde ich an einem anderen Orte Gelegenheit haben, aus-

einanderzusetzen. Hier aber ist der Ort, die vorzüglichsten Leistungen der erstgenannten Männer in Kürze aufzuzählen.

Mehrere von ihnen erscheinen durch sociale Verhältnisse unter einander verbunden. Euler war der Zögling der ersten Generation der Bernoullis, so wie der innige Freund der zweiten Generation dieser Familie, und alle diese außerordentlichen Männer, so wie auch Hermann, stammten aus der Stadt Basel, die, als Wiege des mathematischen Talents, keine ihr ebenbürtige Nebenbuhlerin erkennt. In dem Jahre 1740 besuchten Clairaut und Maupertuis den Johann Bernoulli in jener Stadt, diesen Nestor der Mathematiker seiner Zeit, der von hohem Alter und noch höherem Ruhme bedeckt, im Jahre 1748 starb. Euler, mehrere von den Bernoullis, Maupertuis, Lagrange und andere minder berühmte Männer wurden von Catharina II. und von Friedrich II. an ihre Akademien in Petersburg und Berlin berufen, die sie der Wissenschaft und dem Talent und ihrem eigenen Namen zur Ehre in ihren Hauptstädten errichtet hatten. Den Preisen, welche von diesen Akademien und von der in Paris ausgesetzt wurden, haben viele der ausgezeichnetsten mathematischen Werke jener Zeit ihren Ursprung und ihre Vollendung zu verdanken.

7) Probleme der drei Körper. — Im Jahre 1747 übergab Clairaut und d'Alembert an demselben Tage der Akademie der Wissenschaften zu Paris ihre Auflösung des „Problems der drei Körper," das, seit dieser Zeit, als einer der wichtigsten Gegenstände der Mechanik und der mathematischen Analyse zugleich, gleichsam als der große Bogen betrachtet worden ist, an welchem jeder seine Kraft versuchen, und mit dem jeder ein weiteres Ziel, als seine Vorgänger, erreichen wollte.

Eigentlich bestand dieses Problem anfänglich in der Bestimmung der Störungen, welche die Anziehung der Sonne in der Bewegung des Monds um die Erde hervorbringt. Bald darauf wurde es auch auf die Störungen angewendet, die jeder Planet in seiner Bewegung um die Sonne von einem andern Planeten erleidet. Allgemein aber betrachtet soll es die Bestimmung der Bewegung von drei Körpern enthalten, die sich gegenseitig im Verhältniß ihrer Massen und verkehrt, wie die Quadrate ihrer Entfernungen anziehen, und in dieser Gestalt ist es ein rein mechanisches Problem geworden, dessen Geschichte hier nicht an ihrem unrechten Orte sein wird.

Eine Folge der synthetischen Form, in welcher Newton sein Werk bekannt gemacht hat, war die, daß seine Nachfolger das Problem von der Bewegung der Himmelskörper ganz von vorn wieder anfangen mußten. Wer dies nicht thun wollte, machte keine Fortschritte, und dies war lange Zeit bei den Engländern der Fall. Clairaut gesteht, daß er sich lange Zeit vergebens bemühte, von Newtons vorhergegangenen Arbeiten einigen Gebrauch zu machen, daß er sich aber am Ende entschließen mußte, den Gegenstand auf eine ganz andere, von Newton unabhängige Weise vorzunehmen. Er that dies auch, indem er durchaus nur die Analysis und solche Methoden anwendete, die von den noch jetzt gebräuchlichen nicht sehr verschieden sind. Ohne hier von der Vergleichung seiner Theorie mit den Beobachtungen zu sprechen, begnügen wir uns mi: der Bemerkung, daß die Uebereinstimmung sowohl, als auch die Abweichungen seiner Rechnungen von den Beobachtungen, ihn sowohl, als auch die anderen Mathematiker, gleichsam gezwungen haben, immer weiter in ihren Untersuchungen vorwärts zu schreiten, und ihre Theorie immer mehr und mehr zu vervollkommnen, um sie in eine größere Uebereinstimmung mit den Beobachtungen zu bringen.

Einer der merkwürdigsten der hierher gehörenden Fälle war der von der Bewegung des Apogeums der Mondsbahn. Clairaut hatte durch seine Theorie anfangs nur die Hälfte von dieser Bewegung, wie sie die Beobachtungen geben, gefunden. Nach langen und mühsamen Untersuchungen sah er endlich, daß er die Annäherung in seinen Rechnungen nicht weit genug getrieben habe. Dasselbe Problem der drei Körper gab dem Clairaut Gelegenheit zu einem Memoir, das im Jahr 1751 den Preis der Akademie in Petersburg erhielt, und auch zugleich die Veranlassung zu seiner „Théorie de la Lune," war, die im Jahr 1765 erschien. Zu derselben Zeit beschäftigte sich auch d'Alembert mit diesem Probleme, und unglücklicher Weise wurde, bei dieser Gelegenheit, die Verschiedenheit des Verdienstes dieser beiden großen Geometer, und die ihrer Methoden, die Ursache eines heftigen Streites, der erst mit dem Tode Clairauts endete. Auch Euler gab im Jahre 1753 eine Theoria lunae, die wohl die nützlichste von allen wurde, da auf sie späterhin Tobias

Mayer in Göttingen seine Methode und seine Tafeln des Monds gegrundet hat.

Es ist schwer, dem Leser eine deutliche Darstellung aller dieser Auflösungen jenes großen Problems zu geben. Bemerken wir blos, daß die Größen, durch welche der Ort des Monds am Himmel für jede Zeit bestimmt wird, durch gewisse algebraische Gleichungen ausgedrückt wird, welche die mechanischen Bedingungen der Mondsbewegung enthalten. Die Operationen, durch welche man zu den gewünschten Resultaten gelangt, beziehen sich auf die Integralrechnung, die aber, für den Mond, nicht direkt und unmittelbar angewendet werden kann, da die Größen, mit denen man es zu thun hat, sich auf den Ort des Monds beziehen, und daher das, was man sucht, gewissermaßen als bereits bekannt voraussetzen. Aus diesen Ursachen lassen sich denn auch die Resultate nur durch successive Annäherungen erhalten. Man muß sich zuerst mit einer der Wahrheit nur nahen Größe begnügen, und dann, mittels derselben, zu einer immer näheren fortschreiten, so daß auf diese Weise der wahre Ort des Mondes nur durch die Glieder einer Reihe, die allmählig immer kleiner werden, ausgedrückt werden kann. Die Form dieser Glieder hängt von der gegenseitigen Lage der Sonne und des Monds, von der Stellung des Apogeums und der Knoten der Mondsbahn und von anderen Größen ab, und bei der Mannigfaltigkeit, die zwischen diesen Größen statthaben können, werden diese Glieder sehr komplicirt und zahlreich. Eben so hängt auch die absolute Größe dieser Glieder von verschiedenen Umständen ab, von der Masse der Sonne und der Erde, von den Umlaufszeiten der Erde um die Sonne, und des Monds um die Erde, von der Excentricität und Neigung der Erd- und Mondsbahn u. s. w. Diese Größen werden aber, wie die Rechnungen zeigen, so unter einander kombinirt, daß sie bald sehr bedeutende, bald wieder nur sehr geringe Werthe geben, und es muß der Geschicklichkeit und Geduld des Rechnens überlassen bleiben, die wichtigsten von diesen Gliedern aus der Masse der übrigen herauszufinden. Obschon nämlich die oben erwähnten Theorien den Weg angeben, so viele von den Gliedern jener Reihe, als man nur eben will, zu finden, so wird doch die Verwicklung der Operationen und die Mühe, welche die Auflösung derselben erfordert, bald so groß, daß auch die

Langmuth des geduldigsten Rechners davon bald zurückgeschreckt werden müßte, so daß man daher auf jenes Tatonniren und Errathen der noch bedeutenden Glieder jener zahlreichen Störungsgleichungen verwiesen bleibt. Nur wenige der ausgezeichnetsten Mathematiker sind im Stande gewesen, in diesem Dickicht von Formeln mit Sicherheit mehrere bedeutende Strecken vorzudringen, so schnell wird dieser Weg immer dunkler und verwachsener, je weiter man auf ihm fortgeht. Ja selbst das, was bisher in der That geleistet worden ist, hängt nur von sehr zufälligen Umständen ab, von der geringen Neigung, von den kleinen Excentricitäten der Bahnen, von den großen Distanzen, durch welche die Himmelskörper von einander getrennt sind, und endlich von den geringen Massen derselben in Beziehung auf die Masse der Sonne. „Wenn uns die Natur, sagt Lagrange in „dieser Beziehung, durch jene spezielle Einrichtung unseres Pla„netensystems, nicht so sehr begünstigt hätte, so würden alle „Berechnungen der himmlischen Bewegungen für uns ganz unmöglich sein."

Als man in dem Jahre 1759 die Wiederkunft des Halley'schen Kometen vom Jahre 1682 erwartete, erhielt jenes Problem der drei Körper ein neues Interesse, und Clairaut suchte, durch Hülfe dieses Problems, die Wiederkehr dieses Himmelskörpers zu bestimmen. Er fand aber bald, daß seine Methode, die ihm für die Bestimmung der Bewegungen des Monds so viele Vortheile gewährte, für jenen Kometen ganz ohne Erfolg bleiben müsse, weil hier die eben erwähnten günstigen Umstände nicht mehr statthatten. Er hatte wohl die drei Differentialgleichungen der zweiten Ordnung aufgestellt, von welcher die Auflösung seines Problems für die Kometen abhängt, aber er setzte ihnen die Worte bei: „Intègre maintenant qui pourra, integriere sie nun, wer kann [4])." Demnach mußte er seine für den Mond und die Planeten gegebene Methode ganz umschmelzen, und auf andere Näherungsmethoden bedacht sein, um sie auch den Bewegungen der Kometen anpassen zu können.

Dieses Problem der drei Körper wurde nicht seiner analytischen Schönheit, oder seiner eigenen Vorzüge wegen so lange und so eifrig verfolgt, sondern blos deswegen, weil man dazu

4) Journal des Sçavans, August 1759.

gezwungen war, weil man sich nur auf diesem Wege den Beobachtungen nähern konnte, und weil nur auf diese Weise die von Newton entdeckte Theorie der allgemeinen Schwere bewiesen und praktisch nützlich gemacht werden konnte. Der Hauptzweck aber, den man durch diese Arbeiten erreichen wollte, war, nebst dem Ruhm, ein so großes Hinderniß glücklich besiegt zu haben, die Konstruktion von Mondstafeln, die besonders für die Schifffahrt von so großem Nutzen sind, und auf die daher auch sehr bedeutende Preise ausgesetzt wurden.

Aber auch die Anwendung dieses Problems auf die Planeten unseres Sonnensystems hatte ihre besondere, große Schwierigkeiten. Euler hatte besonders die Bewegungen der zwei größten Planeten dieses Systems, des Jupiters und Saturns, zu dem Gegenstand seiner Berechnungen gemacht. Diese Planeten zeigten, der eine eine große Acceleration und der andere eine Retardation in seiner Bewegung, die deutlich aus den Beobachtungen der alten und neuen Zeiten hervorging, von der es aber nicht leicht war, durch die Theorie Rechenschaft zu geben. Eulers Memoiren, die den Preis der Pariser Akademie für die Jahre 1748 und 1752 gewonnen, enthielten eine sehr schöne Analyse. Bald darauf erschienen auch Lagranges Arbeiten über denselben Gegenstand, die aber in Beziehung auf jene zwei Ungleichheiten Resultate enthielten, welche von denen, auf die Euler durch seine Rechnungen geführt wurde, ganz verschieden waren. Die eigentliche Antwort auf jene Frage blieb lange unbekannt, bis endlich Laplace im Jahre 1787 zeigte, daß jene zwei großen Ungleichheiten daher rühren, daß zwei Revolutionen Saturns sehr nahe fünf Umlaufszeiten Jupiters um die Sonne gleich sind.

Noch verwickelter, als für die Planeten, wurde die Anwendung des Problems der drei Körper auf die Bewegungen der Jupitersmonde gefunden. Hier nämlich war es nothwendig, die Störungen eines jeden dieser vier Monde zu finden, die er zu gleicher Zeit von den drei anderen erhält, so daß man hier eigentlich mit einem Probleme von fünf Körpern zu thun hatte. Die Auflösung dieses schweren Problems hat Lagrange gegeben [5]).

In den neueren Zeiten haben die vier kleineren Planeten, Juno, Ceres, Vesta und Pallas, deren Bahnen nahe unter

5) M. s. Bailly, Astr. Mod. III. 178.

einander coincidiren, und eine viel größere Neigung und Excentricität haben, als die alten Planeten, und die daher besonders durch den ihnen so nahen Jupiter sehr bedeutende Störungen erfahren, zu neuen Verbesserungen jenes Problems Gelegenheit gegeben.

In dem Laufe der oben erwähnten Untersuchungen der Bewegungen von Jupiter und Saturn wurde Lagrange und Laplace auf die nähere Betrachtung der säculären Ungleichheiten der Planetenbahnen geführt, das heißt, auf die Veränderungen, welche die Neigung, die Knoten- und Apsidenlinie, und die Excentricität jeder Planetenbahn durch die fortgesetzte Einwirkung aller übrigen Planeten erleidet. Der eigentliche Erfinder der Methode von der Variation der Elemente war Euler, und sein erster Versuch zu diesem Zwecke ist von dem Jahre 1749. Die in diesen Memoiren von ihm gegebene Anleitung hatte er in einem späteren Aufsatze von dem Jahre 1756 weiter entwickelt [6]). Lagrange versuchte seine Kraft an diesem Probleme im Jahre 1766 [7]), und Laplace im Jahre 1773. Der letzte zeigte bei dieser Gelegenheit, daß die mittleren Bewegungen, also auch die großen Axen der Bahnen der Planeten unveränderlich sind. In den Jahren 1774 und 1776 beschäftigte sich Lagrange wiederholt mit der Bestimmung dieser säculären Störungen der Planeten, indem er seine Untersuchungen auch auf die Knoten und Neigungen der Planetenbahnen ausdehnte. Hier zeigte er zugleich, daß die von Laplace (unter Vernachlässigung der vierten Potenzen der Excentricitäten und der Neigungen) gefundene Unveränderlichkeit der großen Axen immer wahr bleibe, so weit man auch die Annäherungen fortführt, wenn man nur die Quadrate der störenden Massen vernachlässigt. Er vervollkommnete seine Theorie später noch, und im Jahre 1783 unternahm er es, seine Methoden auf die säculären sowohl, als auch zugleich auf die periodischen Störungen der Planeten auszudehnen [8]).

8) Mechanik des Himmels. — Die Mécanique céleste von Laplace sollte, nach der Absicht seines Verfassers, eine vollständige Uebersicht des gegenwärtigen Zustandes dieses wichtigen

---

6) M. s. Laplace, Méc. cél. Livr. XV. S. 305. 310.
7) M. s. Gautier, Probl. de trois corps. S. 155.
8) Gautier, loc. cit. S. 104. 184. 196.

und erhabenen Theiles der menschlichen Erkenntniß enthalten. Die zwei ersten Bände dieses großen Werkes erschienen in dem Jahre 1799, der dritte und vierte Theil folgte 1802 und 1805 nach. Seitdem ist wohl nur wenig zu der Auflösung der großen Probleme, die dieses Werk enthält, hinzugefügt worden. Im Jahre 1808 legte Laplace dem Bureau des Longitudes zu Paris ein Supplement zu der Mécanique céleste vor, dessen Zweck die weitere, nähere Bestimmung der säcularen Störungen war. Seitdem sind ihm noch andere Supplemente gefolgt, die zusammen den fünften Band dieses großen Werkes bilden. Lagrange und Poisson bewiesen nachher die Unveränderlichkeit der großen Axen der Planetenbahnen auch für die zweiten Potenzen der störenden Kräfte. Andere beschäftigten sich mit anderen Theilen dieses Gegenstandes. Burckhardt brachte die Reihen der Perturbationen im Jahre 1808 bis zu den sechsten Potenzen der Excentricitäten. Gauß, Hansen, Bessel, Ivory, Lubbock, Pontecoulant und Airy haben, zu verschiedenen Zeiten bis auf den heutigen Tag, einzelne Theile der Theorie erläutert oder erweitert, oder auf specielle Fälle angewendet, wie z. B. Airy eine Ungleichheit der Venus und der Erde fand, deren Periode 240 Jahre beträgt. Endlich hat noch Plana in einem eigenen Werke (in drei großen Quartbänden) alles gesammelt, was bisher für die Theorie des Mondes geleistet worden ist.

Ich kann hier nur die Hauptmomente des Fortgangs der analytischen Dynamik mittheilen. Ich spreche daher nicht von der Theorie der Jupiterssatelliten, für die Lagrange im Jahre 1766 den Preis der Pariser Akademie erhalten hat, noch von den merkwürdigen Entdeckungen, die Laplace im Jahre 1784 in den Systemen dieser Satelliten gemacht hat. Noch weniger kann ich die blos spekulativen Untersuchungen über tautochrone Curven im widerstehenden Mittel erwähnen, obschon sich Männer, wie Bernoulli, Euler, Fontaine, d'Alembert, Lagrange und Laplace, mit diesem Gegenstande beschäftigt haben. Eben so muß ich auch mehrere andere, an sich merkwürdige und interessante Gegenstände gänzlich mit Stillschweigen übergehen.

9) Präcession der Nachtgleichen. Bewegung der Körper von gegebener Gestalt. — Alle die bisher erwähnten Untersuchungen, so ausgedehnt und verwickelt sie auch an sich sein mögen, betreffen doch nur die Bewegung der Körper,

so lange diese letztere als blose untheilbare Punkte, ohne alle Rücksicht auf Gestalt und Ausdehnung derselben, betrachtet werden. Aber die Bestimmung der Bewegung eines Körpers von irgend einer gegebenen Form bildet einen ganz anderen und sehr wichtigen Zweig der analytischen Mechanik. Auch sie verdankt übrigens, so wie jene, ihre Ausbildung blos der Astronomie, die vorzüglich Gelegenheit zur Beantwortung von Fragen dieser Art an die Hand gegeben hat.

Wir haben schon oben gesehen, daß Newton sich bemüht hat, die Präcession der Nachtgleichen aus den Einwirkungen der Sonne und des Mondes auf die abgeplattete Erde abzuleiten. Allein er hatte bei diesem Versuche einige Mißgriffe gemacht. Im Jahre 1747 aber löste d'Alembert dieses schwierige Problem mit Hülfe des von ihm aufgestellten Prinzips, und es war ihm zugleich leicht, zu zeigen, (wie er auch in seinen „Opuscules" von dem Jahre 1761 gethan hat), daß durch dieselbe Methode auch überhaupt die Bewegung aller Körper von irgend einer gegebenen Gestalt, wenn bestimmte Kräfte auf sie wirken, bestimmt werden könne. Indeß geschah auch hier wieder, was im Laufe dieser Erzählung der Leser schon öfter bemerkt haben muß: die großen Geometer jener Zeit begegneten sich sehr oft auf den Wegen, die sie zu ihren Entdeckungen führten. Euler [9]) hatte ebenfalls im Jahre 1750 seine Auflösung von dem Problem der Präcession bekannt gemacht, und im Jahr 1752 schrieb er ein Memoir: „Entdeckung eines neuen Prinzips der Mechanik," in welchem das ganz allgemeine Problem von der Störung der Rotation der Körper durch äußere Kräfte aufgelöst wird. D'Alembert betrachtete nicht ohne Mißbilligung diese von Euler prätendirte Priorität, wie sie von der Aufschrift des Memoirs ausgesprochen wird, ohne jedoch dabei die Verdienste dieser ausgezeichneten Schrift zu verkennen. Bald wurden diese neuen Untersuchungen verbessert und erweitert, am meisten aber durch Eulers Theoria motus Corporum solidorum, ein Werk, das im Jahre 1765 zu Greifswalde erschien, und in welchem die neue Theorie auf eine große Anzahl der interessantesten Beispiele mit seltener Kunst angewendet erscheint. Die in diesem Werke enthaltenen analytischen Untersuchungen wurden vorzüglich durch die Entdeckung

9) Mém. de l'Acad. de Berlin 1745, 1750.

Segners[10]) sehr vereinfacht, nach welcher jeder Körper drei sogenannte „freie Axen“ hat, um welche allein er sich im Allgemeinen frei und immerwährend drehen kann. Landen wollte die Gleichungen, zu denen Euler und d'Alembert gekommen waren, in den Philos. Transact. für 1785, als fehlerhaft tadeln, aber seine Einwürfe dagegen scheinen mir nur ein Beweis mehr von der Unfähigkeit der englischen Mathematiker jener Zeit zu sein, die hohen analytischen Konceptionen des Festlandes, hinter welchen jene mit ihrer alten synthetischen Methode weit zurückblieben, zu fassen und in sich aufzunehmen.

Eine der schönsten und merkwürdigsten Anwendungen der neuen Methode, die Bewegung eines Körpers von gegebener Gestalt zu bestimmen, ist ohne Zweifel in dem Memoir Lagrange's, über die Libration des Mondes, enthalten, in welchem dieser ausgezeichnete Analytiker unter anderem die Ursache angibt, warum die Knoten des Mondäquators mit denen seiner Bahn immer zusammenfallen[11]).

---

10) Segner (Joh. Andr.), geb. 9. Okt. 1704 zu Preßburg. Er bildete sich beinahe ohne Lehrer in der Mathematik aus, ging dann 1725 nach Jena, wo er von Prof. Hamberger für die Wolf'sche Philosophie und besonders für die Mathematik gewonnen wurde. 1730 nahm er daselbst den Grad eines Doctors der Arzneikunde und ging dann wieder in sein Vaterland, Ungarn, zurück, wo er als praktischer Arzt lebte. Im Jahre 1733 wurde er zum Prof. der Philosophie in Jena ernannt, und ging 1735 von da nach Göttingen als Professor der Mathematik, wo er zu dem Glanze dieser neuen Universität durch seine Arbeiten beitrug, aber auch wegen einigen Widersprüchen, die er sich gegen Wolf erlaubte, von den Anhängern des letztern sehr beunruhigt wurde. Er starb hier am 5. Okt. 1777 in hoher Achtung seiner mathematischen Kenntnisse. Wir haben von ihm Elementa arithm. et geometriae, Götting. 1734; Specimen logicae, Jena 1740; Introductio in Physicam, 1746; Exercitationes hydraulicae, 1747; Elementa analyseos finitorum, 1758; Elementa analyseos infinitorum, 1761; Lectiones astronomicae, 1775. Er ist der Entdecker des wichtigen mechanischen Satzes, daß jeder Körper drei freie Rotationsaxen hat. L.

11) Nach Dominik Cassini's schöner Entdeckung ist nämlich die Neigung des Mondäquators gegen die Ekliptik konstant und gleich 1° 30′, und der aufsteigende Knoten dieses Mondäquators in der Ekliptik fällt immer zusammen mit dem absteigenden Knoten der Mondbahn in der Ekliptik. Die Ekliptik liegt zwischen dem Mondäquator und der

10) Schwingende Saiten. — Auch andere Fragen der Mechanik, die mit der Astronomie in keinem näheren Zusammenhange standen, wurden mit Eifer und Glück verfolgt. Hieher gehört vorzüglich das Problem von den schwingenden Saiten, wenn sie an ihren beiden Endpunkten befestigt sind. Die Idee,

---

Mondbahn, und ist gegen den Mondäquator, wie gesagt, um 1° 30′, gegen die Mondbahn aber im Mittel um 5° 8′ geneigt. — Wenn man die Bahn des Mondes, nicht auf die Erde, sondern auf die Sonne bezieht, so fällt diese Bahn mit der Ekliptik zusammen. Da jeder Breitengrad des Mondes, so wie auch am Aequator der Längegrad, sehr nahe 4.1 deutsche Meilen beträgt, so nimmt die Zone, welche unserer sogenannten heißen entspricht, auf dem Monde nur 3 Grade oder 12.3 Meilen in ihrer Breite ein, und eben so groß ist auch der Durchmesser der zwei kalten Zonen des Mondes, wogegen von den zwischen jenen liegenden zwei gemäßigten Zonen jede 87 Grade in ihrer Breite mißt. Eine so geringe Schiefe der Ekliptik von nur 1½ Grad kann auch nur ganz unmerkliche Aenderungen der Tageslängen, der Sonnenhöhen im Mittag, und der Stärke der Erleuchtung und Erwärmung durch die Sonne auf den Mond zur Folge haben. So ändert sich z. B. die Meridianhöhe der Sonne für einen gegebenen Mondort im Laufe eines Jahres nur um drei Grade, d. h. so viel, als sie sich für die Erde zur Zeit der Nachtgleichen schon in einer Woche ändert. — Wenn man aber die Bahn des Monds, nicht auf die Sonne, sondern auf die Erde oder vielmehr auf den Mondäquator bezieht, so beträgt die Neigung dieser zwei Ebenen, nach den Vorhergehenden, 6° 38′, und in dieser Beziehung wird also die Breite des unserer heißen Zone entsprechenden Mondgürtels gleich 13° 16′ oder gleich 54¼ d. Meilen. Da übrigens nach dem oben Gesagten, die Knoten des Mondäquators mit denen der Mondbahn zusammenfallen, und da die letzte in 18⅔ Jahren ihren Umkreis um die Erde vollenden, — so ist auch die Axe, um welche sich der Mond in jedem Monate dreht, sehr veränderlich. Der wahre Pol des Mondäquators beschreibt nämlich um den Pol unserer Ekliptik in 18⅔ Jahren einen ganzen Kreis von 1° 30′ im Halbmesser. Da endlich die Pole der Mondbahn ebenfalls Kreise um die Pole der Ekliptik beschreiben, und da die entgegengesetzten Knoten (der Mondbahn und des Mondäquators) immer zusammen fallen, so liegen die drei Pole, der Ekliptik, der Mondbahn und des Mondäquators, auch immer in einem und demselben größten Kreise, und die beiden letzten bewegen sich um den ersten gleich zwei Doppelsternen um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt. L.

welche diesen Betrachtungen zu Grunde liegt, ist wohl sehr einfach, aber desto schwerer scheint dagegen die Uebersetzung derselben in die Sprache der mathematischen Analysis zu sein. Taylor hat seiner »Methodus Incrementorum, 1716« eine Auflösung dieses Problems beigefügt, allerdings eine durch Nebenbedingungen beschränkte Auflösung, die aber doch für gewöhnliche Anwendungen sehr brauchbar ist. Auch Johann Bernoulli hatte diesen Gegenstand im Jahr 1728 behandelt. Allein das Problem gewann ein ganz neues Interesse, als im Jahr 1747 d'Alembert [12]) seine Ansichten darüber bekannt machte, und

---

12) D'Alembert (Jean le Rond), wurde am 17ten Nov. 1717 als ein ausgesetztes Kind vor der Kirche Jean le Rond gefunden und einer Taglöhnerin zur Wartung übergeben. Sein Vater, der sich erst später als solcher meldete, und dem Kinde auch eine Lebensrente von jährlich 1200 Livres zusicherte, war der Artilleriekommissär Destouches und seine Mutter, die durch Schönheit un Geist ausgezeichnete Mad. de Tincin. — Da er sich früh dem Jansenismus zugekehrt hatte, so waren auch seine ersten Schriften theologischen Inhalts. Doch wendete er sich bald mit aller Kraft den mathematischen Studien zu. Dadurch mit den Jansenisten zerfallen, verließ er ihre Gesellschaft und begab sich 1732 zu seiner Amme zurück, wo er 40 Jahre in einfacher Zurückgezogenheit den Wissenschaften lebte. Auf den Rath seiner Freunde, sich eine gesicherte Zukunft zu verschaffen, studirte er die Rechte, und, da ihm diese nicht zusagten, später auch die Arzneikunde, bis er sich endlich wieder und ausschließend den mathematischen Studien ergab, denen er auch bis an sein Ende treu blieb. Im Jahr 1741 wurde er Mitglied der Pariser Akademie der Wissenschaften; 1743 gab er seine berühmte Traité de dynamique heraus, wo er die Lehre von der Bewegung auf die des Gleichgewichts zurückführte, und zuerst die (zweite Differential-) Gleichungen aufstellte, durch welche die Mechanik eine ganz neue Gestalt erhielt. Im Jahr 1744 wendete er dasselbe Prinzip auch auf die Bewegung der Flüssigkeiten an, und 1746 erschien seine Theorie der Winde, wo er der erste die Rechnung mit partiellen Differentialien gebrauchte, deren er sich 1747 mit noch glänzenderm Erfolg für die Theorie der schwingenden Saiten bediente. Dadurch kam er auf die Einführung der willkührlichen Funktionen, durch die er in der Mathematik, wie früher durch jene zweite Differentialgleichung in der Mechanik, eine neue Epoche begründete. Im Jahre 1749 löste er der erste das schwere Problem der Bewegung eines Körpers von gegebener Gestalt, das er sofort auf die theoretische Bestimmung der Präcession

zeigte, daß nicht blos eine, sondern unzählige verschiedene Curven den Bedingungen der Aufgabe Genüge leisten. Wie ge-

---

der Nachtgleichen anwendete. Seit 1752 gab er mehrere merkwürdige Aufsätze in die Memoiren der Berliner Akademie, vorzüglich über Integralrechnung und über die Spitzen und Rückkehrpunkte der Curven, wegen welchen letzten er, so wie auch wegen jenen willkührlichen Funktionen, mit Euler in Streit gerieth; so wie auch eine neue Methode, lineäre Differentialgleichungen irgend eines Grades zu integriren, die selbst jetzt noch als der eigentliche Schlüssel zur Beantwortung sehr vieler höheren Fragen in der Astronomie und Physik betrachtet wird. Er lebte in seinem Vaterlande beinahe in Dürftigkeit, bis ihn Friedrich II. von Preußen mit Freundschaft und Achtung auszeichnete, worauf er auch von der französischen Regierung, auf Verwendung des Ministers d'Argenson, einen Gehalt erhielt. Um diese Zeit hatte man Diderot, dessen Geist die ganze Literatur umfaßte, den Vorschlag gemacht, eine englische Encyklopädie, die damals viel Aufsehen machte, zu übersetzen, wodurch er auf die Idee gerieth, selbst ein solches Werk zu verfassen, das alles Wissenswürdige von den ältesten Zeiten bis auf seine Tage enthalten sollte. Diderot verband sich zu diesem Zwecke vorzüglich mit d'Alembert, und beide können als die Hauptverfasser dieses großen Werkes angesehen werden. Die meisterhafte Einleitung zu diesem inhaltreichen Werke ist ganz von d'Alembert. Seine „Untersuchungen über verschiedene wichtige Punkte des Weltsystems," in welchen er vorzüglich das berühmte Problem der drei Körper zu vervollkommnen suchte, verwickelte ihn in Streitigkeiten mit Euler und Clairaut, und mit dem letzten brach er völlig bei Gelegenheit ihrer gemeinschaftlichen Untersuchungen über die Gestalt der Erde. Im Jahre 1756 wurde er zum Pensionnär der k. Pariser Akademie mit einem bedeutenden Gehalt erhoben, gegen den Willen der meisten Mitglieder dieser Gesellschaft, die eine solche Auszeichnung für ungewöhnlich und böse Beispiele für die Folge nach sich ziehend erklärten. Camus aber schlug die Opposition mit der Bemerkung, daß auch in der Folge alle solche außerordentlichen Verdienste mit ähnlichen außerordentlichen Auszeichnungen belohnt werden sollten. Um diese Zeit erschienen seine Mélanges de philosophie, und sein Essai sur les gens de Lettres, so wie auch seine Uebersetzung der Werke des Tacitus. Im Jahr 1759 gab er seine „Elemente der Philosophie," eine Art Volksbuch für Gebildete, das sich durch Inhalt, Vortrag und glänzenden Styl auszeichnete. Diese Werke und noch mehr seine Aufsätze in der Encyklopädie zogen ihm viele Gegner und selbst Verfolgungen zu. Um ihm die nöthige Ruhe vor wöhnlich, so wurde auch hier wieder, was einer jener großen Mathematiker aufgestellt hatte, sogleich von den anderen ergriffen

---

seinen Feinden zu verschaffen, trug ihm Friedrich II. im Jahr 1763 die Präsidentschaft der Berl. Akademie mit einem bedeutenden Gehalte an, die er aber ausschlug, um in seinem Vaterlande bleiben zu können. Bald darauf trug ihm Katharina II. die Erziehung ihres Sohnes Paul unter den glänzendsten Bedingungen an, aber ebenfalls vergebens. Im Jahre 1765 erschien seine Schrift über die Jesuiten, die ihn in neue Streitigkeiten und Anfeindungen verwickelten. Seine Opuscules mathématiques, an welchen er von 1761 bis 1780 arbeitete, enthalten eine Menge der wichtigsten Untersuchungen aus der Mathematik und Mechanik, aber oft nur in ihren ersten Zügen angedeutet, oder in einem Wald von analytischen Formeln begraben, die noch der letzten, vollendenden Hand entbehren. Seine vielen mathematischen Arbeiten, von welchen besonders seine zahlreichen Aufsätze in den Memoiren der verschiedenen Akademien Zeugniß geben, wurden weder durch seine vielen anderen Geschäfte und Zerstreuungen, noch auch durch die Schwächen und Krankheiten seines Alters unterbrochen. Noch die kurz vor seinem Tode herausgegebenen Aufsätze zeugen von der ganz ungeschwächten Kraft und Feinheit seines Geistes. Obschon er oft gestand, daß er außer dem Gebiete der Mathematik keine reelle Wahrheit finde, so beschäftigte er sich doch immer gern und eifrig mit der schönen Literatur und mit der Philosophie. Seine schöne Schreibart und sein trefflicher Styl machte ihn auch unter den größeren Kreisen der Leser berühmt, und oft mußte er deshalb bei den feierlichen Versammlungen der Akademie die öffentlichen Reden halten. Im Jahre 1772 wurde er Sekretär der Académie française, wo er die Biographien und die gebräuchlichen Eloges aller Akademiker seit dem Anfange des Jahrhunderts verfaßte, die noch heutzutage als Muster dieser Art von Schriften gelten. Seine mathematischen Freunde sprachen von ihm stets mit der größten Hochachtung, auch verdankt ihm Lagrange seine Stelle als Präsident der Akademie zu Berlin. Seine Wohlthätigkeit war allgemein bekannt, und oft gab er den Armen, was er selbst bedurft hätte; für seine Freunde aber hatte er immer Hand und Haus offen, und auch sein Liebstes, seine Zeit und selbst seine Arbeiten, opferte er ihnen willig auf. Talentvolle Jünglinge waren seiner Unterstützung gewiß, und in seinem letzten Jahre verweilte er am liebsten in ihrer Gesellschaft. Seine Munterkeit und seine witzigen Einfälle, die oft kaustisch, nie beleidigend waren, machten ihn zu dem Liebling aller Gesellschaften, die er durch seine seltene Gabe zu erzählen, zu erheitern wußte. In seinem letzten Jahre wurde er öfter von einer kränklichen Reizbarkeit heimgesucht, ohne daß und weiter fortgeführt. Euler stimmte im Jahr 1748 nicht nur dieser Generalisation d'Alemberts vollkommen bei, sondern er setzte noch hinzu, daß diese Curven ganz willkührliche, selbst nicht einmal dem Gesetze der Continuität unterworfene krumme Linien sein können. D'Alembert weigerte sich, bis zu diesem Extreme fortzugehen, und Daniel Bernoulli, mehr seinen physischen als mathematischen Gründen vertrauend, wollte beide Generalisationen als in der That unanwendbar verwerfen, und die Auflösungen dieser Aufgabe, wie bisher geschehen war, auf die Trochoide oder ähnliche mit ihr verwandte Curven zurückführen. Er führte dabei das „Gesetz der koexistirenden Vibrationen" ein, das sich später so nützlich gezeigt hat, um den Complex mehrerer mechanischen Bewegungen, die zu gleicher Zeit statthaben, zu übersehen, und die wahre Bedeutung der hieher gehörenden analytischen Ausdrücke zu begreifen. Auch Lagrange wendete die wahrhaft bewunderungswürdige Kraft seiner Analyse diesen merkwürdigen Problemen zu. Schon in seiner Jugend hatte er mit

---

seine Gutmüthigkeit darunter gelitten hätte. Nachdem er vierzig Jahre bei seiner ersten Wärterin gelebt hatte, zwang ihn seine abnehmende Gesundheit, eine andere Wohnung zu beziehen. Doch besuchte er seine alte Freundin wöchentlich zweimal und unterstützte sie auch bis an sein Ende. Er zog zu einer geistreichen, braven Dame, in deren Hause sich, größtentheils nur um ihn zu sehen, die ausgezeichnetsten Männer Frankreichs versammelten. Bei seiner sonst nur schwachen Konstitution erhielt er sich in den letzten Zeiten nur durch die strengste Ordnung in seiner Diät und in seiner ganzen Lebensweise. Von allen Genüssen des Lebens schien er nur zwei zu kennen: die Arbeit und die Conversation, und auch die letzte wollte ihm zu Ende nicht immer behagen, da er sie oft störend und langweilig fand, so daß er selbst in den heitersten Gesellschaften öfter lange Zeit durch ganz stille und in sich selbst versunken blieb. Er starb am 29sten Oktober 1783. Seine vorzüglichsten mathematischen Werke sind, außer seinen zahlreichen Memoiren: Traité de dynamique, 1743 und dritte Ausgabe 1796; Traité de l'équilibre et de mouvement des fluides, 1744, zweite Aufl. 1770; Reflexions sur la cause des vents, 1774; Recherches sur la précession des équinoxes, 1749; Nouvelle théorie sur la resistance des fluides, 1752; Recherches sur différens points importans du système du monde, III. Vol. 1754; Nouvelles tables de la lune, und Opuscules mathématiques, 8 Vol. 1761—1780. L.

seinen Freunden Saluces und Cigna die Akademie von Turin gegründet, und seine erste Arbeit in den Memoiren dieses Instituts betraf jenen interessanten und schwierigen Gegenstand. In dieser, so wie auch in mehreren folgenden Schriften zeigte er zur Zufriedenheit der ganzen mathematischen Welt, daß die Funktionen, welche bei diesen Untersuchungen durch die Integration eingeführt werden, keineswegs dem Gesetze der Continuität unterworfen sein müssen, sondern daß sie, unter den einem jeden Probleme nothwendigen Bedingungen, ganz willkührliche Funktionen sind, und demungeachtet durch Reihen von Kreisfunktionen ausgedrückt werden können. Die Controverse, welche über diese Gesetzlosigkeit der neuen Funktionen entstand, war nicht nur für die Theorie der schwingenden Saiten, sondern auch noch für die der Flüssigkeiten von sehr wichtigem Einfluß.

11) Gleichgewicht der Flüssigkeiten. Gestalt der Erde. Ebbe und Fluth. — Nachdem einmal die Prinzipien der Mechanik allgemein dargestellt waren, war die Anwendung derselben auf die flüssigen Körper ein eben so natürlicher als unvermeidlicher Schritt. Man sah bald, daß man einen flüssigen Körper als einen solchen Körper zu betrachten habe, dessen kleinste Theile alle unter einander mit vollkommener Freiheit beweglich sind, und daß daher diese Freiheit der Bewegung auch in die Sprache der analytischen Formeln aufgenommen werden müsse. Dies ist dann auch durch die ersten großen Begründer der Mechanik geschehen, für die Statik sowohl, als auch für die eigentliche Dynamik der flüssigen Körper. Newton's Versuch, das Problem von der „Gestalt der Erde" zu lösen, dieselbe als einen flüssigen Körper vorausgesetzt, ist das erste Beispiel einer solchen Untersuchung. Er hat seine Auflösung auf die Prinzipien gebaut, die wir bereits oben auseinander gesetzt haben, und er hat diese Prinzipien mit jenem Scharfsinne und mit jener Kunst anzuwenden gewußt, die alles auszeichnet, was der seltene Mann unternommen hat.

Es wurde bereits oben gesagt, auf welche Weise die Allgemeinheit des Prinzips, daß der Druck der flüssigen Körper nach allen Richtungen gleich groß ist, aufgestellt worden ist. In der Anwendung dieses Prinzips auf eigentliche Berechnung nahm Newton an, daß die Säulen des flüssigen Körpers, die bis zum Mittelpunkte der Erde reichen, alle gleiches Gewicht haben. Huyghens im Gegentheile ging von der Voraussetzung aus, daß die Richtung der resultirenden Kraft in jedem Punkte der Oberfläche der Flüssigkeit auf derselben senkrecht stehe. Bouguer setzte beide diese Prinzipien als nothwendig zum Gleichgewichte der Flüssigkeit voraus, und Clairaut endlich zeigte, daß das Gleichgewicht aller jener Kanäle dazu erforderlich sei. Clairaut war auch der erste, der aus seinem Prinzip die bekannten partiellen Differentialgleichungen ableitete, durch welche dieses Gesetz analytisch ausgedrückt wurde, ein Schritt, der, wie Lagrange [13]) sagte, die ganze Gestalt der Hydrostatik änderte und sie erst zu einer neuen Wissenschaft erhob. Euler endlich vereinfachte die Art, wie man zu diesen Gleichungen des Gleichgewichts der Flüssigkeiten bei willkührlich einwirkenden Kräften gelangt, und er brachte sie in diejenige Form, die jetzt noch allgemein gebräuchlich ist.

Die Erklärung der Ebbe und Fluth, auf die Weise, wie sie Newton in dem dritten Buche seiner Prinzipien versuchte, ist ein anderes großes Problem der Hydrostatik, das nur diejenige Gestalt des Weltmeeres betrachtet, die dasselbe im Zustande des vollkommenen Gleichgewichts haben soll. Die Memoiren von Maclaurin, Daniel Bernoulli und Euler über dieses Problem, die alle den Preis der Pariser Akademie von 1740 unter sich theilten, sind auf denselben Ansichten erbaut.

Clairauts „Abhandlung über die Gestalt der Erde,“ die im Jahr 1743 erschien, erweiterte Newton's Auflösung dieses Problems, indem sie die Erde als einen soliden Kern annahm, der mit einer Flüssigkeit von veränderlicher Dichte bedeckt ist. Seitdem wurde nichts Neues weiter in diesem Probleme geleistet, die Methode ausgenommen, die Laplace anwendet, die Anziehung der wenig excentrischen Sphäroiden zu bestimmen, die, wie Airy [14]) sagt, seiner Natur nach der sonderbarste, und seiner Wirkung nach

---

13) Méc. Analyt. II. S. 180.

14) Encycl. Metrop. Fig. of Earth. S. 192.

der kräftigste Calcul von allen ist, die man bisher angewendet hat.

12) Haarröhrchenkraft. — Noch ist ein anderes Problem der Statik der flüssigen Körper übrig, von der wir hier einige Worte sagen müssen: die Haarröhrchenkraft oder die Capillarattraktion. Daniel Bernoulli sagte [15]) im Jahr 1738, daß er diesen Gegenstand mit Stillschweigen übergehe, weil er die hieher gehörenden Erscheinungen auf kein allgemeines Gesetz zurückführen könne. Clairaut war glücklicher, und seitdem haben besonders Laplace und Poisson dieser Theorie eine größere analytische Vollständigkeit gegeben. Es handelt sich aber hier um die Bestimmung der Wirkung der Attraktionen, die alle Theile eines flüssigen Körpers gegen einander und gegen die sie einschließenden Körper ausüben, vorausgesetzt, daß diese Attraktion für sehr kleine Distanzen dieser Körpertheilchen merklich sei, aber auch sogleich verschwinde, wenn diese Distanz nur etwas größer wird. Es läßt sich voraussehen, daß so allgemeine und sonderbare Bedingungen zu sehr abstrakten und merkwürdigen analytischen Ausdrücken und Resultaten führen werden, auch ist das Problem schon in mehreren sehr ausgedehnten Fällen aufgelöst worden.

13) Bewegung der Flüssigkeiten oder Hydrodynamik. — Der einzige Zweig der mathematischen Mechanik, dessen Betrachtung uns noch übrig ist, die Lehre von der Bewegung der Flüssigkeiten, oder die Hydrodynamik, ist zugleich der unvollendetste von allen. Man sieht leicht, daß die blose Hypothese der absoluten Beweglichkeit der kleinsten Theile der Flüssigkeit, verbunden mit den bekannten Gesetzen der Bewegung der festen Körper, nicht hinreichend ist, die Bewegung der flüssigen vollständig zu erklären. Diesem gemäß hat man, um die hieher gehörenden Probleme zu lösen, zu mehreren andern Hypothesen seine Zuflucht genommen, zu Hypothesen, die man später nur zu oft als unrichtig erkannte und die immer in gewissem Maße als willkührlich betrachtet werden mußten. Vorzüglich hat man sich an den zwei Problemen zu üben; gesucht, durch welche die

15) In seiner Hydrodyn. Vorrede S. 5.

Geschwindigkeit eines, durch eine Oeffnung in dem Gefäße, ausströmenden Wassers, und durch welches der Widerstand bestimmt wird, welchen ein fester Körper erleidet, der sich in einer Flüssigkeit bewegt. Wir haben bereits von der Art gesprochen, wie Newton diese Aufgaben angegriffen hat. Die Aufmerksamkeit wurde aber neuerdings auf sie zu der Zeit gerichtet, wo Daniel Bernoulli im Jahr 1738 seine Hydrodynamik herausgab. Diese Schrift ist ganz auf das Prinzip Huyghens gebaut, von dem wir oben in der Geschichte des Schwingungspunktes gesprochen haben, nämlich auf die Gleichheit des aktuellen Falls der Theilchen der Flüssigkeit und des potentialen Aufsteigens derselben, oder mit anderen Worten: auf das Prinzip der „Erhaltung der lebendigen Kraft.“ Diese Schrift war die erste eigentlich wissenschaftliche Hydrodynamik, und die in ihr enthaltene Analyse ist, wie Lagrange sagt, eben so schön in ihrem Verfahren, als einfach in ihren Resultaten. Auch Maclaurin behandelte denselben Gegenstand; aber man hat ihm vorgeworfen, seine Schlüsse so eingerichtet zu haben, daß sie seinem schon früher angenommenen Resultate entsprachen. Das Verfahren von Johann Bernoulli, der ebenfalls über diesen Gegenstand schrieb, wird von d'Alembert streng getadelt. D'Alembert selbst wendete das Prinzip, das seinen Namen trägt, auf diese Untersuchungen an, wie man in seiner „Abhandlung über das Gleichgewicht und die Bewegung der Flüssigkeiten“ 1744, und in seiner „Resistenz der Flüssigkeiten“ 1753 sieht. Auch seine „Réflexions sur la cause générale des Vents“ 1747 sind berühmt geworden, obschon dadurch unsere Kenntniß des Gegenstandes, der in dieser Schrift behandelt wird, nicht eben viel gewonnen hat. Euler hat auch hier, wie in allen andern Zweigen der Wissenschaft, dem Gegenstande Klarheit und Eleganz zu geben gewußt. Als Zusatz zu dem oben Gesagten kann noch bemerkt werden, daß Euler und Lagrange das Problem von den kleinen Vibrationen der flüssigen, elastischen sowohl als unelastischen Körper sorgfältig und wiederholt behandelten, ein Gegenstand, der, gleich den schwingenden Saiten, zu mehreren subtilen und abstrusen Betrachtungen über die eigentliche Bedeutung der Integrale führt, die man aus den sogenannten partiellen Differentialgleichungen erhält. Auch Laplace beschäftigte sich mit der Theorie der Wellen, die längs der Oberflächen des Wassers sich fortpflanzen, und er leitet daraus seine berühmte Theorie der Ebbe und Fluth ab, in welcher er das Weltmeer nicht, wie seine Vorgänger, im Gleichgewichte voraussetzt, sondern annimmt, daß es durch eine beständige Reihe von Undulationen, die aus der Anziehung der Sonne und des Mondes entspringen, in Bewegung gesetzt wird. Die Schwierigkeiten, die mit dieser Untersuchung verbunden sind, lassen sich schon daraus beurtheilen, daß Laplace, um mit ihr zu Stande zu kommen, von einer Voraussetzung ausgehen mußte, die sich nicht beweisen läßt, und die er nur ihrer Wahrscheinlichkeit wegen annahm [16]), daß nämlich in einem von periodisch wirkenden Kräften bewegten Systeme auch die verschiedenen Zustände dieses Systemes periodisch auf einander folgen. Selbst bei dieser Voraussetzung noch mußte er sich mehrere andere ganz willkührliche Verfahren erlauben, und es ist noch immer sehr zweifelhaft, ob diese Theorie von Laplace eine wahrhaft bessere Auflösung des Problems, oder eine größere Annäherung zu der wahren Erklärung der Ebbe und Fluth ist, als die, welche früher Bernoulli gegeben hat, der ganz den von Newton eingeschlagenen Weg verfolgt hat.

In den allermeisten Fällen sind bisher die Auflösungen aller hydrodynamischen Probleme keineswegs vollständig durch die Experimente bestätigt worden. Poisson und Cauchy haben die verschiedenen Gegenstände der Wellentheorie verfolgt, und sind dabei durch eine sehr tiefe und kunstreiche Analyse zu äußerst merkwürdigen Resultaten gelangt. Aber die meisten bisherigen Annahmen der Geometer stellen die Erscheinungen der Natur nicht ganz genügend dar, daher denn auch die auf theoretischem Wege gefundenen Vorschriften noch keinen festen Grund bilden, auf die man die mannigfaltigen Abweichungen der Phänomene in allen speziellen Fällen beziehen kann, so daß die Resultate der Beobachtungen durch die Rechnung nach jenen analytischen Ausdrücken oft nur sehr unvollkommen dargestellt werden. Auf diese Weise erscheint die Lage, in welcher wir die Hydrodynamik erblicken, in der That etwas sonderbar. Man hat in ihr offenbar den höchsten Punkt der Wissenschaft erreicht, nämlich die

---

16) M. s. Laplace Méc. cél. Vol. II. S. 218.

allgemeinsten und zugleich einfachsten Gesetze, aus denen die äußeren Erscheinungen erklärt werden sollen, und es läßt sich nicht weiter zweifeln, daß diese höchsten Prinzipien, zu denen wir gelangt sind, der Wahrheit gemäß und den Phänomenen der Natur vollkommen angemessen sind. Und doch sind wir noch immer sehr weit davon entfernt, diese Prinzipien so anwenden zu können, daß sie die Beobachtungen oder die durch unsere Experimente erhaltenen Thatsachen vollkommen bestätigen oder erklären können. Um diesen letzten Zweck zu erreichen, fehlen uns zu dem, was wir bereits besitzen, wie es scheint, noch einige Mittelbegriffe, noch einige andere nützliche und nothwendige Hülfsprinzipien, die jenen höchsten und an sich gleichsam trockenen und unfruchtbaren allgemeinen Gesetzen der Bewegung untergeordnet sind, und die sich auf die unzähligen Verschiedenheiten und auf die bisher unentwickelten Complexionen der Bewegungen der flüssigen Körper in allen besonderen, speziellen Fällen beziehen. Der Grund dieser Eigenthümlichkeit der Wissenschaft der Hydrodynamik scheint darin zu liegen, daß die höchsten Prinzipien derselben nicht in Beziehung auf diese Wissenschaft selbst, nicht auf ihrem eigenen Boden gefunden, sondern daß sie nur von dem Felde ihrer nahen Verwandten, der Mechanik der festen Körper, auf diesen neuen Boden übertragen worden sind. Die Prinzipien der Hydrodynamik wurden nicht dadurch erhalten, daß man sich von einzelnen Fällen allmählig zu immer allgemeineren erhob, sondern sie wurden unmittelbar und gleichsam in einem Sprunge erhascht, indem man nämlich die Voraussetzung wagte, daß auch die Bewegungen aller einzelnen Theile einer Flüssigkeit unter denselben allgemeinen Gesetzen enthalten sein müssen, nach welchen wir die Bewegungen der festen Körper vor sich gehen sehen. Auf diese Weise sind jene beiden Wissenschaften zwei großen nebeneinander stehenden Pallästen ähnlich geworden, die nur einen, beiden gemeinsamen Gipfel haben, und in deren einem wir bereits alle einzelne Gemächer durchwandert und genau kennen gelernt haben, während wir in dem anderen noch immer die Treppe nicht finden können, durch die man von oben herab oder auch von unten herauf gelangt. Wenn wir in einer Welt lebten, in der es keine feste Körper gäbe, so würden wir wahrscheinlich die Gesetze der Bewegung nie kennen gelernt haben; und wenn wir in einer Welt lebten, in welcher es nur feste Körper gäbe, so würden wir auch keinen Begriff von der Unzulänglichkeit jener allgemeinen Gesetze haben, sobald sie auch auf andere, als feste Körper, angewendet werden sollen.

14) Andere allgemeine Prinzipen der Mechanik. — Die allgemeinen Prinzipien der Bewegung, bei denen wir nun in unserer Geschichte angekommen sind, schließen zugleich mehrere andere Gesetze in sich, durch welche die Bewegung der Körper bestimmt werden kann. Unter diesen gibt es mehrere, die noch vor der Entdeckung jener höchsten Prinzipien gefunden worden sind, und die daher gleichsam als Uebergangsstufen zu jenem Gipfel gedient haben. Dieser Art waren, wie wir oben gesehen haben, die Prinzipien von der Erhaltung der lebendigen Kraft [17]), von der Bewegung des Schwerpunkts eines Systems und dergleichen. In der Folge hat man dieselbe auf natürlichem Wege aus jenen allgemeinen Gesetzen der Bewegung abzuleiten gesucht. Hieher gehört auch das Gesetz von der „Erhaltung der Flächen," die von den Körpern eines Systems beschrieben werden, eine Generalisation von den speciellen Gesetzen, nach welchen Kepler die Geschwindigkeiten der Planeten in ihrer Bewegung um die Sonne bestimmte. Auch kann hier das Prinzip von der „Unbeweglichkeit der Ebene der größten Flächen" angeführt werden, welche Ebene nämlich durch die gegenseitige Einwirkung der Körper eines Systems

---

17) In der Mechanik wird durch den Ausdruck „lebendige Kraft" das Produkt der Masse eines Körpers in das Quadrat seiner Geschwindigkeit verstanden. Die lebendige Kraft eines Körpers oder eines Systems von Körpern hängt, wie man in der Mechanik zeigt, blos von den äußeren, auf das System einwirkenden Kräften ab, keineswegs aber von der Verbindung dieser Körper unter einander, oder auch von den krummen Linien, welche jeder dieser Körper beschreiben mag, und wenn keine äußeren Kräfte auf das System wirken, so ist die lebendige Kraft desselben eine konstante Größe. Diese Eigenschaft der Bewegung, die besonders in der Hydrodynamik von dem größten Nutzen ist, wird der „Grundsatz der Erhaltung der lebendigen Kraft" genannt.

Ebenso wird in der Mechanik gezeigt, daß, wenn keine äußeren Kräfte auf ein System wirken, oder wenn das System blos der gegenseitigen Anziehung der einzelnen Körper, aus denen es besteht, unter-keine Aenderung erleidet. Jenes Gesetz wurde beinahe zu gleicher Zeit, gegen das Jahr 1746, von Euler, Daniel Bernoulli und Darcy, dieses aber wurde erst später von Laplace aufgestellt.

Noch muß hier eines anderen allgemeinen Gesetzes der Mechanik Erwähnung geschehen, „des Prinzips der kleinsten Wirkung," das zu seiner Zeit großes Aufsehn gemacht und selbst zu heftigen Streitigkeiten Anlaß gegeben hat. Maupertuis war der Meinung, er könne a priori und durch teleologische Gründe beweisen, daß alle mechanischen Veränderungen in der Welt nur unter der Bedingung der möglich kleinsten Wirkung[18])

---

worfen ist, daß dann die Bewegung des Schwerpunktes des Systems gleichförmig und geradlinig ist, und diese allgemeine Eigenschaft der Bewegung wird der „Grundsatz der Erhaltung der Bewegung des Schwerpunktes" genannt.

Wenn ferner keine äußeren Kräfte, oder auch, wenn nur solche äußere Kräfte, die alle nach dem Anfangspunkte der Coordinaten gerichtet sind, auf das System wirken, so sind immer die auf die drei coordinirten Ebenen projicirten Winkelflächen, welche die von dem Anfangspunkte der Coordinaten nach den verschiedenen Körpern des Systems gezogenen Radien in einer gegebenen Zeit beschreiben, dieser Zeit selbst proportional, worin der „Grundsatz der Erhaltung der „Flächen" besteht. M. s. Littrow's theoretische und praktische Astronomie, Vol. III. S. 70 u. f. oder Poisson's Traité de Mécanique, II. Aufl. Vol. II. S. 447, wo auch S. 465 die nähere Bestimmung der in dem Texte erwähnten „unbeweglichen Ebene" nachgewiesen wird. L.

18) Wenn die Körper eines Systems nur von inneren Kräften oder wenn sie auch von solchen äußeren Kräften getrieben werden, die blose Funktionen ihrer Entfernungen von einem bestimmten Punkte sind, so verhalten sich die Curven, welche von diesen Körpern beschrieben werden, und die Geschwindigkeiten, mit welchen sie beschrieben werden, immer so, daß die Summe der Produkte jeder Masse multiplizirt in das Integral $\int v\,ds$ ein Maximum oder ein Minimum ist, wo v die Geschwindigkeit, und ds das Differential des durchlaufenen Bogens der beschriebenen Curve bezeichnet, vorausgesetzt, daß man den Anfangs- und Endpunkt der Curve als gegeben oder als fix betrachtet. Diese allgemeine Eigenschaft der Bewegung wird der „Grundsatz der kleinsten Wirkung" genannt. Lagrange hat darauf in seinem ersten

vor sich gehen können, wobei er unter Wirkung oder unter dem Maß der Wirkung das Produkt der Geschwindigkeit in den zurückgelegten Raum verstand. Man nahm diese Benennung in die Wissenschaft auf, und obschon die Geometer dem neuen Prinzip nicht allgemein beistimmten, so fanden sie doch, daß dadurch eine merkwürdige und bei vielen Untersuchungen sehr nützliche Wahrheit ausgedrückt werde, die man übrigens auch aus den bereits bekannten anderen Prinzipien ableiten kann.

15) Allgemeine analytische Darstellung. Verbindung der Statik mit der Mechanik. — Ehe wir diesen Gegenstand verlassen, wollen wir noch auf den eigenthümlichen Charakter aufmerksam machen, den die Mechanik in Folge ihrer sehr großen analytischen Allgemeinheit angenommen hat. Die heutige Mechanik besteht in algebraischen Zeichen, und das ganze Geschäft des Theoretikers bezieht sich nur auf die verschiedenen Operationen, die mit diesen algebraischen Symbolen vorgenommen werden. Zwar sind, wie es der Natur der Sache nach nicht anders sein kann, die Verhältnisse der Zeiten und der Räume noch immer die leitenden Punkte der Wissenschaft, aber dem ungeachtet enthalten doch alle unsere größeren Werke über dieselbe auch nicht eine einzige Figur, durch welche diese Räume bildlich dargestellt werden. Die „Mécanique Analytique" von Lagrange, die zuerst im Jahr 1788 erschien, ist bei weitem das vollendetste Muster dieser rein analytischen Allgemeinheit. „Der Plan dieses Werkes, sagt sein großer Verfasser, ist ganz „neu. Ich habe mir vorgenommen, die ganze Theorie dieser „Wissenschaft, und die Kunst, alle ihre Probleme aufzulösen, „auf allgemeine analytische Ausdrücke zurückzuführen, deren einfache „Entwicklung dem Leser alle die Gleichungen geben soll, „die zu der Auflösung dieser Aufgaben nothwendig sind. — Der „Leser wird keine Zeichnungen in diesem Werke finden. Auch „werden für die Methoden, die ich hier aufstelle, weder Con-

jugendlichen Versuche über die Mechanik (Mém. de l'Acad. de Turin, Vol. I. et II.) die ganze Lehre der Bewegung zu gründen gesucht. M. s. Littrow's theor. und prakt. Astr. Vol. III. S. 75.

„struktionen noch andere geometrische oder mechanische Betrach-„tungen, sondern nur rein algebraische Operationen, erfordert, „die einem regelmäßigen und durchaus gleichförmigen Verfahren „überlassen werden.“ — Auf diese Weise hat Lagrange die Mechanik gleichsam zu einem Zweige der mathematischen Analysis gemacht [19]), statt daß früher die Analysis nur der Gehülfe oder das Werkzeug der Mechanik gewesen ist.

Der mit der Mathematik bekannte Leser weiß sehr wohl, daß ihre Sprache mittels jener algebraischen Symbole, ihrer Natur nach, viel allgemeiner ist, als alle unsere anderen Sprachen mit gewöhnlichen Worten, und daß die Wahrheit, in jene symbolische Sprache gekleidet, durch die Eigenthümlichkeit dieses Kleides selbst schon gleichsam ihre Generalisation mit sich führt und in ihrer Antwort auf gegebene Fragen Dinge ertheilt, auf die der Fragende selbst oft nicht einmal gedacht hat. Aehnliches ist nun auch, in Folge jener Verwandlung, der Mechanik widerfahren. Beinahe derselbe Ausdruck enthält die allgemeine Darstellung der Dynamik sowohl, als auch die der Statik. In dieser Tendenz zur Allgemeinheit, die durch die Analyse in die Mechanik eingeführt worden ist, liegt auch zugleich der Grund, warum die Geometer nur mit Widerwillen einen Beweis von Prinzipien der Mechanik anerkennen, und in der That wird auch in den neuesten Werken über diese Wissenschaft die ganze Theorie derselben aus dem einzigen Prinzip der Trägheit abgeleitet. Wenn man nämlich die accelerirenden Kräfte mit den Geschwindigkeiten identificirt, die von diesen Kräften erzeugt werden, und wenn man die Zerlegung der Geschwindigkeiten sofort auch auf die so verstandenen Kräfte anwendet, so läßt sich leicht zeigen, daß die Gesetze der Bewegung ohne Anstand auf die Prinzipien der Statik zurückgeführt werden können, und diese Verbindung zweier dem Anscheine nach heterogener Dinge, so wenig sie auch vielleicht philosophisch richtig sein mag, ist doch

---

19) Zu einer analytischen Geometrie von vier Dimensionen, wie Lagrange einmal die Mechanik nannte, wo nebst den drei Coordinaten, die den Ort eines Körpers im Raume bestimmen, auch noch die Zeit als vierte Coordinate hinzutritt. L.

dem Wohllaute nach völlig correct. Ich will übrigens hier nicht weiter untersuchen, ob dieses Verfahren auch als ein reeller Fortschritt in der Wissenschaft betrachtet werden kann.

Nachdem wir so die Geschichte der reinen theoretischen Mechanik im Allgemeinen dargestellt haben, gehen wir nun zu den Versuchen über, die gemacht worden sind, um, mit Hülfe dieser Theorie, die Erscheinungen des Himmels zu erklären.

Siebentes Buch.

Fortsetzung der mechanischen Wissenschaften.
Geschichte der physischen Astronomie.

Urania, vom Himmel steig' herab,
Du Hohe, nicht der Musen eine,
Die des Olympo's Höh'n bewohnen —
Du Himmelskind, das war, noch eh'
Die Berge waren und an ihrem Fuß
Die Ströme rauschten, und von der
Die jüngern, erdgebornen Schwestern
Des Himmels Weisheit lernten.

Milton. Verl. Parad. B. VII.

Erstes Kapitel.

Eingang zur induktiven Epoche Newton's.

Wir kommen nun zu der Betrachtung des letzten und glänzendsten Zeitraums der Astronomie; zu jener großen Vollendung des ältesten und fruchtbarsten Gebietes der menschlichen Erkenntniß; zu den Ereignissen, welche der Astronomie den unbestrittenen Vorzug über alle anderen Wissenschaften verliehen; zu dem ersten großen Beispiele, wo eine weit verbreitete und wunderbar verschlungene Masse von Erscheinungen der höchsten Art auf eine einzige, einfache Ursache zurückgeführt wird — mit einem Worte: wir kommen nun zu der Epoche, in der zum erstenmale eine wahrhaft induktive Wissenschaft in ihrer Vollendung vor uns steht.

Auch hier, wie in allen anderen bedeutenden Fortschritten der reellen Wissenschaften, gingen dem vollständigen Aufschlusse der neuen Wahrheit, durch ihren eigentlichen Entdecker, fremde Winke, Versuche und geistige Bewegungen voraus, welche die mit höherem Talent Begabten zu der Bahn hindrängten, wo die verborgene Wahrheit lag. Der gegenwärtige Fall aber ist so interessant und wichtig, daß es nicht unangemessen scheinen wird, einige dieser Vorläufer Newton's hier nach der Reihe anzuführen.

Franz Bacon. — Daß die Astronomie eine eigentlich physische Wissenschaft werden, und daß die Bewegungen der Himmelskörper auf ihre Ursachen zurückgeführt, unter bestimmte Regeln gebracht werden sollten, dies wurde zu der Zeit, von der wir sprechen, von allen thätigen und philosophischen Köpfen als eine dringende, nicht weiter zu beseitigende Forderung anerkannt. Wir haben bereits gesehen, wie tief dieses Gefühl auf Kepler wirkte, da er nur durch dasselbe zu den vielen und mühsamen

Untersuchungen angetrieben wurde, welche ihn endlich zu seinen drei berühmten Entdeckungen führten. Auch Bacon von Verulam wurde von dieser Ueberzeugung der Nothwendigkeit, der Astronomie einen physischen Charakter zu geben, ergriffen, und da er das gesammte Feld der menschlichen Erkenntniß mit einem mehr zusammenfassenden Geiste und von einem höheren Standpunkte, als Kepler, betrachtete, so konnte er auch von keinen althergebrachten astronomischen Vorurtheilen beirrt werden, um so weniger, da er, in Beziehung auf diesen Gegenstand, aus einer ganz anderen Schule hervorgegangen war, und da er auch zugleich viel weniger eigentlich mathematische Kenntnisse besaß. Er drückt sich darüber in seiner „Beschreibung eines intellek„tuellen Globus“ auf folgende Weise aus. —„Die Astronomie hat „sich bisher blos mit der Kenntniß der himmlischen Bewegungen, „die Philosophie aber mit den Ursachen dieser Bewegungen be„schäftigt, und beide gingen ihren Weg, ohne auf einander Rücksicht „zu nehmen. Der Philosoph vernachlässigte die Beobachtungen, „und der Astronom hielt sich nur an seine mathematischen „Hypothesen, die doch blose Hülfsmittel der Rechnung sein soll„ten. Diese beiden Gegenstände also, die bisher, wegen der „Beschränktheit unserer Ansichten und wegen dem Verfahren „ihrer Gründer und Lehrer, so lange getrennt gewesen sind, „sollten künftig nur als ein und derselbe Gegenstand betrachtet „und in einen gemeinsamen wissenschaftlichen Verband gebracht „werden.“ Man muß gestehen, daß diese Ansichten von der Natur und der eigentlichen Stellung der Wissenschaft wahr und richtig sind, so mangelhaft auch sonst Bacon's positiver Glaube in der Astronomie gewesen sein mag.

Kepler. — In dem Versuche, den starren Bewegungen des Himmels und seinem Verhältnisse zu der Erde eine rein physische Seite abzugewinnen, hatte Bacon so gut, wie alle seine Zeitgenossen, gefehlt, und die Ursache ihres Irrthums war, wie gesagt, der Mangel aller Kenntniß der wahren Gesetze der Bewegung — war die damals noch nicht existirende Theorie der Mechanik. Zur Zeit Bacon's und Kepler's trat aber allmählig die Möglichkeit ein, die Bewegungen des Himmels auf die Gesetze der irdischen Bewegung zurückzuführen, da diese letzten eben jetzt erst bekannt geworden waren. Daher gingen, wie wir oben gesehen haben, alle physischen Spekulationen Kepler's, der das erste

Gesetz der Bewegung (das Prinzip der Trägheit) noch nicht kannte, nur immer dahin, die Ursache von dem zu finden, was die Planeten in ihren Bahnen festhält, damit sie dieselben nie verlassen. Nach ihm hat die Sonne eine gewisse Kraft (virtus), durch welche sie alle jene Körper um sich herum führt. Er sucht dieses auf verschiedene Weise zu erklären [1]), indem er diese Kraft der Sonne bald mit dem Lichte, bald mit dem Magnete vergleicht, der auch in der Entfernung schon wirksam ist, und dessen Wirksamkeit, wie jene der Sonne, mit dieser Entfernung abnimmt. Allein diese Gleichnisse waren offenbar sehr unvollkommen, da sie uns nicht zeigten, wie die Sonne in der Entfernung eine solche Bewegung erzeugen soll, die auf der Richtung dieser Entfernung schief steht. Zwar nahm Kepler, um diesem Umstande abzuhelfen, eine Rotation der Sonne um ihre Achse an, und meinte, daß diese Rotation auch wohl die Ursache der Bewegung der Planeten um die Sonne sein könnte. Allein von einer solchen Bewegung konnte er auf unserer Erde kein analoges Beispiel finden, und noch weniger war er im Stande, seine Meinung durch Beweise zu bestätigen. — Ein anderes Bild, mit dem er sich zu helfen suchte, gab in der That ein mehr begreifliches und substantielleres mechanisches Mittel, die Planeten um die Sonne in Bewegung zu setzen. Dies war ein Strom von einer flüssigen, sehr dünnen Masse, der seinen Lauf um die Sonne hat und der in diesem Laufe den Planeten, wie der Bach einen Kahn, mit sich um die Sonne führt. In seinem Werke über den Planeten Mars ist ein Kapitel mit folgenden Worten überschrieben: „Physische Spekulation, in welcher bewiesen wird, daß „das Vehikel, welches die Planeten in Bewegung setzt, in dem „Weltenraume cirkulirt, gleich einem Bache oder einem Strudel „(vortex), und zwar etwas schneller noch als die Planeten.“ —

Wenn man aber in dieser und in andern Schriften des seltenen Mannes die immer wiederkehrenden Phrasen liest, „von „bewegender Kraft, magnetischer Natur, immaterieller Virtuosität“ und dergl., so muß man bald gestehen, daß sie alle nur dann einen bestimmten Begriff mit sich führen können, wenn sie in Beziehung auf den eben erwähnten Vortex genommen werden. Ein Strom von Flüssigkeit, der sich immer um die Sonne windet, der selbst durch die Rotation der Sonne in

1) **Kepler. De Stella Martis. Pars 3. Cop. 34.**

dieser wirbelnden Bewegung erhalten wird, und der endlich die Planeten in seinem Laufe mit sich um die Sonne führt, so wie etwa ein Wasserstrudel Strohhalme und andere kleine Körper mit sich im Wirbel fortzieht — eine solche Hypothese kann wenigstens begriffen und deutlich verstanden werden. Kepler scheint übrigens diesen Strom oder Wirbel für etwas Immaterielles zu halten, obschon er ihm die Eigenschaft beilegt, die Trägheit der Körper zu überwinden, und sie um die Sonne in stete Bewegung zu setzen. Kepler's physische Astronomie beruht also in letzter Instanz, wie man sieht, auf der Lehre von den Wirbeln, die später Descartes weiter auszubilden suchte. Aber indem er diese Wirbel zugleich wieder für etwas Immaterielles erklärt, und überhaupt in seinem Vortrage sich einer sehr unsteten und unbestimmten Phraseologie bedient, so ist dadurch seine sogenannte Theorie dunkel und verwirrt geworden, was sich auch wohl von seinem Mangel an richtigen mechanischen Grundsätzen, und von seiner zu lebhaften Phantasie kaum anders erwarten ließ. Auch war es wohl nicht eben leicht, zu Keplers Zeiten irgend eine andere mehr annehmbare Theorie, als die jener Wirbel, auszufinden, und diese selbst konnte erst mit dem Fortgange und der höhern Ausbildung der Mechanik in ihrer völligen Unhaltbarkeit erscheinen.

Descartes. — Wenn man aber Kepplern, wegen der Bekanntmachung dieser Theorie zu seiner Zeit, entschuldigen oder vielleicht selbst bewundern muß, so änderten sich doch die Verhältnisse völlig, als einmal die Gesetze der Bewegung vollkommen bekannt und entwickelt waren, und als man die Bewegungen der Himmelskörper als ein mechanisches Problem zu betrachten anfing, das denselben Bedingungen unterworfen, und derselben Schärfe in seiner Auflösung fähig ist, als alle anderen Probleme dieser Art. Es zeigte sich gleich anfangs ein eigenthümlicher Mangel an Zusammenhang in dieser Wirbeltheorie, als sie von Descartes neuerdings aufgestellt und in Schutz genommen wurde: von Descartes, der vorgab oder von dem durch seine Freunde vorgegeben wurde, daß er selbst einer der Entdecker jener wahren Gesetze der Bewegung gewesen sein soll. Er verrieth ohne Zweifel viel Selbstgenügsamkeit und zugleich nicht wenig Schwäche, indem er diese rohe, einer antimechanischen Periode angehörende Erfindung mit so viel Pomp zu einer Zeit anzukündigen wagte, wo die besten Mathematiker Europa's, Borelli in Italien, Hooke und Wallis in England und Huyghens in Holland, eben so thätig bemüht waren, die Probleme der Mechanik des Himmels auf eine bestimmte Form zu bringen und die wahre Auflösung derselben für ihre und für alle folgenden Zeiten festzustellen.

Wir wollen dabei nicht sagen, daß Descartes seine Theorie von Kepler oder von irgend einem andern seiner Vorgänger geborgt habe. Auch war sie wohl nicht so schwer zu finden, besonders wenn man voraussetzt, daß er die Gründe seiner Hypothese mehr in der Uebereinstimmung mit den Erscheinungen der Sinne, als in den genauen Gesetzen der Bewegung gesucht hat. Auch würde es unverständig sein, einen Philosophen seines Kredits der Ehre berauben zu wollen, ein so umfassendes System aus scheinbar so einfachen Gründen entwickelt zu haben, was zu seiner Zeit so sehr bewundert worden ist, und ihm zugleich so viele Anhänger verschafft hat. Aber demungeachtet kann man die Bemerkung nicht zurückhalten, daß diese Theorie, wie er sie aus den einmal angenommenen Prinzipien in einer langen Kette von Schlüssen entwickelt hatte, da er dieselbe auf keinem seiner Schritte durch bestimmte Thatsachen und durch genaue Beobachtungen beweisen konnte, keinen Anspruch auf innere Wahrheit machen durfte. Descartes sagte: er achte es für etwas sehr geringes, zu zeigen, wie das Universum eingerichtet sei, wenn er nicht zugleich beweisen könne, daß es auch nothwendig so eingerichtet sein müsse. Die mehr bescheidene Philosophie, welche die Großsprechereien jener Schule überlebte, begnügte sich im Gegentheile damit, alle ihre Kenntnisse der Natur aus der Erfahrung, aus unmittelbaren Beobachtungen, abzuleiten, und ihr ist es noch nie eingefallen, ihr peremtorisches Müssen in allen den Fällen geltend zu machen, wenn die Natur sich herabläßt, uns zu zeigen, was sie in der That ist. Aber jene Philosophen, die alles a priori konstruiren, haben immer unter den Menschen besonderen Anhang und Freundschaft gefunden. Die deduktive Form, in welche sie ihre Spekulationen zu gießen pflegen, hat für die anderen einen eigenen lockenden Reiz und zugleich den Anschein einer besonderen Strenge und Gewißheit, den sonst nur die Mathematik gewährt. Dazu vermeidet das Verfahren dieser Leute jenes mühsame Zurückgehen auf Experimente und Beobachtungen, das dem größten Theile ihrer Leser unbequem und mißfällig ist, da sie es nicht erwarten können, ebenfalls recht schnell weise zu werden und gleich ihren Vorgängern als Philosophen aufzutreten, und die daher jede noch so kleine Nebensache, von welcher jene Theorie eine nur einigermaßen annehmbare Erklärung zu geben scheint, sofort für einen unbezweifelbaren und untrüglichen Beweis der Wahrheit des Ganzen selbst zu halten pflegen.

Allein hier haben wir es nur mit der eigentlich physischen Theorie jener Cartesianischen Wirbel zu thun. Diese aber, so groß auch der Glanz derselben zu ihrer Zeit gewesen sein mag, ist in unseren und wohl auch für alle kommenden Zeiten gänzlich verloschen. Descartes hatte sie in seinen Principiis Philosophiae im Jahre 1644 der Welt bekannt gemacht. Um damit zu seinem Zweck zu gelangen, beginnt er, wie sich erwarten läßt, mit sehr allgemeinen Betrachtungen. In dem ersten Lehrsatze stellt er als Axiom auf, daß Jedermann, der die Wahrheit aufrichtig sucht, wenigstens einmal in seinem Leben an allem dem, was er am innigsten geglaubt, gezweifelt haben muß. Indem er sich dann seinen Lesern als einen solchen Mann darstellt, der seinen früheren Glauben über alles gänzlich von sich abgestreift hat, um später nur denjenigen Theil desselben, der der Aufnahme werth ist, wieder aufzunehmen, eröffnet er die Reihe der neuen Wahrheiten, die er nun der Welt mitzutheilen gedenkt, mit jenem berühmt gewordenen Satze: „Ich denke, also bin ich.“ Dieser Satz erscheint ihm als ein gewisses, unabänderliches Prinzip, mit dessen Hülfe er bald weiter zu kommen hofft. An dieses Prinzip sucht er die Idee, und demnach auch die Existenz des höchsten Wesens und dessen Eigenschaften zu binden. Weiter wird behauptet, daß der leere Raum, in irgend einem Theile des Weltalls, etwas unmögliches ist. Das ganze Universum, sagt er, muß mit Materie angefüllt sein, und diese Materie muß in lauter kleine und gleichwinklige Körper getheilt sein, weil dies die einfachste, also auch die natürlichste Voraussetzung ist, (Princ. S. 58). Da ferner diese Materie in Bewegung begriffen ist, so müssen jene kleinen Körperchen allmählig eine kugelförmige Gestalt annehmen, wo dann die abgeriebenen Ecken derselben, gleich den Feil- oder Sägespänen, eine eigene, zweite Art von Masse bilden (Ibid. S. 59). Außer diesen beiden gibt es aber noch eine dritte Art von Masse, die ihrer Natur nach roher oder gröber und weniger zur Bewegung geeignet ist. Jene erste Masse bildet die leuchtenden Körper, wie die Sonne und die

Fixsterne; die zweite bildet die durchsichtige Substanz des Himmels, und die dritte endlich gibt die dunklen Körper, die Erde, die Planeten und die Kometen. Die Bewegungen jener ersten kleinen Körper werden (S. 56 und 61) in kreisförmigen Strömen oder Wirbeln angenommen. Durch ihre Hülfe sammelt sich die erste Materie um den Mittelpunkt eines jeden Wirbels, während die zweite, feinere Materie jene erste umgibt, und, durch ihre Centrifugalkraft, das Licht bildet. Die Planeten werden durch die Bewegung ihrer Wirbel um die Sonne geführt (S. 114 und 140), so daß jeder Planet in einem solchen Abstande von der Sonne ist, daß er noch in einem Theile des Wirbels steht, der seiner Solidität und seiner Beweglichkeit angemessen ist. Verschiedene Einwirkungen hindern die völlig kreisförmige und regelmäßige Bewegung der Planeten, wie z. B. wenn einer der Wirbel durch die anderen ihm zunächst liegenden in eine eiförmige Gestalt zusammengedrückt wird. Eben so werden auch die Satelliten durch andere, untergeordnete Wirbel um ihren Hauptplaneten geführt, während im Gegentheile die Kometen gewissermaßen die Freiheit haben, von einem Wirbel in den andern nächstliegenden überzutreten und auf diese Weise in einer schlangenförmigen Bahn von einem Sonnensystem zum andern das Weltall durchwandern.

Es wird unnöthig sein, hier von der völligen Grundlosigkeit dieses Systems in Beziehung auf dessen mechanische Haltbarkeit und auf die Uebereinstimmung desselben mit den astronomischen Beobachtungen zu sprechen. Seine allgemeine Aufnahme und sein zeitliches Ansehen, selbst zuweilen bei sehr verständigen, der Mathematik wohlkundigen Männern, sind die merkwürdigsten Ereignisse, deren es sich rühmen kann. Dies mag zum Theil dem Umstande zugeschrieben werden, daß die Philosophen jener Zeit bereit und selbst begierig waren, eine physische Astronomie aufzunehmen, die dem damaligen Zustande ihrer Kenntnisse angemessen war; zum Theil aber liegt auch wohl der Grund jener Erscheinung in dem Charakter und der Stellung des Erfinders selbst. Descartes war ein Mann von hohem Rufe in jedem Felde der Spekulation, und in der reinen Mathematik besonders wurde er als ein erfindungsreiches Talent von großem Rufe verehrt. Er hatte als Familienvater und als Kriegsmann mannigfaltige Schicksale erlebt; war als ein friedlicher Philosoph seiner harmlosen Meinungen wegen von Voet, einem holländischen Geistlichen, auf eine sehr bigotte und wüthende Weise angegriffen und verfolgt worden; er war der Lehrer und Günstling von zwei ausgezeichneten Fürstinnen, und, wie man sagt, auch der Geliebte von einer derselben. Dies war Elisabeth, Tochter des Churfürsten Friederich, also auch Enkelin Jakobs I. von England. Seine andere königliche Schülerin war die berühmte Christine von Schweden, die ihre Lernbegierde dadurch bezeigte, daß sie schon die fünfte Stunde des Morgens für ihre täglichen Zusammenkünfte mit dem Philosophen bestimmte. In dem Klima von Schweden und zur Winterszeit war dies eine schwere Aufgabe für die schwache Konstitution eines Mannes, der in den sonnigen Thälern der Loire geboren war, daher er auch, nach einem kurzen Aufenthalte zu Stockholm, im Jahr 1650 an einer Brustentzündung starb. Sein ganzes Leben durch unterhielt er eine lebhafte Korrespondenz mit seinem Freunde Mersenne [2]),

---

2) Mersenne, geb. 1588 in dem französischen Departement Maine, gest. am 1. Sept. 1648 zu Paris als Mitglied des Mönchsordens der frères mineurs. Schon in seiner Jugend schloß er sich innig an Descartes an, mit dem er die Schulen besuchte, und den er auch später gegen seine vielen Gegner und Verfolger auf das Eifrigste vertheidigte. Nachher beschäftigte er sich anhaltend mit der Theorie der Spiegeltelescope, lange zuvor, ehe Gregory und Newton diesen Instrumenten ihre eigenen Namen gaben. Im Jahre 1640 machte er eine Reise durch das südliche Frankreich nach Italien, wo er sich mit den vorzüglichsten Gelehrten dieses Landes befreundete, und auch ihre Geneigtheit für seinen Freund Descartes zu gewinnen suchte. Bei seiner Zurückkunft nach Paris im Jahre 1645 machte er daselbst die interessanten Entdeckungen Toricelli's über das Barometer und den Luftdruck bekannt, wo er mit Pascal die Versuche wiederholte. Er starb unter den Händen eines ungeschickten Arztes, der ihm wegen Seitenstechen die Lenden öffnete, unter den Schmerzen der Operation. Seine vorzüglichsten Schriften sind: Questions théologiques, physiques et mathématiques; Récréations des savans; questions harmoniques sur les sciences, II Vol. 1634; Les mécaniques de Galilei, aus dem Italienischen, Paris 1635; Harmonie universelle, contenant la théorie de la musique, Paris 1636. Die beiden letzten Werke haben zur Zeit ihrer Erscheinung viel Aufsehen gemacht, und sind, zur Geschichte der Mechanik und Musik, noch jetzt von Wichtigkeit. Noch haben wir von ihm Cogitata physico-mathematica, Paris 1646; Universae geometriae synopsis, Paris 1645; Novae observationes physico-mathematicae, und De mundi systemate, partibus motibusque ejusdem, ex arabico latine, cum notis Robervali. Paris 1644. L.

den die Franzosen deshalb „den Residenten des Descartes zu Paris“ genannt haben, und der auch seinen entfernten Freund von allem, was in der wissenschaftlichen Welt vorging, getreuliche Nachricht gegeben hat. Descartes soll ihm früher einen Versuch zur Erklärung des Universums geschickt haben, der auf die Annahme eines leeren Raums in der Natur gegründet war. Mersenne aber berichtete ihm, daß der leere Raum nicht mehr Mode zu Paris wäre, worauf Descartes sein System umgearbeitet und auf der Voraussetzung eines überall vollen Raumes wieder erbaut haben soll. Vielleicht wollte er auch nur die Publikation von Meinungen vermeiden, die ihm wieder Unannehmlichkeiten und Unruhen zuziehen könnten. Descartes suchte bei allen Gelegenheiten die Lehre von der Bewegung der Erde so auszulegen, daß er jede Berührung mit dem dagegen erlassenen Decrete vermied, und indem er seine Wirbeltheorie bekannt machte, sagte er (Princ. S. 56): „Obschon nicht gezweifelt werden kann, daß „die Welt gleich anfangs in ihrer höchsten Vollkommenheit erschaffen worden ist, so mag es doch immer nützlich sein, zuzusehen, auf welche Weise sie auch nach gewissen Prinzipien entstanden sein könnte, obgleich wir recht wohl wissen, daß sie „nicht so entstanden ist.“ In der That scheint er, wie man aus seiner ganzen Philosophie sieht, den Doppelnamen Pusillanimus simul et audax, den Bacon [3]) dem Aristoteles wegen seiner physischen Spekulationen gegeben hat, mit viel größerem Rechte, als der Stagirite, zu verdienen.

Was immer die Ursache war, sein System wurde sehr wohl aufgenommen und schnell verbreitet. Zwar sagt Gassendi [4]), daß er Niemand finden konnte, der die Prinzipien des Descartes ganz durchgelesen hätte, aber das neue System wurde doch, besonders von den jüngeren Professoren, eifrig aufgenommen, die sich beinahe alle für die Anhänger und Partheigänger desselben erklärten. Man erzählt [5]), daß die Pariser Universität schon auf dem Punkte war, ihr förmliches Edict gegen diese neue Lehre bekannt zu geben, und daß sie blos durch eine Pasquinade

---

3) Bacon. Vol. IX. S. 230.

4) M. s. Delambre, Astr. Moyen. II. 163.

5) Encycl. Brit. Artikel: Cartesianism.

davon zurückgehalten wurde. Der Verfasser derselben war der bekannte Dichter Boileau (um das Jahr 1684). Diese Schrift enthielt ein förmliches gerichtliches Ansuchen der Universität zu Gunsten des Aristoteles, zugleich mit einem Edicte, das deßhalb von dem Berge Parnassus erfolgt sein sollte. Offenbar wurde zu jener Zeit der Cartesianismus als der Grund oder die Veranlassung der freieren Untersuchungen und der vielen und auffallenden neuern Entdeckungen jener Zeit, und als die Oppositionspartheі der Bigotterie, der Vorurtheile und der Unwissenheit betrachtet, und der Dichter selbst mochte vielleicht sehr weit davon entfernt gewesen sein, ein richtiges und gegründetes Urtheil über Wahrheiten dieser Art abgeben zu können. Jene Petition der Magister der freien Künste, der Professoren und Vorsteher der Pariser Universität, zeigte zuerst in geziemender Unterthänigkeit an, „daß „der erhabene und unvergleichliche Aristoteles, wie allgemein „bekannt, der erste Gründer der vier Elemente, Feuer, Luft, „Wasser und Erde gewesen ist; daß er es war, der diesen Ele„menten allergnädigst eine Einfachheit verliehen habe, die ihnen „nach dem Naturrecht nicht zukommt u. s. w., daß aber dem„ungeachtet seit einiger Zeit zwei obscure Individuen, die sich „Verstand und Erfahrung nennen, sich in der böslichen Absicht „verbunden haben, dem besagten Aristoteles den Rang streitig „zu machen, der ihm der Gerechtigkeit gemäß gebührt, indem jene „sich auf den Trümmern seines Thrones ihren eigenen errichten „wollen, und indem sie, ihr Vorhaben sicherer auszuführen, sich „andern faktiosen Köpfen anschließen, die unter der Benennung „von Cartesianern und Gassendisten ebenfalls das Joch des Ari„stoteles, ihres Herrn und Meisters, abschütteln, und die, unter „völliger Mißachtung seines wohlerworbenen und althergebrachten „Ansehens, ihm das unbestreitbare Recht nehmen wollen, Wahr„heit in Lüge, und Lüge in Wahrheit, wie es ihm gefällt, zu „verwandeln u. s. w.“ — In der That enthält diese Schrift keinen einzigen derjenigen Sätze, durch welche die Lehre des Descartes sich von den übrigen philosophischen Systemen unterscheidet, aber wahrscheinlich hatten diese Sätze doch schon in den Hörsälen der Pariser Universität Eingang gefunden. Rohault's Physik, eines der eifrigsten Anhänger des Descartes, war schon 1670 zu Paris erschienen, und hatte seitdem lange Zeit in Frankreich sowohl, als auch in England, als das Hauptbuch für den Unterricht in dieser Wissenschaft auf den hohen Schulen gegolten [6]).

---

6) Die neue Lehre, wie sie Newton in den „Prinzipien" aufgestellt hatte, fand nicht nur im Auslande, sondern in England selbst, auch noch lange nach ihrer ersten Erscheinung, viel Widerstand. In Frankreich erklärte sich zuerst Louville und Maupertuis offen dafür, aber erst dreißig Jahre nach der ersten Bekanntmachung derselben, während welcher Zeit sie, einige wenige Leser, wie Huyghens, Leibnitz, Bernoulli ausgenommen, als noch gar nicht existirend betrachtet werden konnte. Auf den holländischen Universitäten wurde sie von s'Gravesande eingeführt. In England aber wurde, wie Brewstre in seiner Biographie Newton's (London 1831) sagt, das Wirbelsystem des Descartes bis an den Tod Newton's, also über vierzig Jahre nach der Ausgabe seines ersten Werkes, als das einzig wahre auf den hohen Schulen vorgetragen. Noch im Jahre 1715 wurde Rohaults Physik, ein durchaus cartesianisches Buch, aus dem Französischen in's Lateinische übersetzt, selbst auf der Universität zu Cambridge, wo Newton gelebt und gelehrt hatte, als Leitfaden zu den Vorlesungen gebraucht. Man würde es mit der Mehrheit der Professoren dieser und aller englischen Universitäten verdorben haben, wenn man sich von dem Katheder offen für Newton's Lehre erklärt hätte. Es war wohl eine Art Mode geworden, seine tiefe Gelehrsamkeit zu preisen, auch zuweilen auf ihn, als eine Zierde des Landes, stolz zu thun, besonders seit er zugleich hohe und wichtige Aemter im Staate bekleidete — aber weiter wollte diese Ehrfurcht nicht gehen, und was insbesonders seine Lehren und Rechnungen betraf, die wohl von den allermeisten Professoren selbst nicht verstanden wurden, so lagen diese auf den Schulen lange Zeit in Vergessenheit oder in einer Art von Interdict, da man es viel bequemer fand, beim Alten zu bleiben, und sich mit jenen Dingen den Kopf nicht zu zerbrechen. Der bekannte Samuel Clarke wagte im Jahre 1718 den ersten Versuch, sich über die Masse und ihr gewöhnliches Treiben zu erheben, aber mit welcher Vorsicht! Da nämlich das erwähnte Werk Rohaults sehr schlecht in das Lateinische übertragen war, so gab er eine viel bessere Uebersetzung desselben, aber mit Noten am Ende eines jeden Kapitels, und in diesen Noten wagte er es, den im Texte enthaltenen Cartesianischen Erklärungen, ohne übrigens diese auch nur von ferne anzugreifen, die Newton'schen Darstellungen als Randglossen oder als Seitenstücke beizufügen. Die bessere Latinität und die größere Sorgfalt, mit der diese neue Ausgabe eines alten Buches ausgestattet wurde, war die Ursache, daß es ohne Widerstand bei den Vorlesungen der Professoren gebraucht werden konnte. Die Kriegslist war gut angelegt, und der Erfolg entsprach der Erwartung. Der Professor las, wie bisher, über seinen

Ich spreche übrigens hier nicht von den letzten Vertheidigern dieses Systems, da dasselbe in ihren Händen sehr umgestaltet wurde, blos um den Kämpfen begegnen zu können, die es gegen das System Newton's zu bestehen hatte. Wir betrachten vielmehr den Descartes und seine Schule nur insofern, als sie einen Theil von dem großen Gemälde der europäischen Intelligenz kurz vor der Erscheinung Newton's gebildet haben. Außer dieser Beziehung und an sich selbst betrachtet, sind jene cartesianischen Spekulationen ganz ohne Werth. — Als endlich seine Landsleute der Theorie Newton's ihre Zustimmung, und selbst ihre Bewunderung nicht länger mehr versagen konnten, wurde es eine Art Mode unter ihnen, Descartes den Vorgänger Newton's zu nennen, ohne welchen dieser nicht hätte kommen können, und den Aus-

---

beliebten Text und der Schüler mochte, wenn er konnte und wollte, die Noten nachsehen. Wer von den letztern Augen hatte, mußte bald sehen, wo die Wahrheit lag, besonders hier, wo sie dem Irrthum Schritt vor Schritt gegenüber gestellt wurde. Auf diese Weise also mußte selbst in Cambridge die Newtonianische Philosophie, nur heimlich und gleichsam noch unter dem Schutze, ja unter der Firma der Cartesianischen eingeführt werden. — In Schottland erfuhr sie etwas weniger Widerstand, da sich ihrer hier besonders die beiden Brüder Jacob und David Gregory eifrig annahmen. Beide lasen schon lange in Edinburg über Newton's Gravitationssystem, während, wie Whiston in den Memoirs of his life sagt, die Docenten in Cambridge noch immer die Träume des Cartesius studierten. Auch die Philosophie Locke's, des Freundes von Newton, wurde an den schottischen Universitäten viel früher und günstiger aufgenommen, als in dem eigentlichen England. Uebrigens trug Newton selbst seine neue Lehre viele Jahre in Cambridge öffentlich vor, und Whiston erzählt, daß er einmal einer dieser Vorlesungen zugehört, aber auch nicht ein Wort davon verstanden habe. Im Jahre 1707 fing der berühmte blinde Mathematiker Saunderson an, die Theorie Newton's in Cambridge vorzutragen, und zwar weil er sie mit interessanten Experimenten begleitete, mit ungemeinem Beifalle und großem Zudrange von Zuhörern aller Art. Bald darauf wurde das Studium der Prinzipien auch auf der Universität in Cambridge und Oxford sehr verbreitet, und der Preis des Werkes dadurch so erhöht, daß man bereits viermal mehr, als anfangs, dafür geben mußte. Cotes, der eine neue Auflage desselben besorgte, erzählt in seiner trefflichen Einleitung dazu, daß man zuletzt die Exemplare der früheren Edition nur mehr zu ungeheuren Preisen erhalten konnte. L.

spruch des Leibnitz zu wiederholen, daß die cartesische Philosophie das Vorzimmer der Wahrheit ist. Allein dieses Gleichniß ist nicht sehr glücklich. Es scheint vielmehr, daß die Nachfolger des Descartes die rechte Thür nicht mehr finden konnten. Denn die, welche zuerst in jenem Vorzimmer der Wahrheit standen, kamen ganz zuletzt in die übrigen Gemächer desselben, während die, welche die Wahrheit vor allen zuerst erblickten, sich nie zuvor in jenem Vorzimmer aufgehalten hatten. Zum Theile in demselben Geiste bemerkt Playfair es als einen guten Dienst, den Newton dem Descartes verdanke, daß der letzte „den Irrthum in seiner verführerischsten Gestalt erschöpft habe." Wir werden bald sehen, daß diese Verführung keine Gewalt über alle diejenigen übte, welche das Problem in seinem wahren Lichte erblickten. Viel richtiger ist Voltaire's Bemerkung, daß in Newton's Gebäude auch nicht ein Stein von dem des Descartes gefunden wird. Er erläutert dies durch die Nachricht, daß Newton nur einmal angefangen hatte, das Werk von Descartes zu lesen; daß er dabei auf den ersten sieben oder acht Blättern mehrmals das Wort „error" an den Rand geschrieben, und dann nicht mehr weiter gelesen habe. Dieses Exemplar, setzt Voltaire hinzu, war längere Zeit in den Händen von Newton's Neffen geblieben [7]).

Gassendi [8]). — Auch in England wurde das System des

---

7) Enc. Phil. Cartesianism.

8) Gassendi (Pierre), geb. 1592 in Frankreich, wurde 1613 Professor der Philosophie und Theologie an der Universität zu Aix. Da er aber der damals herrschenden Aristotelischen Philosophie abgeneigt war, so beschäftigte er sich mehr mit den Naturwissenschaften, besonders der Astronomie und mit der Lectüre der Alten, unter denen er besonders den Epicur zu seinen Liebling gemacht zu haben scheint. Seine Exercitationes paradoxicae adversus Aristotelem, Grenoble 1624, erweckten ihm Freunde, aber auch mehrere Gegner. Im Jahr 1625 erhielt er die Professur der Mathematik an dem Collége royal de France zu Paris, wo er gleichsam der Mittelpunkt aller Gebildeten dieser Hauptstadt ward. Unter seine gelehrten Freunde zählte er Galilei und Kepler, und der berühmte Dichter Molière war einer seiner Schüler. Er starb am 14. Okt. 1655. Sein Hauptwerk ist: De vita et moribus Epicuri, Lyon 1647, wozu das Syntagma philosophiae Epicuri (Lyon 1649) als Anhang gehört. Noch haben wir von ihm Institutio astronomica und Vitae Tychonis,

Descartes keineswegs allgemein angenommen. Selbst Gassendi, den man doch, wie wir oben sahen, als im Bunde mit Descartes für die neue Lehre zu betrachten pflegte, war sehr weit davon entfernt, ein unbedingter Bewunderer jener Lehre zu sein. Die Ansichten, die er von den Ursachen der himmlischen Bewegungen gibt, sind nicht eben sehr klar und nicht auf eigentlich mechanische Gesetze zurückführbar, obschon er einer der Eifrigsten von denen war, welche diese Gesetze auf die Bewegungen der Planeten anzuwenden wünschten. In dem Kapitel seines Werkes, das die Aufschrift hat [9]): „Quae sit motrix siderum causa“ geht er verschiedene Meinungen durch, und scheint dann diejenige anzunehmen, nach welcher die Bewegung der Planeten gewissen „Fibern“ zugeschrieben wird, deren Wirkungen jenen der thierischen Muskeln ähnlich ist. Es wird daraus nicht klar, ob er dabei die Fortsetzung der Bewegung der Planeten in Folge des ersten Gesetzes der Mechanik, oder auch die Krümmung ihrer Bahn in Folge des zweiten jener Gesetze erkannt hat, diese zwei Hauptschritte auf der Bahn, zu welcher allein man zur Entdeckung der wahren Ursachen der himmlischen Bewegungen gelangen konnte.

Leibnitz und andere [10]). — Es scheint auch nicht, daß

Copernici, Peurbachii et Regiomontani (Paris 1654), beides ausgezeichnete Schriften. Seine sämmtliche Werke sind gesammelt von Montmort und Sorbière, VI Bände, Lyon 1658, Fol. L.

9) Gassendi, Opera. Vol. I. p. 638.

10) Leibnitz (Gottfr. Wilh. Freiherr v.), geb. 3. Juli 1646 zu Leipzig, wo sein Vater Professor der Rechte war. Bis zu seinem fünfundzwanzigsten Jahre beschäftigte er sich vorzüglich mit juridischen und philosophischen Gegenständen, bis er 1672 den jungen Boineburg nach Paris und London begleitete, wo er die ausgezeichneten Mathematiker dieser beiden Hauptstädte kennen lernte, und wo dann auch die Mathematik eine seiner Hauptbeschäftigungen wurde. 1676 trat er in Hannover'sche Dienste als Bibliothekar und Historiograph des Landes. Im Jahre 1700 wurde er von dem Kurfürsten von Brandenburg, später König von Preußen, Friedrich I., zum Präsidenten der von ihm selbst gegründeten Akademie in Berlin ernannt. Kaiser Karl VI. und Zar Peter I. überhäuften ihn ebenfalls mit Gunstbezeigungen. Er starb 14. Nov. 1716 zu Hannover. Seine ungemein ausgebreitete Gelehrsamkeit, sein hohes Talent für Mathematik und Philosophie, und seine unermüdliche Thätigkeit wird allgemein anerkannt. Ueber seine Philo-

die deutschen Mathematiker jener Zeit diesen höheren Standpunkt schon erreicht hatten. Leibnitz hielt, wie wir gesehen haben, dafür, daß Descartes die Wahrheit wenigstens nicht vollständig erreicht habe — aber auch seine eigenen Ansichten scheinen nicht viel besser gewesen zu sein. Im Jahre 1671 gab er seine Schrift heraus: „Eine neue physische Hypothese, durch welche die Ursa„chen der meisten Erscheinungen aus einer bestimmten allgemeinen „Bewegung unserer Erde erklärt werden, und die weder von „den Tychonianern, noch von den Copernikanern verschmäht „werden soll." Er setzt darin voraus, daß die kleinsten Elemente der Erde für sich abgesonderte Bewegungen haben, und daß durch diese Bewegungen der nach allen Richtungen radiirende Aether agitirt werde. Die jährliche Bewegung der Erde um die Sonne aber läßt er aus einer Verbindung der Rotation der Sonne um ihre Axe mit der geradlinigen Anziehung derselben auf die Erde entstehen und auf ähnliche Weise sucht er auch die übrigen Bewegungen des Sonnensystems zu erklären. Allein es scheint nicht leicht zu sein, Hypothesen dieser Art auf rein mechanische Grundsätze zurückzuführen.

Johann Bernoulli vertheidigte bis an sein Ende die Hypothese des Descartes, obschon er ihr manche eigene Zusätze beimischte. Er wollte sogar auf diese Prinzipien eigentlich mathematische Berechnungen gründen. Doch dies gehört zu einer späteren Periode unserer Geschichte, zu der Aufnahme, nicht zu dem Vorspiele der Newtonischen Lehre.

Borelli. — In Italien, Holland und England scheinen

---

sophie (Rationalismus mit Optimismus) s. m. Ludovici's vollständige Historie der Leibnitz'schen Philosophie, Leipzig 1737. Ueber seine mathematischen Verdienste besonders in Beziehung auf die Erfindung der Differentialrechnung s. Bossut, Hist. des Mathématiques, Paris 1810. Vol. II. S. 62 u. f. Seine vorzüglichsten Schriften sind: Théodicée ou sur la bonté de Dieu; Scriptores rerum Brunsvicensium; Codex juris gentium diplomaticus u. s. Seine zerstreuten, meistens mathematischen Aufsätze finden sich in den Actis eruditorum Lipsiensium und in den Miscellan. Berol. Seine sämmtlichen Werke besorgte Dutens (Genf 1768. Vol. VI). Einen Nachtrag dazu, philosophische Schriften enthaltend, gab Raspe (Amsterd. 1765). Sein Leben beschrieb Eccard (in Murr's Journal der Kunstgeschichte. Vol. VII.), ferner Lamprecht (Berl. 1740), Rehberg (im Hannov. Magazin für 1787) und Eberhard (im Pantheon der Deutschen. Vol. II.) L.

die Mathematiker schärfere Blicke auf das große Problem der Bewegung der Himmelskörper geworfen zu haben, indem sie das Licht, welches ihnen in der Entdeckung der allgemeinen Gesetze der Bewegung aufgegangen war, auf jenen Gegenstand anzuwenden suchten. In Borelli's „Theorie der Mediceischen Planeten, Florenz 1666“ tritt bereits der Begriff einer Zentralbewegung deutlich hervor. Es wird hier von der gegenseitigen Anziehung der Körper gesprochen, von denen der eine sich um den andern bewegt, und diese Anziehung wird dem des Magnets verglichen. Hier wird nicht mehr, wie Kepler irrig that, die anziehende Kraft des Zentralkörpers mit einer Tangentialkraft des bewegten Körpers verwechselt, sondern diese anziehende Kraft zwischen beiden Körpern wird als ein Bestreben derselben, sich näher zu kommen, sich zu vereinigen, dargestellt. „Es ist „offenbar, heißt es im zweiten Kapitel dieser Schrift, daß jeder „Planet und jeder Satellit um irgend einen andern Körper „des Universums, als um eine Quelle der Anziehung sich bewegt, „von welcher jene Planeten und Monde gehalten und geführt „werden, so daß sie sich nie von ihrem Hauptkörper entfernen „können, sondern daß sie ihm vielmehr, welchen Weg auch der„selbe nehmen mag, überall folgen und in beständigen und immer„dauernden Revolutionen sich um ihn bewegen müssen.“ Die Natur oder das eigentliche Wesen dieser Anziehung beschreibt er späterhin mit merkwürdiger Genauigkeit, obschon allerdings nur als eine blose Muthmaßung von seiner Seite. „Wir können, „sagt er (S. 47), diese Bewegungen durch die Voraussetzung, die „man nicht leicht wird widerlegen können, erklären, daß die „Planeten eine gewisse Neigung haben, sich mit ihrem Zentral„körper zu vereinigen, und daß sie auch in der That mit allen „ihren Kräften demjenigen Körper näher zu kommen suchen, um „welchen sie sich bewegen, die Planeten nämlich um die Sonne, „und die Mediceischen Gestirne um Jupiter. Auch ist gewiß, „daß die Kreisbewegung in dem bewegten Körper ein Bestreben „erzeugt, von dem Mittelpunkt dieses Kreises sich zu entfernen, „wie wir dies bei der Schleuder und bei jedem Rade sehen. „Nehmen wir also an, daß der Planet zur Sonne hin strebt, „und daß er zugleich, durch seine Bewegung im Kreise, „von diesem Zentralkörper, der in dem Mittelpunkte jenes „Kreises liegt, weggehen muß. Sind dann diese zwei einander

„entgegengesetzte Kräfte unter sich gleich, so werden sie eine die „andere aufheben, und der Planet wird weder näher zur „Sonne hingehen, noch auch weiter, bis zu einer bestimmten „Gränze, von ihm weggehen können, und auf diese Weise wird „er im Gleichgewichte um die Sonne schwebend erhalten werden.“

Dies ist in der That eine sehr merkwürdige Stelle. Doch muß bemerkt werden, daß ihr Verfasser offenbar noch keine klare Ansicht von der Art hatte, auf welche die Aenderung der Richtung des Planeten von einem Augenblicke zum andern durch jene Kräfte geregelt wird. Noch weniger aber kann seine Ansicht auf irgend eine eigentliche Berechnung derjenigen Distanz des Planeten führen, in welcher er mit der Sonne im Gleichgewichte schwebt, oder auch des Weges, um welchen sich der Planet in jedem Augenblicke der Sonne nähert oder von ihr entfernt. Von diesen Vermuthungen Borelli's bis zu Huyghens Theorem ist daher noch ein großer Schritt, und ein noch viel größerer bis zu Newton's unsterblicher Entdeckung.

England. — Die allmählige Annäherung zu dieser Entdeckung, wie sie besonders unter den Mathematikern Englands vor sich ging, läßt sich mit ziemlicher Deutlichkeit nachweisen. Gilbert stellt in seinem Werke (De Magnete, London 1600) nur einige unbestimmte Muthmaßungen über eine gewisse magnetische Kraft der Erde auf, durch welche die Lage ihrer Achse, die Art ihrer täglichen Rotation, und auch die Bewegung des Monds um die Erde bestimmt werden soll [11]). Gilbert starb 1603, und in seinem nach seinem Tode im Jahr 1651 herausgekommenen, bereits oben erwähnten Werke: De Mundo nostro sublunari philosophia nova, finden wir schon eine viel bestimmtere Ansicht von der gegenseitigen Anziehung der Körper. „Die „Kraft, die aus dem Monde strömt, sagt er (L. II. Cap. 19) „reicht bis zur Erde, und auf dieselbe Weise durchlauft auch die „magnetische Kraft der Erde den ganzen Himmelsraum bis zu „dem Monde; beide Kräfte korrespondiren und konspiriren, wenn „sie sich vereinigen, nach bestimmten Verhältnissen und Bedin„gungen; die Wirkung der Erde ist aber viel größer, da ihre „Masse viel größer ist. Die Erde zieht also den Mond an „und stößt ihn wieder ab, und eben so thut auch, in bestimmten

11) Gilbert de Magnete. Lib. VI. Cap. 67

„Grenzen, der Mond mit der Erde, und zwar nicht auf die „Weise, wie die magnetischen Kräfte thun, welche die Körper an „sich ziehen, um sie mit sich zu vereinigen, sondern so, daß dort „ein Körper um den anderen sich in beständigem Laufe bewege." —

Obschon diese Ausdrücke fähig sind, einen guten Theil der Wahrheit darzustellen, so scheint es doch nicht, daß sie, in des Autors Geist, mit einem bestimmten mechanischen Begriffe der Bewegung deutlich verbunden waren.

Dasselbe läßt sich auch wohl von Milton's Sprache sagen:

— — „Wie, wenn die Sonne
Der Mittelpunkt der Welt ist, und
Die andern Sterne alle,
Von ihr gezogen und sie ziehend,
Um jene ihre Reigen tanzen?

Verl. Parad. B. VIII.

Boyle, der um dieselbe Zeit lebte, scheint sich der Hypothese des Descartes zugeneigt zu haben. Indem er den Vortheil der natürlichen Theologie, welche die organischen Wirkungen der Natur betrachtet, über diejenige zeigt, welche sich mit den Körpern des Himmels beschäftigt, setzt er hinzu [12]): „Doch kann „man sagen, daß bei den leblosen Körpern, wo diese Wirkungen „nicht so deutlich hervortreten, doch vielleicht die verschiedenen „Bewegungen ihrer selbst und ihrer Theile so auf einander ein„wirken, daß sie sich in jene verschiedenen Circumvolutionen „auflösen, die von den Epikuräern συστροφαι, von Des„cartes aber Wirbel genannt worden sind, die, wenn sie sich „einmal erzeugen, leicht sehr lange Zeit auf die Weise, wie „sie der Letztere erklärt hat, bestehen können." Indeß läßt sich weder von Milton, noch von Boyle sagen, daß sie eine klare Kenntniß der Gesetze der Mechanik besaßen, wie sie denn auch die Ansichten ihrer mathematischen Zeitgenossen nicht einmal gehörig darstellen.

Allein um dieselbe Zeit erhob sich eine Reihe anderer Männer, die kräftiger an der Pforte jenes Hauses rüttelten, in welchem die Wahrheit wohnt, obschon die eigentliche Eröffnung derselben ihrem großen Nachfolger, Newton, vorbehalten blieb. Diese Männer

12) Boyle's Werke. II. 160.

waren dieselben, welche wir als die eigentlichen Stifter der königlichen Gesellschaft der Wissenschaften [13]) in London betrach-

---

13) Bei dieser Gelegenheit wird es uns erlaubt sein, einige Bemerkungen über die Entstehung der beiden Akademien in London und Paris mitzutheilen. — Nach Bacon's Anleitung und nach dem Beispiele Galilei's und Torricelli's bildeten sich gegen die Mitte des siebenzehnten Jahrhunderts auch in England mehrere Männer, welche ebenfalls den neuen Weg betreten wollten, die Natur durch Beobachtungen und Experimente um ihre Geheimnisse zu befragen. Unter diesen vereinigten sich zuerst im Jahr 1645 Wilkins, Ent, Glisson, Foster, Sethward und Hooke in dem Hause des Dr. Goddart in London zu regelmäßigen Zusammenkünften und Besprechungen über naturwissenschaftliche Gegenstände. Seit dem Jahre 1659 hielten sie ihre Zusammenkünfte in dem Gresham College, wo sich ihnen noch Christoph Wren, Wallis und Brounker beigesellten. Als die Thronbesteigung Carls II. im Jahr 1660 auf dauernde Ruhe hoffen ließ, ordnete sich diese Privatgesellschaft zu einer nach bestimmten Vorschriften organisirten Vereinigung. Jedes Mitglied entrichtete bei seiner Aufnahme ein halb Pfund Sterling und einen wöchentlichen Beitrag von einem Schilling. Wilkins wurde Präsident, Balle Schatzmeister, Croune Sekretär u. s. Unter den Mitgliedern fanden sich nebst den oben genannten: Hatton, Robert Boyle, Oldenburg, Hooke, Evelyn, Sandwich, Moray, Digby, Wallis und Ashmole. Die Sitzungen wurden wöchentlich einmal im Gresham College gehalten, wo auch zugleich eine Bibliothek und eine Instrumentensammlung der neuen Gesellschaft gegründet wurde. Sie gewann bald durch ihre Thätigkeit ein solches Ansehen, daß sich auch Männer aus den höchsten Ständen um die Aufnahme in derselben bewarben. Carl II., durch Moray auf diesen wissenschaftlichen Verein aufmerksam gemacht, ließ ihm in der Sitzung vom fünften Dezember 1660 sein Wohlgefallen und seinen königlichen Schutz zusichern. Am 15ten Juli 1662 ertheilte er demselben einen königlichen Freibrief (Charter), und den Titel einer „königlichen Societät,“ mit deren Befugniß, liegende Gründe, Privilegien und Gerichtsbarkeit zu besitzen. Zu ihrem neuen Präsidenten wurde Brounker, zum Schatzmeister Balle, und zu Sekretären Wilkins und Oldenburg ernannt. Ihre innere Organisation blieb im Allgemeinen aber ihr ungeändert, Wirkungskreis wurde durch ein neues k. Privilegium vom 15ten Oktober 1662 erweitert, nach welchem jede physikalische oder mechanische Erfindung ihrer Prüfung unterworfen werden sollte, so wie sie auch zugleich der Staatsverwaltung gegenüber z. B. in Beziehung auf die ausgedehnte Schifffahrt des Landes, eine feste und ehrenvolle Stellung einnahm. Im Anfange des Jahres 1663

ten: Wilkins, Wallis, Ward, Wren, Hooke und andere. Jene höheren mechanischen Spekulationen, so wie diese ersten Vereini-

---

machte Buckland, ein Landedelmann in Sommersetshire, den Vorschlag zu einem allgemeinen Anbau der Kartoffeln in England, um dadurch jede künftige Hungersnoth zu verhüten. Der Vorschlag wurde in der Sitzung der Akademie vom 18ten März 1663 gebilligt und die Wurzelknollen dieser wohlthätigen Pflanze zum Anbau an die Mitglieder der Gesellschaft vertheilt. Am 14ten April dieses Jahres ertheilte ihr Carl II., der besondern Antheil an ihrem Gedeihen nahm, einen neuen, erweiterten Freibrief und zugleich einen Antheil an den k. Ländereien in Irland. Die Zahl ihrer Mitglieder betrug jetzt 115, worunter 13 geistliche und weltliche Pairs des Königreichs und mehrere andere aus dem hohen Adel des Landes, der, seine Bestimmung erkennend, auch in der Liebe zur Erkenntniß und in der Hochachtung der Wissenschaften den anderen Ständen als Muster und Nachbild voranzugehen strebte. Im Jahre 1664 wurde die innere Organisation der Gesellschaft den neuen Zwecken derselben mehr angepaßt und nun auch von ausländischen Gelehrten mehrere als Mitglieder aufgenommen, wie Huyghens in Holland, Sorbiere in Paris, Hevelius in Danzig u. a. In demselben Jahre erhielt sie auch das große Chelsea College-house, ein ehemaliges Kloster, mit den dazu gehörigen Ländereien vom König als Geschenk. Am 9ten Januar 1665 wurde die k. Societät mit einem Besuche des Königs Carl II. in Begleitung des Herzogs von York (nachmals König Jakob II.) und des Herzogs von Albemarle (General Monk) beehrt. Der König und seine Begleiter schrieben ihre Namen, ersterer als Gründer, letztere als Mitglieder der Gesellschaft, in ein eigens dazu bestimmtes Buch. Nun wurde auch die Herausgabe der Philosophical transactions von Seite der Gesellschaft beschlossen. Nähere Nachrichten über die ersten wissenschaftlichen Arbeiten dieser gelehrten Gesellschaft findet man in Birch, History of the Royal Society of London. Lond. 1756. IV Bände in Quart, und einen gedrängten Auszug aus diesem Werke von Graf Marschall in Baumgartner's Zeitschrift für Physik. Wien 1837. Heft 5 und 6.

Nahe einen ähnlichen Ursprung hatte auch die Akademie der Wissenschaften zu Paris. Auf des Ministers Colbert's Antrieb genehmigte Ludwig XIV. im Jahre 1666 die Errichtung einer Gesellschaft von Gelehrten in Paris nach dem Beispiele derjenigen, die sich einige Jahre zuvor unter Carl II. in London gebildet hatte. Auch jene wurde anfangs blos als eine Privatgesellschaft betrachtet, und die königliche Unterstützung wurde ihr erst im Jahr 1699 zu Theil. Indeß wurde doch auf Colbert's Veranlassung Dom. Cassini von Rom, Huyghens gungen der genannten Männer, fielen in die Periode der Bürgerkriege zwischen dem König und dem Parlament in England.

---

aus Holland und Römer aus Dänemark nach Paris berufen, um Mitglieder dieses gelehrten Vereins zu werden. Für Cassini wurde, noch vor seiner Ankunft, die neue Sternwarte erbaut, die er wohl sehr prächtig, aber nicht zweckmäßig fand. Derselbe begann im Jahr 1669 die große Vermessung Frankreichs in Gesellschaft mit Picard, die Lahire 1683 gen Nord fortsetzte, und der jüngere Cassini im Jahr 1700 bis Roussillon ausdehnte. Erst in den neuesten Zeiten wurde sie von Delambre, Mechain und Biot vollendet und über das ganze Land ausgedehnt. Aus dem Schooße jenes gelehrten Vereins gingen die Physiker aus, die im Jahre 1672 die Pendelbeobachtungen in Cayenne zur Bestimmung der Abplattung der Erde machten; und 1700 ging Tournefort nach der Levante, um durch die dort gesammelten Pflanzen den Jardin royal von Paris zu dem ersten botanischen Garten Europa's zu machen. Schon im Jahr 1665 entstand das berühmte Journal des Savants, das früheste und über hundert folgende Jahre zugleich das berühmteste aller wissenschaftlichen Journale. Seit dem Jahre 1699, wo sie als eigentliche königl. Akademie auftrat, erschien jährlich ein Band ihrer Memoiren, bis 1793, wo sie, wie alle andern wissenschaftlichen Anstalten Frankreichs, von den Republikanern aufgehoben wurde, und an ihre Stelle das „Nationalinstitut" trat. Napoleon gab ihr im Jahr 1802 eine neue Einrichtung und höheren Glanz, und Ludwig XVIII. suchte sie im Jahr 1816 wieder auf ihren alten Fuß zurückzuführen. Dieses „Institut" oder diese „Académie royale" in ihrem weitesten Sinne besteht jetzt aus fünf Abtheilungen. Die erste wird die Académie des Sciences genannt und beschäftigt sich mit Mathematik, Astronomie, Physik und überhaupt mit den sogenannten Naturwissenschaften. Sie zählt 65 ordentliche und hundert korrespondirende Mitglieder. Die zweite Abtheilung oder die Académie Française für Literatur und Geschichte hat 40 Mitglieder; die dritte oder die Acad. des inscriptions et belles lettres mit 40; die vierte oder die Acad. des beaux arts mit 41, und die fünfte oder die Acad. des sc. morales et politiques mit 30 Mitgliedern. Jedes ordentliche Mitglied hat 1500 Franken jährliche Besoldung, und jede der fünf Klassen hält wöchentlich eine Zusammenkunft ihrer Glieder.

Die k. Akademie d. W. von Berlin wurde 1700 von Friedrich I. auf Antrieb von Leibnitz gestiftet, der auch ihr erster Präsident war. Im Jahre 1744 erhielt sie von Friedrich II., der sie unter seinen besondern Schutz nahm, eine neue Organisation. Seit 1746 erscheint regelmäßig alle Jahre ein Band ihrer Arbeiten. — Die k. Akademie der

Man wird ihrem wissenschaftlichen Eifer und ihrer Thätigkeit nicht zu nahe treten, wenn man sagt, daß sie, während sie an

---

Wissenschaften von Göttingen wurde 1733; die von München 1760; und die von Mannheim 1755 gegründet. Auch in Wien bildete sich 1652 eine solche gelehrte Gesellschaft, die unter der Regierung Leopld I. die Benennung Academia Caesareo-Leopoldina erhielt. Ihre Abhandlungen erschienen seit 1684 unter dem Titel der Acta Academiae Caesareae Naturae Curiosorum. Sie kam später durch Länderwechsel von Preußen nach Bonn, und von da nach Breslau. Die Geschichte dieser Akademie hat Büchner (Halle 1756) herausgegeben.

Die Akademie der Wissenschaften in Petersburg wurde von Peter dem Großen auf Antrieb von Leibnitz und Wolff entworfen, und gleich nach seinem Tode von Katharina I. im Jahr 1725 ausgeführt. Elisabeth gab ihr 1741 eine neue, bessere Einrichtung, und seitdem steht sie mit denen von Paris, London und Berlin in der ersten Klasse der europäischen Institute dieser Art.

Die Italiäner hatten schon in früheren Zeiten viele, meistens kleinere Institute dieser Art, deren beinahe jede Stadt eines, auch mehrere, aufzählen konnte. Jarckius zählt in seiner Geschichte dieser ital. Akademien (Leipzig 1725) nahe 600. Dahin gehörte z. B. die Academia Platonica von Lorenzo de Medici 1474 gestiftet, deren vorzüglichster Zweck das Studium von Plato's Werken war, und die unter ihren Mitgliedern Marsilius Ficinus, Pico von Mirandola, Macchiavel, Angelo Politian u. a. zählte. Im Jahre 1560 entstand in Neapel die Ac. Secretorum Naturae; in Rom 1609 die Ac. dei Lyncei; in Florenz 1582 die Academia della Crusca und 1765 die Ac. del Cimento (d. h. der Experimente), von welcher letzten Borelli, Viviani u. a. Mitglieder waren. Viele dieser italienischen Akademien zeichneten sich durch sonderbare Namen aus, wie selbst die erwähnte Ac. della Crusca (von der Kleie), deren Hauptzweck war, die italiänische Sprache von Fehlern, wie das Mehl von der Kleie, zu reinigen. Die Akademie von Perugia im Kirchenstaate hieß Ac. degli Insensati, und so gab es auch eine Academia Anxiorum, Confusorum, Agitatorum, Humidorum, Insipidorum, Mortuorum, eine Akademie der Schläfrigen, der Aufgeweckten, der Ungeduldigen, Unentschlossenen, Verwegenen, Fantastischen, der Dissonanten, Fulminanten, der Vagabunde u. s. w. Mehreres über diese nun beinahe sämmtlich erloschenen Anstalten findet man in der Library of useful Knowledge, in Morhof's Polyhistor und in Tiraboschi's Storia della letteratura italiana. Unter den noch bestehenden italiänischen Akademien sind die vorzüglichsten, die Akademie der Wissenschaften und der schönen Künste in Neapel, gegründet 1779; die Herkulanische Akademie in der allgemeinen Gährung jener Zeiten lebhaft Antheil nahmen, zugleich in der Ruhe des zurückgezogenen Lebens und in dem friedlichen Betrieb der Wissenschaften einen Trost für die Plagen und Kämpfe suchten, die damals alle geselligen Verhältnisse störten. Auf diese Weise brachten jene bürgerlichen Zwiste der Wissenschaft doch einen guten Dienst, gleichsam zum Ersatz für alle Uebel, die aus jener Quelle nur zu reichlich flossen. — Crabtree, der Freund von Horrox, soll in einer der Schlachten jener Bürgerkriege gestorben sein, und die Schriften des Horrox selbst wurden, nach seinem Tode, von einer Truppe Marodeurs verbrannt, die hinter Cromwell's Armee herzogen und das Land verwüsteten. Harvey's [14]) anatomische Sammlungen wurden ebenfalls von Soldaten geplündert und zerstört. Ueberhaupt wurden die meisten der bisher genannten Männer in die Wechselfälle der Republik gewaltsam hineingezogen, indem sie entweder für oder gegen sie Theil nehmen mußten. Wilkins wurde von der Parlamentskommission, welche die Universität von Oxford reformiren sollte, zum Wardein von Wadham ernannt; im Jahre 1659 machte ihn Richard Cromwell zum Master des Trinity College in Cambridge, von wo er aber schon in folgendem Jahr von der wiederhergestellten königlichen Macht vertrieben wurde. Seth Ward war Fellow des Sidney College in Cambridge, und verlor sein

---

Neapel von 1755; die in Bologna von 1690; die in Turin von 1759, ursprünglich aus einem Privatverein hervorgegangen, deren Seele der berühmte Lagrange war; dann die Akademien in Mailand, Padua, Siena, Verona und Genua. L.

14) Harvey, ein berühmter englischer Arzt, geb. 1578, Professor der Anatomie zu London. Er entdeckte um das Jahr 1618 den nun allgemein angenommenen Kreislauf des Blutes in den thierischen Körpern und machte diese Entdeckung in seiner Exercitatio anatomica de motu cordis et sanguinis bekannt. Die Gegner dieser Lehre, d. h. beinahe alle englischen Aerzte brachten es dahin, daß er endlich alle Praxis verlor, dagegen wurde er von Jakob I. und Karl I., deren Leibarzt er war, mit hoher Gunst behandelt. Auch die Lehre, daß alles Lebende aus Eiern entstehe, Omne vivum ex ovo, ist von ihm zuerst mit Nachdruck und Erfolg aufgestellt worden in seinen zwei Schriften De generatione animalium und De ovo. Gegen Ende seines Lebens wurde ihm sein anatomisches Museum von den Feinden geplündert. Sein Leben hat Lawrence (London 1766) beschrieben.

Amt durch dieselbe Parlamentskommission; später aber, im Jahr 1649, schloß er sich den Republikanern an und wurde Savilian Professor der Astronomie in Oxford. Wallis war Fellow von dem Queen's College zu Cambridge, verließ aber wegen seiner Heirath diese Stelle wieder. Späterhin wurde er von den Königlichgesinnten besonders zur Entzifferung geheimer Schreiben gebraucht, in welcher er eine vorzügliche Geschicklichkeit zeigte. Dennoch wurde er von der Parlamentskommission als Savilian Professor der Geometrie zu Oxford ernannt und behielt auch dieses Amt nach der Restauration unter Karl II. Wren kam etwas später und entging dadurch jenen Unfällen. Er wurde im Jahr 1652 Fellow am Aller-Seelen Collegium und folgte später dem Ward als Savilian Professor der Astronomie. Diese Männer vereinigten sich mit Boyle und einigen andern zu einer Privatgesellschaft, die sie das philosophische oder auch das unsichtbare Collegium nannten. In derselben kamen sie seit dem Jahre 1645 bald in London, bald auch in Oxford zusammen, je nach den Glückfällen und den Wohnungsänderungen der Mitglieder. Hooke erhielt die Stelle am Christ-Church Collegium zu Oxford im Jahr 1653, wo er von Boyle, Ward und Wallis in Schutz genommen wurde. Als aber später, nach der Restauration, das „philosophische Collegium" seine Versammlungen in London, als königliche Societät der Wissenschaften, hielt, wurde Hooke an dieser Societät zum „Curator der Experimente" erwählt. — Halley [15]) gehörte schon der nächstfol-

15) Halley (Edmund), geb. 8ten Nov. 1656 zu London von unbemittelten Aeltern. In seinem 17ten Jahre bezog er die Universität von Oxford, wo er sich bald vorzugsweise der Mathematik und der Astronomie widmete. Im Jahre 1676 wurde er von der Regierung nach der Insel St. Helena geschickt, um daselbst die südliche Hemisphäre des Himmels zu beobachten, woraus sein Catalogus stellarum australium, London 1679, entstand. Besonders verdient machte er sich um die Lehre von den Kometen, wie denn auch der merkwürdige Komet von 1682 oder 1759 oder 1835 seinen Namen trägt. (M. s. C. L. Littrow's Monographie des Halley'schen Kometen. Wien 1834.) Auch die Theorie der Magnetnadel beschäftigte ihn lange Zeit. Er führte die isogonischen Curven ein oder die Linien auf der Oberfläche der Erde, in welcher die Abweichung des Magnets zu derselben Zeit gleich groß ist. Um sie zu bestimmen, machte er von 1698 bis 1702 mehrere große Seereisen. Im

genden Generation an, und kömmt nach Newton. Er studirte im Jahr 1673 zu Oxford im Queens Collegium, und da er ein wohlhabender Mann war, so trat er, in seinen früheren Jahren wenigstens, nicht in öffentliche Dienste. Doch machten ihn seine Talente und sein Eifer zu einem der thätigsten und wirksamsten Mitarbeiter in diesem wissenschaftlichen Institute.

Die gesellige Verbindung der eben genannten Männer steht in nahem Zusammenhange mit unserem Gegenstande, denn sie führte, historisch gesprochen, unmittelbar zu der Bekanntmachung der Entdeckungen, die Newton in der physischen Astronomie gemacht hat. Wenn ein Problem nur richtig und gehörig aufgegeben wird, so ist damit schon ein beträchtlicher Schritt zu der Auflösung desselben gemacht, und so war es denn ohne Zweifel schon ein großer Vortheil für die Entdeckung der wahren Theorie des Weltalls, daß man die Bewegung der Planeten um die Sonne als eine rein mechanische Frage behandeln wollte, die in Beziehung auf die bereits bekannten allgemeinen Gesetze der Bewegung und auf rein mathematischem Wege, durch eigentliche Berechnung, beantwortet werden sollte. Und so weit scheinen denn auch die Mathematiker Englands, unmittelbar vor der Erscheinung Newton's auf der großen Bühne, gegangen zu sein. Als des Letztern Theorie der allgemeinen Gravitation bekannt gemacht wurde, behauptete Hooke sogar, daß er diese Theorie schon vor Newton gefunden habe. Obschon er aber diese Ansprüche nicht beweisen konnte, so ist doch so viel gewiß, daß er sehr wohl einsah, worauf es eigentlich ankam, nämlich die Wirkung einer Zentralkraft zu bestimmen, wenn dieselbe eine gegebene krummlinige Bewegung hervorbringen soll. Diese Wirkung hatte er, wie bereits oben gesagt, schon im Jahr 1666 durch ein eigenes Experiment erläutert. Noch deutlicher sprach er sich über diesen Gegenstand in der Schrift aus: „Versuch, die Bewegung der Erde aus Beobachtungen zu beweisen,“

Jahre 1703 wurde er Professor der Geometrie zu Oxford und 1720 kön. Astronom zu Greenwich, an Flamstead's Stelle. Hier beschäftigte er sich vorzüglich mit der Theorie des Mondes und der Anwendung der Mondstafeln auf die Bestimmung der geographischen Länge. Halley starb am 14ten Januar 1742. Sein Eloge wurde von Mairan in der Hist. de l'Académie für das Jahr 1742 gegeben.

die im Jahr 1674 erschienen ist. In dieser Schrift sagt er ganz deutlich, daß sich die Planeten in geraden Linien bewegen würden, wenn sie nicht durch eine Centralkraft davon abgelenkt würden, und daß diese Centralkraft mit oer Annäherung zu ihrem Mittelpunkte in einem gewissen Verhältnisse, das von dieser Nähe abhängt, wachsen müsse. „Welches nun aber dieses „Verhältniß der Distanzen ist, setzt er hinzu, habe ich bisher, „auf experimentellem Wege, noch nicht ausgemittelt, indeß stehe „er nicht an, Jedem, der es findet, schon jetzt zu sagen, daß er „damit auch die wahre Ursache der himmlischen Bewegungen „gefunden haben werde.“ In einem späteren Gespräche mit Halley und Wren behauptete er, daß er dieses Problem bereits aufgelöst habe, aber er legte seine Auflösung nie vor. — Uebrigens hatte man den Satz, daß die Attraktion der Sonne sich verkehrt wie das Quadrat der Entfernung von ihrem Mittelpunkte verhält, schon damals bereits geahnet, wenn auch nicht völlig aufgestellt. Wenn man die Planetenbahnen vollkommen kreisförmig annimmt, so kann dieser Satz ganz eben so gefunden werden, wie Huyghens im Jahr 1673 seine anderen Sätze von der Kreisbewegung gefunden hat. Doch sieht man nicht, daß Huyghens diese Anwendung auf die Planeten von seinen Theoremen über die Kreisbewegung gemacht hätte. Aber wohl hatte Newton diesen Schritt bereits einige Jahre zuvor gethan. Deshalb sagt er auch in seinem Brief an Halley, indem er von Hooke's Ansprüchen auf diese Entdeckung redet [16]): „Als Huyghens sein „Horologium oscillatorium herausgab, sendete er mir ein Exemplar dieses Werkes zu. In dem Briefe, den ich ihm deshalb „schrieb, zeigte ich den Nutzen jener Sätze zur Berechnung der „Wirkung der Erde auf den Mond, und der Sonne auf die „Erde. — Auch schließe ich, setzt er hinzu, aus allen Umständen, „daß Christoph Wren damals, als ich ihn besuchte, dieses Verhältniß, von verkehrtem Quadrat der Entfernung, schon gekannt „hat, und dann zeigt auch Hooke durch seine Schrift über den Kometen, daß er von uns dreien der letzte ist, der es gekannt hat.“ Hooke's erwähnte Schrift, die den Titel „Kometa“ trug, erschien im Jahr 1678. — Diese Schlüsse standen aber alle in nahem Zusammenhange mit dem oben erwähnten dritten Gesetze

16) M. s. Biogr. Brit. Art. Hooke.

Keplers, nach welchem die Quadrate der Umlaufszeiten der Planeten sich wie die Würfel der großen Achsen ihrer Bahnen verhalten. Halley jedoch kam noch auf einem andern Wege zu dem Satze, daß die Anziehung der Sonne auf einen Planeten sich wie verkehrt das Quadrat der Entfernung des Planeten von der Sonne verhalte. Er sah nämlich die Attraktion der Sonne als die Folge einer Emanation, wie z. B. die des Lichtes, an, die in demselben Verhältnisse schwächer werden muß, in welchem die sphärische Oberfläche, über die sich diese Emanation verbreitet, größer wird, woraus dann jener Satz sofort folgt [17]). Allein die eigentliche Schwierigkeit, mit der man hier zu kämpfen hatte, bestand in der genauen Bestimmung dieser Kraft der Sonne für den Fall, wo die Bahn des Planeten, nicht ein Kreis, sondern wo sie, wie Kepler bereits gelehrt hatte, eine Ellipse ist. Dieses Problem war ein ganz neues, war das erste dieser Art und es muß, ehe es von Newton aufgelöst wurde, allen anderen, auch den besten Mathematikern, ganz besonders schwer erschienen sein. „Halley, der, wie sein „Biograph sagt, an der eigenen Auflösung dieses Problems auf „geometrischem Wege ganz verzweifelte, wendete sich zuerst an „Hooke und Wren, und da ihm keiner von beiden helfen konnte, „reiste er, im August 1684, nach Cambridge zu Newton, der „ihm, was er so sehnlich gewünscht hatte, vollauf gewährte."

Ein Memoir von Halley, in den Transaktionen der kön. Londoner Societät vom Januar 1686, das absichtlich als eine Vorbereitung auf Newton's Werk geschrieben zu sein scheint, enthält mehrere Argumente gegen die Hypothese des Cartesius. Es geht aus dieser Schrift hervor, daß Descartes zu jener Zeit in England noch viel Anhang hatte. Auch Whiston, der Nachfolger Newton's in seiner Lehrerstelle zu Cambridge, sagt, daß die Lehren des Descartes einen Theil der öffentlichen Studien dieser Universität ausgemacht haben. In der That wurde auch „Rohault's Physik" selbst noch viele Jahre nach der

---

17) Schon im Jahr 1645 hatte der oben erwähnte Bullialdus behauptet, daß die Kraft, qua Sol planetas prehendit et harpagat, sich wie verkehrt das Quadrat der Entfernung dieser Planeten von der Sonne verhalte. Allein dies war eben nur eine Meinung, die er aber nicht beweisen konnte.

Zeit, von der wir hier sprechen, an jener Universität für ein klassisches Lehrbuch gehalten, obschon man bald darauf die eigentliche Cartesianische Lehre von den himmlischen Bewegungen durch andere zu ersetzen suchte.

Was also die Entdeckung betrifft, daß die Kraft der Sonne sich wie verkehrt das Quadrat der Entfernung verhält, so haben wir gesehen, daß mehrere Personen, zugleich mit Newton, sich derselben genähert oder auch wohl dieselbe ganz erreicht haben, obschon ihm allein jene glückliche Verbindung der klaren Idee mit der mathematischen Erfindungskraft beizumessen ist, die ihn fähig machte, seinen Lauf weit über diese Grenze hinaus zu nehmen. Indeß wurde er noch durch eine andere, und so viel uns bekannt ist, viel frühere Gedankenreihe, auf einem ganz verschiedenen Wege, zu demselben Ziele geführt, und das Zusammentreffen dieser zwei Wege in demselben Punkte war es eigentlich, was auf die endliche Ueberzeugung der Menschen mit so unwiderstehlicher Kraft gewirkt hat, daß ein weiterer Zweifel an der Wahrheit dieser Entdeckungen nur mehr der gänzlichen Unkenntniß des Gegenstandes erlaubt sein kann. — Ich spreche nämlich hier von der Kraft, die den Mond in seiner Bahn um die Erde führt, und die Newton als identisch mit derjenigen Kraft bewiesen hat, durch welche der Fall der Körper auf der Oberfläche der Erde bestimmt wird. Damit sind wir an dem Punkte angekommen, wo die eigentliche Geschichte der großen Entdeckungen Newton's beginnt.

Zweites Kapitel.

Induktive Epoche Newton's [1]). — Entdeckung der allgemeinen Gravitation.

Um diese größte wissenschaftliche Entdeckung, die je gemacht worden ist, besser zu übersehen, wollen wir sie zuvor in die einzelnen Theile auflösen, aus denen sie besteht. Dieser Theile kann

---

1) Newton (Isaak) wurde am 25sten Dez. a. St. des Jahres 1642 zu Woolsthorpe, einem kleinen Dorfe in Lincolnshire, von ganz armen Aeltern geboren. Die ungemeine Kleinheit und Schwäche des

man fünf annehmen. Die Lehre von der allgemeinen Gravitation sagt nämlich aus:

Neugebornen ließ keine Hoffnung auf ein längeres Leben desselben bauen. Aber die Vorsicht hatte es anders beschlossen, und dieses gebrechliche Gefäß, das kaum fähig schien, den für dasselbe bestimmten Geist auch nur für einige Stunden aufzunehmen, war bestimmt, eine kräftige Reife zu erleben und unter Beschäftigungen, die jeden Andern vor der Zeit ermüdet hätten, das höchste Ziel des menschlichen Alters in beinahe ununterbrochener Gesundheit zu erreichen. — In seinem zwölften Jahre bezog er die Stadtschule zu Grantham, wo er weder für fleißig. noch für talentvoll galt, daher er auch seine Stelle unter den letzten Schülern dieser Schule einnehmen mußte. Eines Tages aber erhielt er von einem andern Knaben, der für den besten der Schule galt, einen heftigen Stoß auf den Magen, der ihn lange schmerzte. Gleichsam um sich an seinem Beleidiger, der eine viel größere körperliche Stärke hatte, auf einem andern Wege zu rächen, fing er von diesem Augenblicke an, sehr fleißig zu sein, um jenem den ersten Rang in der Schule abzulaufen. In wenig Wochen erreichte er sein Ziel und hielt es auch für die Folgezeit fest. Dieser Zwischenfall führte ihn zur Arbeitsliebe, und nun entwickelten sich schnell alle Grundzüge seines Charakters.

In den Feierstunden beschäftigte er sich vorzüglich mit mechanischen Arbeiten, indem er Windmühlen, Wasser- und Sonnenuhren u. dergl. verfertigte. Schon damals war er gern allein und zurückgezogen, ohne an den lärmenden Spielen seiner Kameraden viel Theil zu nehmen. Bald lernte er hier auch ein Mädchen kennen, Miß Horey, die Tochter eines Arztes, deren Gesellschaft er die aller andern vorzog, und für die er kleine Tische, Schränke und Kästchen für ihre weiblichen Arbeiten verfertigte. In seinem 16ten Jahre, wo er diesen Ort verließ, schien seine Freundschaft zu diesem Mädchen eine höhere Stufe der Zuneigung angenommen zu haben. Aber beide waren zu arm, um sich künftigen Hoffnungen überlassen oder an eine innigere Verbindung denken zu können. Sie heirathete später einen Andern, und erreichte das hohe Alter von 82 Jahren. Newton behielt seine Achtung für sie bis an das Ende seines Lebens, und er besuchte sie regelmäßig, so oft er durch ihren Wohnort kam, wo er sie auch von kleinen ökonomischen Hindernissen, von welchen sie öfter gedrückt wurde, freundlich zu befreien suchte.

Er wurde nun von seiner Mutter wieder nach Woolsthorpe zurückgerufen, um ihr in ihren ländlichen Geschäften beizustehen. Hier mußte er unter andern alle Sonnabende, unter der Begleitung eines treuen Knechtes, nach der benachbarten Stadt Grantham auf den

1. Daß die Kraft, mit welcher die verschiedenen Planeten von der Sonne angezogen werden, sich wie verkehrt das

---

Markt fahren, um dort Getreide und Viktualien zu kaufen, nicht selten zur Unzufriedenheit der Mutter, da Newton sich mehr mit den alten Büchern, die er bei einem bekannten Apotheker dieser Stadt gefunden hatte, als mit den Waaren beschäftigte, die er auf dem Markte kaufen und verkaufen sollte. Nicht viel besser wollten auch die übrigen Geschäfte des Landlebens unter seinen Händen gedeihen. Ein Buch oder eine Maschine u. dergl. war ihm viel lieber, als alle die Dinge, die er hier besorgen sollte, und oft sah man ihn sinnend mit verschränkten Armen auf dem Felde gleich einem Träumer herumgehen, während die Schafheerde, die er nach dem mütterlichen Auftrage hüten sollte, sich seitab in die Wiesen verirrte oder das Getreide verwüstete. Dadurch war die Mutter zu der Ueberzeugung gekommen, daß sie den Jungen zu nichts brauchen könne, und sie würde ihn, da sie zu arm war, ihn für andere Beschäftigungen zu verwenden, ganz vernachläßigt haben, wenn sich nicht ein Verwandter, Ayscough, ein Geistlicher aus der Nachbarschaft, seiner angenommen hätte. Dieser hatte ihn eines Tages mit einem geometrischen Buche in der Hand hinter einer Hecke gefunden und entschloß sich, ihn auf seine Kosten studiren zu lassen.

Im Junius 1660, im 18ten Jahre seines Alters, betrat er die Universität von Cambridge, aber beinahe ohne alle die Vorkenntnisse, die man bei dem Eintritte in diese Akademie von den Jünglingen zu fordern pflegte. Seine Kindheit und seine erste Jugend hatte er in der Dunkelheit des niederen Landlebens zugebracht, und alle Mittel zur höheren Bildung waren ihm unbekannt geblieben. Auch ist, was wir bisher von ihm gesagt haben, alles, was man von seinen Jugendjahren zu sagen weiß. Die Welt sollte ihn, sagt Fontenelle, wie den mächtigen Nil, nur groß und stark sehen, ohne je bis zu seinem ersten, kleinen Ursprung hinaufsteigen zu können.

In Cambridge wendete er sich früh den mathematischen Studien mit besonderer Vorliebe zu, und zwar in der Absicht, die Irrthümer der Astrologie zu widerlegen, die zu jener Zeit noch mächtige Anhänger und viele Freunde zählte. Er soll die Nichtigkeit dieser sogenannten Wissenschaft durch eine eigene, zusammengesetzte, geometrische Figur gezeigt haben, die er mit Hülfe zweier Theoreme Euklids konstruirt hatte. Wie dies auch sein mag, er lernte dadurch den Euklid kennen, und der Gewinn, den er aus diesem Buche zog, war groß. Aber er beschäftigte sich nicht lange mit diesem Werke, da es ihm zu leicht vorkam, und da die Wahrheiten, die es enthält, sich gleichsam, wie er sagte, von selbst verstünden. Ohne weitere Vorbereitung wendete er sich daher sogleich

Quadrat der Entfernung dieser Planeten von der Sonne verhält.

---

an die viel schwerere Geometrie des Descartes, an die Arithmetik des Unendlichen von Wallis und an Keplers Werke, die er alle sehr fleißig studirte.

Es ist zu bedauern, daß uns über die ersten Arbeiten Newton's in Cambridge so wenig bekannt geworden ist. Im Jahre 1666 zog er sich, einer in dieser Stadt ausgebrochenen Krankheit wegen, auf das Land zurück, und hier soll ihn in einem Garten der Fall eines Apfels vom Baume zuerst auf die Idee geführt haben, daß vielleicht dieselbe Kraft der Erde, die alle Körper auf ihrer Oberfläche anzieht, oder gegen ihren Mittelpunkt fallen macht, auch den Mond in seiner Bahn um die Erde bewege. Er schickte sich sogleich an, dies durch Rechnung näher zu untersuchen. Dazu mußte er aber unter andern auch die Größe des Erdhalbmessers, in irgend einem bekannten Maaße ausgedrückt, kennen. Nach der bei den Geographen und Seefahrern seiner Zeit angenommenen Schätzung setzte auch er den Meridiangrad der Erde gleich 60 englischen oder nahe 12 deutschen Meilen voraus, da er doch nahe 15 d. M. beträgt. Indem er nun mit dieser Voraussetzung aus dem Fall des Mondes gegen die Erde in jeder Zeitsekunde den Fall der Körper auf der Oberfläche der Erde in derselben Zeit, seiner Hypothese gemäß, ableitete, fand er den letzten gleich 12 Fuß, da er doch, wie Galilei bereits früher sehr genau bestimmt hatte, nahe gleich 15 Fuß hätte finden sollen. (M. s. die folgende achte Anmerkung.) Diese Differenz von drei Fuß oder von dem Fünftheile der ganzen Größe war hinreichend, seine frühere Vermuthung von der Identität jener beiden Kräfte, als eine gründliche Spekulation aufzugeben, und dieselbe sogar vor seinen Freunden, wie er später selbst erzählte, zu verbergen, um sich nicht ihren Bemerkungen auszusetzen. Zwar ließ er die Idee, wie er hinzusetzte, nicht ganz fallen, aber er wurde durch seinen mißlungenen Versuch auf den Abweg verleitet, daß es, nebst jener Kraft der Erde, wahrscheinlich noch mehrere andere auf den Mond wirkenden Kräfte gebe, von denen einige sogar mit den damals so beliebten Wirbeln des Cartesius nahe verwandt sein könnten. Da aber Kräfte solcher Art keiner weitern Berechnung fähig waren, so ließ er den ganzen Gegenstand zur Seite liegen, ohne ihn für jetzt weiter zu verfolgen.

Wie er später durch einen Zufall wieder auf diese Idee zurückgeführt wurde, ist im Texte gesagt, daher wir hier dieses, so wie das Weitere, über seine großen Entdeckungen in der Mathematik, der Astronomie und der Optik, so wie die Streitigkeiten mit seinen Gegnern, um Wiederholungen zu vermeiden, übergehen wollen.

II. Daß die Kraft, mit welcher derselbe Planet in verschiedenen Punkten seiner Bahn von der Sonne angezogen

---

Newton bekleidete die Stelle eines Professors der Mathematik zu Cambridge von den Jahren 1669, wo ihm sein Vorgänger Barrow diese Stelle freiwillig abtrat, bis zu 1695, volle 26 Jahre, ohne eine Erhöhung seiner anfänglichen Besoldung zu erhalten. Dies veranlaßte ihn oft zu Klagen an seine Freunde über die Einschränkungen, denen er sich unterziehen müsse, um seinen anderen wissenschaftlichen Bedürfnissen, dem Ankauf von Büchern und Instrumenten u. dgl. genügen zu können. Er sah so viele seiner früheren Kollegen zu einträglichen Aemtern gelangt oder mit Ehrenstellen überhäuft, während er selbst nicht von der Stelle rückte und selbst für die Zukunft keine Hoffnung dazu hatte. Man pries ihn und seine großen Entdeckungen, und überließ ihn dabei seinem Schicksale. Seine Freunde hatten mehrere Versuche gemacht, seiner Lage durch die Anerkennung der Regierung abzuhelfen, aber vergebens. Dies erregte in seinem Innern eine stille Wehmuth, die er, in den spätern Jahren besonders, nicht immer zurückhalten konnte. Aus den Briefen seiner Freunde erhellt, daß eine Verbesserung seiner häuslichen Lage oft der Gegenstand seines Gespräches mit ihnen gewesen ist. Auf seine dem Gouvernement eingereichte Bitte wurde ihm durch eine Order of Counceil vom 28sten Januar 1675 die gewöhnliche Personalsteuer, von einem Schilling die Woche, aus Rücksicht auf seine Dürftigkeit, erlassen. Er schien vorzüglich von Lord Montague, seinem ehemaligen Schüler und nun einem der ersten Staatsmänner des Landes, Abhülfe zu erwarten. Als aber auch diese Hoffnung sich immer weiter herauszog, schrieb er am 26sten Januar 1692 an seinen Freund, den berühmten Philosophen Locke: „Der Lord scheint wegen einer Sache, die ich längst „vergessen habe, auf mich böse zu sein. Auch gut, ich lasse ihn gehen, „und sitze hier still und warte — bin auch nicht gemeint, weder ihm „noch irgend Jemand mit Bitten beschwerlich zu fallen. Ich sehe es, „meine Sache ist, stille zu sitzen.“ Diese Aeußerungen beziehen sich auf eine Zulage seines Gehalts, um die er mehrere Jahre vergebens sollicitirt hatte. Ganz Europa war seines Lobes voll, und seine Landsleute priesen ihn als den Stolz Englands, ja wie später sein Epitaph sagte, als die Zierde des Menschengeschlechts. Aber der so hoch gepriesene Mann war, und blieb zugleich, ein — armer Mann. Ein solches Verkennen dieses außerordentlichen Geistes, sagt Brewster, war nur in England (?) möglich, wo die successive governments, which preside over the destinies of the country, have never been able either tho feel or to recognize the true nobility of genius, was uns in Beziehung auf England viel zu hart ausgedrückt, und in Beziehung auf andere Länder viel zu wenig Kenntniß derselben zu verrathen scheint.

wird, sich auch, wie verkehrt das Quadrat der Entfernungen dieses Planeten von der Sonne verhält.

Als Lord Montague, später Earl of Halifax, im J. 1644, Kanzler der Schatzkammer wurde, ließ er, zur Regulirung des Münzwesens, Newton nach London kommen. Newton machte diese Reise in Begleitung seiner Nichte, der Miß Katharina Barton, die jung, schön und immer fröhlich war, und die, obschon sie der Rüge ihrer strengen Zeitgenossen nicht entgehen konnte, doch von allen, die sie näher kannten, als eine Dame von tadelloser Ehre betrachtet wurde. Glücklicherweise wurde gleich nach Newtons Ankunft in der Hauptstadt die Stelle des k. Münzwardeins erledigt, und der Lord ersuchte daher den König, sie seinem Freunde Newton mit 6000 Pfund jährlichen Gehaltes zu übergeben. Drei Jahre später erhielt er das Vorsteheramt (Mastership) der kön. Münze mit 15,000 Pf. Gehalt, welches Amt er auch bis an seinen Tod behielt. Der Lord verlor bald darauf seine Gemahlin durch den Tod, und schenkte seitdem der Miß Barton seine ganze Gewogenheit. Wie viel Einfluß diese Verbindung auf das Schicksal Newtons hatte, möchte jetzt schwer zu bestimmen sein. Lord Montague starb im Jahr 1715, nachdem er auf seinem Todtenbette der Miß einen großen Theil seines beträchtlichen Vermögens verschrieben hatte. The persecuted science of England, setzt Brewster hinzu, will continue to deplore, that he was the first and the last English minister, who honored genius by his friendship and rewarded it by his patronage.

Ein Jahr vor seiner Abreise von Cambridge, im Jahr 1693, ging Newton eines Morgens im Winter aus seiner Studirstube in die benachbarte Hauskapelle. In seiner Abwesenheit stieß sein kleiner Hund, Diamant, die brennende Kerze um, die Newton auf seinem Tische stehen ließ. Dadurch geriethen die auf dem Tische liegenden Papiere in Brand, und Newton trat eben in sein Zimmer zurück, als bereits der größte Theil dieser Schriften von den Flammen verzehrt war. Der Kummer über diesen Verlust soll ihn so tief geschmerzt haben, daß er sogar längere Zeit dadurch seine Verstandeskräfte geschwächt hat. Biot, welcher der erste von dieser Krankheit öffentliche Nachricht gab, leitet aus ihr die Erklärung ab, warum Newton seit dieser Zeit kein eigentliches größeres, wissenschaftliches Werk mehr herausgab. Laplace ist sogar der Meinung, daß Newton seit jenen Unglücksfällen seine Geisteskräfte nie mehr völlig zurück erhielt, und er führt dazu als Beweis die theologischen Untersuchungen über die Apokalipse u. dergl. an, mit welchen der große Mann den Abend seines Lebens zugebracht hat. Brewsten möchte die ganze Geschichte von dieser Krankheit als erdichtet oder doch als höchst übertrieben darstellen, und er kann sich mit der Ver-

III. Daß die Erde ebenfalls eine solche Kraft auf den Mond ausübt und daß diese Kraft identisch ist mit der Schwere auf der Oberfläche der Erde.

---

stellung nicht vertragen, daß ein so großer Mann je auf solche Art sollte krank gewesen sein. Er nimmt auch diese theologischen Beschäftigungen seines Abgottes in Schutz. Diese wurden bekanntlich erst nach Newtons Tode von seinen Freunden herausgegeben, und es wird jetzt allgemein angenommen, daß diese Bekanntmachung besser ganz unterblieben wäre.

Von dem Jahre 1707 bis an seinen Tod 1727 wurden seine häuslichen Geschäfte von Miß Barton besorgt, die nach Lord Montague's Tod einen Herrn Conduit heirathete, und sammt ihrem Manne in Newtons Hause wohnte.

In seinem achtzigsten Jahre 1722 wurde Newton das erstemal von Steinschmerzen geplagt. Durch geregelte Lebensart wußte er lange Zeit dieses Uebel zu lindern. Seine vorzüglichste Nahrung bestand seitdem in Vegetabilien, in Milch, Früchten und Brod. Nach mehreren wiederholten Anfällen des Steinschmerzens wurde er 1725 von einem heftigen Husten und einer Lungentzündung ergriffen. Nach seiner Genesung zog er auf das Land in Londons Nähe, wo sich auch sein Zustand auffallend besserte, besonders als später sich das Podagra regelmäßig zeigte. Nur mit Mühe konnte man ihn von öfteren Besuchen der Hauptstadt zurückhalten, da er jede Gelegenheit zu ergreifen suchte, die Akademie der Wissenschaften, deren Präsident er war, und seine wissenschaftlichen Freunde in London zu besuchen. Am 25sten Februar 1727, wo er wieder einmal in der Akademie den Vorsitz führte, hatte er sich dadurch und durch die vielen Besuche, die er in London geben und annehmen mußte, so aufgereizt, daß er einen heftigen Rückfall seiner Krankheit erlitt. Er kehrte in der Sänfte nach seinem Landgute zurück, wo bald die Angriffe der Steinschmerzen sehr heftig wurden. Am 15sten März schien sich sein Zustand zu bessern, seine sinnliche und geistige Kraft äußerte sich wieder in munteren, selbst lebhaften Gesprächen mit seinen Aerzten Mead und Cheselden und den umstehenden Freunden. Aber um sieben Uhr Abends desselben Tags verlor er das Bewußtsein, und in diesem Zustande verblieb er, bis er am 20sten März 1727 im 85sten Jahre seines Alters verschied.

Seine nach London gebrachte Leiche wurde in der Jerusalems-Kapelle feierlich ausgesetzt, und dann nach der Westmünsterabtei gebracht, wo sie nahe bei dem Eingange in das Thor zur linken Seite beigesetzt wurde. An seinem Begräbnißtage wurde sein Leichentuch von dem Lord-Kanzler, von den Herzogen von Roxbourgh und Montrose, und von

IV. Daß die Sonne auf dieselbe Weise nicht blos auf die sich um dieselbe bewegenden Planeten, sondern auf alle Körper, auch auf unsern Mond und auf die Monde der andern Planeten wirke, und daß überhaupt die Attraktion aller dieser Körper unter einander gegenseitig ist.

V. Daß die Kraft, die auf diese Weise von der Sonne, von der Erde und von jedem Himmelskörper auf jeden andern ausgeübt wird, aus der Anziehungskraft eines jeden Elements der Masse dieser anziehenden Körper entsteht, und daß endlich diese Attraktion allen Körpern, d. h. jeder Masse in der Natur zukommt.

Wir wollen nun die Geschichte dieser fünf Entdeckungen in derselben Ordnung mittheilen.

I. Kraft der Sonne auf verschiedene Planeten.

Daß die Kraft der Sonne, wie sie auf verschiedene Planeten ausgeübt wird, sich wie verkehrt das Quadrat ihrer Entfernung von der Sonne verhalte, dieser Satz ist, wie wir gesehen haben, von mehreren Personen mit oder selbst vor Newton als wahr oder doch als nahe wahr erkannt worden, d. h. diese Personen haben gefunden, daß, wenn die Planetenbahnen Kreise sind, jener Satz

---

den Grafen Pembrocke, Sussex und Macclesfield getragen, die sämmtlich Mitglieder der k. Akademie waren. Den Leichengang selbst führte der Bischof von Rochester in Begleitung der ganzen ihm zugeordneten Geistlichkeit. Sein hinterlassenes Vermögen betrug 32,000 Pf. und es wurde unter seinen drei Geschwistern, aus der zweiten Ehe seiner Mutter, vertheilt.

Sein Geburtshäuschen zu Woolsthorpe wird jetzt von einem gewissen Woberton bewohnt. In Newtons Geburtsstube ist eine Marmortafel in der Wand befestigt mit der Grabschrift, die Pope auf Newton verfaßt hatte:

> Nature and Nature's laws lay hid in night;
> God said: „Let Newton be," and all was Light.

Die in Cambridge von ihm bewohnten Zimmer sind durch Tradition bekannt geblieben. In dem Trinity-Collegium dieser Stadt zeigt man noch Newton's Globus, eine von ihm verfertigte Ringsonnenuhr, einen Kompaß und eine Locke von seinem Silberhaare, die gleich einer Reliquie unter einer gläsernen Glocke verwahrt wird. L.

aus Keplers drittem Gesetze folge, welches Gesetz durch Beobachtungen über allen Zweifei erhoben war. Huyghens Sätze über die Kreisbewegung, auf dieses dritte Gesetz Keplers angewendet, gaben sofort auch jenen Satz; Wren kannte diesen Satz, und Hooke kannte ihn nicht blos, sondern er wollte ihn selbst vor Newton schon gekannt haben; und auch Halley hatte sich, noch ehe er Newton besuchte, hinreichend überzeugt, daß er wenigstens sehr nahe wahr sein müsse. Man hatte Newton in Cambridge berichtet, daß sich Hooke an die k. Societät gewendet und sie um Gerechtigkeit für seine Ansprüche auf Priorität angegangen habe. Als aber später Halley an Newton (am 29sten Juni 1686) schrieb, daß man ihm das Benehmen Hooke's in schwärzeren Farben, als recht ist, geschildert habe, so fügte Newton seinem Werke eine Note *) über diese seine Vorgänger bei, „um jenen Streit zu „enden," wie er sagte. Diese Bemerkung Newtons steht in dem Scholium zur vierten Proposition der Prinzipien, in welchem die allgemeinen Gesetze der Kreisbewegung abgehandelt werden. „Der Fall des sechsten Corollariums, sagt hier Newton, hat „bei den Körpern des Himmels statt, wie unsere Landsleute „Wren, Hooke und Halley jeder für sich gefunden haben." Bald darauf nennt er auch Huyghens „der in seiner vortrefflichen Schrift „de horologio oscillatorio die Kraft der Schwere mit den Centri„fugalkräften der in Kreisen einhergehenden Körper vergleicht."

Die zwei zu dieser Entdeckung nothwendigen Schritte waren erstens die Bewegungen der Planeten als ein rein mechanisches Problem zu betrachten, und zweitens, an dieses Problem die Mathematik gehörig und in Beziehung auf Keplers drittes Gesetz anzuwenden, welches letzte als ein nicht weiter unbestreitbares Faktum vorausgesetzt ward. Der erste Schritt war die Folge der mechanischen Entdeckungen Galilei's und seiner Schule, war die Folge von der festen und klaren Stellung, welche diese Entdeckungen seitdem in dem Geiste der Menschen angenommen hatten, war endlich die Folge von der gänzlichen Verbannung aller jener soliden Sphären der Alten sammt ihren Epicykeln, die vorzüglich durch Kepler für immer aus der Wissenschaft entfernt wurden. Der zweite, oder eigentlich mathematische Schritt aber erforderte eine nicht gewöhnliche Kenntniß dieser Wissenschaft, wenn er ganz und

2) M. s. Biogr. Brit. folio. Art. Hooke.

vollständig ausgeführt werden sollte, wie man schon daraus sehen kann, daß dies das erste Problem seiner Art war, und daß zur vollständigen Auflösung desselben die höhere Analysis nothwendig war, die aber damals noch in ihrer Kindheit, oder vielmehr eben in ihrer Geburt begriffen war. Auch wurde dieser zweite Schritt, obschon bei weitem der leichteste von allen, die Newton zur Erreichung seines Zieles unternehmen mußte, von ihm selbst zuerst und von ihm ganz allein ausgeführt.

II. Kraft der Sonne in verschiedenen Punkten derselben Planetenbahn.

Die Ableitung des Gesetzes der Kraft, welche aus den zwei Kepler'schen Gesetzen der elliptischen Bewegung der Planeten folgen sollte, war ein von dem vorhergehenden ganz verschiedenes und auch viel schwereres Problem, und auch hier wurde über die Priorität der Entdeckung desselben gestritten. Borelli bemühte sich schon in dem Jahre 1666, wie wir gesehen haben, die allgemeine Form der Planetenbahnen mit seinem Begriff einer anziehenden Centralkraft in Verbindung zu bringen, wobei er eine Centrifugalkraft zu Hülfe zu nehmen suchte. Hooke aber hatte im Jahr 1679 behauptet, daß die Ellipse oder doch eine der Ellipse ähnliche Curve das Resultat einer Kraft sei, die sich wie verkehrt das Quadrat der Entfernung verhalte [3]). Aber es scheint, daß dies nur eine blose Muthmaßung von ihm gewesen ist. Halley erzählt [4]), „Hooke habe ihm im Jahr 1683 gesagt, daß er alle Gesetze der himmlischen Bewegungen aus der Wirkung einer Kraft, die sich verkehrt wie das Quadrat der Entfernung verhält, ableiten und beweisen könne, und daß er, als ihm Sir Christopher Wren eine gewisse Summe anbot, wenn er einen solchen Beweis aufstellen könne, demselben geantwortet habe, er besitze diesen Beweis allerdings, aber er wolle denselben noch einige Zeit geheim halten, damit andere, wenn sie ihre eigenen Kräfte daran versucht und zu klein gefunden haben, den Werth eines solchen Beweises, wenn er ihn dann bekannt geben werde, dadurch erst recht schätzen lernen möchten.“ — Aber Halley

3) M. s. Birch's Hist. of the R. Soc. in Wallis Leben und Newton's Brief, in der Biogr. Brit. Hooke. Seite 2660.

4) Encycl. Brit. Hooke. Seite 2660.

bemerkt dabei doch auch ganz richtig, daß, nach der Bekanntmachung dieses Beweises in den Prinzipien, ein solcher Grund der Verheimlichung nicht mehr angenommen werden konnte. „Ich habe „ihm auch, setzt Halley hinzu, ganz offen gesagt, daß, wenn er „nicht einen andern von Newton verschiedenen Beweis bringen „und der Welt vorlegen will, weder ich noch irgend Jemand „seiner Versicherung Glauben beimessen werde."

Newton gesteht, daß die oben erwähnten Behauptungen Hooke's von dem Jahre 1679 ihm die Gelegenheit zu seinen Untersuchungen dieses Punktes der allgemeinen Theorie gegeben haben. Newton's Beweis ist in der zweiten und dritten Section der Prinzipien enthalten. Die erste dieser Sectionen handelt von dem allgemeinen Gesetze der Centralkraft in irgend einer krummen Linie, und in der zweiten spricht er mit größerer Umständlichkeit, als Anwendung jenes allgemeinen Gesetzes auf die Bewegungen des Himmels, von dem besonderen Falle, wo die Kraft sich wie verkehrt das Quadrat der Entfernung verhält.

In diesem, wie in dem früheren Theile seiner Entdeckung, sind überall die zwei großen Schritte vorherrschend, die himmlischen Bewegungen als ein rein mechanisches Gesetz zu betrachten, und dann dasselbe aus seinen allgemeinen Prinzipien aufzulösen. Borelli und Hooke haben ohne Zweifel den ersten dieser Schritte ebenfalls, und zwar mit voller Klarheit des Bewußtseins gethan, allein der zweite Schritt, die eigentlich mathematische Auflösung des Problems, forderte eine viel höhere Erfindungskraft.

Newton scheint sich darüber geärgert zu haben, daß Hooke so leicht von dem Werthe dieses zweiten Schrittes sprach. Zur Entgegnung ließ er sich bewegen, Hooke's Ansprüche, nicht ohne einige Härte im Ausdrucke, ganz abzuläugnen, und dafür auf seinen eigenen zu bestehen. In einem Brief an Halley sagt er: „Borelli hat doch noch was in dieser Sache geleistet und mit „Bescheidenheit davon gesprochen; dieser aber (Hooke) hat nichts „gethan, und doch so darüber geschrieben, als hätte er alles „aufgefunden, was noch durch die Plackereien der Beobachtungen „und der Berechnungen zu finden übrig war, sich selbst von diesen „Arbeiten zurückziehend, indem er andere Geschäfte vorschützte, wo „er sich doch nur wegen seiner Unfähigkeit zurückziehen mußte, denn „es ist klar, wie aus seinen eigenen Worten folgt, daß er nicht „wußte, wie er den Gegenstand angreifen soll. Nun sagen Sie, ist

„das nicht recht fein? Die Mathematiker, die sich abmühen, „suchen und spähen, und alle Arbeit auf sich nehmen, sind nichts „als trockne Rechner und Lastthiere, während ein anderer, der „nichts thut, aber doch alles beriechen und für sich in Anspruch „nehmen will, alle Entdeckungen mit sich fortführt, sowohl die „noch künftig gemacht werden sollen, und die auch vor ihm schon „gemacht worden sind.“ —. Doch wurde dieß unter dem Einflusse einer Art von Mißverständniß geschrieben, und in einem folgenden Briefe an Halley sagte Newton wieder: „Ich sehe nun ein, daß „mir diese Sache in einiger Rücksicht unrichtig dargestellt worden „ist, und ich wünschte, die Nachschrift zu meinem letzten Briefe „ungeschrieben gelassen zu haben.“ Jetzt aber, wo die Ansprüche seiner Nebenbuhler längst verschwunden sind, erblicken wir die Glorie ungetheilt, die Newton als dem wahren Entdecker des Gegenstandes gebührt. Auch hat er, wie man hinzusetzen kann, in der dritten Section der Prinzipien alle Folgen dieser Entdeckung umständlich entwickelt, wo er zugleich verschiedene andere Probleme, die aus ihr entspringen, mit der ihm eigenen Fruchtbarkeit und mathematischen Eleganz aufgelöst, und wo er endlich auch den nothwendigen Zusammenhang des dritten Gesetzes Kepler's mit den beiden andern gezeigt hat [5]).

III. Schwere des Mondes gegen die Erde.

Obschon mehrere vor Newton die kosmischen Kräfte als dem allgemeinen Gesetze der Bewegung gehorchend betrachtet haben, so sieht man doch nicht, daß einer vor ihm diese Kräfte mit denen der irdischen Schwere für identisch gehalten hätte.

---

5) Man muß bemerken, daß Newton allerdings der erste bewiesen hatte, daß, wenn die um die Sonne beschriebene Curve ein Kegelschnitt ist, die Kraft der Sonne sich verkehrt wie das Quadrat der Entfernung verhalte; aber daß auch umgekehrt, wenn die Centralkraft sich wie verkehrt das Quadrat der Entfernung verhält, die beschriebene Curve ein Kegelschnitt sein muß, diese Frage wurde in den Prinzipien nicht beantwortet, wie sie denn auch bei weitem die schwerere von diesen beiden ist, da zu ihrer Auflösung die Integralrechnung gehört, während zu jener schon die Differentialrechnung genügt. Die Integralrechnung wurde aber in ihrem Anfange vorzüglich von den deutschen Mathematikern, Leibnitz und Bernoulli, bearbeitet, und der letzte ist es auch, welcher der erste jenes umgekehrte Problem gelöst hat. L.

Dieser Schritt in Newton's Entdeckungen ist von denjenigen, die gerne an der Oberfläche der Dinge bleiben, am meisten besprochen worden, und die Erzählung von dem fallenden Apfel hat demselben ein eigenes, fremdartiges Interesse verliehen. Die Aufmerksamkeit der Menge wird durch diese folgenreiche Erzählung und durch den wunderbaren Gegensatz ergriffen, der eine der tiefsten Theorien mit einem ganz alltäglichen Ereigniß in Verbindung bringt. Wir werden aber bald sehen, wie unangemessen eine solche Darstellung der Sache ist. — Diese Erzählung von Newton's Ideengang wurde zuerst von Pemberton [6]), der sie von Newton selbst erhielt, und dann von Voltaire gegeben, welcher letzte sie von der Miß Conduit, der Nichte Newton's, erhalten hatte [7]). „Die ersten Ideen, heißt es, die zu der „Entstehung der Prinzipien Anlaß gaben, hatte Newton, als er sich „im J. 1666 (in seinem 24sten Lebensjahre) wegen einer ausgebrochenen Seuche von Cambridge in die Einsamkeit des Landlebens zurückzog. Als er hier ganz allein in einem Garten „saß, verfiel er in einige Spekulationen über die Kraft der „Schwere. Da diese Kraft selbst in den größten Höhen über „der Oberfläche der Erde, zu denen wir noch gelangen können, „auf hohen Gebäuden und selbst auf den höchsten Bergen nicht „merklich vermindert wird, so schien es ihm ganz angemessen, „die Wirkungen derselben Kraft noch viel weiter, als man bisher anzunehmen pflegte, auszudehnen. Und warum nicht, soll „er sich selbst gefragt haben, warum nicht auch bis zu dem „Mond? Wenn dies aber der Fall ist, so muß diese Kraft „auch auf die Bewegung des Mondes Einfluß haben, oder diese „Bewegung wird vielleicht selbst nur die Wirkung jener Kraft sein."

Die Idee einer kosmischen Schwere, einer durch das ganze Weltall verbreiteten Gravitation trat auf diese Weise deutlich und bestimmt in seinem Geiste auf, und Newton's Größe zeigte sich besonders darin, daß er die himmlischen Bewegungen eben so klar begriff, und mit seinem geistigen Auge erkannte, als diejenigen Bewegungen, die auf der Erde in seiner Nähe vor sich gingen; daß er sie beide als von derselben Art erkannte,

---

6) In Pemberton's Vorrede zu seinem: View of Newton's Philosophy.

7) Voltaire, Elémens de la philos. de Newton. III. partie. Chap. III.

und daß er demnach auch, ohne Zögerung und mit klarem Bewußtsein, auf beide Bewegungen dieselben allgemeinen Regeln in Anwendung zu bringen suchte. Allein bis daher war diese Idee nur eben eine Muthmaßung, obschon sie allerdings die innere Thätigkeit des Denkens bezeugte. Diese Vielleicht, diese Warum nicht hatten noch keinen eigentlich wissenschaftlichen Werth, und ihnen diesen zu geben, dazu gehörte viel mehr. Auch erfolgte in Newton's Geiste auf jenes erste Warum nicht sogleich auch die zweite Frage: Und wenn so, was dann? — Er ging aber ohne Zweifel den folgenden Weg. — Wenn die Schwere der Erde, mußte er sich selbst sagen, bis zu dem Mond reicht, so ist diese Schwere wahrscheinlich von derselben Art, wie die Centralkraft der Sonne, folgt auch wohl demselben Gesetze in Beziehung auf die Distanzen. Welches ist aber dieses Gesetz? — Wir haben bereits gesehen, daß, wenn man von den Gesetzen Kepler's ausgeht, der die Planetenbahnen kreisförmig annimmt, daß dann die Kraft der Sonne sich wie verkehrt das Quadrat der Entfernung verhält. Dieser Satz, der unter den nächsten Vorgängern Newton's als eine Conjectur allgemeinen Eingang gefunden hatte, war kurz zuvor von Newton selbst durch mathematische Schlüsse förmlich bewiesen worden. Er hatte sich dadurch gleichsam vorbereitet, auf seinem neuen Ideenwege weiter zu gehen. Wenn also, fuhr er fort, wenn die Schwere der Erde sich bis zu dem Mond erstreckt, und dabei wie verkehrt das Quadrat der Entfernung abnimmt, wird dann diese Kraft, in der Nähe der Mondsbahn, stark genug sein, diesen Körper in seiner Bahn zu erhalten? — Hier trat also wieder der Fall der Berechnung ein, und zwar einer höchst wichtigen Berechnung. — In der That, wie folgenreich, wie entscheidend war der Ausspruch, der aus der nun auszuführenden Rechnung hervorgehen sollte.

Nach Newton's Calcul, den er um jene Zeit führte, sollte der Mond in seiner Bewegung um die Erde in jeder Minute um dreizehn Fuß von der Tangente seiner Bahn gegen die Erde hingelenkt werden. Wenn er aber den Raum betrachtete, durch welchen die Körper auf der Oberfläche der Erde in einer Minute frei fallen, und wenn er darauf jenes Gesetz des verkehrten Quadrats anwendete, so zeigte sich, daß in Folge dieser Schwere der Erde der Mond in seiner Bahn während jeder Minute um etwas mehr als **fünfzehn** Fuß gegen die Erde fallen müßte. Die Differenz scheint klein, die Annäherung ermunternd, die Hypothese in hohem Grade annehmbar zu sein, und ein Mann, der nur einige Vorliebe für seine eigenen Ideen hegt, würde sehr leicht mehrere Gründe oder Entschuldigungen für diese geringe Differenz der Rechnung und der Beobachtung gefunden haben. Allein Newton sah dieselbe Differenz als eine förmliche Widerlegung seiner Hypothese an, und legte für eine längere Zeit alle weiteren Untersuchungen dieses Gegenstandes zur Seite. Er gab seine Lieblingsidee mit derselben Aufrichtigkeit und Offenheit auf, wie früher Kepler gethan hatte, obschon diese Idee auf viel festerem Boden gefunden wurde, als die Phantasie des Letzteren. Auch scheint er, so viel wir wissen, Kepler's Kämpfe und Leidenschaften bei solchen Gelegenheiten nicht getheilt zu haben.

Doch wurde diese Idee, obschon für jetzt zur Seite verwiesen, nicht für immer aufgegeben oder ganz verlassen [8]). Newton

---

8) Es wird vielleicht mehreren Lesern nicht unangemessen erscheinen, die Art, wie Newton diese wichtige Untersuchung angestellt hat, näher kennen zu lernen. — Aus der siderischen Umlaufszeit des Mondes von 27 Tag 7 Stund 43 Min. 11 $^1/_2$ Sec. findet man durch eine einfache Division den Bogen $\alpha = 0.54788$ Sec., welchen der Mond in seiner mittleren Bewegung um die Erde in jeder Zeitsekunde zurücklegt. Nennt man aber r den Halbmesser der hier als kreisförmig angenommenen Mondsbahn, so stellt der sogenannte Sinusversus jenes Bogens, den wir u nennen wollen, den Fall des Mondes gegen die Erde während einer Sekunde vor, und man hat $u = \frac{1}{2} r \operatorname{Sin}^2 \alpha$. Bezeichnet eben so U den Fall der Körper auf der Oberfläche der Erde während einer Secunde, und ist R der Halbmesser der Erde, so hat man, wenn nach Newton's Voraussetzung die Kraft sich verkehrt wie das Quadrat der Entfernung verhält,

$$\frac{U}{u} = \frac{r^2}{R^2}$$

also ist auch

$$U = \frac{r^3}{2R^2} . \operatorname{Sin}^2 \alpha.$$

Aus der durch Beobachtungen bestimmten Horizontalparallaxe π des Monds zu 57 Min. 9 Sec. findet man aber das Verhältniß der beiden Größen r und R

$$\frac{r}{R} = \frac{1}{\operatorname{Sin} \pi} = 60.16$$

suchte i. J. 1679 die Curve zu bestimmen, die ein frei fallender Körper über der um ihre Axe rotirenden Erde beschreiben müsse, wofür er eine Art von Spirallinie fand. Hooke widersprach ihm und behauptete, diese Curve müßte eine Ellipse sein. Dadurch wurde Newton bewogen, den Gegenstand noch einmal genauer zu untersuchen, wobei er denn, obschon auf ganz anderem Wege, wieder auf dasselbe Gesetz von dem verkehrten Quadrat der Entfernungen geführt wurde. Dieß veranlaßte ihn, seine früheren Spekulationen über die Anziehung des Monds von der Erde noch einmal vorzunehmen. Sollte denn, sagte er sich selbst, kein Mittel gefunden werden, jenen Unterschied zwischen der Rechnung und der unmittelbaren Beobachtung zu entfernen, wenn man die Bewegung des Mondes als eine Wirkung der Anziehung der Erde betrachtet?

Eine Schrift, die um eben diese Zeit in Frankreich erschienen war, gab ihm die gewünschte Antwort auf jene Frage. — Newton hatte in seinen früheren Rechnungen die Größe der Erde falsch angenommen, also auch die Distanz derselben von dem Monde, welche letzte bekanntlich nur durch solche Messungen bestimmt wird, welchem der Halbmesser der Erde als Basis zu Grunde liegt. Nach der gewöhnlichen Schätzung, die damals unter den Geographen und Seeleuten angenommen war, sollten sechszig englische Meilen in einem Breitengrade enthalten sein. Allein Picard [9]) in Frankreich hatte i. J. 1670 eine Meridian-

---

Substituirt man daher diesen Werth von $r = 60.16\,R$ und von $\alpha = 0.54788$ in dem vorhergehenden Ausdruck, so erhält man

$$U = 0.000\,000\,7681\,R$$

für den gesuchten Fall der Körper während der ersten Zeitsecunde auf der Oberfläche der Erde. Alles kömmt daher noch, wie man sieht, auf die richtige Annahme des Halbmessers R der Erde an. Newton setzte mit den englischen Schiffern seiner Zeit den Werth von R nahe gleich 16 Millionen Par. Fuß voraus, und damit gibt die letzte Gleichung $U = 12.29$ Fuß, also nahe 3 Fuß zu klein. Hätte er, wie spätere Meridianmessungen der Erde zeigten, $R = 19\,609\,000$ P. Fuß vorausgesetzt, so würde er $U = 15.06$ Fuß gefunden haben, was sehr nahe mit demjenigen Resultate über den Fall der Körper übereinstimmt, das nahe ein Jahrhundert früher Galilei aus den Pendelbeobachtungen gefunden hatte. L.

9) Picard (Johann), Prior des Klosters Rillé in Anjou, geb. 21. Juli 1620, Professor der Astronomie am Collége de France, und

vermessung vorgenommen, die viel genauer war, als alle vorhergehenden. Die Resultate dieser Messung wurden eben damals im Jahr 1681, bekannt gemacht, und die Nachricht davon wurde, im Junius 1682, in einer Sitzung der k. Akademie, in Newtons Gegenwart, aus einem Briefe mitgetheilt. Newton notirte sich das Vorzüglichste aus diesem Briefe, und nahm sogleich nach seiner Nachhausekunft seine früheren Rechnungen mit diesem neuen Halbmesser der Erde noch einmal vor. Man kann sich

---

einer der ausgezeichnetsten Astronomen seiner Zeit. Man verdankt ihm die Anbringung des Fernrohrs an die astronomischen Quadranten und Sektoren, die in der Geschichte der praktischen Astronomie Epoche machte, so wie das sogenannte lunette d'épreuve und die meisten der praktischen Verifikationsmethoden, durch welche er den Gebrauch der Quadranten und ähnlicher Instrumente erst recht nützlich machte. Sein nächster Freund Auzout ist als der Erfinder des Mikrometers an den Fernröhren bekannt. — Picard gab uns die erste verläßliche Bestimmung der Größe der Erde durch seine Meridianmessung zwischen Malvoisine und Sourdon. Er führte der erste die Beobachtung der korespondirenden Höhen der Gestirne in die Astronomie ein, um dadurch, nicht blos die Zeit durch die Sonne, sondern auch die Rectascension der Fixsterne und der Planeten zu bestimmen. Auch die Correktion dieser Beobachtungen wegen der veränderlichen Deklination der Sonne ist von ihm zuerst gegeben worden. Auf diese Weise bestimmte er den Augenblick der Solstitien mit derselben Schärfe, mit welcher man bisher nur die Aequinoktien angeben konnte. Er beobachtete ebenfalls der erste die Länge des Sekundenpendels. Um die Beobachtungen Tycho's nützlicher zu machen, reiste er nach Uranienburg, die Lage dieser einst so berühmten Sternwarte näher zu bestimmen. Auf dieser Reise traf er den jungen, talentvollen Römer, den er nach Paris zu ziehen und dadurch für die Astronomie zu gewinnen wußte. Il n'étoit, sagt Condorcet, frappé de la crainte, d'avoir en lui un rival, qui pouvait être dangereux pour sa gloire. Auch verdankte Dom. Cassini seiner Verwendung bei dem Minister Colbert seine Berufung nach Paris, so wie er auch als der eigentliche Stifter der Pariser Sternwarte zu betrachten ist. Durch einen gefährlichen Fall von einer Anhöhe untergrub er seine Gesundheit und nach mehrjährigem Leiden starb er am 12ten Juli 1682. Seine vorzüglichsten Werke sind: La mesure de la terre, Paris 1671; Voyage d'Uranibourg, Paris 1680; Connaisance des temps, von welchen seitdem ununterbrochenen festgesetzten Werke er die fünf ersten Bände herausgab: Traité du nivellement; Fragmens de dioptrique und de Mensuris. L.

die lebhafte Unruhe denken, mit welcher er an diese Arbeit ging. „Er eilte in seine Wohnung, erzählt Robison [10]), zog „seine alten Schriften wieder hervor, wiederholte seine Rechnungen „von dem Jahre 1666, und als er dem neuen Resultate immer „näher und näher kam, wurde er von einer allgemeinen Agitation seiner Nerven so sehr ergriffen, daß er einen eben hereintretenden Freund ersuchen mußte, seine Rechnung zu Ende zu „führen." — Seine frühere Muthmaßung wurde durch diese Rechnungen vollkommen bestätigt, und sie stimmten mit den Beobachtungen auf das beste überein. Nach sechzehnjährigen Versuchen und Zweifeln wurde endlich die Wahrheit seiner früheren Voraussetzung in ihrem vollen Lichte erkannt, und da diese zugleich mit allen seinen übrigen Untersuchungen über die Mechanik des Himmels in dem schönsten Einklang gefunden wurde, so erhielten dadurch seine sämmtlichen Ansichten ein neues, festeres Gepräge, das sowohl auf sein eigenes Selbstvertrauen in der Verfolgung der eingeschlagenen Bahn, als auch auf den Eingang, den das neue System bei der ganzen gebildeten Welt erfahren mußte, nicht anders als sehr vortheilhaft einwirkte.

Vor ihm hat, so viel mir bekannt, Niemand ernsthaft darauf gedacht, daß die Schwere der Erde die eigentliche Ursache der Bewegung des Mondes sein könnte. Zwar hatte man, wie oben erwähnt, öfter von Kräften gesprochen, die den Mond um die Erde führen sollten, hatte auch wohl diese Kräfte mit den Worten Attraktion, Gravitation (Schwere) u. dergl. bezeichnet. Allein dies geschah mehr, um durch eine Art von Analogie die neue Art dieser Kräfte anzuzeigen, ganz eben so, wie dieselben Kräfte früher noch auch mit denen des Magnets in Vergleich gebracht worden sind. Bei allen diesen Zusammenstellungen aber dachte Niemand daran, die Schwere der Erde als eine Kraft anzusehen, die auch in den fernen Räumen des Himmels noch thätig und auf eine solche Weise thätig sein sollte. Nachdem Newton diese Wirksamkeit einmal erkannt und bewiesen hatte, wurde allerdings das Wort „Schwere" auch in dieser erweiterten Bedeutung gebraucht, aber daraus wird Niemand folgern wollen,

---

10) Robison, Phys. Astron. Art. 197. Nur ist die Quelle, aus der Robison diese Erzählung schöpfte, unbekannt.

daß diese weitere Bedeutung auch schon vor Newton's Entdeckung eine allgemein angenommene gewesen ist. Auf diese Weise mag es gekommen sein, daß Huyghens von manchem seiner späteren Leser mißverstanden wurde, wenn er sagt [11]): „Borelli war der Ansicht, „daß die Planeten durch die Schwere (gravitas) gegen die Sonne „und die Satelliten durch dieselbe Kraft gegen ihre Hauptpla„neten getrieben werden.“ — Der Begriff einer irdischen Schwere, dieselbe zugleich als eine kosmische Kraft betrachtet, war aber allen Spekulationen Borelli's gänzlich fremd [12]). Horrox jedoch scheint schon um das Jahr 1635 die wahre Ansicht von diesem Gegenstande gehabt zu haben, obschon er sie durch den irrigen Einfall Keplers wieder verdarb, der die Bewegung des Planeten um die Sonne mit der Rotation des letzten Körpers um seine eigene Achse in Verbindung bringen wollte. So sagt er [13]), daß eine Emanation aus der Erde einen auf ihrer Oberfläche geworfenen Stein ganz auf dieselbe Weise mit sich herum führt, wie der Mond in seiner Bahn um die Erde geführt wird, nur daß diese Kraft der Erde für den Stein viel größer ist, als für den Mond, weil dort die Entfernung des bewegten Körpers viel kleiner ist, als hier.

Der Satz, in welchem Newton die Entdeckung mittheilte, von der wir hier sprechen, ist in der vierten Proposition des dritten Buches der Prinzipien enthalten, wo es heißt: „Der „Mond gravitirt gegen die Erde, und wird durch diese Gravi„tation immerwährend von der geradlinigen Bewegung abgelenkt „und in seiner Bahn erhalten.“ Der Beweis dieses Satzes beruht auf der erwähnten numerischen Berechnung, von der er aber nur die Elemente und die Methode im Allgemeinen mittheilt. Man wird dabei nicht übersehen, daß eine sehr innige Kenntniß des Verfahrens, durch welches die Astronomen zu diesem Elemente gelangten, und ein nicht gewöhnlicher Scharfsinn dazu gehörte, die besten und angemessensten von ihnen auszuwählen. Die mittlere Distanz des Mondes von der Erde

---

11) Huyghens, Cosmotheoros. I. 2.

12) Ich wenigstens habe keine Stelle in seinen Schriften gefunden, wo dieses Wort so von ihm gebraucht ist.

13) Horrox, Astronomia Kepleriana defensa et promota. Cap. II.

wurde z. B. von Tycho gleich 56½, von Kircher aber gleich 62 Halbmesser der Erde angenommen. Newton gibt seine guten Gründe an, warum er 61 für diese Zahl vorzieht[14]).

Diese Ausdrücke „die Gravitation oder das Gravitiren der Körper" gegen einander, die Newton, wie wir gesehen haben, zuerst für den Mond einführte, nahmen in der Folge eine viel

---

14) Nach den neuesten Bestimmungen ist die mittlere Entfernung des Mondes von der Erde oder die halbe große Achse der elliptischen Mondsbahn gleich 51830 geogr. Meilen, deren 15 auf einen Grad des Aequators gehen. Die größte Entfernung desselben beträgt 54670 und die kleinste 48990 Meilen, also ist auch die Exzentricität seiner elliptischen Bahn gleich 2840 Meilen, d. h. der 0.0548ste Theil der halben großen Achse dieser Bahn. Der wahre Durchmesser des Mondes beträgt 454 Meilen oder 0.264 Erddurchmesser. Der mittlere scheinbare Durchmesser des Mondes aber mißt $0^0\ 31'\ 7''$. Die Masse desselben ist $\frac{1}{87.7}$ der Erdmasse, und die Dichte des Mondes ist 0.62 der Dichte der Erde oder 3.04 des Regenwassers. Der Halbmesser des Erdäquators erscheint aus dem Mittelpunkte des Mondes unter dem Winkel von $0^0\ 57'\ 1''$, wenn der Mond in seiner mittleren Entfernung von der Erde ist, und dies ist also auch zugleich die sogenannte Horizontalparallachse des Mondes. Die siderische Umlaufszeit des Mondes um die Erde (vergl. Vol. I, S. 136) ist gleich

27 Tage $7^h\ 43'\ 11''.5$.

Für den ersten Januar 1801 im mittleren Mittag von Paris ist die mittlere Länge des Mondes gleich $118^0\ 17'\ 8''.3$ und seine mittlere tropische Bewegung ist $13^0\ 10'\ 35''.0270112$. Für dieselbe Epoche ist die Länge der Erdnähe (Perigeum) der Mondsbahn gleich $266^0 10' 7''.5$ und die des aufsteigenden Knotens dieser Bahn in der Ekliptik $13^0\ 53'\ 17''.7$. Diese beiden Punkte des Himmels sind aber selbst wieder bedeutenden Bewegungen unterworfen. Die Bewegung der großen Achse der Mondsbahn in 100 Julianischen Jahren (jedes zu 365¼ Tag) beträgt 11 ganze Umläufe und $109^0\ 2'\ 46''.6$ siderisch von West nach Ost, und die siderische Bewegung der Knoten in derselben Zeit beträgt 5 Umläufe und $134^0 9' 57'',5$ von Ost nach West. Die Neigung der Mondsbahn gegen die Ekliptik ist $5^0 8'\ 47''.9$, und die Neigung des Mondäquators gegen die Ekliptik ist $1^0 28'\ 25''$, welche letzte Neigung zugleich für alle Zeiten unveränderlich ist. Von den bedeutenden Störungen, die der Mond von der Sonne erleidet, ist bereits im ersten Theile S. 177 und 438 gesprochen worden. L.

umfassendere Bedeutung an, wie wir sogleich genauer sehen werden.

IV. Gegenseitige Attraktion aller Himmelskörper.

Wenn der bereits besprochene Theil der Entdeckung der allgemeinen Schwere vielleicht leicht zu errathen, aber schwer zu beweisen war, so galt dies in einem viel höheren Grade noch von dem noch übrigen Theile derselben, von der Attraktion, welche die Planeten und ihre Satelliten nicht blos von ihren Centralkörpern, sondern welche sie unter einander selbst gegenseitig erleiden. Wenn die mathematische Berechnung der Wirkung einer einzigen Centralkraft schon eine so große geistige Kraft erforderte, wie viel schwieriger wurde dieselbe Unternehmung, als nun auch so viele andere fremdartige Einflüsse zu berücksichtigen waren, durch welche jene reine Wirkung der Centralkraft auf das mannigfaltigste gestört, und die Bewegung der so gestörten Körper in so hohem Grade verwickelt werden mußte. Glücklicherweise sind diese Perturbationen, so ungemein zahlreich und verwickelt sie auch sein mögen, doch zugleich meistens so klein, in Vergleich mit der Wirkung der Centralkraft, daß es eben dadurch dem menschlichen Geiste möglich geworden ist, die ihm gegenüberstehenden Hindernisse zu überwinden. Aber selbst jetzt noch, wo der große Kampf größtentheils vorüber ist, haben wir Ursache, uns über diesen Sieg zu verwundern.

Die Meinung von einer gegenseitigen Anziehung der Planeten hat schon der bereits öfter erwähnte Hooke [15]) aufgestellt. Aus seiner Theorie, sagt er, folgt, daß nicht blos die Sonne und der Mond auf die Bewegung der Erde Einfluß habe, sondern daß auch alle übrigen Planeten, durch ihre Attraktionskraft, die Erde zu bewegen suchen, und daß eben so die Erde auf die Bewegungen aller jener Körper wieder zurückwirke. Borelli, in seiner Theorie der Jupiterssatelliten spricht ebenfalls, obschon ziemlich dunkel und verwirrt, von einer wahrscheinlichen Anziehung, welche diese Satelliten von der Sonne erleiden, und wodurch die rein elliptischen Bewegungen derselben um ihre Hauptplaneten gestört werden. „Wie kann man zweifeln, sagt er in

15) Hooke, Versuch, die Bewegung der Erde zu beweisen. Lond. 1674.

„seinem vierzehnten Kapitel, daß die Mediceischen Gestirne (wie „er diese Satelliten mit Galilei nannte) gleich allen übrigen „Planeten eine größere Geschwindigkeit annehmen, wenn sie der „Sonne näher kommen, und daß sie eigentlich von zwei bewe„genden Kräften beherrscht werden, von welchen die eine ihre „Umläufe um Jupiter erzeugt, während die andere ihre Be„wegung um die Sonne regulirt.“ An einem spätern Orte, im zwanzigsten Kapitel, versucht er dies aus den Neigungen ihrer Bahnen zu beweisen, was ihm aber, wie man erwarten muß, nicht gelingen konnte.

Am auffallendsten aber mußte wohl dieser Einfluß der Sonne auf die Satelliten bei unserem eigenen Monde erscheinen, da die großen Ungleichheiten [16]), die man früher schon in seiner Bewegung entdeckt hatte, blos mit Ausnahme der elliptischen Mittelpunktsgleichung, alle eine offenbare Beziehung auf die Stellung der Sonne haben. Demungeachtet sehe ich nicht, daß irgend Jemand vor Newton diese Ungleichheiten des Mondes auf jenem Wege zu erklären auch nur versucht hätte. Ueberhaupt war die Berechnung der Perturbationen, welche die himmlischen Körper erleiden, ein Problem, das in allen früheren Zeiten ganz außer dem Bereich der menschlichen Kräfte zu liegen schien, und an dessen Auflösung man daher damals auch nicht weiter denken mochte.

Newton war der erste, der das Dasein solcher perturbirenden Kräfte unter den himmlischen Körpern mit Sicherheit nachgewiesen und der auch zugleich die Wirkungen derselben, großentheils wenigstens, der Rechnung unterworfen hat. In dem sechsten Theorem des dritten Buches seiner Prinzipien führt er diese Untersuchungen auf die allgemeinen Grundsätze der Mechanik zurück, und zeigt damit, daß der Mond, gleich der Erde, von der Sonne angezogen wird; daß die Satelliten Jupiters und Saturns, wie diese Hauptplaneten selbst, auf gleiche Weise von der Sonne angezogen werden. Wäre dies nicht der Fall, so könnten auch, wie er weiter zeigt, alle diese Monde nicht ihre Hauptplaneten auf ihren Weg um die Sonne in der regelmäßigen Weise, wie sie jetzt thun, begleiten, indem alle

---

16) Die Evektion, Variation und die jährliche Gleichung. Man sehe oben Vol. I, S. 177.

diese Körper, wenn sie in dieselbe Entfernung von der Sonne gebracht werden, auch von ihr mit derselben Kraft angezogen werden müssen.

Daß aber die weiteren Entwickelungen und Anwendungen dieses Prinzips auf alle Körper unseres Sonnensystems zu sehr komplicirten Untersuchungen führen mußten, bedarf wohl keiner weiteren Erläuterung. Der Planet und sein Satellit hat nicht immer dieselbe Distanz von der Sonne, und die Richtung ihrer Bewegungen ist oft sehr verschieden. Die Veränderungen, welche die reine elliptische Bewegung des Satelliten erleidet, kehren mit jeder neuen Umlaufszeit desselben periodisch wieder; aber die Störungen, welche diese elliptische Bewegung von der Sonne erfährt, hängen von der Stellung der Sonne gegen den Hauptplaneten ab, und sie werden daber nur in sehr langen und verwickelten, von eben diesen Stellungen abhängigen Perioden wiederkehren. Auch wird dieser Einfluß der Sonne von der Position der Knoten der Mondsbahn, von der verschiedenen Neigung derselben, und von der Lage der großen Axe dieser Bahn abhängig sein, wodurch die Bestimmung der Bewegung des Satelliten noch mehr verwickelt werden muß. Endlich wird auch jede augenblickliche Einwirkung der Sonne auf den Satelliten durch alle bereits vorher gegangenen Einwirkungen derselben modificirt und mannigfaltig abgeändert, so daß das eigentliche Resultat ihrer Anziehung in jedem gegebenen Augenblicke als die Summe der Resultate aller vorhergegangenen Zeiten betrachtet werden muß, und da die einzelnen Glieder der Reihen, welche jene augenblickliche Wirkungen enthalten, meistens sehr zusammengesetzte analytische Ausdrücke sind, so wird es, wie man auch wohl ohne Rechnung schon bemerken kann, keine leichte Sache sein, die Summen aller dieser Reihen auch nur auf eine genäherte Weise zu bestimmen.

Es scheint nicht, daß bis zu Newton irgend ein Mensch fähig gewesen ist, an der Auflösung dieses Problems, oder vielmehr, dieser großen Folge von Problemen, seine geistige Kraft zu erproben. Selbst volle sechszig Jahre nach der Bekanntmachung der Prinzipien hat Niemand irgend einen bedeutenden werthvollen Zusatz zu seinen Deduktionen geliefert, ja selbst bis auf den heutigen Tag hat sich Keiner gefunden, der auf dem von Newton eingeschlagenen Wege und mit den von ihm aufgestellten synthetischen Methoden weiter, als er selbst, zu gehen gewagt hätte. Er hatte bekanntlich alle größeren Ungleichheiten des Mondes berechnet, und bei vielen derselben hat er auch das von ihm gebrauchte Verfahren, bei andern aber blos die von ihm gefundenen Resultate mitgetheilt. Wer aber hat aus seinen einfachen Prinzipien und mit seiner höchst eleganten geometrischen Methode nur eine einzige von allen jenen anderen Ungleichheiten des Mondes erklärt, die er unberührt gelassen hat? — Das gewichtige Instrument der Synthese, das in seiner Hand so kräftig und fruchtbar war, ist seidem von niemand mehr zu gleichem Zwecke berührt worden. Mit stummer Verwunderung blicken wir zu diesem Instrumente hinauf, zu dieser Riesenwaffe, die nun müßig dasteht unter den Denkmälern der Vorzeit, und staunend fragen wir uns, zu welchem Geschlechte der Mann gehörte der dieses Gigantenschwert schwingen konnte, das wir anderen kaum von dem Boden zu heben vermögen [17]).

Es wird unnöthig sein, den Scharfsinn und die Gewandtheit näher anzuzeigen, die in diesem Theile der „Prinzipien" überall vorherrscht. Die Art, wie der Verfasser dieses unsterblichen Werks die Wirkung der perturbirenden Kraft auf die Bewegung der Apsiden der elliptischen Mondsbahn erhält (B. I, Sect. IX.) ist immer wegen ihrer Genialität und Eleganz bewundert worden. Die allgemeine Darstellung der Störungen eines Satelliten durch die Sonne (Prop. 66) gilt selbst in unseren Tagen noch als eine der besten Erklärungen dieses verwickelten Gegenstandes Die Berechnungen der Variation des Monds, der Bewegung der Knoten seiner Bahn und der Veränderung ihrer Neigung (B. III) sind voll von schönen und sinnreichen mathematischen Kunstgriffen.

---

17) Es ist wohl nicht zu zweifeln, wie auch Laplace in seiner Exposition du système de monde sagt, daß Newton die meisten seiner astronomischen Entdeckungen auf dem viel leichteren analytischen Wege gefunden, und daß er dieselbe erst nachher in das Gewand der Synthesis gekleidet hat, aus Vorliebe für die beliebte Manier der alten griechischen Geometer, und vielleicht auch, um seinen Lesern absichtlich mehr zu denken zu geben, ein Vorwurf, den man auch Laplace wieder zurückgeben kann, wenn man seine ersten Memoiren in den Gedenkschriften der Pariser Akademie mit den späteren ihnen entsprechenden Kapiteln der Mécanique céleste vergleicht. L.

Aber die Erfindungskraft des großen Mannes scheint auch noch auf andern Feldern thätig gewesen zu sein, wovon seine Schriften keine unmittelbare Zeugnisse geben. In vielen Fällen hat er die Beweise seiner Sätze zurückbehalten, und uns nur die gefundenen Resultate mitgetheilt, weil ihn die Eile trieb oder vielleicht die Müde überfiel, wie es einem Manne seiner Art wohl begegnen konnte, der mit Beobachtungen und Rechnungen überhäuft war, auf den von allen Seiten neue Ideen zuströmten, der täglich mit dem Schmerze der Conception und mit den Hindernissen der Geburt und Ausbildung dieser Ideen zu kämpfen hatte, und der endlich alle seine Publikationen mit der höchsten geometrischen Eleganz des Vortrags auszustatten pflegte, wodurch sie allein würdig werden sollten, vor den Augen der Welt zu erscheinen [18]).

Da die theoretische Berechnung des Mondlaufs so schwierig, und die Zahl seiner Ungleichheiten so groß und verwickelt ist, so läßt sich wohl fragen, ob die Resultate, zu denen Newton gelangt ist, auch hinreichten, diesen zweiten Theil seiner Entdeckung zu beweisen: daß nämlich die durch die Beobachtungen bekannt gewordenen Ungleichheiten des Mondes auch in der That aus der Anziehung der Sonne entspringen? — Diese Frage kann man aber, wie uns scheint, ohne Bedenken bejahend beantworten. Denn erstens folgten aus Newtons Hypothese solche Ungleichheiten des Mondes, wie sie, ihrer Form nach, der Natur der Sache gemäß waren, und dann stimmte auch die Größe dieser aus der Theorie abgeleiteten Störungen nahe mit derjenigen überein, welche die Astronomen aus ihren Beobachtungen gefunden hatten. Auch konnte man endlich wohl annehmen, daß bei diesen höchst verwickelten Berechnungen der erste Versuch noch manches zu wünschen übrig lassen, und daher auch noch einige Unterschiede zwischen der Theorie und den Beobachtungen zeigen werde. Schon in der ersten Ausgabe der Prinzipien wurde die Progression des Apogeums, die Regression der Knoten, die von Ptolemäus entdeckte Evektion und die von Tycho gefundene

18) Indem er z. B. die Wirkung der Exzentricität der Mondsbahn auf die Bewegung der Apsidenlinie derselben Bahn bestimmt, sagt er: „Die hieher gehörenden Rechnungen führe ich nicht an, da sie zu verwickelt und mit Approximationen überfüllt sind.“ (Schol. zu Prop. 35 der ersten Ausg. der Prinzipien.)

Variation, so wie auch die elliptische Mittelpunktsgleichung, als eine reine Folge der neuen Theorie aufgestellt und bewiesen. Auch wurden die Größen dieser verschiedenen Ungleichheiten berechnet und mit den aus den unmittelbaren Beobachtungen erhaltenen verglichen, wo dann die Uebereinstimmung in den meisten Fällen auffallend genau gefunden wurde. Die Variation z. B. harmonirte mit Halley's neuesten Beobachtungen bis auf eine Raumminute (B. III, Prop. 29. Die mittlere jährliche Bewegung der Knoten stimmte mit den Beobachtungen bis auf den hundertsten Theil ihres ganzen Werthes überein (Prop. 32). Auch die Gleichung für die Bewegung der Knoten wurde den Beobachtungen gemäß gefunden (Prop. 33), so wie endlich auch die Veränderung der Neigung der Bahn des Mondes gegen die Ekliptik, nach den verschiedenen Lagen der Knoten, durch die Rechnung befriedigend bestimmt worden ist (Prop. 35). Die Evektion aber, die mit besondern Schwierigkeiten umgeben ist, stimmte auch weniger genau mit den Beobachtungen überein. Die Differenz der täglichen direkten Bewegung des Apogeums in den Syzygien und der täglichen retrograden in den Quadraturen, sagt Newton, ist 4½ Minuten nach den Tafeln oder nach den Beobachtungen, und 6⅔ Minuten nach der Theorie. „Ich „habe, setzt er kühn hinzu, die Tafeln in Verdacht, daß sie diesen „Fehler tragen." — In der zweiten Ausgabe der Prinzipien (die erste erschien 1687 und die zweite 1711) setzte er noch die Berechnung mehrerer anderer Ungleichheiten hinzu, wie z. B. die der „jährlichen Gleichung," die so, wie die Variation, von Tycho Brahe zuerst in den Beobachtungen erkannt worden ist. Er verglich hier die Resultate seiner Theorie mit den neueren Beobachtungen, die Flamsteed zu Greenwich gemacht hatte. Dies alles wird hinreichen, die Uebereinstimmung seiner Theorie mit den Erscheinungen bei einem so verwickelten Gegenstande in ihr wahres Licht zu setzen.

Dieselbe Theorie, welche die Ursache der Ungleichheiten des Monds der Erde in der Attraktion der Sonne gefunden hatte, mußte auch zu ähnlichen Störungen der anderen Satelliten führen, und überhaupt die Existenz der gegenseitigen Störungen der Planeten unter sich selbst über allen weitern Zweifel erheben. Newton gab (B. I., Prop. 66) einige Vorschriften, durch welche die Störungen der Jupiters-Monde aus denen unseres eigenen

Mondes abgeleitet werden könnten. Er fand durch seine Berechnungen, daß die Bewegung der Knoten der Jupiters-Monde nur sehr gering ist, was mit Flamsteeds Beobachtungen wohl übereinstimmte (B. III, Prop. 23). Allein diejenigen Störungen, welche jeder Planet von allen andern erleidet, versuchte er nicht zu berechnen, obschon er selbst (B. III, Prop. 13) bemerkt, daß diese Störungen besonders zwischen Jupiter und Saturn, zu beträchtlich sind, um vernachläßigt zu werden. Auch fügt er (II. Aufl. Scholion zu B. III, Prop. 14) hinzu, daß seiner Theorie gemäß die Aphelien von Merkur, Venus, der Erde und von Mars nach der Ordnung der Himmelszeichen langsam vorwärts schreiten.

In einem wichtigen Falle aber war die Abweichung der Theorie von den Beobachtungen größer und auch schwerer zu erklären. Da diese Abweichung längere Zeit selbst der Analysis eines Euler und Clairaut widerstand, so wie sie auch der Synthesis Newton's widerstanden hatte, so drohte sie sogar einmal den Glauben der Mathematiker an die strenge Genauigkeit des Attraktionsgesetzes, von dem verkehrten Quadrat der Entfernung, zu erschüttern. Ich spreche aber hier von der Bewegung des Apogeums der Mondsbahn, für welche Newton's Methode, so wie auch alle ihm zuächst folgenden Methoden, durchaus nur die Hälfte der in der That beobachteteten Bewegung gegeben hatten. Clairaut [19]) fand endlich im Jahr 1750, daß die Ursache von diesem

---

19) Clairaut (Alexis Claude), geb. 7ten Mai 1713 zu Paris, einer der ausgezeichnetsten Mathematiker. Schon 1731, in seinem achtzehnten Jahre, wo er auch als Mitglied der Pariser Akademie aufgenommen wurde, gab er sein Werk über die Curven von doppelter Krümmung heraus, und bereits in seinem zehnten Jahre soll er die Schriften des de l'Hopital über die Kegelschnitte und über die Infinitesimalrechnung ohne Anstand und Lehrerhülfe gelesen haben. Im Jahr 1735 begleitete er Maupertuis, Camus, Lemonier u. a. nach Lappland zu der großen Gradmessung, und 1743 erschien sein berühmtes Werk: Sur la figure de la terre, in welchem das wichtige, später nach ihm benannte Theorem von der Variation der Schwere auf der Oberfläche der Erde enthalten ist, und dessen Wahrheit auch für die zweite und höhere Potenz der Exzentricität der Erde gilt, wie erst in unseren Tagen Airy in einem der ersten Bände der Cambridge Transactions gezeigt hat. Im Jahr 1750 gewann er die Preisfrage der Petersburger Akademie über die

Unterschiede blos darin lag, daß man die Annäherung in der Berechnung der hier zu entwickelnden Reihen nicht weit genug getrieben habe. Newton suchte diesen Mangel an Uebereinstimmung seiner Rechnung mit den Beobachtungen nicht zu verheimlichen. Nachdem er die Bewegung der Apsiden der Mondsbahn seiner Theorie gemäß gefunden hatte, setzt er [20]) ganz einfach hinzu: „Die Apsiden der Mondsbahn bewegen sich aber nahe „zweimal so geschwinde."

Die Schwierigkeit, das zu leisten, was Newton in diesem Zweige des großen Gegenstandes, mit welchem er sich beschäftigte, in der That geleistet hat, und die Kraft des Geistes, die dazu gehörte, mag schon daraus, wie bereits gesagt worden ist, geschlossen werden: — daß nämlich seit ihm und mit seiner synthetischen Methode Niemand im Stande gewesen ist, seinen Arbeiten noch irgend etwas von Werth hinzuzufügen. Einige haben es unternommen, seine Schriften zu erläutern, und gewiß nur Wenige haben sie durchaus verstanden. Die außerordentliche Verwicklung der Kräfte, die hier auftreten, und die mannigfal-

---

Mondstheorie, auf die er unter allen Mathematikern der Erste die neuere Analysis anwendete, so wie auch auf die Theorie der Kometenstörnungen, indem er die Wiederkunft des Halley'schen Kometen sehr nahe richtig voraus berechnete. Noch erwähnen wir unter seinen Schriften die „Elemente der Algebra," in welchem er die dogmatische Form, die Bücher dieser Art zu haben pflegten, ganz verließ, und seine „Geo„metrie, Paris 1741," die er zum Gebrauche der Mad. du Chatellet, Voltaire's Freundin, geschrieben haben soll. Mit d'Alembert war er stets im Streite, auch waren ihre beiden Charaktere ganz verschieden. Clairaut war ein feiner Weltmann, der der Selbstliebe keines Anderen zu nahe trat, und d'Alembert war derb und rauh, obschon dabei gutmüthig und offen. J'aime mieux d'être incivil qu'ennuyant, war des letzten Devise. Die Angriffe kamen meistens von d'Alemberts Seite, der ohne Zweifel der schärfere Denker war, und sie bezogen sich alle nur auf Clairaut's Schriften, die von diesem öfter zu hastig verfaßt wurden, weil er einen großen Theil seiner Zeit der großen und eleganten Welt zu widmen pflegte. Er starb zu Paris am 17ten Mai 1765. Sein Eloge findet sich in den Memoiren der P. Akademie. Lacroix hat eine Biographie von ihm geliefert. L.

20) Princip. B. I, Prop. 44, zweite Aufl. Man hat jedoch Ursache zu glauben, daß Newton in seinen nicht bekannt gemachten Berechnungen jenen Unterschied berichtigt habe.

tigen Bedingungen, unter welchen sie auftreten, machen dieses Feld der Untersuchungen bei weitem zu dem schwierigsten und dornenvollsten der gesammten Mathematik. Bei diesem Geschäfte muß die Wirkung jeder einzelnen Kraft in so viele Elemente, als nöthig, aufgelöst werden, deren jede besondere Kunstgriffe erfordert, und die dann, wenn die einzelnen Wirkungen aller Elementarkräfte bekannt geworden sind, wieder summirt und unter einander verbunden werden müssen. Man kann sich die Bewegung des Mondes als das Resultat einer Maschine vorstellen, die noch viel mehr zusammengesetzt und verwickelt ist, als das alte epicyklische Gerüste des Ptolemäus in seiner größten Verwirrung. Die einzelnen Theile jener Maschine sind überdies nicht, wie bei den Epicykeln und den exzentrischen Kreisen, bloße geometrische Conceptionen, die nur eine klare Auffassung räumlicher Verhältnisse erfordern — sie sind vielmehr reine analytische, auf die Gesetze der Mechanik gegründete Formen, die so aufgefaßt werden müssen, daß sie den analytischen und zugleich den mechanischen Bedingungen des Problems entsprechen. Newton's Nachfolger, in der ihm nächsten Generation, gaben die Hoffnung bald auf, ihm in der Tiefe seines Weges nachzugehen. Sie verließen den geometrischen oder synthetischen Weg, den er allein gehen konnte, und wandten sich auf die analytische Seite, auf das weite Feld der Algebra, wo die symbolischen Zeichen, die hier eingeführt sind, gleichsam für uns denken, ohne daß wir uns jeden Augenblick mit ihrer Bedeutung im Raume zu quälen haben. Die Engländer wollten den von ihren Vorgängern betretenen, alten Weg lange nicht verlassen, so lockend auch für sie die Erfolge sein mußten, welche andere Nationen des Festlandes auf dem neuern und viel bequemeren Weg bereits erhalten hatten. Die Folge davon war, daß jene, so lange sie aus Pietät oder Eigensinn bei ihrer Ansicht beharrten, hinter den anderen zurückblieben, und daß sie beinahe ein ganzes Jahrhundert durch auf diesem Felde nichts geleistet haben, was den Arbeiten ihres großen Landsmannes würdig zur Seite gestellt werden könnte.

Demnach gehört die eigentlich geometrische Auflösung des großen „Problems der drei Körper“ Newton ausschließend zu, und der wahre Beweis der gegenseitigen Attraktion der Sonne, der Planeten und der Satelliten wurde durch keinen anderen, wurde nur von ihm gefunden.

Allein wir sind mit seinen Leistungen auf diesem Felde noch nicht zu Ende. Mehrere von seinen wichtigsten und interessantesten Entdeckungen, die er mit jenem Probleme in Verbindung zu bringen wußte, müssen noch besonders besprochen werden.

V. Gegenseitige Anziehung der kleinsten Theile der Körper.

Daß alle Theile des Weltalls durch ein gemeinschaftliches Band angezogen und vereinigt werden, ein Band, das man bald Liebe, Harmonie, Verwandtschaft, bald auch, anderer Namen zu geschweigen, Attraktion genannt hat, das ist ein althergebrachtes und bereits oft genug wiederholtes Thema, das besonders von allen denjenigen Schriftstellern besungen worden ist, die blos in ihren Meinungen leben, ohne sich viel um die Wahrheit derselben zu bekümmern. Diesen Leuten fehlt es gewöhnlich eben so sehr in der Conception der allgemeinen Sätze, die sie aufstellen, als in der Kenntniß der Welt, auf die sie jene Sätze anwenden sollen. Ohne uns daher mit diesen Ideologen, mit deren Erzeugnissen unsere Geschichte nichts zu thun hat, weiter zu befassen, wollen wir nur bemerken, daß unter denjenigen, die ernstlich auf eine gegenseitige Attraktion aller Massen in der Natur gedacht haben, so viel uns bekannt worden ist, Bacon der erste gewesen zu sein scheint. So weit war seine Ansicht dieses Gegenstandes von der schlaffen Unbestimmtheit jener anderen entfernt, daß er sogar ein eigenes Experiment vorschlug [21]), durch welches auf das bestimmteste entschieden werden sollte, ob die Sache sich auch in der That so verhalte oder nicht: „ob nämlich die Schwere der Körper auf der Erde „von einer Attraktton der materiellen Theile dieser Körper gegen „einander oder von einem Bestreben derselben gegen den Mittel„punkt der Erde komme.“ — Dieses Experiment ist aber, selbst heut zu Tage noch, eines der besten, das man aufstellen kann, um die allgemeine gegenseitige Gravitation der Materie zu beweisen. Es besteht in der Vergleichung des Gangs einer Uhr, die man in tiefen Schachten und auf hohen Bergen aufstellt. Huyghens zeigte in seiner Schrift: „De causa gravitatis 1690,“

---

21) Francis Bacon, Nov. Organ. Works. Vol. VIII. S. 148.

daß die Erde in Folge ihrer Centrifugalkraft eine an ihren Polen abgeplattete Form haben müsse, aber sein Beweis ist nicht auf die gegenseitige Anziehung der einzelnen Elemente der Erde gegründet. Der Einfluß des Mondes auf die Ebbe und Fluth war zwar schon lange vorher bemerkt worden, aber Niemand konnte den eigentlichen Mechanismus dieses Einflusses näher erklären, und alle die Analogien, die man zur Erläuterung dieser und mehrerer anderer Erscheinungen auf die Bahn bringen wollte, wie z. B. magnetische Attraktionen u. dergl., waren blos illusorisch und förderten die Sache nicht, da sie alle die Anziehung immer als eine jedem einzelnen Körper besonders zukommende und von der Natur dieses Körpers abhängige Eigenschaft betrachteten.

Daß alle diese verschiedenen Kräfte auf der Erde und am Himmel in der That nur eine einzige, daß sie nur dieselbe Kraft ist, die, obschon uns unsichtbar, zwischen jeden zwei Körpern herrschen soll, das war eine große und kühne Idee, und sie würde vielleicht nie von dem menschlichen Geiste aufgefaßt worden sein, wenn nicht die Ansichten, von denen wir so eben gesprochen haben, ihn darauf gleichsam vorbereitet hätten. Jene vorhergehenden Betrachtungen haben uns bei den Körpern des Himmels mit Kräften bekannt gemacht, die alle derselben Art mit jener Kraft sind, welche bei allen unsern irdischen Körpern das Gewicht derselben erzeugt und welche auch jedem einzelnen Elemente der irdischen Masse zukommt. Es war daher ganz natürlich, zu fragen, ob dieselben Kräfte nicht auch jedem einzelnen Elemente jener himmlischen Körper zukommen, und ob die Totalkraft des ganzen Sonnensystems nicht eben aus allen diesen Elementarkräften zusammengesetzt sei. Allein diese Vermuthung einmal aufgestellt, wie schwer mußte, auf den ersten Anblick wenigstens, der B e w e i s derselben sein? Jeder einzelne Körper soll eine unendliche Anzahl von Kräften enthalten und die Gesammtkraft derselben soll das Resultat der unzähligen Elementarkräfte aller seiner Atome sein, von welchen jede wieder ihr besonderes Maaß und ihre besondere Richtung hat. Es ist nicht leicht, zu begreifen, wie jene Totalkraft des ganzen Körpers, die sich verkehrt wie das Quadrat seiner Entfernung verhält, dieselbe für alle einzelnen Elementarkräfte der körperlichen Masse sein könne, und in der That ist sie es auch nicht, einige wenige specielle Fälle ausgenommen. Wie sollen wir überdies, so oft wir diese Totalwirkung eines Körpers sehen, entscheiden können, ob die unsichtbare Kraft, welche diese Wirkung hervorbringt, in der ganzen Masse des Körpers, oder ob sie in den einzelnen Atomen dieser Masse ruht? Wir mögen immerhin mit Newton [22]) annehmen, daß die Schwere, wenn sie einmal für die Planeten im Allgemeinen bewiesen ist, sofort auch den einzelnen kleinsten Theilen derselben zukommen müsse, aber unsere Ueberzeugung widerstrebt dieser willkührlichen Erweiterung, so lange wir nicht besondere Fälle aufstellen, so lange wir nicht die sichtbaren Wirkungen dieser Voraussetzung durch Rechnung beweisen können. — Diese Rechnungen waren also noch auszuführen, und hiemit eröffnete sich vor Newton's Geiste eine neue Reihe von Problemen, die aufgelöst werden mußten, wenn er in seiner großen Unternehmung sicher weiter schreiten sollte.

Diese Auflösungen sind, in Beziehung auf das mathematische Talent, das sie erforderten, nicht minder bewunderungswürdig, als alle die übrigen Theile des großen Werkes, von dem wir sprachen. Die Weise, mit welcher Newton durch Rechnung zeigt, daß das Gesetz des verkehrten Quadrats der Entfernung, für die Elemente eines Körpers angenommen, sofort auch für den ganzen Körper selbst gilt, wenn dieser die Gestalt einer Kugel hat, ist so schön und in allen Beziehungen so vollendet, daß sie, auch ohne Rücksicht auf ihre höchst wichtige praktische Anwendung in der Natur, durch ihre mathemathische Eleganz allein schon eine Zierde jenes Buches sein würde. Dasselbe Talent glänzt auch bei den übrigen, mit diesem Gegenstande verwandten Untersuchungen, wie z. B. in der Bestimmung der Anziehung der Sphäroide von geringer Exzentricität u. s. w.

Nachdem Newton auf diese Weise die mechanische Wirkung mehrerer Körper von verschiedener Gestalt bestimmt hat, geht er zu der Anwendung dieser neuen und schwierigen Untersuchungen auf das Sonnensystem über, und hier zeigt sich sein bewunderungswürdiger Scharfsinn erst in dem hellsten Lichte, indem er nicht blos die Wirkungen der Abweichung der himmlischen Körper von der Kugelgestalt im Allgemeinen darstellt, sondern in mehreren

---

22) Newton, Princip. B. III, Propos. 7.

speziellen Fällen auch die Größe dieser Abweichung durch unmittelbare Berechnung bestimmt. Ich spreche aber hier von seinen Arbeiten über die Gestalt der Erde, über die Vorrückung der Nachtgleichen, über die Regression des Saturnrings und über die Erscheinungen der Ebbe und Fluth des Weltmeeres, mehrerer anderer Gegenstände zu geschweigen, deren Dasein zu seiner Zeit nicht einmal noch auf dem Wege der Beobachtungen gefunden oder doch vollkommen konstatirt war, wie z. B. die Nutation der Erdachse und die Differenz der Schwere in verschiedenen Breiten auf der Oberfläche der Erde. Allerdings konnten in den meisten dieser ganz neuen, und mit besonderen Schwierigkeiten umgebenen Untersuchungen, die Leistungen Newton's nur als eine erste Näherung des Gegenstandes betrachtet werden. In einer derselben, in der Präcession der Nachtgleichen, beging er sogar einen eigentlichen Fehler, und in allen endlich müssen diejenigen mathematischen Hülfsmittel, die er in Bewegung setzte, für unsere Zeit als unzulänglich erkannt werden. Auch waren die Untersuchungen, von denen hier die Rede ist, ungleich schwerer noch, als selbst das früher erwähnte, und später so berühmt gewordene Problem der drei Körper. Sind doch selbst in unsern Tagen noch die höchsten Kunstgriffe der neueren Analysis auf mehrere jener Probleme immer noch nur mit sehr beschränktem Erfolge angewendet worden, und beinahe alle die so eben aufgezählten Untersuchungen jetzt auch noch keineswegs als vollendet oder als abgeschlossen zu betrachten. Demungeachtet war die Form und die ganze Natur aller der Resultate, zu denen Newton durch seine Berechnungen gelangte, der Art, daß sie ein hohes Vertrauen in die Fähigkeit der von ihm aufgestellten neuen Theorie einflößen mußte, um dadurch alle Erscheinungen des Himmels, bis in ihr kleinstes Detail herab, erklären zu können. Wir werden später von den Arbeiten und Erweiterungen sprechen, zu welchen diese Theorie den Nachfolgern Newton's Veranlassung gegeben hat.

Auf diese Weise wurde also von Newton die neue Lehre von der allgemeinen gegenseitigen Attraktion der Körper und ihrer Elemente, nach dem Gesetze des verkehrten Quadrats der Entfernung, erwiesen, die Folgen derselben berechnet, und die Uebereinstimmung dieser Berechnungen mit den Beobachtungen auf das befriedigendste gezeigt. Man überzeugte sich immer mehr und mehr, daß die neue Theorie alle Erscheinungen des Himmels umfaßte, die bisher durch die Beobachtungen der Astronomen zu unserer Kunde gelangt sind, ja daß sie zugleich auch die Aussicht zu der Entdeckung von ganz neuen, bisher unbekannten Phänomenen gewährte, die entweder zu klein oder zu sehr mit andern verwickelt sind, um durch die Beobachtungen deutlich erkannt zu werden. Viele der letzten wurden auch später durch die Beobachtungen gefunden, nachdem die Theorie ihr Gesetz gegeben und dadurch gleichsam den Weg zu ihrer Entdeckung angezeigt hatte, und sie wurden dadurch eben so viele neue Beweise und Bestätigungen der Wahrheit jener Theorie. Dieselben Schlüsse z. B., die Newton auf die theoretische Erklärung der Evektion, der Variation und der jährlichen Gleichung des Mondes geführt haben, dieselben Schlüsse zeigten ihm auch noch eine große Anzahl anderer Ungleichheiten des Mondlaufs. Auch hatte man zu seiner Zeit schon wohl erkannt, daß die bisher von den Astronomen gefundenen Ungleichheiten des Mondes den Ort desselben am Himmel keineswegs mit genügender Schärfe darstellten, wodurch die Nothwendigkeit neuerer Störungsgleichungen derselben erwiesen war. Dieses Geschäft zu Ende zu führen, war den Nachfolgern Newton's überlassen: ihm genügte es, dasselbe begonnen, und, wie er selbst sagt [23]), gezeigt zu haben, „daß alle Bewegungen „und Ungleichheiten des Mondes aus dem von ihm aufgestellten „Prinzip folgen."

In seinem ersten Versuch, eine Theorie des Mondes aufzustellen [24]), begnügte er sich mit der Darstellung derjenigen Ungleichheiten des Mondes, welche von den Tafeln seiner Zeit aus den Beobachtungen bereits aufgenommen waren. Später erst suchte er aber diese Tafeln selbst zu verbessern. Dazu wurde er durch einen Besuch veranlaßt, den er dem Flamsteed im September 1694 auf der Sternwarte zu Greenwich abstattete. Flamsteed zeigte ihm hier nahe hundert und fünfzig Beobachtungen des Mondes, die er selbst gemacht, mit den Tafeln verglichen und bei jeder derselben den Fehler dieser Tafeln bemerkt hatte. Newton, der von Flamsteed eine Abschrift dieser Beobachtungen

---

23) Newton, Princip. B. III, Prop. 22.

24) Nämlich in der ersten Ausgabe der Prinzipien, die im Jahr 1687 erschien.

erhalten hatte, ersuchte ihn später sehr dringend, ihm auch alle seine übrigen Beobachtungen dieses Gestirns mitzutheilen. „Wenn „Sie, schrieb er an Flamsteed, diese Ihre Beobachtungen ohne „alle sie empfehlende Theorie bekannt machen, so wird man sie „zu dem Haufen aller andern Beobachtungen Ihrer Vorgänger „werfen, bis sich irgend einmal Jemand findet, der sich mit der „Verbesserung der Mondstafeln beschäftigen und endlich bemerken „wird, daß Ihre Beobachtungen so viel besser sind, als alle „übrigen. Aber der Himmel weiß, wann dies geschehen wird, und „ich fürchte, daß dies lange dauern kann, wenn ich vor der Zeit „sterben sollte. Ich finde die Bewegungen des Mondes so ver„wickelt, und die Theorie der allgemeinen Gravitation so noth„wendig zu der Erklärung aller jener Verwicklungen, daß ich „überzeugt bin, Niemand wird sie durchführen, wenn er nicht „die Theorie der Gravitation eben so gut oder besser noch als „ich versteht." — Auch suchte er Flamsteed durch die Versicherung zu beruhigen, daß er seiner und seiner Beobachtungen getreulich und ehrenvoll öffentlich erwähnen wolle. „In der That, setzte „er hinzu, weiß doch alle Welt, daß ich selbst keine astronomi„schen Beobachtungen mache, so daß ich ja den Autor derselben „anzeigen muß, und wenn ich ihrer nicht mit der gehörigen „Achtung erwähnte, würde man mich ja für einen undankbaren „Tölpel (clown) halten."

Diese Ausdrücke führen auf die Vermuthung, daß Flamsteed sich etwas geweigert haben mag, Newton's Wunsch zu gewähren. Indeß scheint Baily [25]) gezeigt zu haben, daß Flamsteed dem Newton alle seine Mondsbeobachtungen übergeben habe. Allein es zeigte sich bald, daß diese Verbesserung der

---

25) M. s. Baily's Flamsteed, Apperd. XXVI S. 151, und Supplem. S. 685. — Flamsteed betrachtete Newton's Mondstheorie blos als einen Versuch, die Tafeln zu verbessern, und er theilte keineswegs die Begeisterung Halley's und anderer, welche die Theorie der allgemeinen Schwere als eine große physische Entdeckung bewunderten. Indeß hat Baily klar gezeigt, daß die Wichtigkeit der Greenwicher Beobachtungen in Beziehung auf Newton's Mondstheorie nichts gemein hat mit den unseligen Zwistigkeiten, die sich späterhin zwischen jenen beiden Männern über die Bekanntmachung dieser Beobachtungen erhoben haben. M. s. Baily's Account of Flamsteed, compiled from his own Manuscripts. Lond. 1835 in Quarto.

Mondstafeln viel schwerer ist, als man anfangs geglaubt hatte, und daß eine wahrhaft bedeutende Vervollkommnung derselben erst in der Folgezeit ausgeführt werden konnte.

Beschließen wir diesen Gegenstand mit einigen Bemerkungen über Newton's Entdeckungen überhaupt, deren Geschichte wir so eben vorgetragen haben. — Ohne Zweifel ist dies die größte und wichtigste wissenschaftliche Entdeckung, die je gemacht worden ist, wir mögen nun entweder die ganz eigenthümliche in die Tiefe der äußeren Erscheinungen eindringende Natur, oder auch die große Ausdehnung dieser neuen Wahrheit und den Reichthum ihrer Folgen betrachten. Was das Letzte betrifft, so würde offenbar schon jeder einzelne von den fünf Theilen, in welche, nach unserer Darstellung, der ganze Gegenstand zerfällt, als ein sehr wichtiger Fortschritt der Wissenschaft zu betrachten sein. Jeder dieser Theile jener großen Entdeckung würde seinen Urheber unsterblich, und seine Zeit zu einer merkwürdigen Epoche in der Geschichte der Wissenschaft gemacht haben. Alle fünf zusammen aber erscheinen uns nicht mehr als ein bloser Schritt, sondern als ein hoher Flug; sie sind keine Verbesserung, sondern eine gänzliche Umgestaltung der Wissenschaft; keine Epoche mehr, sondern eine das ganze Gebiet der Wissenschaft umfassende Vollendung derselben. Durch sie ging die Astronomie von ihrer Kindheit mit eins zu ihrem reifen Mannesalter über. Diese Entdeckung erstreckt sich über alle Theile der sichtbaren Natur, von den kleinsten Atomen der uns zunächst umgebenden Körper, bis zu den mächtigen Massen, die sich im Weltraume, in ungemessenen und unmeßbaren Fernen vor uns, bewegen, und die alle einem und demselben Gesetze gehorchen. Durch die oben erwähnte eigenthümliche, fundamentale Natur dieser Entdeckung aber erscheint sie uns nicht mehr, wie so viele andere vor ihr, als eine bloße, vielleicht nur subjektive Vorschrift, nach welcher wir die Erscheinungen der Außenwelt für unser Verständniß, für unsere leichte Uebersicht ordnen, sondern als die eigentliche Ursache, als der wahre Grund aller Bewegungen des Himmels und der Erde, und zwar nicht als ein metaphysischer, sondern als ein durchaus verständlicher, der Berechnung unterworfener, als ein rein mechanischer Grund. Die drei Gesetze Keplers, waren nur formelle Regeln, nach welchen wir die Bewegungen der Himmelskörper in Beziehung auf Raum und Zeit und Zahl anzusehen hatten; Newton's Entdeckung aber war ein wahres Causalgesetz, das alle diese Bewegungen auf ihren eigentlichen mechanischen Grund zurückgeführt hat. Ohne Zweifel wird die Folge der Zeiten das von Newton entdeckte Gesetz noch mehr erläutern und selbst weiter ausdehnen, und vielleicht wird die allgemeine Schwere dermaleinst als der Ausfluß eines noch höheren Gesetzes erscheinen, oder doch die Art, wie jene geheimnißvolle Kraft auf die sichtbare Außenwelt wirkt, uns näher bekannt werden, und Newton selbst hat mit Fragen dieser Art mehr als einmal gekämpft. — Wie dies aber auch sein mag, jetzt wenigstens wird Niemand zweifeln, daß Newton's Entdeckung in Beziehung auf Ausdehnung und Wichtigkeit, in Beziehung auf Allgemeinheit und Tiefe, allein, ohne Nebenbuhler und ohne Nachbar steht [26]).

---

26) Der Werth und die Natur der Theorie Newton's ist längst schon in jedem gebildeten Lande allgemein anerkannt. Demungeachtet scheint es, als ob noch in einem Theile Europa's eine Schule, von sogenannten Naturphilosophen, Newton's Verdienste um diesen Theil seiner Entdeckung streitig machen wollte. „Kepler," sagt der metaphysische Hegel (Encyklop. §. 270) „entdeckte die Gesetze der freien Bewegung, „die ihn mit unsterblichem Ruhme bedecken. Seit einiger Zeit aber „ist es Mode geworden, zu sagen, daß Newton der erste die Gründe „oder Beweise dieser Gesetze gefunden habe. Wohl nur selten ist der „Ruhm des ersten Entdeckers auf eine ungerechtere Weise auf einen „ganz anderen Mann übertragen worden." — Es erscheint auffallend, daß irgend wer noch in unseren Tagen eine solche Sprache führen kann. Wenn man aber die Gründe, die unser Autor anführt, näher betrachtet, so sieht man, daß sein Geist noch in derselben Verfassung, wie der von Kepler, war, und daß die ganze Reihe von mechanischen Begriffen und Auffassungsarten, die den Uebergang von Kepler zu Newton erst möglich machten, ganz außer dem Bereiche des deutschen Philosophen gelegen sind. Indeß erkennt derselbe, wenn ich ihn anders recht verstehe, Newton doch als den Urheber der Lehre von den Perturbationen.

Bisher der Verfasser. — Als Seitenstück zu der so eben angeführten Stelle wollen wir noch eine andere, ebenfalls von einem Choragen dieser neuen Schule, hinzufügen. „Es zeigt sich demnach, daß

Die nothwendige Bedingung zu einer solchen Entdeckung war, in diesem, wie in jedem andern Falle, zuerst die reine Auffassung des Begriffs, und dann die Vergleichung desselben mit der äußeren Erscheinung — die richtige Conception des Gesetzes und dann die Ausbildung desselben in einer den

---

„Newton durch diese Erscheinungen (der Farben im Spectrum) sich „gröblich hintergehen ließ; daß Strahlen von verschiedener Brechbarkeit „ein Hirngespinst sind, und kurz, daß alles, was in Newton's Optik „Theorem heißt, die absurdesten Hypothesen, die je ein Mensch ersonnen „hat, in sich schließe. Seit der Wiederherstellung der Wissenschaften „ist kein so unwahres und verderbliches Buch geschrieben worden, als „diese Optik. Alle Versuche sind falsch: nicht blos in Hinsicht auf die „ganz wunderlichen Theoreme, welche von ihnen sollen bewiesen werden, „sondern selbst in Hinsicht auf das Auffassen der Beobachtung. Man „kann kühn sagen, daß nicht ein einziges physikalisches Werk, welches „sich irgend mit mehreren Beobachtungen und Versuchen beschäftigt, „mit einem solchen Wuste von Hypothesen, und zwar den unbegreiflichsten „und abentheuerlichsten angefüllt sei, wie Newton's Optik, dieses noch „immer als klassisch gepriesene Werk. — Von hundert Einfällen nur „einer. Um die Brechung und Zurückstrahlung zu erklären, nimmt er „die Attraktion, seinen Deus ex machina ohne alle Bedeutung, und „zugleich die Repulsion in den durchsichtigen Körpern an, wie er sie „eben braucht. — Hat man jemals schon etwas so Abentheuerliches „gehört? Und davon wimmelt das Buch, und dies ist das gepriesene „System, das blos auf Erfahrung ohne alle Hypothesen gebaut sein soll. „Wie konnte man so verblendet sein! Scharfsinn im Abändern der Ex- „perimente, schnelles Erkennen, wo der Grund dieser oder jener Er- „scheinung liegt, fehlte ihm ganz; er sah nur die Linie, von welcher „die Erscheinung herkam, maß die Winkel derselben, und hielt diese „für den Grund der Erscheinung. Newton's Experimente sind größten- „theils so unrein und in den meisten derselben kommen eine Menge „von Zusammenflüssen vor — daß es unmöglich ist, daß er es nicht selbst „hätte bemerken sollen, wenn er nur im Geringsten im Stande gewesen „wäre, über seine Beobachtungen zu denken, oder sie nur mit einem „freien, ungefärbten Auge anzusehen. — Es ist nichts leichter, als „Newton's Optik zu widerlegen; ohne allen Apparat, mit einigen Pris- „men von ganz gemeinem Glase, mit gefärbtem Papier, und einem fin- „stern Zimmer ist alles abgethan.“ Ideen zur Theorie des Lichts. Jena, b. Frommann, 1808. — Die Leser werden uns wohl alle weiteren Bemerkungen über diese und andere ähnliche Stellen erlassen. Quid opus est verbis, ubi rerum testimonia adsunt. L.

Beobachtungen angemessenen Gestalt. Wir haben bereits oben gesehen, daß die Idee einer eigentlichen mechanischen Kraft, als der Ursache der himmlischen Bewegungen, schon seit längerer Zeit in den besseren Köpfen jener Zeit Wurzel gefaßt hatte; daß sie sich immer mehr entwickelte und deutlicher hervortrat, und daß sie selbst bei Einigen sich schon jener Form zu nähern schien, in welcher sie endlich Newton aufgefaßt hat. Aber auch schon in der bloßen Conception der allgemeinen Schwere war Newton gezwungen, weit über alle seine Vorgänger und Zeitgenossen herauszutreten, und den gesuchten Gegenstand viel klarer sowohl, als auch in einer größern Allgemeinheit in's Auge zu fassen. Allein was die Kraft der Erfindung und des Scharfsinns betrifft, mit welcher er den von ihm entdeckten Gegenstand behandelt und in allen seinen Theilen und Folgen entwickelt hat, so stand er hier, wie gesagt, ohne Nebenbuhler, und in weiter Ferne allen Andern voraus. Was endlich die Thatsachen, nämlich die Beobachtungen betrifft, die er durch sein Gesetz erklären sollte, so hatten sich diese seit dem ersten Anfange der Astronomie bis auf seine Zeiten immerwährend gehäuft, während diejenigen, von denen er besonders Rechenschaft zu geben hatte, sich vorzüglich nur auf die Kepler'schen Gesetze und auf die von seinen Vorgängern durch Beobachtungen erkannten Ungleichheiten des Mondes beschränkten.

Hier bietet sich Gelegenheit zu einer Bemerkung dar, die in Beziehung auf die Natur einer jeden fortschreitenden Wissenschaft von Wichtigkeit ist. — Die Gesetze, die Kepler entdeckt hatte, wurden von Newton als Thatsachen, als Facta angesehen, von denen er Rechenschaft zu geben suchte; und was Kepler und nach ihm Horrox als ihre Theorien bekannt machten, wurde von Newton als eine bereits etablirte Wahrheit betrachtet, die ihm nur als Mittel zur Konstruktion anderer, höherer Theorien diente. In dieser Art, kann man sagen, daß eine Theorie auf einer anderen erbaut ward, indem man von dem Einfachen zu dem Allgemeinen überging, und so auf verschiedenen Stufen der Induktion allmählig immer höher zu steigen suchte. Newton nahm die Gesetze Kepler's als Thatsachen an, so wie Kepler im Grunde die Resultate der epicyklischen Planetentheorie des Ptolemäus auch als eine Thatsache seinen Untersuchungen zu Grunde gelegt hatte. Auf diese Weise geht, in der Welt der

Wissenschaften, die Theorie einer jeden Generation, wenn sie einmal vollständig ausgebildet und in allen ihren Theilen verificirt ist, immer wieder bei der nächstfolgenden Generation (die aber oft viele Jahrhunderte der vorhergehenden entfernt ist), in eine bloße Thatsache über, um darauf eine neue, allgemeinere Theorie zu erbauen, der in der Folgezeit dasselbe Schicksal wartet. Newton's Theorie ist als der große Kreis zu betrachten, der alle Theorien seiner Vorgänger umschließt; sie ist der höchste Punkt, welchen die induktive Kraft des menschlichen Geistes bisher erstiegen hat; sie ist die Peripetie des großen philosophischen Drama's, zu dem Plato und Aristoteles den Prolog geschrieben hat; sie ist das endliche Ziel der langen Reise, auf welcher der Menschengeist seit mehr als zwei Jahrtausenden gewandelt hat.

Noch fühlen wir uns, ehe wir diesen außerordentlichen Mann verlassen, bewogen, einige Worte über seinen Charakter hinzuzufügen. — Bekennen wir aber zuerst, daß es kein leichtes Geschäft ist, über die Eigenschaften eines Mannes zu sprechen, der in geistiger Beziehung so hoch über das gewöhnliche Maß der Menschen hervorragt. — Es ist wohl kein Zweifel, daß er alle die Eigenschaften, die das eigentliche mathematische Talent konstituiren, in einem ganz außerordentlichen Grade besessen hat: Bestimmtheit der Anschauung, Leichtigkeit der Auffassung, Fruchtbarkeit in der Erfindung, Ausdauer in der Verfolgung seines Gegenstandes, und Drang und Kraft in der Erhebung seiner Gedanken zu immer allgemeinen Betrachtungen. Die Spuren dieser Eigenschaften zeigen sich selbst schon in seiner Jugendgeschichte. Die Bestimmtheit seiner Anschauungen des Raumes, und selbst, wenn man so sagen darf, der Kraft, trat schon in seinen Knabenspielen hervor, wo er Uhren und Mühlen, Landkarten und Sonnenuhren verfertigte, wie er sich denn auch sehr früh schon mit der theoretischen Geometrie zu beschäftigen suchte. Diese Hinneigung zu künstlichen Handarbeiten, zu Modellen und Maschinen, scheint ein beinahe allgemeines Vorspiel des physischen und mathematischen Talents zu sein, das wir auch an Galilei, Hooke, Huyghens und anderen bemerken, vielleicht eben wegen dieser Klarheit der Anschauung und Auffassung, durch welche sich das Talent immer auszeichnet, das eben durch jene Maschinen so sehr geweckt und geübt wird.

Seine Erfindungskraft tritt vorzüglich in der großen Anzahl der immer wechselnden mathematischen Kunstgriffe hervor, von welchen alle seine Schriften Zeugniß geben. Es ist schwer, es ist vielleicht unmöglich, die geheimen Operationen dieser Kraft, wenn sie in Thätigkeit versetzt wird, auch nur im Allgemeinen anzugeben. Plötzlich scheint sich in der untersten Tiefe des Geistes eine bisher verborgene Quelle zu öffnen, von der sich dann sogleich ein Strom von Ideen und Ansichten und Suggestionen ergießt. Gewöhnliche Geister werden von diesem Strome häufig mit fortgerissen und mehr verwirrt, als aufgeklärt. Stärkere Seelen aber sehen dem Strom in Ruhe von ihrer Höhe zu, bemerken mit scharfem Blicke alle die Gegenstände, die er mit sich führt, erblicken schnell die wahren, zu ihrem Zwecke geeigneten Ereignisse, und greifen sie hastig und mit fester Hand aus der Menge heraus, während sie alle übrigen, ohne von ihnen gestört zu werden, vorbeirauschen lassen. Dies oft und mit Glück zu thun, erfordert Umsicht und Schnellkraft, beide in hohem Grade vereint, und dieses Loos scheint nur sehr wenigen, ausgezeichneten Menschen zu fallen. Newton war darin mehr, als vielleicht irgend ein Anderer, der je gelebt hat, vom Glücke begünstigt worden. Ihm strömten die Ideen bei jeder Untersuchung, die er anstellen wollte, in der reichsten Fülle zu, und unter ihnen wußte er immer sicher und rasch die besten zu wählen. Da aber diese Auswahl, wenn sie nicht die Folge des blinden Zufalls sein soll, nur die des schnellen Ueberblicks, des augenblicklichen Erkenntnisses des Vorzüglichen unter all' der übrigen Masse sein kann, eines Ueberblicks, der so recht eigentlich mit Gedankenschnelle ganze Ketten von Ideen vor- und rückwärts in einem Augenblicke durcheilt, woran andere gewöhnliche Geister Jahre lang sich vergebens abmühen, so sieht man wohl, daß jene Eigenschaft oder vielmehr jene glückliche Verbindung so vieler vorzüglichen Eigenschaften des Geistes in so hohem Grade nur sehr wenigen ausgezeichneten Menschen zu Theil geworden seyn kann.

Die verborgene Quelle unserer freien Gedanken ist für uns ein tiefes Geheimniß, und in uns selbst finden wir kein Maß, um damit unsere eigenen Talente und Fähigkeiten zu messen. Nur unsere Handlungen und Gewohnheiten, die Wirkungen jener verborgenen Kräfte, liegen vor unsern Augen. Daher mag es kommen, daß Newton selbst keinen Unterschied zwischen seinen geistigen Fähigkeiten und denen der Anderen anerkennen wollte, als die eben erwähnten Angewöhnungen der angestrengten Wachsamkeit und der Ausdauer in der Betrachtung seines Gegenstandes. Als man ihn fragte, auf welchem Wege er zu seinen großen Entdeckungen gekommen ist, sagte er: „Indem ich unablässig an sie dachte.“ Und bei einer andern Gelegenheit erklärte er seinen Freunden, daß er, wenn er irgend etwas geleistet habe, dies blos seinem anhaltenden Fleiße und seiner Geduld verdanke. „Ich halte den Gegenstand meiner Untersuchung,“ setzte er hinzu, „immerfort vor meinen Augen, und warte geduldig „ab, bis die erste Dämmerung sich allmählig in volles Licht „verwandelt.“ — Man kann keine bessere Rechenschaft von der Geistesstimmung geben, die den wissenschaftlichen Mann in den vollen Genuß der Früchte seiner inneren Kraft versetzt. Allein diese Kraft selbst ist nicht bei allen gleich, und es gibt Menschen, die ganze finstere Jahrhunderte durch warten könnten, ohne daß auch nur jene erste Dämmerung über ihnen aufgeht.

Dieses Verfahren, dem Newton in gewissem Maße seine Entdeckungen verdankte, diese stetige Aufmerksamkeit auf die in seinem Innern aufsteigenden Ideen, und diese Entwicklung derselben nach allen möglichen Richtungen, diese Angewohnheit, wenn man so sagen soll, beschäftigte und fesselte alle Kräfte seines Geistes in einem solchen Grade, daß er für alle übrigen Eindrücke des gemeinen Lebens beinahe ganz unfühlbar wurde. Die Erzählungen von seiner scheinbaren Abwesenheit des Geistes, mit denen man sich trägt, beziehen sich wahrscheinlich auf die zwei Jahre, während welchen er sein großes Werk, die Prinzipien, verfaßte. Er arbeitete hier auf dem weitesten, dem fruchtbarsten, dem schwierigsten und dem wichtigsten Felde, auf dem je ein Mensch seine geistige Kraft versuchte. Täglich erhoben sich während dieser Zeit vor seinen Blicken die herrlichsten und interessantesten Probleme, deren Lösung er, wenn sein hohes Ziel erreicht werden sollte, nicht umgehen konnte, und die alle seine Kräfte ungetheilt in Anspruch nehmen mußten. „Er lebte nur,“ wie Biot sagt, „um zu denken und zu rechnen.“ In seinen Meditationen ganz versunken, wußte er oft nicht, was er that, und in diesem Augenblicke schien sein Geist alle Verbindung mit seinem Körper verloren zu haben. Oft soll er, wie sein alter Diener erzählte, wenn er des Morgens sich von seinem Bette erhob, einen großen Theil des Tages halbangekleidet auf demselben mit unverwandten Augen gesessen haben, und sein Mittagmahl wartete oft Stunden lang auf dem Tische, bis er kam, um es zu genießen. Selbst bei seinen außerordentlichen Geisteskräften waren doch seine Leistungen beinahe unverträglich mit den Verhältnissen des gewöhnlichen Lebens. Da sein Zweck von dem der meisten anderen Menschen ganz verschieden war, so mußten es auch die Mittel seyn, die er dazu in Bewegung zu setzen hatte. Diese Mittel aber waren, selbst bei seinen hohen Talenten noch, die äußerste Anstrengung der Denkkraft, Ausdauer und fester Wille in Verfolgung seines Gegenstandes, und endlich eine gänzliche Abschließung und Entfernung von allen äußeren störenden Einflüssen.

Newton wurde so allgemein als einer der größten Weisen anerkannt, daß auch seine moralischen Eigenschaften als das Modell eines philosophischen Charakters aufgestellt worden sind. Wer immer gerne ein großes Talent mit der Tugend in Verbindung erblickt, verweilt mit Vergnügen bei den Nachrichten, die uns von seinen Freunden und Zeitgenossen über den seltnen Mann hinterlassen worden sind. Sie alle schildern ihn als einen offenen und bescheidenen, als einen milden und guten Menschen. Als Beispiel von den Ansichten derjenigen, in deren Mitte er lebte, mögen hier die Worte Thomson's aus seinem Gedichte auf Newton's Tod folgen:

Sagt ihr, die ihr's am besten könnt,
Ihr Edlen, die ihr mit ihm lebtet,
Wie gut er war, wie mild und still;
Wie groß und wie bescheiden
Er allen seines Geistes
Erhabne Schätze aufschloß u. s. [27]).

---

27) In denselben Ton finden wir auch die allgemeine Meinung seiner Zeit übereinstimmen. So ist z. B. eine der Views of Cambridge von Loggan dem Isaaco Newtono gewidmet, dem Mathematico, Physico, Chymico consummatissimo, nec minus suavitate morum et candore animi .... spectabili.

Als Gegensatz zu diesen allgemeinen Zeugnissen stehen die Klagen Flamsteed's, der dem Newton eine leidenschaftliche Sprache und ein herbes Betragen gegen ihn, bei Gelegenheit der Publikation seiner Greenwicher Beobachtungen, vorwirft. Daß Flamsteed selbst ein schwacher,

Drittes Kapitel.

Folgen von Newton's Epoche. — Aufnahme der neuen Theorie.

Erster Abschnitt.

Allgemeine Bemerkungen.

Die Lehre von der allgemeinen Gravitation erforderte, wie alle großen Neuerungen in der Wissenschaft, eine gewisse Zeit, um ihren Weg unter den Menschen zurückzulegen: sie mußte bestätiget, erläutert und selbst, durch die Arbeiten der Nachfolger, noch erweitert werden. Da die Entdeckung größer war, als irgend eine andere der vorhergehenden Zeiten, so müssen auch die Folgen und die Entwicklungen derselben nach einem viel größern Maßstabe, als dem gewöhnlichen, gemessen werden. Viele tiefe und weitläufige Untersuchungen, deren jede für sich schon umfassende Werke bilden, und deren manche die eifrigsten und scharfsinnigsten Mathematiker, von Newton's Zeiten bis herauf zu unseren eigenen Tagen, vollauf beschäftigt haben, sind doch nur als eben so viele einzelne Theile der Verifikation von Newton's Theorie zu betrachten. Beinahe alles, was seitdem in der Astronomie geschehen ist und noch geschieht, muß unter diesen Gesichtspunkt gebracht werden. Nur an der äußersten Grenze des Sonnensystems begegnet der Astronom einigen Gegenständen, die vielleicht die Gerichtsbarkeit der Newton'schen Gesetzgebung nicht mehr anerkennen [1]).

---

heftiger, zum Zorn geneigter und von Vorurtheilen beherrschter Mann war, ist bekannt. Newton und Andere, die nach ihrem Amte handelten, hielten sich verbunden, seine Wünsche nicht zu achten. Es ist sehr wahrscheinlich, daß Flamsteed, indem er über allen Mangel an Mäßigung in Newton's Betragen klagte, den letzten selbst nur durch die trübe Brille seiner eigenen Gefühle gesehen hat.

1) Von dieser Nichtanerkennung haben wir wenigstens noch keine Beweise, aber wohl wird es, nach den bisher gesammelten Erfahrungen über diesen Gegenstand, sehr wahrscheinlich, daß dasselbe Attractionsgesetz, das Newton für unser Sonnensystem gefunden hat, auch jenseits

Indem wir uns aber anschicken, von diesem Theile der Geschichte der Astronomie einen Abriß zu geben, müssen wir gleich zum Eingange bemerken, daß unsere Nachrichten nur kurz und unvollständig sein können, weil die Gegenstände selbst, die wir zu behandeln haben, groß und inhaltreich, und die Grenzen dieser Schrift im Gegentheile nur eng und fest bestimmt sind. Nach unserem oben aufgestellten Zwecke beschäftigt uns die Geschichte der Entdeckungen nur so fern, als dadurch die eigentliche Philosophie der Geschichte der Wissenschaft erläutert wird. Zwar sind die astronomischen Entdeckungen des letzten Jahrhunderts, selbst in dieser Beziehung, keineswegs klein oder geringfügig zu nennen, aber demungeachtet sind doch die Generalisationen, zu welchen sie Veranlassung gegeben haben, für unseren Zweck weniger wichtig, da sie im Grunde schon in der ihnen vorhergegangenen Entdeckung eingeschlossen sind. Newton strahlt so hell in seinem Lichte, daß alle seine Nachfolger nur dunkel und düster scheinen. Wenn im Schauspielhause, wie einer unserer Dichter sagt, ein großer Mime eben die Bühne verläßt, so wendet sich das Auge des Zuschauers nur mit Wehmuth auf die, welche nach ihm die Bühne betreten. Zwar ist dieß hier nicht ganz derselbe Fall; aber immer stehen die Nachfolger hinter ihren Führern zurück, und wir hören jenen nicht mehr mit derselben Aufmerksamkeit zu, weil wir, wenn auch nicht den Verlauf, doch das Ende ihrer Erzählungen schon kennen. Wir wissen, daß alle ihre Reden mit den Worten schließen, die Newton schon vor ihnen gebraucht hat.

Demungeachtet ist die Geschichte der Verifikation und der allmähligen Entwicklung jeder großen Entdeckung im hohen

---

der Grenzen desselben herrsche, und daß es vielleicht das allgemeine Gesetz der ganzen Natur sei. Die gegenseitigen Bewegungen der Doppelsterne γ Jungfrau, ζ Herkules, α Zwillinge, ξ großer Bär, σ Krone u. s. sind nach diesem Gesetze berechnet worden, und die Resultate dieser Berechnungen stimmen sehr wohl mit den Beobachtungen überein. Noch mehr tritt diese Folgerung aus der interessanten Abhandlung Bessels über den merkwürdigen Doppelstern 61 Schwan (Schumacher's astr. Nachr. Nro. 365) hervor, der uns zugleich die erste genauere Kenntniß der jährlichen Parallaxe dieses Sterns (zu 0''.314) verschafft hat, woraus seine Entfernung zu 657700 Halbmesser der Erdbahn folgt. L.

Grade interessant und wichtig. Ganz besonders aber tritt dieser Fall hier ein, sowohl wegen der hohen Würde der neuen Theorie an sich, als auch wegen der Größe und Genialität der Mittel, die zu ihrer Ausbildung in Bewegung gesetzt worden sind. Ich bin daher keineswegs gemeint, durch das, was ich eben sagte, den Werth dieser späteren Ausbildung jener Entdeckung, durch die Nachfolger Newton's, zu verkleinern, aber ich darf, dem Zwecke dieser Geschichte gemäß, die Unterordnung der Gegenstände und ihre Stufenleiter nicht verkennen, so wenig, als man den großen Unterschied des Charakters und des innern Werthes derjenigen Arbeiten übersehen darf, die vor und nach einer großen Entdeckung unternommen werden. — Nach dieser Einleitung wollen wir nun zu unserer Erzählung übergehen.

Zweiter Abschnitt.

Aufnahme der neuen Theorie in England.

Nach der allgemeinen Meinung wird jede große Entdeckung nur mit vorurtheilsvoller, feindlicher Opposition empfangen, und der Urheber derselben anfangs vernachläßigt, wenn nicht gar verfolgt. In Beziehung auf Newton und sein Vaterland aber war dieß nicht der Fall. Noch ehe seine Theorie von ihm selbst bekannt gemacht war, wurde sie, wie wir bereits oben gesehen haben, von Halley als eine Entdeckung von ganz außerordentlichem Werthe angekündigt, und von dem Augenblicke ihrer Erscheinung im Publikum legte sie ihren Weg in allen Kreisen der denkenden Leser beinahe so schnell zurück, als die Fassungskraft derselben es nur zu erlauben schien. Halley, Wren und alle die vorzüglichsten Mitglieder der neuen königlichen Akademie in London traten dem neuen Systeme sogleich und ohne Anstand mit regem Eifer bei. Andere ausgezeichnete Männer, die sich aber mehr mit andern Gegenständen der Literatur beschäftigten und nicht die zum Verständniß des neuen Werkes nöthigen mathematischen Kenntnisse besaßen, wie Locke [2]), Evelyn, Pepy u. a., nahmen doch, im Vertrauen

---

2) Locke (John), geb. 1632, gest. 28. Oktober 1704, der ausgezeichnetste Philosoph Englands. Sein vorzüglichstes Werk ist sein Essay on human understanding, London 1690, deutsch von Tennemann, Leipzig 1795, welche Schrift von dem tiefsten Studium der geistigen Natur des

auf ihre mathematischen Freunde, die neue Lehre willig an, und sprachen sämmtlich nur mit hoher Achtung von den Prinzipien sowohl, als auch von dem Verfasser derselben. Im fünften Jahre schon nach ihrer Bekanntmachung wurden die Grundsätze dieses Werkes sogar auf den Kanzeln vorgetragen und ihnen theologische Argumente zur Folie gegeben, wie dieß z. B. von Dr. Bentley geschehen ist, als er i. J. 1692 zu London über die Lectures von Boyle predigte, und wo er (Sermon. VII. 221) von Newton, als von einem vortrefflichen und göttlichen Lehrer sprach. Man scheint schon sehr früh darauf bedacht gewesen zu sein, der Pflege und Sorgfalt des Staates einen Mann zu empfehlen, welcher der Nation so große Ehre mache. Zwar erlitt die Sache einige Verzögerung, aber i. J. 1695 wurde er von seinem Freund Montague (später Earl of Halifax) zum Münzwardein in London befördert, wo er 1699 zum Münzmeister (Master of the Mint) mit einem jährlichen Gehalte von 1200 bis 1500 L. St. aufstieg, den er auch bis an sein Ende beibehielt. Im Jahre 1703 wurde er Präsident der königlichen Gesellschaft der Wissenschaften in London, zu welcher Stelle er auch die übrigen 25 Jahre seines Lebens jährlich wieder erwählt worden ist. Im

---

Menschen zeugt. Er läugnete die angebornen Ideen und gründete alle unsere Erkenntniß auf den äußeren und inneren Sinn oder auf äußere und innere Wahrnehmung, durch die wir Stoff und Inhalt der Erkenntniß bekommen, der dann von dem Verstande bearbeitet und durch Induktion zum Allgemeinen erhoben wird. Er lebte mehrere Jahre in Frankreich und Holland, da er, wohl ohne seine Schuld, in die Umtriebe verwickelt wurde, die sein Vaterland unter Cromwell und Karl bewegten. Die Gesammtausgabe seiner Werke erschien London 1801—1812, in 10 Bänden.

Evelyn (John), geb. 1620, gest. 1706, ein vielseitig gebildeter Mann, den Karl II. oft in Staatsgeschäften brauchte. Er war eines der ersten und thätigsten Mitglieder der neuen k. Akademie von London. Seine vorzüglichsten Werke sind: Sylva or Discourse of forest-trees, 1664, eine zu ihrer Zeit sehr gesuchte und beliebte Schrift, so wie auch die über die Kupferstecherkunst, über die alte und neue Baukunst, über Numismatik u. s. Uns ist er vorzüglich noch durch seine „Memoirs“ bekannt, die sich auf sein eigenes Leben und auf die Ereignisse seiner bewegten Tage beziehen, und die noch jetzt nicht ohne Interesse gelesen werden.

Jahre 1705 wurde er von der Königin Anna, in der Meisterloge des Trinity-Collegiums zu Cambridge, zum Knight erhoben. Als Georg I. den Thron von England bestieg, wurde sein persönlicher Umgang vorzüglich von der Prinzessin, später Königin Caroline, gesucht, die einen besondern Gefallen an spekulativen Studien nährte, und die oft selbst öffentlich erklärt haben soll, daß sie sich glücklich preise, in einer Zeit zu leben, wo sie sich der Gesellschaft dieses großen Genius erfreuen könne.

Sein Ruhm, und die allgemeine Achtung, die ihm gezollt wurde, wuchs bis an das Ende seines Lebens, und als er i. J. 1727, ein ruhmbedeckter Greis, seine irdische Laufbahn endete, wurde sein Tod als ein das ganze Land betreffendes Unglück mit denselben öffentlichen Feierlichkeiten betrauert, die sonst nur auf die Mitglieder des königlichen Hauses beschränkt bleiben. Seine Leiche wurde auf einem Prachtbette in der Jerusalems-Kapelle ausgestellt: das Trauertuch seines Sarges wurde von den Edelsten des Landes getragen, und seine irdischen Ueberreste wurden in der Mitte der Westminster-Abtey unter den Denkmälern der größten und weisesten Männer beigesetzt, die England in dem Laufe so vieler Jahrhunderte erzeugt hatte.

Fügen wir dem Vorhergehenden noch einige Worte über die Aufnahme bei, die Newton's Theorie an den Universitäten Englands erhielt. Diese werden nur zu oft als Plätze bezeichnet, an welchen die Bigoterie und die Unwissenheit so lange, als es ihnen nur möglich ist, der Einführung jeder neuen Wahrheit widerstreben. Solche Ideen müssen ohne Zweifel auch bei dem sonst so verständigen und gemäßigten Professor Playfair in Edinburgh vorgeherrscht haben, der alle Ereignisse in Oxford und Cambridge nur eben auf jene Weise sehen und erklären kann. Man wird aber, solcher Meinungen ungeachtet, sich bald durch Thatsachen überzeugen, daß an den englischen Universitäten neue Ansichten, sie mögen nun die Wissenschaften oder andere Gegenstände betreffen, immer so früh, als sie klar dargestellt und verstanden wurden, eingeführt und angenommen worden sind; daß sich dieselben von einigen Wenigen zu der Menge schneller noch, als sonst anderswo, fortgepflanzt haben, und daß endlich eben von diesen beiden Orten aus das Licht jeder neuen Wahrheit sich gewöhnlich über das ganze Land verbreitet hat. In vielen Fällen ging es ohne Zweifel nicht ohne Kämpfe zwischen der alten und der neuen Meinung ab. Sind doch nur wenige Menschen stark genug, ein mit ihnen alt gewordenes, seit Jahrhunderten befestigtes System von sich abzuschütteln und eine ihnen ganz neue und fremde Lehre, sogleich wie sie ihnen nur eben dargeboten wird, anzunehmen, während im Gegentheile Jedermann weiß, daß jede Aenderung, einmal eingeführt, viele andere in ihrem Gefolge hat, und daß Veränderungen überhaupt und in sich selbst schon, oft nur eine Quelle von Ungemächlichkeiten und Gefahren zu sein pflegt. — Allein in Beziehung auf unsern gegenwärtigen Fall, auf die Aufnahme der neuen Theorie in Cambridge und Oxford, hat man keine Spur von jenem Widerstreben bemerkt. Der Cartesianismus, das heißt, die eigenen Hypothesen des Descartes, haben in England nie tiefe Wurzeln geschlagen. Zwar waren allerdings Cartesianische Bücher, wie z. B. die Physik von Rohault, daselbst im Gebrauche, und mit gutem Rechte, denn sie enthielten bei weitem die besten Abhandlungen, die man damals finden konnte, über die physischen Wissenschaften, wie über Mechanik, Hydrostatik, Optik und selbst über die formelle Astronomie. Aber ich finde nicht, daß die Lehre von den Wirbeln in unseren akademischen Vorlesungen je als eine Sache von Wichtigkeit betrachtet worden wäre. Wenn sie uns aber auch eine Weile durch verführt hat, so wurde sie doch auf jeden Fall schnell wieder entfernt. Newton's Schule und seine Universität war stolz auf ihren Ruhm, und sie that ihr Aeußerstes, ihren großen Lehrer zu ehren und ihn mit ihrer Hülfe zu unterstützen. Er wurde durch den König selbst von der Verbindlichkeit aller der äußeren Geschäfte befreit, denen die sogenannten Fellows des Trinity-Collegiums unterworfen sind; durch seine Gehülfen wurde er aller ämtlichen Beschwerden überhoben, die seine einsamen Studien auch nur auf das leiseste stören konnten, obschon er fünfunddreißig Jahre, kaum mit Ausnahme eines einzigen Monats, in den Mauern der Universität zugebracht hat [3]). Im Jahr 1688 wurde er von der Universität als ihr

3) Ich schließe dies daraus, daß Newton's Name nirgends in den Collegienbüchern als der eines Mannes gefunden wird, der mit irgend einem der gewöhnlichen Geschäfte eines Fellow beauftragt gewesen wäre. Die fortdauernde Bewohnung des Universitätsgebäudes durch Newton aber während 35 Jahren folgt aus dem sogenannten Exitand Rediit-Buche aus jener Zeit, das noch jetzt vorhanden ist.

Repräsentant bei dem Parlamente ernannt, und dieselbe Ernennung wurde i. J. 1701 wiederholt. Bei der Auflösung des Parlaments im Jahr 1705 wurde er zwar nicht erwählt, aber seine Gegner selbst mußten anerkennen[4]), „daß er die Glorie der „Universität und der Nation sei; daß das Geschäft, wegen wel„chem er geschickt wurde, rein politischer Art sei, und daß sie „Newton nur als einen Mann betrachteten, den sie, aus Ver„ehrung für seine großen Verdienste, nicht von seinen anderen „Pflichten abhalten dürfen.“ — Noch werden in dem Gebäude dieser Universität Instrumente und andere Andenken aufbewahrt und hochgehalten, weil sie ihm gehörten, wie man denn daselbst auch die Zimmer zeigt, die er bewohnte.

Die thätigsten und kräftigsten Lehrer in Cambridge wurden sofort auch seine Schüler und Nachfolger. Samuel Clarke, später ein vertrauter Freund Newton's, hatte schon im Jahre 1694 in einer öffentlichen Disputation eine Thesis der neuen Philosophie vertheidigt, und gab 1697 eine Auflage von Rohault's[5]) Physik mit Anmerkungen heraus, in welchen Newton's und seiner Entdeckungen öfter mit der größten Achtung erwähnt wird, obschon die eigentliche Lehre desselben erst in einer spätern Auflage, von dem Jahr 1703, förmlich aufgenommen wurde. Im Jahre 1699

---

4) M. s. Styan Thurlby's Pamphlet.

5) Rohault (Jakob), geb. 1620 zu Amiens, wird als der erste Professor der Physik betrachtet, der auf Beobachtung und Experimente drang. Er bildete sich vorzüglich nach Descartes, dessen eifrigster Nachfolger er auch wurde. Seine öffentlichen Vorlesungen über Physik in Paris wurden mit dem größten Beifall aufgenommen. Sein Traité de physique zeichnete sich durch Klarheit und Präcision des Vortrags aus, und war lange Zeit als das beste Lehrbuch dieser Wissenschaft allgemein anerkannt. Es erschien zuerst, Paris 1671, in Quart, und später 1682 in Duodez, und wurde seitdem sehr oft aufgelegt und in alle gebildeten Sprachen Europa's übersetzt. Samuel Clarke übersetzte es in die lateinische, und später Jean Clarke in die englische Sprache. Bei so viel Beifall konnte er dem Neide und selbst den Verfolgungen nicht entgehen, gegen die er seine Entretiens sur la philosophie, Paris 1671, schrieb. Aber seine Gegner, dadurch nicht beruhigt, zwangen ihn, seine Ketzereien öffentlich abzuschwören, worüber er in Gram versank und 1675 starb. L.

wurde Bentley[6]), dessen wir schon oben als eines eifrigen Anhängers von Newton erwähnt haben, Vorsteher (Master) des Trinity-Collegiums, und in demselben Jahre wurde auch Whiston, ein anderer Schüler Newton's, zum Stellvertreter desselben als Professor der Mathematik zu Cambridge ernannt. Whiston trug zur Verbreitung von Newton's Theorie, sowohl durch seine mündlichen Vorträge von dem Katheder, als auch durch mehrere Schriften bei, die er zum Gebrauche der Vorlesungen an dieser Universität verfaßt hatte. Es ist merkwürdig, daß sich über diese Einführung des Newton'schen Systems auf der hohen Schule zu Cambridge ein Zwist entspann, der durch einige grämliche Ausdrücke in Whistons Memoir entstand, das zu der Zeit geschrieben wurde, wo er von seiner Lehrerstelle und von der Universität vertrieben war, und wo natürlich seine Ansichten mißmüthig und kränklich sein mußten. — Im Jahre 1709 erhielt Dr. Laughton, früher Tutor in Clare Hall, das Amt des sogenannten Moderators dieser Universität, das er selbst angesucht hatte, um dadurch mehr Gelegenheit zu haben, die Verbreitung der neuen Lehre zu unterstützen. Um dieselbe Zeit war die erste Ausgabe der Prinzipien bereits selten geworden, und man konnte sie nur zu sehr hohen Preisen erhalten. Bentley drang daher in Newton, eine neue Auflage derselben zu geben, und Cotes, bei weitem der vorzüglichste Mathematiker jener Zeit zu Cambridge, besorgte den Druck dieser Auflage, die auch, mit seiner Einleitung, im Jahre 1713 erschien.

6) Bentley (Richard), geb. 1662, Sohn eines Hufschmieds und einer der gelehrtesten und genialsten Philologen. Seinen Ruf gründete er durch die Epistel an Dr. Mill, worin er mehrere schwierige Stellen der alten Klassiker erklärte. Seine acht Reden gegen den Atheismus wurden allgemein bewundert. Im Jahr 1700 wurde er Professor der Theologie in Cambridge, wo er seine philologischen Arbeiten fortsetzte und sich zugleich in unzählige Streitigkeiten mit anderen Gelehrten verwickelte. Seine Ausgabe des Horaz wird als sein vorzüglichstes Werk betrachtet. In seiner Ausgabe von „Milton's verlornem Paradiese" hatte er viele willkührliche Aenderungen mit dem Gedichte vorgenommen und dadurch seinen Mangel an Sinn für Poesie bezeugt. Er starb nach einem langen Leben voll von Arbeit und meistens selbst gesuchten Fehden i. J. 1742. Seine Biographie gab F. A. Wolf in den „literarischen Analecten I. Band (Berlin 1816) und später Monk in der Life of Bentley (London 1830).

An der Universität zu Oxford erhielten David Gregory [7]) und Halley, beide eifrige und ausgezeichnete Schüler Newton's, die sogenannte Savilian'sche Professur der Astronomie und Geometrie in den Jahren 1691 und 1703. In dem folgenden Jahre 1704 aber trug Keil daselbst die neue Lehre vor, und begleitete seinen Vortrag mit Experimenten, die großen Beifall erhielten. Auch an den Schottischen Universitäten erklärte sich Jakob Gregory mit vorzüglichem Eifer für die neue Doctrin, wie er denn schon i. J. 1690 ein Memoir herausgab, das in zweiundzwanzig Abtheilungen eine Art von Compendium der Newton'schen Prinzipien darstellte [8]). Der früher erwähnte David Gregory, sein

---

7) Gregory (Jacob), geb. 1638 zu Aberdeen in Schottland. Ein ausgezeichneter Mathematiker, der sich vorzüglich mit Optik beschäftigte. Noch vor seinem 24sten Jahre hatte er in seiner „Optica promota" das von ihm erfundene Spiegeltelescop bekannt gemacht, das noch jetzt seinen Namen trägt. Im Jahre 1667 machte er seine Methode bekannt, kreisförmige und hyperbolische Sectoren durch Reihen auszudrücken, die er in dem nächsten Jahre durch ein eigenes sehr scharfsinniges Werk über krumme Linien und Flächen sehr erweiterte. Er war Professor der Mathematik in Edinburg. Im Jahre 1675 wurde er plötzlich blind und starb einige Tage darauf in seinem 36sten Jahre. Er galt für einen der scharfsinnigsten und erfindungsreichsten Köpfe seiner Zeit, und für ein ganz vorzügliches mathematisches Talent. Außer der Optica promota haben wir noch von ihm: Vera circuli et hyperbolae quadratura, 1667; Geometriae pars universalis, 1668, und Exercitationes geometricae, 1668.

Gregory (David), der Bruderssohn des Vorigen, geb. 1661 zu Aberdin. Durch den Besitz der nachgelassenen Papiere seines Onkels soll er für die Mathematik gewonnen worden sein. In seinem 23sten Jahre wurde er Professor dieser Wissenschaft in Edinburg, wo er einer der ersten die neue Lehre Newton's einführte. 1691 wurde er Professor der Astronomie in Oxford und starb am 10. Oktober 1708. Sein Werk über die Kegelschnitte des Apollonius, das er unvollendet zurückließ, wurde von Halley vollendet und herausgegeben. Auch er war durch hohes mathematisches Talent ausgezeichnet. Seine vorzüglichsten Schriften sind: Exercitatio geometrica de dimensione figurarum, 1684; Catoptricae et Dioptricae Elementa 1695; Astronomiae physicae et geometricae Elementa, 1702. Diese letzte Schrift wird für sein vorzüglichstes Werk gehalten. Endlich Euclidis quae supersunt omnia, gr. et lat. Oxford, 1703. L.

8) M. s. Hutton's Diction. Art. David Gregory.

Bruder, war vor seinem Abgange nach Oxford, Professor in Edinburgh, und suchte ohne Zweifel auch hier die neue Lehre einzuführen. Die allgemeine Verbreitung derselben wurde nicht blos durch mannigfaltige Schriften, sondern auch durch, von verschiedenen Experimenten begleitete, mündliche Vorträge befördert, wie z. B. die von Desaguliers[9]), der sich i. J. 1713 von Oxford nach London begab, an welchem letzten Orte er, wie er selbst in der Vorrede seines Werkes sagt, die Philosophie Newton's bereits unter den Menschen aller Stände und Beschäftigungen, ja selbst unter dem anderen Geschlechte sehr verbreitet gefunden hat.

Es ist nicht schwer, in der Geschichte der englischen Literatur deutliche Spuren von der allmähligen Verbreitung der Newton'schen Theorie nachzuweisen. In den früheren Ausgaben von Pope's Dunciade z. B. liest man, in der Beschreibung des Reichs der Thorheit, die Verse:

Philosophy that reached the heavens before,
Shrinks to her hidden cause and is no more[10]).

Dies sollte aber, wie ihr Herausgeber Warburton hinzusetzt, eine Spötterei auf Newton's Philosophie sein. Pope wurde nämlich von dem Geschrei einiger Gelehrten, besonders in Frankreich, zu dem Glauben verführt, als ob diese Philosophie uns wieder zu den verborgenen Ursachen (causas occultas) des Aristoteles zurückbringen wolle. Er hatte, fährt Warburton fort, diese

---

9) Desaguliers (Joh. Theophilus) wurde von seinem Vater, einem protestantischen Prediger, noch als Kind nach England gebracht, in Folge der Revocation des Edicts von Nantes. Er war i. J. 1683 zu Rochelle geboren. Schon in seinem 19ten Jahre wurde er, als Keil's Nachfolger, Professor der Physik. Seit dem Jahre 1712 gab er in London öffentliche Vorlesungen für einen gemischten Kreis von Zuhörern über Experimentalphysik nach Newton's System, die mit ungemeinem Beifall aufgenommen wurden. Er setzte dieselben bis an seinen Tod im Jahr 1749 fort, und noch in seinen letzten Jahren wurde er von den Großen des Reichs und selbst öfter von dem Könige ersucht, vor ihm seine Vorlesungen zu halten. Wir haben von ihm einen Course of lectures on experimental Philosophie, 2 Vol. 4to 1734, nebst mehreren Uebersetzungen der Schriften von s'Gravesande und Nieuwentyt. L.

10) Die Philosophie, die früher himmelan strebte, schrumpft auf ihre verborgenen Ursachen zusammen und existirt nicht mehr.

Ansicht von einem Manne[11]) gelernt, der, in der Fremde erzogen, zwar alles, aber auch alles nur oberflächlich zu lesen pflegte. Als ich ihm zeigte, daß er hierin hintergangen wurde, veränderte er jene zwei Verse dahin, daß sie nun ein Lob auf Newton und eine Satyre auf den enthalten sollten, der ihn zu jenen ersten Zeilen verleitet hatte. Im Jahr 1743 wurde diese Stelle so gegeben:

> Philosophy that leaned on heaven before,
> Shrinks to her second cause and is no more [12]).

Die Newtonianer wiesen nämlich die Beschuldigung, als ob sie sich mit jenen causis occultis der Alten beschäftigten, von sich, wie man in der erwähnten Einleitung des Cotes zur zweiten Auflage der Prinzipien sehen kann, und indem sie die allgemeine Gravitation unmittelbar auf den Willen der Gottheit, als der Ersten Ursache bezogen, nahmen sie eine Art von Ascendenz über Diejenigen an, deren Philosophie nur bei diesen zweiten Ursachen stehen blieb.

Von dieser bereitwilligen Aufnahme der neuen Lehre unter den Astronomen Englands kennt man nur eine einzige Ausnahme von Bedeutung, nämlich die von Flamsteed, des königlichen Astronomen zu Greenwich, eines sehr thätigen und genauen Beobachters. Er hörte anfangs mit Wohlgefallen auf die Hülfe, die ihm die neue Theorie versprechen sollte, und er schien bereit, Newton's Berechnungen durch seine Beobachtungen zu unterstützen, und auch von ihm wieder unterstützt zu werden. Aber bald darauf überwarf er sich mit dieser Theorie, so wie er sich, nach dem Vorhergehenden, auch mit ihrem Urheber überworfen hatte. „Ich habe mich endlich entschlossen," schreibt er an seinen Korrespondenten, „diese Newtonianischen Possen (crotchets) ganz zur Seite zu legen[13])." Man wird dieß leicht erklären, wenn man bedenkt, daß Flamsteed wohl ein guter Beobachter, aber kein Mathematiker war; daß er von einer mathematischen Theorie höchstens die allgebraischen Formeln des Resultats auffassen konnte, und daß er ganz unfähig war, den Zweck von

11) Wahrscheinlich ist damit Bolingbroke gemeint.

12) Die Philosophie, die sich früher an den Himmel lehnte, schrumpft auf ihre zweiten Ursachen zusammen, und existirt nicht mehr.

13) M. s. Baily's Account of Flamsteed. S. 309.

Newton's Theorie zu begreifen, die nicht nur Formeln oder blose Regeln, sondern die auch die Ursachen angeben, und den Forderungen der Mechanik sowohl, als auch denen der Geometrie zu genügen suchte.

Dritter Abschnitt.

Aufnahme von Newton's Theorie im Auslande.

Die Aufnahme der neuen Lehre auf dem Festlande war viel langsamer und störriger als auf der heimischen Insel. Selbst diejenigen, deren mathematische Kenntnisse sie am meisten hätte befähigen sollen, den Werth jener Theorie anzuerkennen, wurden durch Vorurtheile und besondere Ansichten abgehalten, sie als ein wissenschaftliches System anzunehmen. In diesem Falle war Leibnitz, Bernoulli [14]), Huyghens u. a., die alle im Grunde dem, obschon

---

14) In der Familie der Bernoulli haben sich acht Mitglieder derselben eine besondere Auszeichnung in der Mathematik erworben. Diese Familie stammte aus Antwerpen, von wo sie sich wegen Alba's Religionsverfolgungen nach der Schweiz zurückzog.

1. Jakob Bernoulli, geb. 1654, gest. 1705, Professor der Mathematik in Basel. Er entdeckte die elastischen, die isochronischen und die isoperimetrischen Curven, die Kettenlinie, die parabolischen und logarithmischen Spirale und die Loxodromie, und ist als der erste Begründer der Wahrscheinlichkeitsrechnung bekannt. Sein Vater Nikolaus begleitete eine hohe Stelle in der Basel'schen Republik, und hatte eilf Kinder. Jakob war zum geistlichen Stand bestimmt und konnte die Mathematik nur heimlich, gegen den Willen seines Vaters, studiren. Er drückte dies auf der Devise seines Siegelrings durch das Bild des Phaetons mit der Umschrift aus: Invito patre sidera verso. In seiner Schrift Conamen novi systematis, die bei Gelegenheit des großen Kometen von 1680 erschien, hielt er die Kometen für Satelliten eines sehr entfernten und deßwegen unsichtbaren Planeten. Sein eigentlicher Ruhm datirt aber von dem Jahre 1684, wo Leibnitz seine ersten Entdeckungen über die Differentialrechnung in den Actis Eruditor: Lips. bekannt machte. Seit dieser Zeit verwendete er und sein Bruder Johann alle Kraft auf die Ausbildung dieser Rechnung, so daß Leibnitz dieselbe eben sowohl ihr als sein Eigenthum nannte. Die zwei ersten Aufsätze über Integralrechnung erschienen von ihm in dem Jahre 1691. Auf seinem Sterbebette setzte er sich selbst seine Grabschrift; das Bild der von ihm entdeckten logarithmischen Spirale mit der Umschrift:

mannigfaltig von ihnen selbst wieder modificirten, Wirbelsysteme des Descartes anhingen. In Frankreich besonders hatte sich dieses

Eadem mutata resurgo, in Anspielung auf die bekannte Eigenschaft dieser Curve, die ihre eigene Evolute ist. In seinen Untersuchungen ging er mit der größten Langsamkeit und Vorsicht zu Werke; er überarbeitete jede kleine Schrift zehnmal, ehe er sie öffentlich machte, und je größer sein Ansehen bei dem Publikum wurde, desto mehr wuchs sein Mißtrauen gegen sich selbst. Seine Ars conjectandi erschien erst 1713 nach seinem Tode. Seine vollständigen Werke erschienen 1744 zu Genf in zwei Quartbänden.

2. Johann Bernoulli, des vorigen Bruder, geb. 1667. Von seinem Vater zur Handlung bestimmt, ging er, wie jener, seinen eigenen Weg. Auf seiner Reise nach Frankreich, im Jahr 1690 lernte er Malebranche, Cassini, de l'Hopital und andere Mathematiker kennen, die ihn für ihre Wissenschaft gewannen. Seit 1692, wo er nach Basel zurückkehrte, begann seine Correspondenz mit Leibnitz, die bis an sein Ende währte. Er war Leibnitzen's eifrigster Verfechter in seinem Streite mit Newton über die Erfindung der Differentialrechnung. Im Jahre 1693 wurde er Professor der Mathematik in Wolfenbüttel, kehrte aber schon im nächsten Jahre wieder nach Basel zurück, wo er Doktor der Medizin wurde. 1695 wurde er Professor der Mathematik in Gröningen, wo er blieb, bis er 1705 seinem Bruder Jakob für dieselbe Stelle in Basel nachfolgte, und hier starb er auch 1748. Man hat von ihm keine eigentlichen größeren Werke, aber seine Memoiren findet man in allen gelehrten Journalen seiner Zeit. Sie wurden von Cramer gesammelt und Genf 1742 in 4 Bänden in 4to herausgegeben. Ebenda erschien auch seine Correspondenz mit Leibnitz, 1745 in 2 Vol. 4to. Seinen heftigen, leidenschaftlichen Charakter zeigte er besonders in dem langen Streite mit seinem Bruder Jakob. Im Jahre 1696 hatte Johann den Mathematikern Europa's das berühmte Problem von der Brachystochrone aufgegeben. Leibnitz, Newton, de l'Hopital und Jakob Bernoulli lösten das Problem auf, und der letztere forderte zu gleicher Zeit seinen jüngern Bruder Johann auf, diejenigen Curven zu finden, die unter gewissen Bedingungen den größten Raum einschließen. Johann schickte eine unvollständige und selbst unrichtige Antwort ein, worauf die Erwiederung Jakobs in dem Journal des Savans, Febr. 1698, erschien. Hiemit wurde der Kampf zwischen beiden Brüdern eröffnet, den Johann bis 1718, also dreizehn Jahre nach Jakob's Tod, fortzusetzen suchte. Auch gegen Leibnitz und de l'Hopital betrug er sich, nach deren Tod, noch feindselig und eignete sich mehrere Entdeckungen jener bei. Noch bemerken wir, daß Johann der Lehrer des großen Leonhard Euler gewesen ist. Er hatte drei Söhne, Daniel, Johann und Niklas.

System sehr verbreitet, nachdem es durch Fontenelle's [15]) reizenden Styl bei seinen Landsleuten eingeführt und gleichsam volks-

---

3. Daniel Bernoulli, ein Sohn Johann's, geb. 1700. Er wurde sammt seinem Bruder Nikolaus 1725 von der Kaiserin Katharina an die Akademie nach Petersburg berufen, wo er bis 1733 blieb, und dann, seiner Gesundheit wegen, nach Basel als Professor der Philosophie und der Medizin zurückkehrte. Seine Exercitationes mathematicae erschienen 1724. Seine Hydrodynamik 1738 ist das erste Werk, in dem die Bewegung der flüssigen Körper durch mathematische Analyse behandelt worden. Er hatte ein besonderes Talent, die Mathematik auf Gegenstände der Physik anzuwenden. Er löste zuerst das schwere Problem von den Schwingungen der Saiten, und erweiterte die Mechanik durch die Lehre von der Bewegung der Körper von gegebener Gestalt, da man sie bisher meistens nur auf Punkte angewendet hatte. Er ist der Entdecker des mechanischen Prinzips von der Erhaltung der lebendigen Kraft. Auch die Wahrscheinlichkeitsrechnung verdankt ihm viele Erweiterungen. Er gewann zehn Preise der Pariser Akademie, deren einen, über die Kleinheit der Neigungen der Planetenbahnen, er mit seinem Vater, und einen anderen, über die Ebbe und Fluth, mit Euler und Maclaurin theilte. Im Jahr 1748 folgte er seinem Vater als Mitglied der P. Akademie, und wurde hierin wieder von seinem Bruder Johann gefolgt, so daß diese Akademie die Namen der Bernoulli gegen hundert Jahre in den Listen ihrer Mitglieder aufführen konnte. Er starb als ein allgemein hochgeachteter Mann 1782 in Basel. Von ihm wird die bekannte Anekdote erzählt, daß er, von einem Fremden auf der Reise um seinen Namen befragt, in seiner gewöhnlichen Bescheidenheit sagte, er sei Daniel Bernoulli, worauf er von dem Fremden in noch leiserem Tone die Erwiederung erhielt, daß er Isaak Newton heiße.

4. Johann Bernoulli, geb. 1710, gest. 1790 zu Basel, Sohn des obigen Johann B., war Professor der Rhetorik und Mathematik in Basel. Drei seiner mathematischen Memoirs gewannen den Preis der Pariser Akademie.

5. Niklas Bernoulli, geb. 1695, gest. 1726, Bruder des Letzten. Er erweiterte mehrere Gegenstände der höheren Geometrie, besonders die Theorie der orthogonalen Trajectorien.

6. Niklas Bernoulli, geb. 1687, gest. 1759, ein Neffe der beiden Brüder Jakob und Johann, der die Bedingungen der Integrabilität der Differentialgleichungen der ersten Ordnung fand, und sich durch seine Arbeiten über die Wahrscheinlichkeitsrechnung auszeichnete. Er war Professor der Mathematik zu Padua, und später Professor der Rechte in Basel.

7. Johann Bernoulli, geb. 1744, gest. 1807, Sohn des Jo-

thümlich geworden war. So fest und vollbegründet erschien hier die Herrschaft dieses Systems, daß es lange Zeit dem Drucke, mit welchem das Gewicht der Theorie Newton's auf dasselbe wirkte, kräftig widerstehen konnte. In der That hatte Frankreich kaum einen einzigen Anhänger Newton's, bis zu der Zeit, wo Voltaire, nach seiner Rückkunft von England i. J. 1728, seine Landsleute darauf aufmerksam gemacht hatte. In diesem Jahre noch, sagt er selbst, konnte man außer England kaum zwanzig Newtonianer finden.

Dieser große Einfluß der Philosophie des Descartes in seinem eigenen Vaterlande wird übrigens Niemand überraschen, der die Verhältnisse jener Zeit und jenes Landes näher kennt. Ihm gebührt das Verdienst, das wahrhaft große Verdienst in der Geschichte der Wissenschaft, das Reich des Aristoteles überwunden und vollkommen zerstört, und dafür die neue, auf Masse und Bewegung gegründete Philosophie auf den Thron gesetzt zu haben. In allen Theilen der angewandten Mathematik waren auch seine Nachfolger, wie wir bereits oben gesagt haben, die besten Führer, die man bisher finden konnte. Seine Wirbelhypothese hatte, als ein Mittel zur Erklärung der himmlischen

---

hann unter Nr. 4. Er wurde schon in seinem 19ten Jahre Mitglied der Akademie in Berlin, und widmete sich vorzüglich der Astronomie. Seine zahlreichen Arbeiten findet man in den Mem. der Berl. Akademie und in den „Ephemeriden von Berlin." Auch hat man von ihm eine Ausgabe von Euler's Algebra, und Lettres sur différents sujets etc. 1777 — 1779.

8. Jakob Bernoulli, Bruder des Johann in Nr. 7, geb. 1759 in Basel, gest. 1789 zu Petersburg, wo er in der Newa bei einem Bade ertrank. Er war Professor der Mathematik in Petersburg, wo er mit einer Enkelin Euler's vermählt war.

Die zwei ältesten dieser mathematischen Familie, Jakob und Johann, waren Zeitgenossen von Newton und Leibnitz, und sie bildeten vorzüglich das geistige Instrument aus, die Differential- und Integralrechnung, mit dessen Hülfe ihre Nachkommen so Großes leisten sollten. Daniel im Gegentheile war ein Coäve von Euler, Clairaut und d'Alembert, und diese vier Männer vollendeten, was jene begonnen hatten. L.

15) Besonders in seinem beliebten Werke: Ueber die Mehrheit der Welten. Deutsch von Mylius und Bode.

Bewegungen, einen eigenen scheinbaren Vortheil vor der Theorie Newton's. Jene Hypothese bezog nämlich die äußeren Erscheinungen der Natur auf die verständlichsten, oder doch auf die den Menschen geläufigsten, mechanischen Gründe, auf Druck und Stoß. Vor allen aber empfahl sich diese Hypothese den Menschen dadurch, daß sie, so ward es wenigstens angenommen, von einigen wenigen Prinzipien in schlußgerechter Folgerung aufwärts stieg, und daß es zugleich mit den metaphysischen und selbst mit den theologischen Spekulationen jener Zeit im friedlichen Einklange blieb. Auch darf man noch hinzufügen, daß diese Hypothese, durch ihre mathematischen Anhänger, allmählig sehr viele Modifikationen erhielt, durch welchen die Einwürfe, die man früher gegen dasselbe vorgebracht hatte, wenigstens größtentheils entfernt wurden. Ein Wirbel, der sich um einen Mittelpunkt drehte, konnte leicht im Raume konstruirt werden, oder man setzte wenigstens voraus, daß er dies konnte, um dadurch ein Bestreben der von diesem Wirbel bewegten Körper gegen jenen Mittelpunkt zu erzeugen. Deshalb wurde auch in all' den Fällen, wo eine Centralkraft wirkte, ein solcher Wirbel angebracht. Wenn man aber einmal zu den Resultaten dieser Hypothese gelangt war, so war es leicht, alle anderen Wirkungen des Wirbels zur Seite zu setzen, und im Grunde blos jene Centralkraft zu berücksichtigen; und einmal dahin gekommen, konnte der Cartesianer seinen Problemen auch wohl ein eigentliches mechanisches Prinzip, mit einigem Anschein von Gründlichkeit, unterlegen. Diese Bemerkungen werden einigermaßen die sonderbare Erscheinung erklären, daß beinahe ein volles halbes Jahrhundert noch, nach der Bekanntmachung von Newton's Theorie, die Sprache der französischen Mathematiker die cartesianische geblieben ist.

Demungeachtet zog sich durch diese ganze Zeit ein Kampf zwischen diesen beiden Meinungen hin, und die großen Hindernisse, welche die Cartesianer zu überwinden hatten, wenn sie auf den Sieg Anspruch machen sollten, traten mit jedem Tage deutlicher hervor. Newton hatte in seinem großen Werke eine Reihe von Propositionen eingeschaltet, deren Zweck war, zu zeigen, daß die Maschinerien jener Wirbel keiner Bewegung des Himmels angepaßt werden können, ohne dadurch zugleich einer anderen Bewegung desselben zu widersprechen. Noch offenbarer trat die

Schwierigkeit in dem Falle von der Schwere der Erde hervor. Wenn diese Kraft, wie Descartes behauptete, aus der Rotation des Erdwirbels um seine Achse entsteht, so müßte die Richtung derselben senkrecht auf dieser Achse stehen, nicht aber zu dem Mittelpunkt der Erde gehen. Die Anhänger der Wirbel haben mehr als einmal alle ihre Kraft und Geschicklichkeit aufgeboten, diesem Mangel ihrer Hypothese zu begegnen, aber immer ohne Erfolg. Huyghens nahm an, daß die ätherische Masse der Wirbel in allen ihren Richtnngen sich um das Zentrum der Erde drehe. Perrault [16]) setzte voraus, daß die Rotationsgeschwindigkeit der koncentrischen Schichten, aus welchen jene Wirbel bestehen sollten, mit ihrer Entfernung von dem Mittelpunkte wachse. Saurin [17]) behauptete, daß der circulirende Widerstand, der den Wirbel umgibt, einen Druck erzeuge, der gegen den Mittelpunkt des Wirbels gerichtet ist u. s. w. — Die elliptische Form der Planetenbahnen war eine andere Schwierigkeit, die sich der Cartesianischen Theorie entgegensetzte. Descartes hatte zu diesem Zwecke die Wirbel selbst von einer elliptischen

---

16) Perrault (Claude), ein berühmter Architekt, geb. 1613 zu Paris. Er ist der Erbauer der (zweckwidrigen) k. Sternwarte von Paris. Berühmter wurde er durch seinen Umbau des Louvre. Sein vorzüglichstes Werk ist seine Uebersetzung des Vitruv, Paris 1673 und 1684; ferner hat man von ihm Essais de physique, 2 Vol. in 4 B. 1680; Mécanique des animaux; Recueil d'un grand nombre de machines inventées par Perrault. Er starb am 9ten Oktober 1688. Mit ihm ist nicht zu verwechseln sein Bruder Charles P., der sich als Dichter und Literator auszeichnete, und durch Colbert's Gunst controleur-général des bâtimens wurde. L.

17) Saurin, geb. 1659, ein talentvoller, inventiver Mathematiker, der wahrscheinlich noch viel mehr geleistet haben würde, wenn er sich nicht so spät erst auf diese Wissenschaft verlegt hätte. Von ihm hat man eine sehr scharfsinnige Auflösung des berühmten Problems von der Tachystocheone oder von der Linie des kürzesten Falls, so wie er auch der erste die Theorie der Tangenten an den vielfachen Punkten der krummen Linien gehörig aus einander setzte. Noch rühmt man seine großen Kenntnisse in der theoretischen und praktischen Uhrmacherkunst. Seine vorzüglichsten Aufsätze sind in den Memoiren der Pariser Akademie von d. J. 1716, 20, 22, 23 und 27 zerstreut. Er starb i. J. 1737 zu Paris. L.

Gestalt angenommen. Andere aber, wie Johann Bernoulli, fanden Mittel und Wege, auch mit kreisförmigen Wirbeln elliptische Bewegungen zu erzeugen.

Die berühmten Preisfragen der Pariser Akademie brachten endlich die beiden einander so lange gegenüberstehenden Partheien zu einem offenen Angriff. Das Cartesianische Memoir des Johann Bernoulli, von dem wir so eben gesprochen haben, war eines von denen, welches den von jener Akademie ausgesetzten Preis im Jahr 1730 gewann. Es ereignete sich damals öfter, daß diese gelehrte Gesellschaft, als wollte sie dadurch ihre Unpartheilichkeit zeigen, ihren Preis zwischen den Cartesianern und Newtonianern theilte. So wurde im Jahr 1734 die Frage von der Ursache der Neigungen der Planetenbahnen aufgestellt, und der Preis wurde zwischen Johann Bernoulli, dessen Memoir sich auf die Cartesianischen Wirbel gründete, und zwischen seinem Sohne Daniel getheilt, der zu den Newtonianern gehörte. Die letzte Ehre dieser Art, die dem Systeme des Descartes erzeugt wurde, war von dem Jahre 1740, wo der Preis über die Ursache der Ebbe und Fluth zwischen Daniel Bernoulli, Euler, Maclaurin [18]) und Cavalleri [19]) vertheilt wurde, von welchen

---

18) Maclaurin, geb. 1698 zu Kilmoddan in Schottland, wurde 1717 Professor der Mathematik zu Aberdeen, und drei Jahre später gab er eine Abhandlung über die Curven heraus, die selbst Newton bewundert haben soll. Im Jahre 1740 theilte er mit Euler und Daniel Bernoulli den Preis der Pariser Akademie über die Ebbe und Fluth des Meeres. 1745 erhielt er den Auftrag, die Stadt Edinburg, wo er Professor der Mathematik war, gegen die anrückenden Rebellen zu befestigen, wodurch er seine Gesundheit untergrub und am 14ten Juni 1746 starb. Seine vorzüglichsten Werke sind: Geometria organica, Lond. 1720; Ueber die Fluxionsrechnung, Edinb. 1742, übersetzt von Pezenas, Paris 1749; und sein Handbuch der Algebra, das sich durch Präcision und Eleganz des Ausdrucks auszeichnet. Darstellung der Entdeckungen Newton's, Lond. 1748. L.

19) Cavalleri (Bonaventura), geb. 1598 zu Mailand, ging früh in den Orden der Jesuiten, wurde später Professor zu Bologna und starb auch hier 1647. Er war ein Freund von Riccioli und ein Schüler Galilei's. Die zwölf letzten Jahre seines Lebens brachte er, durch die Gicht an Hand und Fuß gelähmt, in seinem Bette zu. Seine vorzüglichsten Werke sind: Specchio ustorio, Bologna 1632; Directorium

der letzte jenen Gegenstand aus den Cartesianischen Wirbeln zu erklären gesucht hatte.

Auf diese Weise wurde Newton's Theorie in Frankreich nicht eher allgemein angenommen, bis die Cartesianische Generation gänzlich ausgestorben war. Fontenelle [20]), lange Zeit Sekretär der Pariser Akademie, starb 1756 in hohem Alter als Cartesianer. — Doch fanden sich auch einige Ausnahmen. Hierher gehört z. B. der Astronom Delisle [21]), den Peter der Große

---

Uranometricum, ibid. 1632; Exercitationes geometricae, 1647, und Geometria Indivisibilium, ibid. 1632. Das letzte Werk hat vorzüglich seinen Namen auf die Nachwelt gebracht, da es eines der großen Vorläufer der von Leibnitz und Newton aufgestellten Infinitesimalrechnung ist. Guldin schrieb gegen dieses Werk, aber Cavalleri antwortete ihm siegreich in der dritten Abtheilung seiner Exercit. geometricae. Auch Roberval reklamirte Cavalleri's Methode als seine eigene, aber Cavalleri's Bekanntmachung ging der des Roberval um mehrere Jahre voraus. L.

20) Fontenelle (Bernard), geb. 1657 zu Rouen, ein Neffe Corneille's. Nachdem er schon in seinem 16ten Jahre die juridischen Studien vollendet, aber auch seinen ersten Prozeß verloren hatte, ging er nach Paris, um da als Schriftsteller zu leben. Auf dieser Laufbahn gelang es ihm, gegen das Ende seines Lebens 11,000 Liv. jährlicher Einkünfte zu haben und ein sehr bedeutendes Vermögen zu hinterlassen. Seit 1699 war er beständiger Sekretär der P. Akademie. Seine poetischen, historischen, und popular-philosophischen Schriften sind höchst zahlreich, und er galt zu seiner Zeit für einen der beliebtesten schöngeistigen Schriftsteller. Den meisten Werth haben seine Entretiens sur la pluralité des mondes, Paris 1686, mit vielen Auflagen, mit Lalande's Noten, Paris 1800, und deutsch von Mylius und Bode's Noten, Berl. 1789. Besonders schätzbar sind seine vielen Eloges auf verstorbene Gelehrte in den Mém. de l'Acad. de Paris. Seine Oeuvres complètes erschienen zu Paris 1818 in 3 Bänden. Er starb am 9ten Januar 1757 zu Paris. L.

21) Delisle oder de l'Isle (Niclas), geb. 1688 zu Paris, widmete sich unter D. Cassini der Astronomie. Im Jahr 1726 wurde er von Katharina I. nach Petersburg gerufen, wo er eine astronomische Schule einrichtete. Wieder nach Paris zurückgekehrt, verkaufte er der Regierung seine in Rußland gesammelten Schätze für Geographie u. dergl., zu deren Aufseher er ernannt wurde. Unter ihm bildete sich Messier, Lalande und Delambre in der Astronomie aus. In seinen letzten Jahren lebte er ganz der Frömmigkeit und starb 1768 beinahe vergessen

nach Petersburg zog, um daselbst die russische Akademie der Wissenschaften zu gründen. Er hatte im Jahr 1724 England besucht, und von Newton sein Portrait, so wie von Halley seine astronomischen Tafeln erhalten. Im Allgemeinen aber waren, die ersten fünfzig Jahre nach der Erscheinung der Prinzipien, die Meinungen über alle Gegenstände der Physik in Frankreich und England getheilt. Voltaire, der das letzte Land im Jahre 1727 besuchte, beschreibt diese Meinungsverschiedenheit auf seine lebhafte Weise: „Wenn ein Franzose in London ankömmt," sagt er, „so findet er einen sehr großen Unterschied in der Philosophie „sowohl, als auch in den meisten andern Dingen. In Paris „verließ er die Welt ganz voll von Materie, hier findet er „sie völlig leer davon. In Paris sieht man das Universum „mit lauter ätherischen Wirbeln besetzt, während hier in dem„selben Raume unsichtbare Kräfte ihr Spiel treiben. In Paris „ist es der Druck des Mondes, der die Ebbe und Fluth des „Meeres macht, und in England ist es umgekehrt das Meer, „das gegen den Mond gravitirt, so daß, wenn die Pariser von „dem Monde eben Hochwasser verlangen, die Herren in London „zu derselben Zeit ihre Ebbe haben wollen. Unglücklicher Weise „läßt sich dieser Streit nur von dem entscheiden, der bei der „Schöpfung des Mondes gegenwärtig gewesen ist und eben in „diesem Augenblicke die erste Fluth unserer Meere beobachtet hat. „Bemerken wir noch, daß die Sonne, die in Frankreich mit der „Ebbe nichts zu thun hat, hier im Gegentheile den vierten Theil „der ganzen Arbeit übernehmen muß. Bei Euch Cartesianern „geschieht alles durch den Druck, was uns andern nicht recht „klar werden will; bei den Newtonianern aber wird alles durch „den Zug verrichtet, was aber nicht viel deutlicher ist. In Paris „endlich malt man uns die Erde an ihren Polen länglich, wie „ein Ei, und in London ist sie abgeplattet, wie eine Melone."

Dieser Autor selbst war es, wie wir schon gesagt haben, der vorzüglich zur Verbreitung von Newton's Lehre in Frankreich beitrug. Der Kanzler D'Aguesseaux, ein Cartesianer, hatte ihm zuerst die Erlaubniß versagt, seine „Elements de la

---

und so arm, daß er kaum begraben werden konnte. Sein vorzüglichstes astronomisches Werk ist: Mémoire sur les decouvertes au Nord de la mer du Sud, Paris 1752. L.

„philosophie de Newton“ drucken zu lassen. Als es aber doch einige Jahre später im Jahr 1738, in Begleitung einiger anderer seiner Schriften über denselben Gegenstand, erschien, stürzte das ganze Gebäude des Cartesianismus, das ohnehin schon ohne Halt und Stütze war, in seine Trümmer und verschwand bis auf seine letzten Spuren. Das erste Memoir in den Gedenkschriften der Pariser Akademie, in welcher die Lehre von den Centralkräften auf das Sonnensystem angewendet wird, ist von dem Chevalier de Louville [22]) im Jahr 1720, und trägt die Aufschrift: „Ueber die Konstruktion und Theorie der Sonnentafeln.“ Allein in dieser Schrift wird die Erklärung der Bewegung der Planeten, durch einen ursprünglichen Stoß in Verbindung mit der immerwährenden Anziehung der Sonne, dem Kepler, nicht dem Newton zugeschrieben. Das erste französische Memoir, das sich auf die allgemeine Gravitation der Materie bezieht, hat Maupertuis im Jahr 1736 geliefert. Uebrigens war Newton während jener langen Zeit in Frankreich weder unbekannt, noch ungeachtet. Im Jahre 1699 wurde er unter die damals sehr kleine Zahl der auswärtigen Mitglieder der Pariser Akademie der Wissenschaften aufgenommen. Selbst Fontenelle, der, wie gesagt, Newton's Lehre nie angenommen hat, sprach doch in der Eloge, die er bei Gelegenheit von Newton's Tod verfaßte, auf eine sehr würdige Art von dem großen Manne. Die folgende Stelle bezieht sich, wenn ich nicht irre, auf Newton. In der „Geschichte der Akademie,“ die den Memoiren dieser Gesellschaft immer vorgedruckt wird, und die das Geschäft des Sekretärs dieser Akademie ist, sagt er [23]) bei Gelegenheit der Schwierigkeiten, welche die Cartesische Theorie in der Bewegung der Kometen darbietet: „Man könnte sich mit

---

22) Louville (Jacque Chevalier de), geb. 1671 in Frankreich, trat früh in Militärdienste, und erhielt im Utrechter Frieden 1713 eine Pension von 4000 Livres, mit der er von nun an gänzlich der Astronomie lebte. Bald darauf wurde er Mitglied der P. Akademie, und lebte die übrigen Jahre auf seiner Privatsternwarte bei Orleans, wo er auch 1732 starb. Nebst seinen Aufsätzen in den Memoiren der Par. Akademie haben wir von ihm: Nouvelles Tables du soleil, 1720; Méthode de calculer les éclipses, 1724; Questions sur la force vive, 1729, u. f. L.

23) Hist. de l'Acad. de Paris. 1708. S. 103.

„eins von allen diesen Hindernissen befreien, wenn man, wie „dies schon von einem der größten Geister unserer Zeit in der „That geschehen ist, alle diese in's Unendliche ausgedehnte flüssige „Materie, die wir gewöhnlich zwischen den Planeten angenom- „men haben, gänzlich unterdrücken und dafür diese Himmels- „körper als in freien Welträumen schwebend annehmen wollte."

Die Kometen waren also, wie diese Stelle zeigt, eine Art von Artillerie, der das berüchtigte Plenum des Cartesius nicht widerstehen konnte. Als man nämlich sah, daß die Pfade dieser himmlischen Wanderer jene Wirbel nach allen Richtungen willkührlich 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. Diese auffallenden Erscheinungen der Kometen, so wie mehrere andere, gaben bald zu strengeren und allgemeineren Untersuchungen Anlaß zwischen den beiden einander feindlich gegenüberstehenden Theilen, und endlich konnte das anfängliche Uebergewicht der Cartesianischen Hypothese den Fortgang des wahren Systems nicht länger aufhalten. In manchen Fällen war jene Hypothese in der That Ursache, daß die Wahrheit nur eine verspätete Aufnahme erhielt, wie z. B. in der Untersuchung über die Abweichung der Kometen von der allen Planeten gemeinschaftlichen Bahn des Zodiakus, so wie auch, als Römer aus den Beobachtungen erkannte, daß das Licht sich nicht augenblicklich fortpflanzt, wie man bisher geglaubt hatte. Aber alle diese Umstände und Hindernisse beförderten doch die astronomischen Beobachtungen und die Berechnungen derselben, die beide immer häufiger und genauer wurden, und eben dadurch wurde auch die Bestätigung und die immer weitere Ausdehnung der Newtonischen Theorie erhalten. Von diesem Fortgange der neuen Lehren wollen wir nun einige wesentliche Theile derselben besonders betrachten.

Viertes Kapitel.

Fortsetzung der Folgen der Epoche Newton's. Verifikation und Vollendung seiner Theorie.

Erster Abschnitt.

Eintheilung des Gegenstandes.

Die Verifikation des Gesetzes der allgemeinen Gravitation, des leitenden Prinzips aller kosmischen Erscheinungen, führte, wie wir bereits gesagt haben, zu einer großen Anzahl von Untersuchungen, die meistens alle sehr umständlich und mit vielen Schwierigkeiten verbunden waren. Wir wollen dieselben jetzt, in verschiedenen Abtheilungen, näher betrachten, nämlich in den nun folgenden Abschnitten von dem Monde, der Sonne, den Planeten, den Satelliten und den Kometen. Auch wollen wir, in einem besondern Abschnitte, die sekulären Ungleichheiten der Planeten besprechen, da sie, auf den ersten Blick wenigstens, einen von den übrigen Veränderungen verschiedenen Charakter an sich tragen. Endlich wollen wir auch noch den Einfluß jenes allgemeinen Prinzips auf die Erde, auf ihre Gestalt, auf die wahre Größe der irdischen Schwere und auf die Erscheinungen der Ebbe und Fluth näher kennen lernen. Jeder der so eben aufgezählten Gegenstände hat seinen Theil zu der völligen Bestätigung jenes allgemeinen Gesetzes beigetragen, aber bei jedem derselben hatte auch diese Bestätigung ihre eigenthümliche Schwierigkeiten, also auch gleichsam ihre eigene Geschichte. Doch soll unser Entwurf dieser Geschichte nur kurz sein, da unsere Absicht dabei blos die Darstellung der Art und des Verlaufs der Verifikation ist, die eine solche Theorie verlangt und auch in der That erhalten hat.

Aus diesem Grunde müssen wir auch manche Ereignisse dieser Periode mit Stillschweigen übergehen, obschon sie, in einer eigentlichen Geschichte der Astronomie, von hoher Wichtigkeit sein mögen. Für uns und unsere Leser aber haben sie viel von ihrem Interesse verloren, weil sie zu der schon aus dem Vorhergehenden bekannten Klasse von Wahrheiten gehören, die in anderen, höheren Wahrheiten enthalten sind. Auf diese letzten aber müssen unsere Augen vorzugsweise gerichtet sein. So ist z. B. die Entdeckung der neuen Satelliten und Planeten nur eine Wiederholung dessen, was bereits Galilei gethan hat, und eben so kann auch die Bestimmung ihrer Knoten- und Apsidenlinien, so wie die Reduktion ihrer Bewegungen auf die Ellipse, nur als ein weiteres Beispiel zu den Entdeckungen Keplers betrachtet werden. Wollte man diese und ähnliche Gegenstände nicht aus dem hier angegebenen Gesichtspunkte betrachten, so würde die Construktion der Satellitentafeln für Jupiter und Saturn, die Entdeckung der Excentricität dieser Mondenbahnen, und die Bewegungen ihrer Knoten und Apsiden von Cassini, Halley und anderen, jenen früheren großen Ereignissen in der Geschichte der Astronomie mit Recht an die Seite gestellt werden können. Newton's eigentliches Verdienst um die Verbesserung der astronomischen Tafeln besteht darin, daß er die Bahn zu der Bestimmung der Perturbationen der himmlischen Körper gebrochen hat, und diese sind es, die wir nun nach der Reihe näher betrachten wollen.

Zweiter Abschnitt.

Anwendung von Newton's Theorie auf den Mond.

Zuerst wollen wir von den verschiedenen Bewegungen des Mondes sprechen, da sie uns zunächst angehen und da sie auch in der That den Haupttheil der Anwendung der Newton'schen Theorie auf die himmlischen Körper bilden. Die eigentliche Verifikation einer solchen Theorie besteht, wie wir schon oben in mehreren ähnlichen Fällen gesehen haben, in den auf die Theorie erbauten Tafeln, und in der Vergleichung dieser Tafeln mit den Beobachtungen.

Schon der rasche Fortschritt, den die Astronomie in dieser Periode ihrer Vollendung entgegen gemacht hat, würde ein hinreichender Grund für die willige Uebernahme aller der mühsamen Arbeiten gewesen sein, welche diese Tafeln des Mondes erforderten. Aber es fand sich bald noch eine andere Ursache, die das Bedürfniß solcher Tafeln sehr dringend machte. — Eine vollkommene Theorie des Mondes, wenn eine solche überhaupt möglich ist, gab zugleich das beste Mittel an die Hand, die geographische Länge zur See zu bestimmen. Dadurch wurde dieser schon von seiner theoretischen Seite so interessante Gegenstand auch zugleich in praktischer Hinsicht von der größten Wichtigkeit für die Schifffahrt sowohl, als auch für die Geographie im Allgemeinen. Schon früher hatten ganze Nationen und ihre Fürsten große Belohnungen auf die Entdeckung einer sichern Methode dieser Längenbestimmungen gesetzt. Die Holländer, deren Schifffahrt damals in der höchsten Blüthe war, suchten den berühmten Galilei zu dieser Entdeckung durch das Anerbieten einer kostbaren goldenen Ehrenkette zu reizen. Philip III. von Spanien hatte früher noch eine bedeutendere Belohnung zu demselben Zwecke zugesagt [1]). Das Parlament von England setzte im Jahr 1714 einen Preis von 20,000 L. und zwei Jahre später der Herzog von Orleans, Regent von Frankreich, 100,000 Franken auf diese Entdeckung. Diese hohen Preise, und gewiß nicht minder der damit verbundene Ruhm hatte während der ersten Hälfte des achtzehnten Jahrhunderts die Augen aller Mathematiker und Astronomen auf diesen Gegenstand gerichtet.

Wenn die Mondstafeln so genau sind, daß man durch sie für jede gegebene Zeit den Ort des Mondes am Himmel mit derselben Genauigkeit finden kann, mit welcher er durch die unmittelbaren Beobachtungen auf einer Sternwarte erhalten wird, so wird, mit Hülfe einer solchen Tafel, jeder Beobachter des Mondes auf irgend einem Orte der Erde im Stande sein, die Länge dieses Ortes sofort zu erhalten. Allein alle bis dahin entworfenen Tafeln des Mondes stimmten mit den Beobachtungen so wenig überein, daß dadurch der Zweck, den man durch diese Mondstafeln erreichen wollte, gänzlich unerreichbar wurde. Newton hatte den eigentlichen Grund dieses Mangels an Uebereinstimmung aufgefunden. Er hatte gezeigt, daß dieselbe Kraft der Sonne, welche die Evection, die Variation und die jährliche Gleichung erzeugt, auch noch eine große Anzahl anderer Ungleichheiten hervorbringt, Ungleichheiten von verschiedener Größe, und von den mannigfaltigsten Perioden, durch welche der Mond immerwährend von demjenigen Orte des Himmels entfernt wird, den er nach jenen früheren Tafeln, die auf diese neuen Ungleichheiten keine Rücksicht nahmen, einnehmen sollte. Allein die nähere Kenntniß, die eigentliche Berechnung dieser neuen Stö-

1) M. s. Delambre's Astr. Moyen Age. I. 39. 66.

rungen war eine mit sehr vielen Schwierigkeiten verbundene Aufgabe.

In der ersten Ausgabe der Prinzipien von d. J. 1687 theilte Newton keine Berechnungen dieser neuen Ungleichheiten des Mondes mit. Aber in David Gregory's „Elementen der physischen „und geometrischen Astronomie," die i. J. 1702 herauskam, findet man (S. 332) ein Kapitel mit der Ueberschrift: „Newton's Mondstheorie, von ihm selbst auf die Beobachtungen angewendet," und hier gibt Newton die Resultate von acht Störungsgleichungen des Mondes mit ihrer Größe, ihren Epochen und mit ihren Perioden. Diese Berechnungen waren für eine längere Zeit die Basis von den neuen Mondstafeln, die von verschiedenen Astronomen entworfen wurden [2]), wie von de l'Isle i. J. 1715; von Grammatici zu Ingolstadt 1726, von Wright 1732, von Angelo Capelli in Venedig 1733, und von Dunthorn in Cambridge 1739.

Wir haben oben gesehen, wie besorgt Newton selbst gewesen ist, seine Tafeln mit Flamsteed's Beobachtungen in Uebereinstimmung zu bringen, und wie eifrig er den Verzug in der Bekanntmachung dieser Beobachtungen bedauerte und bekämpfte. Flamsteed hatte selbst solche Mondstafeln nach der Theorie des Horrox i. J. 1681 gegeben, und er wünschte sie noch mehr verbessern zu können, obschon er, wie bereits erwähnt, Newton's Theorie nach ihrer ganzen Ausdehnung nicht annehmen konnte oder wollte. Newton theilte diesem Astronomen seine Theorie auf die Weise mit, wie dieser sie verstehen und anwenden konnte [3]), und Flamsteed bediente sich auch dieser Anleitung in der Konstruktion seiner neuen Mondstafeln, die er „seine Theorie" zu nennen beliebte [4]). Aber diese Tafeln wurden erst lange nach Flamsteed's Tod von Lemonnier [5]) in Paris i. J. 1746 heraus-

---

2) M. s. Lalande Astron. II. Aufl. §. 1457.

3) Account of Flamsteed. S. 72.

4) Ibid. S. 211.

5) Lemonnier (Pierre Charles), geb. 1715 zu Paris, wandte sich, von seinem Vater geleitet, früh der Astronomie zu, wie er denn schon in seinem 16ten Jahre eine Opposition Saturns beobachtete. In seinem 21sten Jahre trat er in die Akademie. Die Jahre 1736 und 1737 brachte er mit Clairaut und Maupertuis in Tornea, bei der großen nördlichen

gegeben. Sie sollen, wie Lalande [6]) sagt, nicht sehr von Halley's Tafeln verschieden sein. Diese Halley'schen Tafeln wurden i. J. 1719 gedruckt, aber ebenfalls erst nach ihres Verfassers Tod i. J. 1749 bekannt gemacht. Sie waren auf Flamsteed's und auf seine eigenen Beobachtungen gegründet. Als Halley i. J. 1720 dem Flamsteed als k. Astronom zu Greenwich folgte, wurden ihm dadurch die Mittel gegeben, alle seine früheren Arbeiten zu verbessern, und er begann seine Publikationen mit dem, was er bisher vollendet hatte.

Früher schon hatte Halley eine Methode zur Verbesserung der Mondstafeln vorgeschlagen, die von der Newton'schen gänzlich verschieden war und von vielem Scharfsinn zeugte. Sein Vorschlag war auf den bereits oben (Vol. I. S. 127) erwähnten Cyklus von 223 Lunationen oder von 18 Sonnenjahren und 11 Tagen gegründet. Diese Periode, der sogenannten Saros der Chaldäer, wurde in den alten Zeiten zur Vorhersagung der Finsternisse gebraucht, da diese Phänomene mit jeder dieser Perioden regelmäßig wieder auf dieselben Tage fallen sollten, weil an diesen Tagen der Mond wieder nahe in derselben Lage gegen die Sonne, gegen die Knoten und gegen sein Apogeum ist. Halley war der Ansicht, daß auch alle Ungleichheiten des Mondes in derselben Periode genau wieder kommen müssen, und daß daher, wenn dieselben einmal durch unmittelbare Beobachtungen für eine dieser Perioden bestimmt sind, sie auch für alle anderen Perioden gelten werden. Er hatte diese Idee gefaßt, noch ehe er mit den Ansichten Newton's, seines Lehrers und Freundes, bekannt geworden war [7]). Als später die Mondstheorie in Newton's Prinzipien erschien, konnte er seine frühere Meinung nicht anders als bestätigt sehen, da

---

Gradmessung in Lappland, zu. Von ihm ist der große Meridian in der Kirche zu St. Sulpice in Paris und der zu Bellevue, wofür er vom König 15000 Franks erhielt. Er war der Astronomie leidenschaftlich zugethan. Wir haben von ihm einen Katalog der Zodiakalsterne und eine Karte des Thierkreises. Seine Tochter wurde an Lagrange vermählt. Er starb am 20. April 1799. Seine verbesserte Uebersetzung des astronomischen Lehrbuchs von Keil „Institutions astronomiques," Par. 1746, stand lange Zeit in großem Ansehen. Seine übrigen Schriften sind in den Memoiren der Pariser Akademie vertheilt. L.

6) Lalande, Astron. §. 1459.

7) M. s. Philos. Transact. 1731. S. 188.

die Ungleichheiten des Mondes, die aus der Anziehung der Sonne entspringen, von der Position des Mondes gegen die Sonne, gegen sein Apogeum und gegen die Knoten seiner Bahn abhängen, so daß also diese Ungleichheiten, so zahlreich sie auch übrigens sein mögen, mit diesen Positionen periodisch wiederkehren werden.

Halley kündigte i. J. 1691 [8]) seine Absicht an, diese seine Idee auf praktischem Wege zu verfolgen. Er that dieß in einem Memoir, in welchem er den Text von drei Stellen des älteren Plinius verbessert, wo jener Chaldäischen Periode erwähnt wird, daher sie auch zuweilen die Periode des Plinius genannt worden ist. Im Jahre 1710 berichtet er in seiner Vorrede zu der neuen Auflage der Carolinischen Tafeln von Street, daß er seine Idee bereits großentheils bestätigt gefunden habe [9]). Selbst nachdem die Newton'sche Theorie schon vollständiger auf die Mondstafeln angewendet war, fuhr er noch immer fort, seinen Cyklus zu gebrauchen, den er auch jetzt noch als ein Mittel ansah, den Gegenstand mit Sicherheit weiter zu verbessern. Als er i. J. 1720 auf die Sternwarte zu Greenwich gelangte, mußte er die Fortsetzung dieses Unternehmens aufgeben, weil sich gefunden hatte, daß die Instrumente dieser Sternwarte ein Eigenthum Flamsteed's gewesen sind, wie diese denn auch von seinen Verwandten zu sich genommen wurden. „Mir war dies," sagt er, „um so schmerz„licher, da ich schon in einem sehr vorgerückten Alter, in meinem „vierundsechszigsten Jahre war, und demnach keine Hoffnung „hatte, noch so lange zu leben, um noch eine ganze Periode von „achtzehn Jahren beobachten zu können. Aber dem Himmel sei „gedankt, der mir bis heute (1731) Gesundheit und Kraft genug „verliehen hat, um dieses mein Geschäft in allen seinen Theilen „selbst, mit meinen eigenen Augen und Händen, zu Ende zu „bringen, und ohne Unterbrechung, so wie ohne einen Gehülfen „durch eine ganze Periode des Mondapogeums, d. h. in etwas „weniger als neun Jahren, rüstig fortarbeiten zu können." — Er fand die gehoffte Uebereinstimmung auf eine in der That merkwürdige Weise bestätigt, und er nährte daher die Aussicht, das gewünschte Längenproblem auf diesem Wege glücklich zu lösen.

8) Phil. Transact. 1691. S. 536.

9) Phil. Transact. 1731. S. 187.

Auch gab er seine Arbeiten über diesen Gegenstand nicht auf, bis er die vollen achtzehn Jahre seiner Chaldäischen Periode daran gewendet hatte.

Die Genauigkeit, die Halley auf diesem Wege in der Bestimmung der Mondslänge erreichte, soll, wie er selbst [10]) sagt, zwei Raumminuten oder den fünfzehnten Theil des Durchmessers des Mondes betragen haben. Allein diejenige Genauigkeit, die man für den oben erwähnten Nationalpreis in England forderte, war beträchtlich größer. — Lemonnier verfolgte diese Idee Halley's noch einige Zeit [11]), allein noch ehe man mit der Unternehmung zu Ende kam, wurde diese Methode durch andere, direktere Angriffe des Gegenstandes entbehrlich gemacht und fortan auch als überflüssig zur Seite gelegt.

Wir haben bereits in der Geschichte der analytischen Mechanik bemerklich gemacht, daß die Mondstheorie, als ein specieller Fall des großen „Problems der drei Körper" betrachtet, so lange keine weiteren Fortschritte über das, was Newton geleistet hatte, machen konnte, als man die synthetischen Methoden Newton's beibehielt, ohne sich der seitdem neu entwickelten mathematischen Analyse zu bedienen. Der erste Mangel an Uebereinstimmung, den man zwischen dem Gesetze der allgemeinen Gravitation und den Beobachtungen gefunden haben wollte, betraf die Bewegung des Apogeums der Mondsbahn, die Clairaut, wie wir oben erzählt haben, um die Hälfte zu klein gefunden hatte. Allein Clairaut selbst hatte späterhin (i. J. 1750) seinen Fehler entdeckt, der darin bestand, daß er die Approximationen seines Calculs nicht weit genug getrieben hatte. Er wollte sich, um sich aus der Verlegenheit zu retten, schon entschließen, an jenes Gesetz eine Modifikation anzubringen, bis er endlich bei einer näheren Untersuchung des Gegenstandes fand, daß das Gesetz in der einfachen Gestalt, wie es Newton aufgestellt hatte, den Beobachtungen vollkommen genüge. — Was nun die Mondstheorie betrifft, so versuchte zuerst Euler [12]) dieses schwere Problem i. J. 1745 durch die Macht

10) Philos. Transact. 1731. S. 195.
11) Bailly, Ast. du Moyen Age. S. 131.
12) M. s. Lalande, Astron. §. 1460.

seiner Analysis zu lösen [13]). Seine auf diese Lösung gegründeten Mondstafeln erschienen in dem folgenden Jahre 1746. Diese

---

13) Euler (Leonhard), einer der größten Mathematiker, wurde am 15. April 1707 zu Basel geboren. Sein Vater, Paul, reformirter Prediger des benachbarten Dorfes Riechen, unterrichtete selbst seinen Sohn, den er übrigens für den geistlichen Stand bestimmen wollte, in den ersten Elementen der Mathematik, worauf er an die Universität von Basel geschickt wurde, wo er Joh. Bernoulli zum Professor erhielt. In seinem 19ten Jahre beantwortete er die Preisfrage der P. Akademie über die Leitung der Schiffe. Seine Schrift wurde mit Beifall aufgenommen, aber den Preis erhielt Bouguer. Als bald darauf Daniel Bernoulli Petersburg wieder verließ, wurde Euler von Katharina I. i. J. 1733 an die Akademie dieser Hauptstadt berufen, deren Memoiren von 1729 bis 1732 schon sehr wichtige Aufsätze von ihm enthielten. Drei Jahre später erschien seine Mechanik, Petersburg 1736, II. Vol. 4to, zugleich mit seiner Theorie der Musik, seiner Arithmetik und zahlreiche Abhandlungen in den Memoiren dieser Akademie. Nach dem Fall des Ministers Biren nahm er, der bisherigen politischen Umtriebe müde, die Einladung Friedrichs II. von Preußen an und wurde 1741 Präsident der Berliner Akademie. Hieher brachte er auch 1750 seine verwittwete Mutter, die bis an ihren Tod 1761 bei ihm lebte. Durch seine angestrengten Nachtwachen hatte er schon 1735 ein Auge verloren, und 1766 erblindete auch das andere. Dadurch wurde aber seine wundervolle literarische Fruchtbarkeit nicht aufgehalten, indem er seine weiteren sehr zahlreichen Arbeiten einem der Mathematik nicht ganz unkundigen Bedienten diktirte. In demselben Jahre 1766 ging er auf Katharina's II. Ruf wieder nach Petersburg zurück, wo 1771 sein Haus abbraunte und wo auch er von den Flammen verzehrt worden wäre, wenn den alten blinden Mann nicht ein Fremder gerettet. Am 7. September 1783 hatte er vor Tische noch die Bewegungen eines Luftballons berechnet, und über Mittag mit Lexell über den neuentdeckten Planeten Venus sehr heiter gesprochen. Nach Tische spielte er, gemüthlich seine Pfeife rauchend, mit seinen Enkeln, als er plötzlich vom Stuhle fiel und starb.

Er war zweimal verheirathet und hinterließ viel Kinder und noch mehrere Enkel. Ein Verzeichniß seiner sämmtlichen Schriften findet man in seiner Biographie von Fuß. Condorcet schrieb sein Eloge in den P. Memoiren. Seine Verdienste um alle Theile der Mathematik sind wahrhaft unzählig. Sein vorzüglichstes Geschäft und gleichsam der Zweck seines Lebens war die Vervollkommnung der mathematischen Analysis, dieses wichtigsten aller Instrumente bei unseren wissenschaftlichen Untersuchungen. Hieher gehört besonders seine Ein-

Tafeln stimmten anfänglich nicht sehr gut mit den Beobachtungen überein, wie man aus Bradley's Korrespondenz sieht, aber Euler, d'Alembert und Clairaut fuhren fort, den Gegenstand weiter zu bearbeiten, und i. J. 1754 erschienen von den beiden letzten neue Mondstafeln[14]), die schon bedeutend besser mit dem Himmel übereinstimmten. Endlich verglich Tobias Mayer[15]),

---

führung eines sehr vervollkommneten Gebrauchs der trigonometrischen Funktionen und der unendlichen Reihen. Er erweiterte mehr als irgend ein anderer das Gebieth der Mathematik und gab ihr, durch seine Zurückführung der Geometrie auf Analyse, eine neue Gestalt. Eben so ausgezeichnet war er durch seine Klarheit des Vortrags, indem er, selbst bei den schwersten Untersuchungen, sich bis zur Fassungskraft eines Kindes herablassen konnte. Am wunderbarsten aber erscheint er durch die außerordentliche Fruchtbarkeit seines Geistes, mit der er, während seines langen Lebens vom 20sten bis zu seinem 76sten Jahre alle Memoiren und gelehrten Journale seiner Zeit mit seinen Arbeiten erfüllte, und selbst bei seinem Tode noch der Akademie von Petersburg mehrere Kisten mit den trefflichsten mathematischen Aufsätzen hinterließ, die bis zu dem Jahre 1830 noch jeden Band ihrer Arbeiten zierten. Die vorzüglichsten seiner größeren Werke sind:

Briefe an eine deutsche Prinzessin (von Anhalt-Dessau). 1768. III. Vol., franz. von Labey, Paris 1812, und deutsch von Kries, Leipzig 1792. — Theoria motuum planetarum et cometarum. Berlin 1744, deutsch von Pacassi, Wien 1781. — Introductio in analysin infinitorum, II Vol. Lausanne 1748, deutsch von Michelsen 3 Vol. Berlin 1785. — Institutiones calculi differentiales II Vol. Berlin 1755, deutsch von Michelsen, Berlin 1790. — Institutiones calculi integralis III Vol. Petersb. IV Vol. 1792. — Anleitung zur Algebra, II Vol. Petersb. 1770, deutsch von Ebert, Berlin 1801. — Dioptrica III Vol. Petersb. 1769. — Mechanica seu motus scientia, II Vol. 1736. — Theoria motus corporum solidorum 1765. — Scientia navalis 1749; Theoria motus lunae 1753. — Theoria motuum lunae 1772. L.

14) M. s. Lalande, Astron. §. 1460.

15) Mayer (Joh. Tobias), ein berühmter Astronom, geb. zu Marbach in Würtemberg am 17. Febr. 1723. In Dürftigkeit erzogen, bildete er sich durch Privatfleiß selbst zum Mathematiker aus. Nachdem er längere Zeit in der Homannischen Karten-Offizin zu Nürnberg gearbeitet hatte, erhielt er durch seine Verdienste 1750 den Ruf als Professor der Mathematik in Göttingen. Hier beschäftigte er sich mit astronomischen Beobachtungen und vorzüglich mit der Verbesserung der Mondstheorie, der Meßinstrumente durch Einführung des Prinzips der

Astronom von Göttingen, die Euler'schen Tafeln mit den Beobachtungen, und korrigirte dadurch die ersten so glücklich, daß die in dem Jahr 1753 von ihm herausgegebenen Tafeln jene Genauigkeit in der That besaßen, die sich Halley mit den seinigen erreicht zu haben blos geschmeichelt hatte. Das Gelingen seines ersten Versuchs munterte ihn zu noch weitern Verbesserungen seiner Tafeln auf. Er verlegte sich nun selbst auf die analytische Theorie derselben, korrigirte die durch diese Theorie erhaltenen Coeffizienten aller Gleichungen durch die Beobachtungen, und sendete endlich, im Jahr 1755, seine neuen Tafeln nach London, um auf den daselbst ausgesetzten großen Preis Anspruch zu machen. Er starb bald darauf (im Jahr 1762), erschöpft von seinen vielen Arbeiten, in dem frühen Alter von neununddreißig Jahren, und seine Wittwe schickte neuerdings seine Tafeln mit nachträglichen Verbesserungen in die Hauptstadt des englischen Reichs. Hier wurden sie an Bradley, den k. Astronomen, mit dem Auftrage übergeben, sie mit den Beobachtungen zu vergleichen. Bradley beschäftigte sich mit dieser Arbeit lange und eifrig, da er selbst früher die Hoffnung gehegt hatte, das Längenproblem auf diesem Wege zu lösen. Er und sein Gehülfe, Gael Morris, brachten noch einige Verbesserungen an Mayer's Tafeln an, und in seinem ämtlichen Berichte darüber vom Jahre 1756 sagt er [16]), daß er keinen Fehler der Tafeln größer als 75 Raumsekunden finde. Im Jahre 1760 setzte er hinzu, daß diese Abweichung der Tafeln von den Beobachtungen, durch seine weitern Korrektionen der ersten, noch beträchtlich kleiner geworden sind. Diese Arbeiten Bradley's waren aber sehr mühsam, da dazu 1220 Mondsbeobachtungen und eben so viele lange Berechnungen mit den Tafeln erfordert wurden. Endlich fand man die Mayer'schen Tafeln

---

Multiplikation, und mit der Theorie der Refraktion. Seine vorzüglichsten Werke sind: Theoria Lunae, Lond. 1767. — Tabulae motuum solis et lunae, Lond. 1770. — Opera inedita, von Lichtenberg nach M. Tod besorgt, Götting. 1774. Er starb am 20. Febr. 1762, zu Göttingen. Sein Sohn, Joh. Tob. Mayer, geb. 1752 und gest. 1830, war ebenfalls Professor in Göttingen und ist besonders durch seinen „Unterricht in der praktischen Geometrie," V. Vol., Göttingen 1814, vortheilhaft bekannt geworden. L.

16) M. s. Bradley's Memoir, S. 98.

berechtigt, einen Theil jenes von dem Parlamente ausgesetzten Preises anzusprechen. Sie wurden im Jahr 1770 gedruckt, und Mayer's Wittwe erhielt, acht Jahre nach dem Tode ihres Gatten, 3000 L. oder nahe den sechsten Theil der zugesagten Nationalbelohnung. Zu derselben Zeit erhielt auch Euler, dessen Tafeln den Mayer'schen zu Grunde lagen und sie eigentlich veranlaßt hatten, denselben Betrag als Würdigung seiner Verdienste.

Diese öffentliche, nationelle Anerkennung der praktischen Genauigkeit jener Tafeln darf mit Recht als eine weitere, feierliche Bestätigung der Newton'schen Theorie betrachtet werden, so weit nämlich die Wahrheit vor dem Gerichtsstuhl von Männern entschieden werden kann, die unter der höchsten ämtlichen Verantwortlichkeit ihr Urtheil abzugeben haben, und deren Aussprüche durch die Weisesten und Gelehrtesten des Landes geleitet und bestimmt werden sollen. Diese endliche Auflösung des Problems der Meereslänge ist zugleich das Siegel der Lehre von der Gravitation des Mondes gegen die Erde und gegen die Sonne gewesen, und mit ihr endet daher auch unsere Geschichtserzählung von der Theorie dieses unseres Satelliten, da wir auf die verschiedenen Verbesserungen, welche diese Theorie seitdem von mehreren Seiten erhalten hat, als außer unserem Zwecke liegend, nicht weiter eingehen wollen.

Dritter Abschnitt.

Anwendung der neuen Theorie auf die Planeten, auf die Satelliten derselben und auf unsere Erde.

Die Theorie der Planeten und ihrer Satelliten, so weit sie in Folge des Gesetzes der allgemeinen Gravitation ihrer gegenseitigen Störungen oder Perturbationen unterliegen, mußte ihrer Natur nach, bald nach der Bekanntmachung dieses Gesetzes, die Aufmerksamkeit der Geometer auf sich ziehen. Einige dieser Störungen hatten sich schon sehr frühe durch die Beobachtungen bemerklich gemacht. Die große Ungleichheit, die aus der gegenseitigen Attraction der zwei größten Planeten unsres Sonnensystems, Jupiters und Saturns, entsteht, konnte von keinem guten Beobachter zu Newton's Zeiten mehr übersehen werden. In der Vorrede zur zweiten Ausgabe der Prinzipien bemerkt Cotes (S. 21) bereits, daß die großen Perturbationen Jupiters und

Saturns den Astronomen bekannt seien. In Halley's Planetentafeln wird ebenfalls gesagt, daß man zwischen diesen beiden Planeten sehr große Anomalien in ihren Bewegungen bemerkt, und daß dieselben ihrer gegenseitigen Attraction zugeschrieben werden. Allein die nähere Bestimmung dieser Anomalien wurde den Nachfolgern überlassen.

Eine der zuerst bemerkten Wirkungen dieser gegenseitigen Perturbationen der Planeten war die Bewegung der Ebene ihrer Bahnen und die ihrer Apsidenlinien. Im Jahre 1706 verglichen Lahire [17]) und Maraldi ihre Beobachtungen Jupiters mit den Rudolphinischen Tafeln und mit jenen des Bullialdus, und sie fanden das Aphelium der Jupitersbahn weiter vor, die Knoten

---

17) Lahire (Philipp), geb. 1640 zu Paris, hatte sich anfangs der Malerei, von seinem zwanzigsten Jahre an aber der Mathematik gewidmet, und wurde 1678 Mitglied der P. Akademie. Er beschäftigte sich wie Picard, lange mit der großen Vermessung und der Generalkarte von Frankreich, wie er sich denn überhaupt viele Verdienste um die Geographie seines Vaterlandes erwarb. Er war Professor der Mathematik und der Architektur zu Paris, war allgemein als ein vielseitig gebildeter Mann geschätzt, und starb am 21. April 1719. Seine vorzüglichsten Schriften sind: Nouvelle méthode de géometrie. Par. 1673; De cycloide opusculum, 1676. — Elémens des sections coniques, 1679. — Gnomonique, 1682. — Sectiones conicae, 1685 in Fol. — Tabulae astronomicae, 1702. — Ecole des arpenteurs, 1689. — Traité de mécanique, 1675, nebst vielen Aufsätzen in den Mem. der Par. Akademie.

Maraldi (Jos. Philipp), ein berühmter Astronom, geb. 1665 in Nizza, ein Neffe von D. Cassini, mit dem er auch an die Sternwarte in Paris zog. Im Jahre 1706 wurde er Mitglied der Akademie, und beschäftigte sich seitdem besonders mit der großen französischen Gradvermessung. Sein großer Fixsternkatalog, den er aus eigenen Beobachtungen sammelte, blieb unvollendet, da er seit seiner Jugendzeit durch seinen immer kränkelnden Körper zu sehr in seinen Arbeiten gestört wurde. Er starb 1. Dez. 1729. Die meisten seiner Aufsätze sind in den Mem. der Par. Akademie enthalten. — Sein Neffe, Johann Dominik, geb. 1709, ihm im Jahr 1731 als Astronom adjungirt, war einer der thätigsten Mitarbeiter der großen Cassini'schen Karte von Frankreich. Er gab den Coelum australe von Lacaille heraus und beschäftigte sich besonders mit den Beobachtungen der Finsternisse der Jupitersmonde. Auch seine Aufsätze finden sich größtentheils in den Mem. der Par. Akad. gesammelt. Er starb 1810. L.

derselben aber zurück gerückt. Im Jahre 1728 fand auch J. Cassini, daß das Aphelium der Saturnsbahn nach der Ordnung der himmlischen Zeichen vorwärts gegangen sei. Als im Jahr 1720 Louville in seinen Sonnentafeln die Bewegung des Apheliums der Erde nicht aufnehmen wollte, wurde dies von Fontenelle als eine übel angebrachte Bedenklichkeit erklärt, da doch aus den Beobachtungen des Merkurs ganz gewiß die Bewegung des Apheliums dieses Planeten über alle Zweifel erhaben sei. Die Astronomen jener Zeit schienen das althergebrachte Sträuben gegen alle Veränderungen und Unregelmäßigkeiten am Himmel noch nicht ganz überwunden zu haben. Wo man immer eine auch nur genäherte oder scheinbare Beständigkeit fand, wollte man sie auch sogleich für ganz genau und für absolut nothwendig erklären. So nahmen sie z. B. bei den Satelliten Jupiters jede solche Ungleichheit, selbst die Excentricität ihrer elliptischen Bahnen, nur mit Widerwillen auf, und noch weniger wollten sie sich die Bewegungen der Knoten, der Neigungen und der Apsiden dieser Satellitenbahnen gefallen lassen. Aber diese blos imaginäre Unveränderlichkeit und Gleichförmigkeit, auf die man früher so fest gehalten hatte, verschwand immer mehr, je weiter die Beobachtungskunst und die mathematische Theorie vorrückte. Schon im Jahr 1732, wo Maraldi die Veränderlichkeit der Neigung der Bahn des vierten Jupitersatelliten entdeckte, bemerkte Fontenelle, daß sehr wahrscheinlich alle Elemente veränderlich sein werden. „Sehn wir doch," setzt er hinzu, „die früher geglaubte „Beständigkeit in der Neigung der drei ersten Satelliten bereits „sehr erschüttert, so wie die Excentricität in der Bahn des zwei„ten dieser vier Monde. Noch scheint sich die Unbeweglichkeit „der Knotenlinien einigermaßen erhalten zu wollen, aber es fehlt „nicht an Anzeichen, daß auch diese das Schicksal aller übrigen „theilen werde."

Diese Bewegungen der Knoten- und Apsidenlinien der Satelliten sind eine nothwendige Folge der Newton'schen Theorie, und selbst die Cartesianer jener Zeit suchten bereits Mittel und Wege, diese Aenderungen, deren Existenz sie nicht läugnen konnten, auch in ihre Tafeln einzuführen.

Die vollständige Reformation der Tafeln für die Sonne, die Planeten und die Satelliten unsres Systems, muß als die endliche, aber nothwendige Folge der von Newton aufgestellten

Entdeckung betrachtet werden, und sie wurde von jener erlauchten Reihe ausgezeichneter Männer durchgeführt, von denen wir in den vorhergehenden Kapiteln gesprochen haben, von Clairaut, Euler, d'Alembert und ihren nicht minder großen Nachfolgern, von Lagrange, Laplace, Poisson u. a. m.

Die geschätztesten Tafeln am Ende des letzten Jahrhunderts waren die von Lalande [18]). In diese Tafeln waren die gegenseitigen Störungen Jupiters und Saturns bereits aufgenommen, da sie zu beträchtlich waren, um für die neueren Beobachter weiter vernachlässigt zu werden. Die Tafeln für Merkur, Venus und Mars aber blieben noch ohne Störungen. Allein bald mußten sie auch für diese Planeten berechnet und in ihren Tafeln nachgetragen werden, wenn sie anders mit den Beobachtungen in Einstimmung gebracht werden sollten. Allein zu der Berechnung der Störungen gehört vor allem die Kenntniß der Masse des störenden Planeten, und diese kann, wenigstens bei den Planeten ohne Satelliten, nur durch diese Störungen selbst gefunden werden. So gab Lindenau [19]) im Jahr 1813 neue Merkurstafeln heraus, in welchen er besonders diejenigen Störungen berücksichtigte, welche dieser Planet von der ihm benachbarten Venus erleidet, und er fand auf diesem Wege, daß die bisher angenommene Masse der Venus beträchtlich vermehrt werden müsse, um die tabellarischen Orte Merkurs mit den Beobachtungen in Uebereinstimmung zu bringen [20]). Derselbe Lindenau hat auch im Jahr 1810 die Tafeln der Venus, und 1811 die des Mars

---

18) M. s. Airy's Report on Astron. to Brit. Associat. 1832.

19) Lindenau (Bernh. Aug.), geb. 1780 zu Altenburg, erhielt seine erste mathematische Bildung auf der Universität zu Leipzig vorzüglich von Hindenburg. 1804 übernahm er, an B. Zach's Stelle, die Leitung der Sternwarte Seeberg und die Herausgabe der „Monatlichen Korrespondenz," so wie später mit Bohnenberger die der „Zeitschrift für Astronomie." Nachdem er hier der Astronomie besonders durch seine Tabulae Veneris 1810, Martis 1811, Mercurii 1813 u. f. wesentliche Dienste geleistet hatte, ging er 1814 im Gefolge des Großherzogs von Weimar als Generaladjutant in den Befreiungskrieg, und trat nach seiner Zurückkunft 1817 in die herz. sächsische Regierung als Staatsminister, wo er sich um die Wohlfahrt seines Vaterlandes neue und große Verdienste sammelt. L.

20) Airy, loc. cit.

herausgegeben. Indem man eben so die neuesten Tafeln Jupiters und Saturns, die Bouvard besorgt hat, mit den Beobachtungen verglich, konnte man auch die Massen dieser beiden Planeten bestimmen [21]). Der Umstand, daß diese Tafeln, wie sie mit der Zeit fortgingen und auf eine immer weiter entwickelte Theorie gebaut wurden, auch zugleich immer besser mit den Beobachtungen übereinstimmten, ist zugleich als die beste Bestätigung der innern Wahrheit dieser von Newton aufgestellten Theorie zu betrachten.

Noch weiter erläutert wird das Problem von den gegenseitigen Störungen der Himmelskörper, wenn wir diejenigen Planeten betrachten, die von mehreren Satelliten umgeben sind. So werden die vier Monde Jupiters nicht blos von der Sonne, sondern auch von sich selbst unter einander gestört. Diese gegenseitige Einwirkung jener Monde erzeugt sehr merkwürdige Verhältnisse [22]) zwischen der Revolution, und selbst zwischen der absoluten Länge derselben, die, gleich manchen andern Störungen, schon in den Beobachtungen erkannt wurden, ehe man die Ur-

---

21) Unter den vorzüglichsten Massenbestimmungen der Planeten in unserer Zeit ist wohl die von Airy, k. Astronomen in Greenwich, zu betrachten. Seine Bestimmung der Masse Jupiters ist nicht auf die Störungen, die Jupiter auf andere Planeten ausübt, sondern nach einem schon von Newton gemachten Vorschlage, auf die Beobachtung der Umlaufszeit des vierten Satelliten um seinen Hauptplaneten gegründet. Airy fand auf diesem Wege, daß die bisher angenommene Masse Jupiters um nahe den achtzigsten Theil ihres Werthes vergrößert werden müsse, und damit stimmen auch die Bestimmungen überein, die andere deutsche Astronomen aus den großen Störungen gefunden, welche die vier neuen Planeten von Jupiter erleiden. L.

22) Vergleicht man nämlich die mittleren Längen der drei dem Jupiter nächsten Satelliten, so findet man, daß für jede gegebene Epoche die Länge des ersten (oder dem Jupiter nächsten) sammt der doppelten Länge des zweiten, weniger der dreifachen Länge des dritten, immer gleich 180 Graden ist. Eben so ist die mittlere siderische Bewegung des ersten für irgend einen Zeitraum sammt der doppelten des zweiten, immer gleich der dreifachen Bewegung des dritten während derselben Zeit. Eine einfache Folgerung, die man aus diesen Verhältnissen ziehen kann, ist die, daß diese Satelliten nie alle drei zugleich verfinstert werden können. L.

sache derselben in der Theorie finden konnte. In Bradley's Bemerkungen zu seinen eignen Satellitentafeln, die zugleich mit Halley's Tafeln herauskamen, wird gesagt, daß die Längen der drei inneren Satelliten mit Anomalien behaftet sind, die in einem Cyklus von 437 Tagen regelmäßig wiederkehren, in welcher Zeit sie auch wieder dieselbe relative Stellung gegen einander und gegen den Schatten Jupiters annehmen. Wargentin hatte denselben Umstand bei diesen drei Monden, aber nicht dieselbe Relation ihrer wiederkehrenden Stellung bemerkt, und doch genügte ihm dieß schon, um darauf im Jahr 1746 eine wesentliche Verbesserung seiner Tafeln der Satelliten zu gründen. Auch Bailly suchte sich um die Theorie dieser Satelliten Verdienste zu erwerben. In einer spätern Zeit endlich stellte Laplace das merkwürdige Theorem fest, von dem der Cyklus jener Veränderungen abhängt, und das er die Libration der Jupiterssatelliten genannt hat. Erst dann, im Jahr 1789, war Delambre[23]) im

---

23) Bailly (Jean Sylvain), geb. 1736 zu Paris, widmete sich anfangs literarischen Beschäftigungen und der Malerei, wurde aber später durch Lacaille's Umgang für die Astronomie gewonnen. Er suchte besonders die Theorie der Jupitersmonde zu bearbeiten, worüber 1766 sein Essai sur les satellites de Jupiter erschien, mit einer Nachschrift von 1771. Bekannter wurde er durch seine mit blühender Feder geschriebene Histoire d'Astronomie (V Vol. 1775) und durch seine Lettres sur l'origine des sciences, in welchen Schriften er seine Lieblingsidee, von einem in allen Wissenschaften und Künsten hocherfahrenen Volke der Vorzeit in Mittelasien, durchzuführen sucht. Später wurde er in den Strudel der Revolution gerissen, wo er 1789 zum Maire von Paris ernannt wurde. Er mußte sich 1791 vor der Wuth des Volkes nach Melun flüchten, wo ihm Laplace in seinem Hause Schutz angeboten hatte. Aber auch hier von der tobenden Menge verfolgt, wurde er nach Paris geschleppt und am 12. Nov. 1793 unter pöbelhaften Mißhandlungen hingerichtet.

Delambre (Jean Jos.), geb. 1749 zu Amiens, erhielt seine erste wissenschaftliche Bildung durch Delisle, worauf er nach Paris ging, und da, nicht selten unter Nahrungssorgen, vorzüglich mit der Literatur der Griechen und Römer sich beschäftigte. Lalande brachte ihn endlich 1760 auf einer Privatsternwarte unter. Sein Ruf beginnt mit dem Jahre 1782, wo er die Tafeln des neuentdeckten Planeten Venus herausgab. Seine später verfaßten Tafeln von Jupiter und Saturn, so wie von der Sonne, werden noch jetzt zu den besten gezählt, vorzüglich weil zu derselben

Stande, neue Satellitentafeln zu entwerfen, welche die Wargentin'schen an Genauigkeit weit hinter sich zurückließen [24]).

Die Fortschritte der physischen Astronomie, die seit der Zeit von Euler und Clairaut gemacht wurden, bestanden größtentheils in einer Reihe von Untersuchungen und Berechnungen der tiefsten und verwickeltsten Art. Die Bildung besserer Tafeln der Planeten und ihrer Satelliten auf rein theoretischem Wege setzte die Auflösung von Problemen voraus, die viel schwieriger noch waren, als das Problem der drei Körper in seiner anfänglichen einfachsten Gestalt. Die wahren Bewegungen dieser Körper, so wie auch die ihrer Bahnen, wurden besonders dadurch sehr schwer zu bestimmen, daß selbst die Linien und Ebenen, auf welche man jene Bewegungen bezieht, in immerwährenden Veränderungen begriffen sind. In diese Masse von scheinbaren Verwirrungen aller Art Ordnung und Licht zu bringen, erforderte die vereinte Bemühung einer ganzen Reihe von ausgezeichneten mathematischen Talenten, und zugleich in den Beobachtungen eine Umsicht, Schärfe und Ausdauer, von der man kein ähnliches Beispiel mehr in der Geschichte der Wissenschaften anführen kann. Aber es ist unmöglich, hier einen genauen Bericht von allen jenen Arbeiten zu geben.

Besonders hat man sich bemüht, den Sonnentafeln, durch Berücksichtigung aller Störungen, welche die Erde von den übri-

---

Zeit Laplace die Störungen dieser Himmelskörper zuerst genau entwickelt hatte. Darauf beschäftigte ihn mit Mechain die große Meridianvermessung Frankreichs, über die er seine Base du système métrique. 3 Vol. Par. 1806—14, herausgab. Im Jahre 1802 wurde er Generalinspektor der Studien, und 1803 beständiger Sekretär des Instituts von Frankreich. Als solcher hat er sich in seinen „Eloges" gegen mehrere seiner frühern Kollegen, Delisle, Bossut u. a., auf eine Weise geäußert, die nicht die Wissenschaft, sondern den Charakter dieser Männer, die sich nicht mehr vertheidigen können, betrifft. Seit 1801, wo er als Lalande's Nachfolger zum Professor der Astronomie ernannt wurde, überließ er sich einer Schreibsucht, wie sie wohl, besonders unter den Mathematikern, nur selten vorkommen mag, wie seine Hist. de l'astronomie ancienne, moyenne et moderne in sieben dicken Quartbänden bezeugen, die in den Jahren 1817—23 herauskamen, und, so wie die meisten seiner theoretischen Aufsätze in den Mém. de l'Acad. und in den Conn. des temps, keinen besondern Werth haben. Er starb 1822 zu Paris. L.

24) M. s. Poiron, Hist. d'astron., S. 322.

gen Planeten erleidet, die größte Vollkommenheit zu geben. Euler hatte zuerst im Jahr 1756, bei Gelegenheit einer Preisfrage der Akademie in Paris, diese Störungen berechnet, und bald nach ihm beschäftigte sich auch Clairaut mit demselben Gegenstande. Lacaille, auf diese theoretischen Vorarbeiten und auf seine eigenen zahlreichen Beobachtungen der Sonne gestützt, machte die ersten bessern Sonnentafeln bekannt. Im Jahre 1786 suchte Delambre diese Tafeln zu verbessern, indem er sie mit 314 Beobachtungen Maskelyne's in Greenwich von den Jahren 1775 bis 1784 verglich. Delambre hatte die meisten Elemente dieser Tafeln wesentlich verbessert, aber mit der Störung der Erde von dem Monde konnte er nicht ganz in Ordnung kommen. Auch nahm er, von Clairaut's Theorie verleitet, eine zweite Mondsstörung an, die von der Breite dieses Satelliten abhängen soll, obschon er dies mit Widerstreben that, da ihm die Beobachtungen keine solche Ungleichheit der Erde gezeigt hatten. Erst spätere Untersuchungen der Geometer haben gezeigt, daß eine solche Ungleichheit der Erde, als Resultat der Rechnung, unzulässig ist. — Diese neuen Sonnentafeln Delambre's waren bis auf sieben oder acht Sekunden mit den Beobachtungen übereinstimmend [25]), was allerdings in jener Zeit für eine sehr große Genauigkeit gelten konnte. Aber die Astronomen waren doch weit entfernt, sich damit zu begnügen. Im Jahre 1806 wurden die neuen, verbesserten Sonnentafeln Delambre's von dem Pariser Längenbureau herausgegeben, und in der Connaissance de Temps für das Jahr 1816 gab Burckhardt [26]) die Resultate

---

25) Montucla, Hist. de Mathem. IV, 42.

26) Burckhardt (Joh. Karl), geb. 1773 zu Leipzig, studierte in den Jahren 1795—1797 unter Zach in Gotha die praktische Astronomie, und wurde 1797 von Lalande nach Paris gebracht, wo er an den Beobachtungen auf der Sternwarte der Ecole militaire sehr eifrigen Theil nahm und sich vorzüglich als unermüdlicher Zifferrechner auszeichnete. Seine Abhandlungen über den räthselhaften Kometen von 1770, der alle fünf Jahre wiederkehren sollte, finden sich in den Mém. de l'Institut für 1806. Seine im Jahre 1812 herausgegebenen Mondstafeln werden allgemein als die besten anerkannt und von allen Astronomen vorzugsweise gebraucht. Er übersetzte auch die beiden ersten Bände von Laplace's Mécanique céleste in die deutsche Sprache, Berlin 1800. Er starb 21. Juni 1825. L.

seiner Vergleichungen dieser Tafeln mit einer großen Menge Beobachtungen von Maskelyne, die selbst viel größer noch war, als die Anzahl derjenigen, auf welche jene Tafeln zuerst gegründet waren [27]). Es ging aus diesen Vergleichungen hervor, daß die Epoche, der Ort des Perihels der Erde und die Excentricität ihrer Bahn noch merklicher Verbesserungen bedürfen, und daß die Masse der Venus nahe um ihren neunten Theil vermindert werden müsse. Auch die Masse des Mondes wurde etwas kleiner gefunden, als man bisher angenommen hatte. Im Jahre 1827 verglich Airy, damals noch in Cambridge, Delambre's neue Sonnentafeln mit 2000 Beobachtungen, die in Greenwich mit dem neuen Mittagsrohre gemacht wurden, und leitete aus diesen Vergleichungen seine Korrektionen der Elemente der Erdbahn ab [28]). Sie stimmen nahe mit denen von Burckhardt überein, ausgenommen eine Verminderung der Marsmasse. Einige Unregelmäßigkeiten in dieser Vergleichung der Tafeln mit den Beobachtungen erregte in Airy den Verdacht, daß noch eine andere Störung der Erde bestehe, die dem Scharfsinn Laplace's entgangen sein mochte. Wenige Wochen nach dieser Anzeige berichtete Airy der k. Societät zu London, daß er in der planetarischen Theorie in der That eine solche bisher unbekannte Ungleichheit der Sonnenlänge entdeckt habe. Der Werth derselben beträgt nahe drei Raumsekunden, und ihre Periode 240 Jahre. „Diese „Störungsgleichung, setzt er hinzu, entspricht vollkommen der „Differenz der säkulären Bewegung, welche die beobachteten Epo„chen zwischen 1783 und 1821, und zwischen 1801 und 1821 „geben.“

In der letzten Zeit des vergangenen Jahrhunderts sind noch mehrere andere Tafeln der Sonne, des Monds und der Planeten erschienen. Das seit dem Jahr 1795 in Frankreich errichtete Bureau des Longitudes unternahm die Herausgabe von verbesserten Tafeln dieser Art. So erschienen die neuesten Sonnentafeln Delambre's, die Mondstafeln von Bürg und Burckhardt, und die Bouvard'schen Tafeln von Jupiter, Saturn und Uranus. Diese Tafeln stimmen größtentheils mit den Beobachtungen auf

27) S. den oben genannten Rapport Airy's, S. 150.

28) Philos. Transact. für das Jahr 1828.

eine in der That merkwürdige Weise überein. Demungeachtet sind die Astronomen immerwährend bemüht, diese Uebereinstimmung noch weiter zu treiben. In der Vorrede zu den erwähnten Tafeln des Uranus sagte Bouvard noch im Jahr 1812, „daß die „Konstruktion dieser Tafeln der Art sei, daß man den neuesten „Beobachtungen dieses Planeten nicht anders, als auf Kosten „der ältern, Genüge thun kann und umgekehrt.“ Er hat sich demnach vorzugsweise an die neuen Beobachtungen gehalten, allein die Folge davon ist, daß Uranus im Jahre 1836 schon eine ganze Raumminute von dem tabellarischen Orte verschieden gefunden wurde, was allerdings auf einen noch verborgenen Mangel dieser Tafeln schließen läßt.

Bemerken wir hier noch den wesentlichen Unterschied in dem Gebrauche der Beobachtungen, wenn eine neue Theorie eben erst aufgestellt, oder wenn sie später nur bestätigt und in allen ihren Theilen modifizirt werden soll. Wir haben es oben (Vol. I. S. 143) als ein Verdienst der Hipparch'schen Methode angesehen, als einen Beweis des mathematischen Werthes derselben, daß sie, um das Apogeum und die Excentricität der Sonnenbahn zu bestimmen, nichts anderes zu kennen brauchte, als die verschiedene Länge der vier Jahreszeiten. Allein wenn die geringe Anzahl der Data, auf welchen eine Theorie erbaut werden soll, mit Recht als ein Vorzug, als eine Schönheit dieser Theorie, zur Zeit ihrer Entstehung betrachtet wird, so muß im Gegentheile, zur Zeit ihrer Ausbildung und immer weitern Entwicklung, die wahre Vorzüglichkeit derselben in der großen Menge von Beobachtungen, mit welchen sie übereinstimmt, gesucht werden. Um die Elemente einer Planetenbahn vollständig zu bestimmen, genügen bekanntlich drei beobachtete Längen und Breiten. Dabei wird aber vorausgesetzt, daß diese Beobachtungen ganz fehlerlos sind, eine Bedingung, die vielleicht bei keiner menschlichen Unternehmung, oder doch nur zufällig, eintritt. Die Astronomen pflegen daher, so oft es sich um die ganz genaue Bestimmung irgend eines Gegenstandes handelt, so viele Beobachtungen, als möglich, ihren Untersuchungen zu Grunde zu legen, wodurch sie auf Gleichungen geführt werden, deren Anzahl die der in ihnen enthaltenen Größen oft sehr übersteigt. Die Auflösung solcher Gleichungen aber gehört in das Gebiet eines eigenen, neuen Kalküls, der Wahrscheinlichkeitsrechnung, oder der sogenannten Methode der kleinsten Quadrate, deren Ausbildung wir zweien der größten Geometer dieser Zeit, Laplace und Gauß, verdanken. — Auf diese Weise ist in der weitern Ausbildung der Theorie und in der Anwendung derselben auf die Beobachtungen, auch bei dem gegenwärtigen vorgerückten Zustande der Wissenschaft, noch immer Raum genug für uns und unsre Nachkommen gegeben, um ihre Geschicklichkeit, ihren Scharfsinn und ihre Ausdauer in tiefen und lange fortgesetzten Arbeiten zu üben.

Vierter Abschnitt.

Anwendung der Newton'schen Theorie auf die säkulären Störungen.

Durch die gegenseitigen Anziehungen der Planeten unter einander werden nicht nur die rein elliptischen Orte, welche dieselben in ihren Bahnen einnehmen sollten, sondern auch diese Bahnen selbst, allmählig verändert. Jene Veränderungen werden periodische, diese aber säkuläre Störungen genannt. In der That sind zwar beide bestimmten Perioden unterworfen, aber die Perioden der säkulären Störungen sind bei weitem die größern, indem sie meistens viele Jahrhunderte, ja selbst Jahrtausende umfassen, aus welcher Ursache auch die Benennung dieser säkulären Störungen entstanden ist.

Das erste auffallende Beispiel einer solchen säkulären Störung, die den Astronomen lange Zeit durch viele Mühe gemacht hat, war die, zuerst von Halley in den Beobachtungen erkannte Acceleration der mittleren Bewegung des Mondes. Die Umlaufszeit des Mondes ist jetzt etwas kürzer, als sie zur Zeit der frühesten astronomischen Beobachtungen gewesen ist. Nachdem dies einmal als eine Thatsache erkannt war, wollte man auch die Ursache derselben finden. Viele Hypothesen wurden zu diesem Zwecke aufgestellt und der Rechnung unterworfen. Eine der vorzüglichsten dieser Hypothesen gründete sich auf den Widerstand des Mediums, das durch das Weltall zerstreut sein, und in welchem sich daher der Mond, so wie alle andern Himmelskörper, bewegen sollte. Eine andere Voraussetzung, durch welche besonders Laplace jene Acceleration des Mondes zu erklären suchte, war die allmählige Fortpflanzung der Schwerkraft, die eine gewisse Zeit brauchen sollte, um von der Erde bis zu dem Mond zu gelangen. Allein keine von diesen und andern Hypothesen führte zu einem genügenden Resultate, und umsonst hatten sich selbst Euler, d'Alembert, Lagrange [29]) und Laplace bemüht, dieses

29) Lagrange (Joseph Louis), einer der größten Mathematiker, geb. 25. Januar 1736 zu Turin, Senator und Comte d'empire, Grand Croix de la légion d'honneur etc. Sein Vater war Kriegsschatzmeister daselbst, und seine Mutter, Marie Gros, die einzige Tochter eines reichen Arztes. Er war von eilf Kindern das letzte. Kühne Unternehmungen zerstörten das Vermögen seines Vaters, und zwangen den Sohn, sich durch eigene Kraft ein unabhängiges Leben zu verschaffen. Der letzte hielt dies später für die Ursache seines Glücks. „Hätte ich Vermögen gehabt," sagte er, „würde ich die Mathematik nicht geliebt, vielleicht „nicht einmal kennen gelernt haben." Auf der Universität zu Turin beschäftigte er sich anfangs nur mit den römischen Klassikern, später erst mit den griechischen Geometern. Eine Abhandlung Halley's (Philos. Transact. für 1693, Vol. XVII. S. 960), worin vorzüglich die analytische Methode der Mathematik angepriesen wurde, öffnete ihm, in seinem siebenzehnten Jahre, das geistige Auge und entdeckte ihm seine wahre Bestimmung. In demselben Jahre 1753 wurde er Professor der Mathematik in der k. Artillerieschule zu Turin. Alle seine Schüler waren älter als er. Er zeichnete einige unter ihnen, als seine nähern Freunde, aus und gründete mit ihnen eine wissenschaftliche Privatsocietät, aus der späterhin die Turiner Akademie hervorging. Diese Gesellschaft gab 1759 den ersten Band ihrer Memoiren unter dem Titel: Actes de la société privée de Turin, heraus. In diesem Bande theilte er eine Methode de maximis et minimis mit, von der er sagte, daß er diesen Gegenstand in einem eigenen Werke auszuführen gedenke, in welchem er die ganze Mechanik der festen und flüssigen Körper umfassen werde. In denselben ersten Bänden sieht man seine Abhandlungen über rekurrirende Reihen, über Hazardspiele, über die Bewegung der Flüssigkeiten, über die Fortpflanzung des Schalls und über die Schwingungen der Saiten. Euler gab diesen trefflichen Arbeiten des jungen Lagrange sofort seinen ganzen Beifall, nicht so d'Alembert, der nach seiner Art viel zu widersprechen fand, obschon er L. selbst und sein Talent sehr hochschätzte. Euler bekannte öffentlich, daß Lagrange's Auflösung des Problems von der isoperimetrischen Kurve, die er selbst so lange vergebens gesucht hatte, ihn ganz entzückte, und er gab die Veranlassung, daß L. im Jahr 1759 zum Mitglied der Akademie in Berlin ernannt wurde. Bald darauf gewann L. den Preis der Pariser Akademie über die Libration des Mondes, so wie im folgenden Jahre über die Theorie der Jupiterssatelliten. Wegen der Kürze der ihm angesetzten Zeit konnte er, für die letzte Preisfrage,

Räthsel zu lösen. Endlich, im Jahre 1787, zeigte Laplace der Pariser Akademie an, daß er die wahre Ursache dieser Acceleration

---

nicht alle Rechnungen ganz ausführen, versprach sie aber nachzutragen. Viele Jahre später übernahm Laplace diesen Nachtrag.

Fermat's berühmte Theoreme über die Natur der Zahlen, die derselbe ohne Beweis aufgestellt, und deren Beweis seine Nachfolger vergebens gesucht hatten, gaben ihm Gelegenheit, seine Untersuchungen darüber in den Mém. de Turin für 1768 mitzutheilen. Da es ihm in Turin, wo er keine Mathematiker fand, nicht mehr gefallen wollte, so ging er nach Paris, wo er von d'Alembert, Clairaut, Condorcet, Fontaine, Nollet u. a. auf das Beste aufgenommen wurde. Im Jahre 1766 wollte Euler Berlin, wo er Präsident der Akademie war, verlassen, um wieder nach Petersburg zurückzukehren. D'Alembert, der eine Vokation des Königs von Preußen fürchtete, und nicht gern eine abschlägige Antwort geben wollte, schlug L. zum Präsidenten dieser Akademie vor, und er erhielt auch diese Stelle mit 1500 Pr. Thalern jährlichen Gehalts. Euler hatte dieselbe Besoldung, aber Maupertuis, des letzten Vorgänger, bezog 3000 Thlr., da er der Liebling des Königs war. Euler wurde, in Friedrich's Briefen an Voltaire, son géomètre borgne genannt, dont les oreilles ne sont pas faites pour sentir les délicatesses de la poésie, worauf Voltaire erwiederte: Nous sommes un petit nombre d'adeptes, qui nous y connoissons et le reste est profane. Am 6. November 1766 kam L. in Berlin an, wo er bis 1786 blieb. Er bemühte sich hier vergebens, deutsch zu lernen. Doch zog ihn Friedrich dem Euler vor, der ihm zu devot war. Die Memoiren der Berliner Akademie von dieser Zeit zeugen von seinem Scharfsinn und von seiner unermüdlichen Thätigkeit. In dieselbe Periode fällt auch die erste Ausgabe seiner Mécanique analytique. Er wollte sie in Paris drucken lassen, fand aber keinen Verleger. Endlich übernahm sie der Buchhändler Desaint unter der Bedingung, daß nach einer bestimmten Zeit die noch übrigen Exemplare von L. selbst bezahlt würden. Ein ähnliches Schicksal hatte auch Euler's Mechanica corporum rigidorum, zu der er viele Jahre keinen Verleger finden konnte, bis sie endlich in Greifswalde beinahe auf Sudelpapier abgedruckt wurde.

Bei Friedrich's II. Tode änderte sich Vieles in Preußen, besonders für fremde Gelehrte. Lagrange scheint auch wohl in Berlin nicht, wie er es verdiente, behandelt worden zu sein, doch wollte er selbst sich nie darüber äußern. Gewiß wünschte er die letzten Jahre sehnlich, wieder nach Paris zurückkehren zu können. Im Jahre 1787 kam er endlich daselbst an, und wurde besonders von der Königin Antoinette sehr günstig aufgenommen, die ihm auch eine Wohnung im Louvre anweisen des Mondes entdeckt habe, und daß sie in der Verbindung der Einwirkung der Sonne auf den Mond mit der veränderlichen

---

ließ. Hier lebte er meistens seinen stillen Geschäften, und ging selbst nur selten aus, außer zu Lavoisier, der täglich Gesellschaft gab. Auch hier soll er oft stundenlang schweigend am Fenster gestanden sein, so daß er von Fremden oft für einen Sonderling und Träumer gehalten wurde. Auch hatte er um diese Zeit seine Lust an der Mathematik gänzlich verloren, so daß er zwei volle Jahre durch kaum ein mathematisches Buch öffnen wollte. Dafür beschäftigte er sich sehr eifrig mit Metaphysik, Geschichte, Medizin, Botanik und Chemie, besonders mit der letzten, von der er einst zu Lavoisier sagte, daß er sich nicht genug wundern könne, die Chemie beinahe eben so leicht, wie die Algebra, zu finden.

Beim Eintritte der Revolution im Jahr 1789 wurde er mit zu der großen Kommission gewählt, die das metrische Maaßsystem einführen sollte. Dadurch wurde seine frühere Liebe zur Mathematik wieder aufgeweckt. Er wollte dieses System in seiner ganzen Reinheit durchführen, und konnte es Borda nicht verzeihen, daß dieser auch Viertheile eines Meters einzuführen suchte. Als man statt der Zahl 10 die Zahl 12, wegen ihrer größern Anzahl von Divisoren, einführen wollte, erklärte er sich leidenschaftlich, was ihm sonst nie begegnete, dagegen, und gab selbst der Zahl 11 den Vorzug, wenn auch nur aus dem Grunde, damit alle Brüche gewiß nur Decimalbrüche werden.

Die Schreckenszeit ging ruhig an ihm vorüber, da er still den Wissenschaften lebte und selbst in Gesellschaften nur wenig zu sprechen pflegte. Von den Republikanern wurde er zum Professor in der Ecole normale, die nicht lange dauerte, und dann in der Ecole polytechnique ernannt, die bessere Schicksale hatte. Hier trug er seine Theorie der Funktionen und seine Auflösung der numerischen Gleichungen vor. Bald darauf nahm er die neue Ausgabe seiner Mécanique analytique vor, an der er so anhaltend arbeitete, daß dadurch seine Gesundheit litt. So fiel er einmal während dieser Arbeit vom Stuhle, stürzte mit dem Kopfe gegen ein Möbel und lag lange in Ohnmacht. Seit diesem Falle war der sonst wohl schwächliche, aber doch gesunde Mann, kränklich geworden. Gegen Ende des März 1813 stellte sich täglich Fieber, Mangel an Eßlust und Schlaflosigkeit mit wiederholten Ohnmachten ein. Sein Geist aber schien die letzte Woche seines Lebens klar und heiter zu sein. Am achten April erzählte er Lacepede, Monge und Chaptal, die ihn zu besuchen kamen, daß er gestern bald gestorben wäre. Ich fühlte, sagte er, dabei recht deutlich, wie das Leben, welches den ganzen Körper bewohnt, die einzelnen Glieder desselben nach und nach verlassen wollte.

Excentricität der Erdbahn bestehe. Es zeigte sich bald, daß die Resultate der Berechnung sehr gut mit den Beobachtungen dieses

---

Er hielt selbst den Tod für angenehm, wenn er nur schmerzlos ist. Uebrigens hoffte er noch Genesung, versprach nächstens Mittheilungen zu seiner Biographie zu geben, eine Reise in's Bad zu machen und dgl. Am 10. April 1813 starb er, nach nur zehntägiger Krankheit, schmerzlos, wie es schien, doch die letzten Stunden ohne Bewußtsein. — Seine körperliche Konstitution war fein, aber kräftig, sein Charakter still und gemäßigt, und er wurde beinahe nie in leidenschaftlicher Hitze gesehen. In der Gesellschaft war er sehr ruhig und schweigsam, den Fremden mußte er selbst timid erscheinen. Bei seiner einmal gefaßten Ansicht blieb er gern fest und klagte Andere, wenn sie, wie Borda, ihn davon abbringen wollten, gern des Eigensinnes an. Ueber sein ganzes Wesen war eine leise Ironie verbreitet. Von der Musik war er kein Freund, und als ihn Jemand fragte, ob er sie liebe, sagte er: „Ja, weil „sie mich in der Gesellschaft isolirt; ich höre gewöhnlich nur die ersten „Takte, und dann jage ich meinen Träumen nach, in welchen ich bei „musikalischen Gesellschaften immer am wenigsten gestört werde." — Als ihm eines Tages ein junger Mann vorgestellt wurde, der sich der Mathematik mit viel Fortgang widmen sollte, fragte ihn Lagrange, ob er vermögend sei? Da dies bejaht wurde, so antwortete er: Tant pis, Monsieur. Le defaut de la fortune est un aiguillon, que rien ne peut remplacer et sans lequel on n'apporte pas à des travaux si pénibles toute la suite nécessaire. Er äußerte öfter seine Besorgniß für alle die, die sich jetzt dieser Wissenschaft widmen wollen, die bereits einen so großen Umfang gewonnen hat. Je plains les jeunes Géomètres, sagte er, qui ont tant d'épines à avaler. Si j'avais à commencer, je n'étudierais pas, car, indem er einen Stoß neu angekommener mathematischer Bücher auf einem Nebentische zeigte, car ces gros in quarto me feraient trop peur. — Ueber alle Mathematiker schätzte er Euler hoch: On aura beau faire, sagte er, les vrais amateurs devront toujours lire Euler, parceque dans ses écrits tout est clair, bien dit, bien calculé, et parcequ'ils fourmillent de beaux exemples. — Einst sprach er von dem Glücke, das Newton zu Theil geworden ist, uns das Weltsystem zu erklären, ein Glück, setzte er mit ernstem, beinahe verdrießlichem Gesichte hinzu, das einem nicht alle Tage begegnet, und dies führte ihn auf das Glück eines seiner Kollegen (Monge), dessen originelle Erfindungskraft ihn oft gereizt hatte. Voyez, sagte er, ce diantre de . . . avec son application de l'analyse à la génération des surfaces, il sera immortel, il sera immortel! — Da er seine immer klaren Ideen auch eben so klar in Worte zu kleiden suchte, so begegnete es ihm öfter, daß er bei seinen mündlichen

Phänomens übereinstimmten, das sich den vereinten Bemühungen der größten Astronomen so lange Zeit hartnäckig widersetzt hatte. Laplace fand zugleich, daß diese säkuläre Ungleichheit des Mondes, so wie die der Excentricität der Erdbahn selbst, aus welcher jene entspringt, eine periodische Ungleichheit sei, daß aber die Dauer dieser Periode mehrere Millionen von Jahren umfasse. Bald darauf (im Jahre 1797) kündigte Laplace noch andere Entdeckungen über die säkulären Ungleichheiten in den Bewegungen der Knoten und des Apogeums der Mondbahn an. Man findet diese und andere Untersuchungen gesammelt in der Théorie de la lune, die in dem dritten Bande der Mécanique céleste von d. J. 1802 enthalten ist.

Ein ähnlicher Fall trat ein, als die Astronomen an Jupiter eine Beschleunigung, und an Saturn im Gegentheil eine Verzögerung der mittleren Bewegung durch ihre Beobachtungen gefunden hatten. Schon Cassini, Maraldi und Horrox hatten auf diese sonderbare Erscheinung aufmerksam gemacht. Nach verschiedenen Versuchen der vorzüglichsten Mathematiker jener Zeit

---

Vorträgen mitten im Satze stehen blieb, und die Zwischenzeit einstweilen mit seinem Lieblingsflickwort je ne sais pas, je ne sais pas ausfüllte, und daß er endlich die ganze Phrase fallen ließ, um eine neue von vorn zu beginnen. Auch wurden diese Unterbrechungen öfter durch eine neue Idee herbeigeführt, die ihm plötzlich durch den Kopf fuhr und seinen Geist für einen Augenblick zu fesseln schien. — Weitere Nachrichten über Lagrange s. m. in dem „Eloge“ von Delambre (Mém. de l'Institut. für 1812); Journal de l'Empire vom 28. April 1813; Précis historique sur la Grange von Virey und Potel, Paris 1813, und Cossali's Lobrede über Lagrange, Padua 1813.

Seine vorzüglichsten Schriften sind: Mécanique analytique, erste Ausgabe 1788; zweite Ausgabe Vol. I. 1811 und Vol. II. 1815. — Théorie des fonctions analytiques, erste Ausgabe 1797, zweite 1813. — Leçons sur le Calcul des fonctions, letzte Auflage 1806. — Resolution des équations numériques 1798, zweite Auflage 1808. Die drei letzten Werke wurden von Crelle in die deutsche Sprache mit Anmerkungen übersetzt. Seine sehr zahlreichen Aufsätze findet man in den Memoiren der Turiner, Berliner und Pariser Akademie, und in denen des Institut de France, der Ecole polytechnique und der Conn. des tems zerstreut. Gesammelt findet man die Anzeige dieser Memoiren in Lindenau's Zeitschrift für Astronomie, Mai und Junius 1816, S. 484. L.

fand endlich wieder Laplace i. J. 1787, daß jene Veränderungen der mittleren Bewegung von der gegenseitigen Attraktion dieser zwei größten Planeten unseres Sonnensystems herrühren, wodurch eine große Ungleichheit in der Bewegung derselben erzeugt werde, die eine Periode von nahe 929 Jahren hat, und durch welche, seit der Restauration der Astronomie durch Copernikus, die Umlaufszeit Jupiters um die Sonne verkürzt, und die des Saturns im Gegentheile verlängert worden ist.

Auf diese Weise wurde demnach das große Gesetz der allgemeinen Gravitation durch die säkulären Störungen nicht minder, als durch die periodischen, immer mehr bestätigt. Uebrigens hatte Newton selbst die Existenz dieser säkulären Störungen, obschon sie eine unmittelbare und nothwendige Folge des von ihm entdeckten Gesetzes waren, nicht erkannt. Sie schienen anfangs eine Ausnahme von diesen Gesetzen zu machen, aber eben darin liegt, wie Laplace [30]) eben so schön als richtig bemerkt, der Vorzug dieser größten aller Entdeckungen, daß jede scheinbare Ausnahme eine neue Bestätigung, und jede Schwierigkeit, die sich dieser Entdeckung entgegensetzte, ein neuer Triumph derselben geworden ist. In dieser Harmonie besteht der Charakter einer jeden wahren Theorie, einer jeden reellen Darstellung der Erscheinungen der Natur.

Es ist uns hier ganz unmöglich, auch nur der vorzüglichsten Gegenstände mit der nöthigen Genauigkeit und Würde zu erwähnen, die in dem großen Triumphzuge der neuen Theorie, von ihrem Entstehen bis auf unsere Tage, aufgeführt worden sind. Wir wollen blos, zum Schlusse der säkulären Perturbationen, noch der merkwürdigen Abnahme der Schiefe der Ekliptik gedenken, die seit den frühesten Zeiten der Menschengeschichte bis auf unsere Tage statt hatte. Diese Abnahme wurde durch eine sehr feine und scharfsinnige Analyse vollständig erklärt und zugleich gezeigt, daß auch sie im Grunde nur eine periodische Veränderung ist, die aber viele Jahrtausende umfaßt, während welcher die Ebene der Erdbahn am Himmel zwischen zwei gegebenen Grenzen langsam auf und nieder geht, ohne je, wie man früher geglaubt hat, die Ebene des Aequators erreichen zu können.

Gedenken wir hier noch einiger besonderer Gegenstände, von

---

30) Laplace, Système du Monde. Vol. II.

welchen zu sprechen bisher keine Gelegenheit war. — Die Größe der Präcession der Nachtgleichen hatte Newton irrig berechnet. D'Alembert's Untersuchungen führten zu anderen, besser mit den Beobachtungen übereinstimmenden Resultaten. Laplace endlich gab die vollkommenste Darstellung dieser mit vielen Schwierigkeiten verbundenen Theorie. — Lagrange fand zuerst, daß die Coincidenz der Knoten des Mondäquators mit denen seiner Bahn das blose Resultat mechanischer Prinzipien ist. — Laplace zeigte uns, daß die merkwürdige Gleichheit der Rotation und der Revolution des Mondes eine Folge der Gesetze der Bewegung dieses Begleiters unserer Erde ist. — Lagrange gab uns eine vollständige Analyse der Bewegungen der Jupitersſatelliten mit den Librationen der Neigungen und Knoten ihrer Bahnen, und Laplace suchte diese, wie viele andere von Lagrange zuerst aufgestellten Ideen und Untersuchungen, auf die ihm eigene scharfsinnige Weise, auszubilden und weiter fortzusetzen.

Fünfter Abschnitt.

Anwendung der Newton'schen Theorie auf die neuen Planeten.

Wir sind jetzt alle so sehr gewohnt, Newton's Theorie als unbezweifelt wahr zu betrachten, daß es uns schwer wird, zu begreifen, wie es möglich war, daß die Entdeckung eines neuen Planeten auch nur einen Augenblick als ein Zeuge gegen diese Theorie betrachtet werden konnte. Es scheint uns ganz unmöglich, daß Uranus oder Ceres sich dem Gehorsam der Kepler'schen Gesetze entziehen, oder daß jener Planet von Saturn, und dieser von Jupiter keine Störungen erleiden sollte. Allein wenn es, zur Zeit der Entdeckungen dieser Planeten, noch Männer gab, welche die Wahrheit der neuen Lehre nicht begreifen, oder was dasselbe ist, nicht verstehen konnten, so werden sie wohl auch diese neuen Ankömmlinge in unserem Planetensystem und die Bewegungen derselben mit demselben zweifelnden Auge angeblickt haben, mit welchem jetzt noch die meisten von uns der von den Astronomen vorhergesagten Ankunft eines Kometen entgegen sehen. Der feste Glaube an die Wahrheit des neuen Systems ist bei dem einen Theile der Menschen, durch den Verstand, in ihre Empfindungen und Gefühle übergegangen; der andere, größere Theil derselben, der die Gründe dieses Glaubens nicht kennt, kann ihn nur durch die Autorität der anderen erhalten, und muß daher die Zeit abwarten, bis die neuen Ansichten sich von selbst weiter verbreitet, und auch im Volke sich Bahn gemacht haben werden.

Wilhelm Herschel, ein Mann von Talent und Kraft, der wesentliche Verbesserungen in der Verfertigung der Spiegelteleſcope gemacht hatte, bemerkte durch eines dieser Instrumente zu Bath am 13. März 1781 in den Sternbildern der Zwillinge ein Gestirn, das ihm größer und weniger scharf beleuchtet schien, als die übrigen Fixsterne. Nachdem er eine stärkere Vergrößerung an seinem Fernrohr angebracht hatte, sah er auch dieses Gestirn vergrößert und in der Gestalt einer Scheibe, und zwei Tage später fand er, daß sich dasselbe unter den Fixsternen bewegt habe. Er machte diese Entdeckung bekannt, und sofort war die Aufmerksamkeit der ganzen astronomischen Welt auf den interessanten, neuen Gegenstand gerichtet, und alle Beobachter verfolgten mit Eifer den Weg, welchen der neue Planet am Himmel beschrieb[31]).

Die Aufnahme eines siebenten Planeten in die seit den ältesten Zeiten festbestimmte Reihe erschien den Menschen so neu und ungewöhnlich, daß sie zuerst zu ganz anderen Voraussetzungen ihre Zuflucht nehmen zu müssen glaubten. Die Bahn des neuen Gestirns wurde anfangs als die parabolische Bahn eines Kometen angesehen und berechnet. Allein schon wenige Wochen waren hinreichend, die Abweichung seiner wahren Bahn von einer Parabel zu erkennen, und vergebens suchte man dieser Abweichung dadurch zu begegnen, daß man die Distanz des Perihels dieser Parabel vierzehn- und selbst achtzehnmal größer machte, als die Distanz der Erde von der Sonne. Saron, ein Mitglied der Pariser Akademie der Wissenschaften, soll der erste gewesen sein [32]), der zeigte, daß man den bisher durchlaufenen Bogen des neuen Gestirns besser durch den Kreis, als durch die Parabel darstellen könne, und Lexell, ein Astronom in Petersburg, fand, daß ein Kreis, dessen Halbmesser gleich der doppelten Distanz Saturns von der Sonne ist, allen bisherigen Beobachtungen genügend entspreche, woraus eine Umlaufszeit von nahe zweiundachtzig Jahren folgte.

---

31) M. s. Voiron, Hist. d'Astron. S. 12.
32) Voiron, Hist. d'Astron. S. 12.

Lalande [33]) fand bald darauf, daß die Kreishypothese merkliche Abweichungen von der Beobachtung gebe. In der That wurde auch endlich diese Bahn elliptisch, wie die der anderen Planeten, gefunden.

Die Excentricität der Bahn dieses so langsam sich bewegenden Körpers konnte durch die bisher bekannten, älteren Methoden nicht bestimmt werden, da man dazu noch mehrere Jahre von Beobachtungen hätte abwarten müssen. Allein Laplace hatte eine neue Methode mitgetheilt, mit deren Hülfe man die elliptischen Elemente der Bahn dieses Planeten, nahe ein Jahr nach der Entdeckung desselben, aus reinen Beobachtungen durch Rechnung vollständig bestimmen konnte. Diesen Bestimmungen folg-

---

33) Lalande (Jos. Jérome le Français de), geb. zu Burg en Bresse am 11. Juli 1732, studirte zu Paris die Rechte, und wurde später durch Messier, Delisle und Lemonnier für die Astronomie gewonnen. Schon in seinem zwanzigsten Jahre sendete ihn die Akademie nach Berlin, um daselbst die Parallaxe des Mondes und des Planeten Mars zu beobachten, während Lacaille am Kap der guten Hoffnung denselben Zweck verfolgte. In Berlin wurde er von dem König Friedrich und seiner gelehrten Umgebung sehr gut aufgenommen, und bei seiner Rückkehr nach Paris i. J. 1753 zum k. Astronomen ernannt. 1761 folgte er seinem Lehrer Lemonnier als Professor am Collége de France nach, wo seine Vorlesungen von dem größten Beifall begleitet wurden. In den Jahren 1765 und 66 bereiste er Italien, worüber er seine Voyage d'Italie (in IX Bänden, Paris 1786) herausgab. Er starb am 4. April 1807. Selbst ein äußerst thätiger Beobachter wußte er vor allem die Anderen für die Astronomie zu gewinnen, wodurch ihm diese Wissenschaft viel verdankt. Sein vorzüglichstes Werk ist seine Astronomie, Paris 1764 in II, und 1792 in III Quartbänden mit einem vierten Bande, der die Tables astronomiques enthält. Seit 1760 gab er die Conn. de tems und eine große Anzahl Aufsätze in den Memoiren der Par. Akademie heraus. Noch haben wir von ihm: Bibliographie astronomique, Paris 1803; Des canaux de navigation, Paris 1778; Abrégé d'Astronomie, Paris 1795; Astronomie des dames, Paris 1785, und endlich Dictionnaire des Athées anciens et modernes, Paris 1800. Durch seine Arbeiten, Schriften, Beispiele und Schüler, so wie durch seinen Einfluß bei den Großen schon im Leben der Wissenschaft nützlich, blieb er es auch im Tode noch durch den von ihm gestifteten Preis, den die Akademie jährlich der besten astronomischen Abhandlung zu ertheilen hat.

L.

ten nun auch bald die Tafeln des neuen Planeten, die Nouet, Wurm u. A. bekannt machten.

Um eine größere Genauigkeit zu erhalten, mußte man aber auch auf die Perturbationen dieses Planeten Rücksicht nehmen. Die Pariser Akademie setzte i. J. 1789 einen Preis auf diese Aufgabe. Als einen merkwürdigen Beitrag zur Bestätigung der Newton'schen Theorie kann man den Umstand betrachten, daß die nun erfolgte Berechnung der Störungen des neuen Planeten auf die Entdeckung führten, daß er schon in früheren Zeiten von den Astronomen an drei verschiedenen Orten des Himmels gesehen worden ist, nämlich von Flamsteed i. J. 1690, von Tob. Mayer 1756 und von Lemonnier 1769. Durch diese Bemerkungen und durch die Theorie Laplace's unterstützt, construirte nun Delambre neue Tafeln für den Planeten, welche die drei ersten Jahre durch nur um sieben Sekunden von den Beobachtungen abwichen. Die Akademie erkannte diesen Tafeln ihren Preis zu, und sie wurden auch von allen Astronomen Europa's mit Beifall aufgenommen. Der neue Planet zeigte sich demnach dem Gesetze der allgemeinen Gravitation eben so unterworfen, als alle übrigen älteren Mitglieder desselben, von welchen letzteren man jenes Gesetz eigentlich kennen gelernt hatte.

Die Geschichte der Entdeckung der vier anderen neuen Planeten, Ceres, Pallas, Juno und Vesta, ist der vorhergehenden ähnlich, mit Ausnahme, daß der planetarische Charakter derselben früher und ohne Widerstand angenommen worden ist. Ceres wurde von Piazzi zu Palermo im Jahre 1800, am ersten Tage des gegenwärtigen Jahrhunderts, entdeckt. Piazzi hatte bereits die planetarische Natur dieses Gestirns geahnet, als er, noch vor der Vollendung seiner ersten Beobachtungen, in eine schwere Krankheit fiel. Bei seiner Wiedergenesung war der Stern in der Nachbarschaft der Sonnenstrahlen unsichtbar geworden. Er hatte ihn endlich der Welt als einen neuen Planeten mit einer elliptischen Bahn angekündigt, aber der Lauf, den er bei seinem Wiederaustritt aus den Sonnenstrahlen nahm, stimmte mit der von Piazzi angegebenen Bahn nicht überein. Bei seiner Lichtschwäche war er schwer wieder aufzufinden, und er wurde das ganze folgende Jahr 1801 vergebens am Himmel gesucht.

Endlich wurde er von Zach [34]) und Olbers in den letzten Tagen von 1801 und in den ersten von 1802 glücklich wieder entdeckt. Gauß und Burckhardt benützten sofort die neuen Beobachtungen, um daraus die Elemente seiner Bahn zu bestimmen, und der erste gab auch zu diesem Zwecke eine neue, sinnreiche Methode. Von nun an bewegt sich Ceres in einer Bahn, deren Gestalt und deren Störungen so vollkommen bekannt sind, daß dieser Planet sich fortan nie mehr den Blicken der Astronomen entziehen wird.

Während Olbers [35]) im Anfange des Jahres 1802 die Ceres suchte, entdeckte er in dem Sternbilde der Jungfrau ein anderes fremdartiges Gestirn, das sofort auch als ein neuer Planet erkannt und Pallas genannt wurde. Schon zwei Stunden nach dem Augenblicke der Entdeckung hatte er die Bewegung desselben

---

34) Zach (Franz, Baron von), geb. den 4. Juni 1754 zu Preßburg in Ungarn. Er nahm zuerst österreichische Kriegsdienste, hielt sich dann einige Zeit in London auf, und kam als Oberhofmeister und Obristlieutenant an den Hof von Sachsen-Gotha, wo er von 1787 bis 1806 der von ihm gegründeten Sternwarte zu Seeberg vorstand. Seit 1806 lebte er im Gefolge der verwittweten Herzogin von Sachsen-Gotha zu Genua und später zu Paris, wo er am 2. Sept. 1832 an der Cholera starb. Er war sehr thätig zur Verbreitung der Astronomie, besonders in Deutschland. Er ist der Herausgeber der ersten Bände der „Geographischen Ephemeriden," der gesammten „Monatlichen Correspondenz zur Beförderung der Erd- und Himmelskunde (Gotha 1800 — 13) in 28 Bänden," und der „Correspondance astronomique, Genua 1814 u. f." Noch haben wir von ihm: L'attraction des montagnes, Avignon 1814; Tabulae motuum solis, Gotha 1792 mit dem Supplément, Gotha 1804; Tabulae speciales aberrationis et nutationis, Gotha 1806; Nouvelles tables d'aberration pour 1404 étoiles, Marseille 1812. L.

35) Olbers (Heinr. Wilh.), praktischer Arzt zu Bremen, und einer der ausgezeichnetsten Astronomen, geb. den 11. Okt. 1758 zu Arbergen im Herzogthum Bremen. Er fand 1801 die schon verloren geglaubte Ceres wieder auf, und entdeckte am 28. März 1802 die Pallas, so wie am 29. März 1807 die Vesta. (Ceres wurde bekanntlich von Piazzi zu Palermo am 1. Januar 1801, und Juno von Harding zu Göttingen am 1. Sept. 1804 entdeckt.) Nebst seinem trefflichen Werke über die Berechnung der Kometenbahnen, Weimar 1797, sind seine zahlreichen und interessanten astronomischen Aufsätze zerstreut in Bode's Jahrbuch, in Zach's monatlicher Correspondenz und in Schumacher's astr. Nachrichten. L.

unter den Fixsternen erkannt. Auch die Bahn dieses Planeten wurde von Gauß und Burckhardt berechnet, und sie fanden die Excentricität derselben größer, als bei irgend einem der bisher bekannten Planeten, und dasselbe galt auch von der Neigung ihrer Bahn gegen die Ekliptik, die fünf und dreißig Grade betrug. Dadurch wurden aber auch die Störungen, welche dieser Planet vom Jupiter erleidet, sehr groß und schwer zu berechnen. Die bisher gewöhnliche Methode der Bestimmung dieser Störungen wurde von Burckhardt für die Pallas unzureichend gefunden, und das kaiserliche Institut (wie die Pariser Akademie zur Zeit des Kaiserreichs genannt wurde) machte die genaue Berechnung der Perturbationen der Pallas zu dem Gegenstand einer Preisfrage.

Diesen beiden wichtigen Entdeckungen folgten bald noch zwei ähnliche. Die deutschen Astronomen besonders durchspähten mit großem Eifer die Zone, in welcher sich Ceres und Pallas bewegten, in der Hoffnung, daselbst noch andere neue Planeten, die Fragmente eines großen älteren, zu finden, denn für solche hatte sie Olbers angesehen. In Folge dieser Nachforschungen fand Harding in Lilienthal am 1. September 1804 wieder ein ähnliches neues Gestirn, das sofort für einen Planeten erkannt und Juno genannt wurde.

Nach der eben erwähnten Hypothese von Olbers sollte jener ältere Planet, aus dem diese neuen hervorgegangen sind, in einem der zwei einander entgegengesetzten Sternbilder, der Jungfrau oder des Wallfisches, zersprungen sein, und hier war es auch, wo Olbers noch weitere Fragmente desselben zu suchen fortfuhr. Dreimal des Jahres wollte er alle kleineren Sterne dieser beiden Sternbilder durchsuchen, und seine Bemühungen wurden bald von einem glücklichen Erfolge gekrönt. Am 29. März 1807 entdeckte er die Vesta, die er alsbald auch als einen Planeten erkannte, deren Bahn wieder von Gauß und Burckhardt berechnet wurde.

Diese durch die ersten Versuche gefundenen Elemente der vier neuen Planeten wurden späterhin, vorzüglich durch deutsche Mathematiker, immer mehr verbessert [36]), und nachdem man auch ihre Perturbationen genauer bestimmt hatte, wurde die

36) Airy in seinem erwähnten Rapport, S. 157.

Ephemeride derselben, vorzüglich für die Zeiten ihrer Oppositionen, in den Berliner Ephemeriden voraus berechnet. „Ich habe „erst letzthin," sagt Airy in der unten angeführten Schrift, „die „Beobachtungen der Juno und Vesta mit diesen Ephemeriden „verglichen, und ihre Uebereinstimmung größer noch, als bei der „Venus, gefunden." So weit vorgerückt ist also in so kurzer Zeit die Theorie dieser neuen Gestirne, und so genau und scharf sind die ebenfalls neuen Methoden, die Gauß zur Berechnung derselben vorgeschlagen hat [37]).

Bemerken wir noch, daß die Namen aller dieser Planeten, gleich denen der alten, aus der griechischen Mythologie genommen worden sind. Bei dem ersten derselben, bei Uranus, waren die Astronomen anfänglich über die Benennung desselben getheilt. Der Entdecker desselben nannte diesen Planeten Georgium Sidum, das Georgsgestirn, zu Ehren seines Beschützers Georg III. von England. Lalande und andere wollten ihn, zum Andenken des Entdeckers, Herschel genannt wissen. — Nichts ist billiger, als den Ruhm eines Entdeckers auf solche Weise zu verewigen. Allein den meisten Astronomen schien es unangemessen, die Reihenfolge des althergebrachten Systems dieser Benennungen auf solche Weise zu unterbrechen. Sie fanden endlich für den bisher unbekannten Bürger unseres Planetensystems noch eine übrige Stelle unter den Sitzen der alten Götter, in deren Reihe er als Uranus, oder als der Vater des ihm zunächst stehenden Saturns, aufgenommen wurde. Seitdem wurde diese mythologische Nomenclatur auch ohne Widerstreben auf alle anderen neuen Planeten fortgesetzt. Zwar wollte Piazzi das von ihm entdeckte Gestirn Ceres Ferdinandea genannt wissen, und der erste dieser Namen wurde auch beibehalten, zum Andenken der Gottheit, die einst Sicilien, das Land dieser Entdeckung, bewohnt haben sollte. Der zweite aber wurde, als der Wissenschaft fremd, der Vergessenheit übergeben. Die drei übrigen Planeten endlich, Pallas, Juno und Vesta, wurden ohne besondere Rücksichten nach der Wahl ihrer Entdecker benannt.

---

37) Die Methode von Gauß, die Elemente der elliptischen Bahnen dieser Planeten aus den ersten Beobachtungen zu bestimmen, findet man in dessen klassischer Schrift: Motus corporum coelestium. L.

Sechster Abschnitt.

Anwendung von Newton's Theorie auf die Kometen.

Noch müssen wir einige Worte über eine andere Gattung von Himmelskörpern hinzufügen, von denen man anfangs glaubte, daß sie sich nur auf Gerathewohl, gleich den Wolken, über uns bewegen, bis endlich die neuere Astronomie uns gelehrt hat, daß auch sie, wie alle Planeten, denselben Gesetzen der Schwere gehorchen. Kein Theil der Entdeckungen Newton's erzeugte ein größeres und weiter verbreitetes Interesse, als das, welches die Kometen mit ihrem durch seine und Halley's Berechnungen fortan geregelten Laufe erweckten. Hevelius, einer der eifrigsten Beobachter dieser Himmelskörper, war der Meinung, daß sie sich in Parabeln bewegen [38]). Allein auch die Bestimmung der Elemente einer solchen parabolischen Bahn schien dem Newton schon so verwickelt, daß er dieselbe ein problema longe difficillinum [39]) nannte, daher er die Bahn des großen Kometen von 1680 noch durch eine Art von graphischem Verfahren zu bestimmen suchte. Er setzte dabei die Bahn dieses Kometen parabolisch voraus, und die Bewegung desselben in dem uns sichtbaren Theile seiner Bahn wurde, durch seine Methode, mit hinlänglicher Schärfe dargestellt. Allein diese Voraussetzung der Parabel machte es ganz unmöglich, die Wiederkunft eines Kometen zu bestimmen. — Halley gebührt der Ruhm, einen solchen periodisch wiederkehrenden Kometen in demjenigen gefunden zu haben, der jetzt seinen Namen trägt. Allein diese wichtige Entdeckung war die Frucht von vielen anderen mühsamen Arbeiten. Im Jahre 1705 zeigte er [40]), wie man die Elemente einer parabolischen Bahn aus drei vollständigen geometrischen Beobachtungen finden könne, und seine Methode durch zahlreiche Beispiele erläuternd, fügte er die auf diese Weise berechneten Bahnen von vier und zwanzig Kometen seinem Werke hinzu. Als Lohn für seine mühsamen Arbeiten fand er, daß der Komet von 1607 und 1531 dieselben Elemente mit dem von 1682 habe, wo auch die Intervalle zwischen diesen drei Wiederkünften nahe fünf und

38) Bailly, Hist. d'Astron. II. 246.

39) Newton's Princip. Edit. I. S. 494.

40) Bailly, Hist. d'Astr. II. 646.

siebenzig Jahre betrugen. Indem er in der Geschichte der Kometen rückwärts solche Kometen suchte, deren Intervalle nahe dieselbe Größe hatten, fand er drei andere Erscheinungen solcher Körper erwähnt, die in die Jahre 1456, 1380 und 1305 fielen, und so konnte er auch nicht länger mehr zweifeln, daß dieser Komet, gleich allen Planeten, eine in sich selbst wiederkehrende, elliptische Bahn, nicht aber, wie man bisher vorausgesetzt hatte, eine Parabel beschreibe. Unter dieser Voraussetzung mußte aber der Komet in den Jahren 1758 oder 1759 wieder erscheinen. Halley sagte dies kühn voraus, und die Bestätigung dieser Verkündigung wurde, als eine neue und entscheidende Prüfung der Wahrheit des neuentdeckten Gravitationsgesetzes, mit eifriger Ungeduld allgemein erwartet.

Allein bisher wurde dieser Komet nur als ein der blosen Anziehung der Sonne unterworfener Himmelskörper betrachtet, ohne Rücksicht auf die wahrscheinlich sehr großen Störungen, die er von den Planeten unseres Sonnensystems zu erleiden haben könnte. Welchen Einfluß möchten aber diese Störungen auf die Zeit seiner Wiederkehr in unsere Nachbarschaft haben? — Halley warf selbst diese Frage auf, allein er versuchte es nicht, die Antwort darauf zu geben.

Diese Berechnung der Störungen eines Kometen in seiner sehr excentrischen Ellipse spottete aller der bisher für die Planeten gefundenen, blos genäherten Methoden und setzt sehr weitläufige Berechnungen voraus. „Clairaut," sagt Bailly [41]), „wagte sich „kühn an diese Unternehmung. Er hatte Muth genug, den „Feind anzugreifen, und Geist genug, einen entscheidenden, für „alle Zeiten merkwürdigen Sieg über ihn zu erringen." Die Schwierigkeiten, die er zu überwinden hatte, wie er immer weiter in seinen Arbeiten fortrückte, thürmten sich vor ihm wie Gebirge auf, aber er besiegte sie endlich alle, wobei er in der Ausführung seiner weitläufigen numerischen Berechnungen von Lalande und von einer astronomischen Frau, Mad. Lepaute [42]),

---

41) Bailly, Hist. d'Astron. III. 190.

42) Lepaute (Madame), eine der wenigen Frauen, die sich in der Astronomie ausgezeichnet haben. Sie war geboren am 5. Januar 1723 zu Paris, heirathete 1748 André Lepaute, den berühmten Uhrmacher, von dem wir mehrere noch jetzt geschätzte Werke über seine Kunst be-

unterstützt wurde. Clairaut sagte, am Schlusse aller seiner Arbeiten, voraus, daß der Halley'sche Komet am 13. April 1759 sein Perihel wieder erreichen werde, doch forderte er noch die Bewilligung eines Monats für die unvermeidlichen Fehler seiner Berechnungen, die, da die Zeit drängte, nicht ohne Hast vollendet werden mußten, wenn sie noch als eine Vorherbestimmung der Erscheinung auftreten sollten. Der Komet entsprach seiner Verkündigung und seiner Vorsicht zugleich, da er am 13. März des erwähnten Jahres 1759 in seine Sonnennähe trat.

In den letzten Jahren wurden noch zwei andere Kometen [43])

---

sitzen. Die Bekanntschaft mit Clairaut und Lalande brachte sie zur Astronomie, und sie führte viele von den umständlichsten Berechnungen dieser ihrer Freunde aus. Wir haben von ihr auch mehrere Abhandlungen in der Conn. de tems und in andern gelehrten Zeitschriften. Lalande schrieb ihr Eloge in seiner Geschichte der Astronomie für das Jahr 1788. L.

43) Unter den unzähligen Kometen unseres Sonnensystems können wir bisher nur von vier derselben ihre Umlaufszeit angeben.

Der erste ist der Halley'sche Komet, dessen Umlaufszeit 75 bis 76 Jahre beträgt. Er wurde in den Jahren 1456, 1531, 1607, 1682, 1759 und 1835 beobachtet. Der zweite ist der nach Encke benannte Komet, von nahe 3 Jahren 115 Tagen Umlaufszeit. Er wurde bereits öfter beobachtet. Der dritte ist von Biela entdeckt worden und kehrt in 6 Jahren und 270 Tagen wieder zur Sonne zurück. Auch er ist seit dem 28. Februar 1826, seinem Entdeckungstage, schon mehrmal beobachtet worden. Der vierte endlich ist am 6. März 1815 von Olbers entdeckt und seine Umlaufszeit auf nahe 75 Jahre berechnet worden.

Hier kann auch des bereits oben erwähnten Kometen von 1770 gedacht werden, von dem die Berechnungen eine Umlaufszeit von 5½ Jahren zeigten, da man ihn doch weder vor, noch nach 1770 gesehen hatte. Endlich wurde durch sehr umständliche Rechnungen gefunden, daß dieser Komet i. J. 1767 sehr nahe an Jupiter, dem größten Planeten unseres Sonnensystems, vorbeigegangen ist, wodurch die anfangs wahrscheinlich sehr excentrische Bahn dieses Kometen in die von 5½ Jahren Umlaufszeit verwandelt worden ist. In dieser neuen Bahn würde er auch in dem folgenden Jahre 1776, wo man ihn wieder erwartete, sichtbar gewesen sein, wenn er sich nicht eben in der für diese Sichtbarkeit günstigsten Zeit fast genau hinter der Sonne befunden hätte. Drei Jahre darauf aber begegnete er, wie dieselben Rechnungen zeigen, i. J. 1779 dem Jupiter zum zweitenmale, und kam ihm hier wieder so von viel kürzeren Umlaufszeiten entdeckt. Der Komet von Encke vollendet seine Bahn um die Sonne in 3⅓, und der von Biela in 6¾ Jahren. Alle diese Himmelskörper, deren Gewebe sehr fein und gleichsam nur dunstförmig scheint, bewegen sich, gleich allen übrigen bisher berechneten Kometen, in elliptischen Bahnen nach dem allgemeinen Gesetze der Schwere.

Gedenken wir noch mit einigen Worten des merkwürdigen Kometen von 1770, der, nach Lexell's Berechnungen, seine Bahn um die Sonne alle fünf Jahre vollenden, und der daher auch, dieser Bemerkung gemäß, im Jahre 1775 wieder erscheinen sollte. Allein diese Vorhersage ging nicht in Erfüllung. Doch wurde diese Mißdeutung späterhin beruhigend dadurch erklärt, daß dieser Komet in seinem Laufe nach dem Jahre 1770 dem Jupiter sehr nahe gekommen ist, wodurch die Gestalt und Größe seiner Bahn gänzlich verändert worden sein soll.

Sonach wurde die Wahrheit der neuen Theorie der allgemeinen Schwere durch die Bewegung der Himmelskörper von allen Seiten vollkommen bestätiget. Selbst noch die erst in unsern letzten Tagen stattgehabte Wiederkehr des Halley'schen Ko-

---

nahe, daß seine Bahn durch die Anziehung dieses mächtigen Planeten noch einmal ganz verändert werden mußte, deshalb er uns seitdem unsichtbar geblieben ist.

Von den vier oben angeführten Kometen wollen wir noch bemerken, daß die Umlaufszeit des Encke'schen Kometen immer kleiner wird, von welcher auffallenden Erscheinung Encke die Ursache in dem Widerstande sucht, den dieser Planet von dem den Weltraum erfüllenden Aether erleiden soll. Der Biela'sche Komet aber, den unser Verfasser den Gambard'schen nennt, da doch seine Entdeckung durch Biela constatirt ist, hat eine solche Bahn, die in einem ihrer Punkte nahe durch die Erdbahn geht, so daß also, in der Folge der Zeiten, ein Zusammenstoß dieses Kometen mit der Erde nicht unmöglich ist. Es ist merkwürdig, daß derselbe Komet auch einmal mit dem Encke'schen zusammentreffen kann, da die Bahnen dieser zwei Kometen in einem Punkte des Himmels, der von der Sonne aus gesehen die Länge 21° und die nördliche Breite 10° hat, nahe vorbeigehen, so daß unsere Nachkommen einmal, wenn jene Bewegung der beiden Kometen um die Mitte des Oktobers sich ereignen sollte, das Schauspiel eines Kampfes oder vielleicht der gegenseitigen Zerstörung dieser zwei Himmelskörper erblicken würden.

L.

meten i. J. 1835, die so genau mit den berechneten Vorherbestimmungen dieser Erscheinung übereinstimmte, würde, wenn dies in unsern Tagen noch nothwendig wäre, als eine neue, selbst der nichtastronomischen Welt merkwürdige Bestätigung jener großen Wahrheit gelten können.

Siebenter Abschnitt.

Anwendung der neuen Theorie auf die Bestimmung der Gestalt der Erde.

Auf diese Weise also wurde die Wahrheit der neuen Theorie in den Erscheinungen des Himmels untersucht, und durch unzählige Beobachtungen auf die mannigfaltigste Weise bestätigt gefunden, so daß auch die scharfsinnigste und tadelsüchtigste Kritik keinen Widerspruch und keine Einrede irgend einer Art mehr vorzubringen im Stande war. Noch aber war übrig, unsere Erde selbst und den sie umgebenden Ocean, als einen neuen Prüfstein derselben Wahrheit, zu untersuchen.

Nach den Vorschriften dieser neuen Theorie sollte die Erde eine an ihren beiden Polen etwas abgeplattete Kugelgestalt haben. Diese Gestalt, oder wenigstens die Größe jener Abplattung, hängt aber nicht blos von dem Gesetze des verkehrten Quadrats der Entfernung im Allgemeinen, sondern auch davon ab, daß auch jedes einzelne Element der Erdmasse demselben Gesetze unterworfen ist, und auf diese Weise mußte die Bestätigung der erwähnten Gestalt der Erde als eine Verifikation der neuen Theorie im weitesten Sinne betrachtet werden. Ein Zeugniß solcher Art war aber um so nothwendiger, da die französischen Astronomen durch ihre Meridianmessungen eine an den Polen nicht abgeplattete, sondern vielmehr erhöhte Gestalt der Erde gefunden hatten, was sie mit ihrem Cartesianischen System in eine Art von Verbindung zu bringen suchten. Dominic Cassini hatte sieben Breitengrade von Amiens bis Perpignan i. J. 1701 gemessen, und diese Grade von Süd gen Nord abnehmend gefunden. Die Verlängerung dieser Messungen bis Dünnkirchen bestätigte dieses Resultat. Allein wenn Newton's Theorie wahr sein sollte, so müßte offenbar das Gegentheil statthaben, und die Breitengrade müßten näher bei den Polen immer größer werden.

Die einzige Antwort, welche die Anhänger Newton's auf diesen Einwurf der unmittelbaren Messung zu jener Zeit geben konnten, war die, daß ein so kleiner Bogen, wie der gemessene, mit seinen unvermeidlichen Beobachtungsfehlern, nicht hinreiche, die Frage zu entscheiden. Es möchte allerdings die Sache Englands gewesen sein, der französischen Messung durch eine bessere und ausgedehntere entgegen zu treten. Allein man überließ die Ehre, diesen Streit zu schlichten, noch eine längere Zeit durch anderen Nationen. — Die Franzosen unternahmen diese Ausführung [44]). Im Jahr 1733 schlug La Condamine [45]), ein sehr

---

44) Bailly, Hist. d'Astr. III. 11.

45) La Condamine (Charles Marie), ein berühmter Naturforscher, geb. 28. Januar 1701 zu Paris, und ein sehr vielseitig gebildeter Mann, der vorzüglich durch seine Reise mit Bouguer und Godin zur Gradmessung nach Peru i. J. 1736 bekannt geworden ist. Seine Beschreibung derselben gab er in dem Journal du voyage à l'équateur etc. Paris 1751. Er starb 4. Febr. 1774.

Maupertuis (Pierre Louis), geb. zu St. Malo 1697, nahm 1718 Kriegsdienste, von denen er sich aber nach einigen Jahren wieder losmachte, um ganz den Wissenschaften, vorzüglich der Mathematik, zu leben. Er war an der Spitze der Gesellschaft, die Ludwig XV. i. J. 1736 zur Gradmessung nach Lappland schickte. M. s. dessen Werk: Figure de la terre, determinée par les observations de Maupertuis, Clairaut, Camus etc. Paris 1738. Im Jahre 1740 wurde er auf Friedrich's II. Ruf Präsident der Akademie in Berlin, mit dem er auch in den Krieg zog und bei der Schlacht von Mollwitz gefangen wurde. Mit Professor König in Franeker in den Niederlanden bekam er einen heftigen Streit über das von ihm in den Berl. Mem. 1746 aufgestellte Gesetz der kleinsten Wirkung, das König für Leibnitz vindicirte. In dieser Fehde trat auch Voltaire gegen ihn auf, der seinen früher hochverehrten Freund nun als einen toll gewordenen Philosophen verschrie. Voltaire's gemeines Benehmen gegen M. veranlaßte endlich die Entfernung des erstern von Berlin. Maupertuis starb am 27. Juli 1759. Die Hauptzüge seines Charakters waren Lebhaftigkeit, Eitelkeit und Neigung zum auffallend Sonderbaren, selbst in der Kleidung. Seine Werke erschienen, Lyon 1756, in 4 Bänden.

Bouguer (Pierre), geb. 16. Febr. 1698 zu Croisie in der Bretagne, wo sein Vater Professor der Hydrographie war. Im Jahr 1727 gewann er den Preis der P. Akademie über die Bemastung der Schiffe und 1729 einen zweiten über die Beobachtung der Gestirne zur See, und 1732 überreichte er dieser Akademie sein Memoire über die Neilebhafter und eifriger Mann, in einer Sitzung der Pariser Akademie vor, diese Frage durch die Sendung einer Anzahl von Akademikern an den Aequatar zu schlichten, um dort einen Grad des Meridians zu messen, den man dann mit dem in Frankreich bereits gemessenen Bogen vergleichen könnte, und er trug sich selbst als Mitglied dieser Commission an, die auch aus ihm, aus Bouguer und Godm bestand. Maupertuis im Gegentheile zeigte die Nothwendigkeit einer ähnlichen Messung in der Nähe des Poles. Die französische Regierung nahm diese Vorschläge günstig auf, und auf ihre Kosten wurde eine dieser Commissionen nach Südamerika an den Aequator, und die andere, die aus Maupertuis, Clairaut, Camus und Lemonnier bestand, nach Lappland gesendet.

Seit diesen Messungen war die Abplattung der Erde an den Polen keinem weiteren Zweifel mehr unterworfen, und es fragte sich nur noch um die wahre Größe dieser Abplattung. Noch ehe jene zwei Expeditionen zurückgekehrt waren, hatte Lacaille und die Cassini's den französischen Bogen noch einmal

---

gungen der Planetenbahnen, nach der Theorie des Descartes, wie er denn unter allen Mitgliedern dieser Akademie am längsten diesem Systeme anhing. Da er sich durch diese Schriften einen Ruf als Mathematiker erworben hatte, so war er mit in die Commission gewählt, die im Mai 1735 zu der großen Gradvermessung nach Peru abging, und die erst im Jahr 1743 wieder nach Paris zurückkam. Er trug den größten Theil und die eigentliche Last der höchst beschwerlichen Expedition, da er mit dieser Vermessung noch viele andere nützliche Beobachtungen über die Refraction, die Anziehung der Berge u. f. verband. Die Resultate seiner Arbeiten gab er in seiner Figure de la terre, Par. 1749, heraus. Nach seiner Zurückkunft wurde ihm die Berichtigung der von Dr. Cassini zwischen Paris und Amiens ausgeführten Gradmessung übertragen, deren Resultate i. J. 1757 erschienen. Auch machte er sich um die Optik sehr verdient als Gründer der Photometrie (Bestimmung der Intensität des Lichts). Sein Essai sur la gradation de la lumière, Par. 1729, der nach seinem Tod 1760 neu aufgelegt wurde, ist noch jetzt, nebst Lambert's Photometrie (Augsburg 1760), das beste Werk über diesen Gegenstand. Auch verdankt man ihm die erste Idee des Heliometers, der später durch Dolland und Fraunhofer wesentlich verbessert wurde. Sein Traité de nautique, Paris 1753, und Lacaille's Ausgabe 1769 wurde ebenfalls sehr geschätzt. Seine Streitigkeiten mit La Condamine erschienen 1754. Er starb 15. August 1758. L.

gemessen, und in den früheren Messungen mehrere Fehler entdeckt, die das zuvor aufgestellte Resultat ganz umstürzten, und die Erde an den Polen um den $^1/_{168}$sten Theil ihres Durchmessers abgeplattet gaben. Die nach Peru und Lappland geschickten Geometer hatten mit vielen Schwierigkeiten zu kämpfen, welche die Erzählungen ihrer Schicksale beinahe romanhaft machten. Die Messung am Aequator beschäftigte sie nicht weniger, als acht volle Jahre. Als endlich beide Expeditionen wieder zurückkamen, und ihre Resultate mit denen der Messung in Frankreich verglichen, fand man beträchtliche Differenzen. Die Vergleichung Peru's mit Frankreich gab die Ellipticität der Erde gleich $^1/_{314}$, und die von Peru mit Lappland gab $^1/_{213}$. — Newton hatte auf theoretischem Wege $^1/_{230}$ für diese Größe gefunden, allein er setzte dabei die ganze Masse der Erde homogen voraus. Wenn aber die Erde, wie es sehr wahrscheinlich ist, gegen ihren Mittelpunkt immer dichter wird, so wird die Ellipticität derselben kleiner sein, als die eines homogenen Sphäroids, das sich in derselben Zeit um seine Axe dreht. Newton scheint dies nicht bemerkt zu haben, aber Clairaut hatte in seiner „Figure de la terre" dieses und noch manches andere interessante Resultat durch unmittelbare Rechnung als eine strenge Folge der Attraktion der einzelnen Elemente der Erde bewiesen. Besonders zeigte er, daß, so wie die Ellipticität der Erde kleiner genommen wird, der Unterschied der Schwere an den Polen und am Aequator größer werden muß, und durch diese Bemerkung werden die Abplattungen der Erde, die man aus Meridianmessungen und aus Pendelbeobachtungen an verschiedenen Theilen der Oberfläche der Erde erhält, mit einander in Verbindung gebracht.

Den langsameren Gang einer Pendeluhr, wenn sie näher zu dem Aequator gebracht wird, hatte schon lange vorher Richer [46])

---

46) Richer. Als um das Jahr 1670 unter den Astronomen sich mehrere Zweifel über die Richtigkeit der bisher angenommenen Refraction, über die Parallaxe der Planeten, über die Aenderung der Schwere an verschiedenen Orten der Oberfläche der Erde rc. erhoben, beschloß die Par. Akademie, zur Untersuchung dieser Gegenstände einen verläßlichen Mann in die Nähe des Aequators zu senden. Sie wählte dazu den geschickten und eifrigen Richer, der im Oktober 1671 von Paris nach Cayenne ging und daselbst bis in den Mai 1773 verweilte. Die

und Halley bemerkt, und diese Beobachtung wurde auch von Newton als eine Bestätigung der von ihm aufgestellten Theorie in Anspruch genommen.

Nachdem auf diese Weise die Bestätigung der Newton'schen Theorie im Allgemeinen erhalten war, handelte es sich noch um die genauere Bestimmung der Abplattung der Erde. Allein dieses Geschäft war mit vielen Schwierigkeiten verbunden. Es wurden seitdem wohl sehr zahlreiche Meridianmessungen sowohl, als auch Pendelbeobachtungen in allen Theilen der Erdoberfläche vorgenommen. Airy fand [47]) aus jenen Messungen $^1/_{298}$, und aus diesen $^1/_{285}$ für die Ellipticität der Erde. Diese Differenz ist groß, wenn man sie mit der zu messenden Größe selbst vergleicht, aber sie wirft dadurch noch keinen Schatten auf die Theorie. Die Meridianmessungen sowohl als die Pendelbeobachtungen sind bedeutenden Unregelmäßigkeiten unterworfen, die wahrscheinlich von großen Ungleichheiten in der Oberfläche der Erde und in der Dichte ihres Innern entspringen, und die daher auf beide Gattungen von Beobachtungen nachtheilige Einflüsse

---

Beobachtungen, die er auf dieser Insel anstellte, verbreiteten viel Licht über die Theorie der Refraction, die aber doch erst später ihre weitere Ausbildung erhielt. Zur Bestimmung der Parallaxe des Mars, aus der man dann nach Kepler's drittem Gesetze auch die Parallaxe aller übrigen Planeten ableiten konnte, beschloß man, an jenem Planeten gleichzeitige Beobachtungen in Paris und zu Cayenne zu machen. Jene wurden Picard und Römer, diese aber Richer übertragen. Aus beiden wurde die Horizontalparallaxe des Mars 25 $^1/_3$ Sek. gefunden, woraus Dr. Cassini die Horizontalparallaxe der Sonne zu 9 $^1/_2$ Sek. ableitete. (Nach den neuesten Bestimmungen von Encke aus den beiden Venusdurchgängen von 1761 und 1769 ist die mittlere Horizont-Aequatorialparallaxe der Sonne gleich 8.578 Sek.) Wichtiger noch war Richer's Beobachtung der Länge des Sekundenpendels. Er hatte eine astronomische Pendeluhr mit sich genommen, die zu Paris genau die Sekunde schlug, und die in Cayenne bedeutend zu langsam ging, so daß er das Pendel dieser Uhr nahe um 1 $^1/_4$ Linie verkürzen mußte. Huyghens stand nicht an, daraus den Schluß zu ziehen, daß die größere Schwungkraft der Erde am Aequator die Schwere daselbst vermindere, daß deßwegen das Sekundenpendel näher am Aequator verkürzt werden, und daß endlich, in Folge dieser Erscheinung, die Erde an ihren beiden Polen abgeplattet sein müsse. — Richer starb i. J. 1696 zu Paris. L.

47) Airy, Fig. of the Earth, S. 230.

äußern, ohne daß es in unserer Macht steht, diese Hindernisse zu entfernen, oder von ihnen Rechnung zu tragen.

Es gibt aber noch andere Erscheinungen dieser Abplattung der Erde, die wir unmittelbar an dem Himmel beobachten können. — Die Anziehung der Sonne und des Mondes auf die abgeplattete Erde ist bekanntlich die Ursache der Präcession der Nachtgleichen und der Nutation der Erdaxe. Die Präcession war schon zu Hippards's Zeiten im Allgemeinen bekannt; die Nutation aber wurde von Newton geahnet, und erst durch Bradley's ausgezeichnetes Beobachtungstalent entdeckt. Da jetzt die wahre Größe der Präcession und der Nutation genau bekannt ist, so gibt jede von ihnen uns zugleich ein Mittel, aus ihnen auch die Abplattung der Erde zu bestimmen. Denn jene beiden Phänomene sind nur als eine Folge dieser Abplattung zu betrachten, da sie, bei einer rein kugelförmigen Gestalt der Erde nicht existiren würden. Bei einer sehr einfachen Annahme des Zuwachses der Dichte der Erde gegen ihren Mittelpunkt hat man, aus jenen beiden Phänomenen, die Abplattung der Erde gleich $^1/_{300}$ gefunden [48]), und damit stimmen auch zwei kleine Störungsgleichungen des Mondes, die eine in Länge und die andere in Breite, überein, die ebenfalls von der Abplattung der Erde abhängig sind. Es ist daher sehr wahrscheinlich, daß die wahre Abplattung der Erde von dem zuletzt angeführten Bruche nicht bedeutend verschieden ist.

Achter Abschnitt.

Bestätigung der neuen Theorie durch besondere Experimente über Attraktion.

Auf die so eben erwähnte Weise wurde demnach die gegenseitige Attraktion aller einzelnen Elemente der Erde durch Versuche bestimmt, bei welchen die ganze große Masse der Erde in Betrachtung kam. Es wurden aber auch Versuche anderer Art angestellt, die sich nur auf einzelne Theile der Erde, z. B. auf Gebirge bezogen. Beobachtungen solcher Art sind aber mit großen Schwierigkeiten verbunden. Denn diese Partikular-

---

48) M. s. Airy, Fig. of the Earth, S. 235.

massen sollen mit der ganzen Masse der Erde, von welcher sie nur einen ungemein kleinen Theil bilden, in Verbindung gebracht werden; auch kann wohl die Anziehung, welche ein Berg auf irgend einen Körper ausübt, durch mancherlei Nebenumstände geändert, modificirt oder auch ganz verschleiert werden. Bei manchen der oben erwähnten Meridianmessungen will man die störende Einwirkung dieser Berge schon bemerkt haben. — Wie sich dies übrigens auch verhalten mag, so hat doch Maskelyne [49]) im Jahr 1774, ein Experiment, die Attraktion auf diese Weise zu finden, an dem Berge Shehallien in Schottland mit großer Sorgfalt ausgeführt. Dieser Berg zog das Bleiloth seines

---

49) Maskelyne (Nevil), geb. 1732 zu London, einer der ausgezeichnetsten Astronomen der k. Sternwarte zu Greenwich. Die Sonnenfinsterniß von 1748 entschied seine Liebe zur Astronomie, dieselbe, die auch auf Lalande denselben Erfolg gehabt haben soll. Im Jahre 1755 erhielt er eine Pfarre in der Nähe von London, wo er Muße genug hatte, die Mathematik für sich selbst zu lernen, und wo er die für ihn wichtige Bekanntschaft mit dem großen Astronomen Bradley, seinem Vorgänger in Greenwich, machte. Seine eigentliche astronomische Laufbahn beginnt mit dem Jahre 1761, wo er nach St. Helena geschickt wurde, um daselbst den Durchgang der Venus zu beobachten. 1763 gab er seinen trefflichen British mariners Guide heraus, eine Anleitung zur Bestimmung der Länge und Breite auf der See. 1764 setzte er nach vielen Kämpfen die Gründung des Nautical Almanac glücklich durch, der seitdem ununterbrochen fortgesetzt, so viel Nutzen gestiftet hat. Auch verdankt man ihm die Herausgabe der Mondstafeln von Tob. Mayer. Als Astronom in Greenwich wurde er 1765 ernannt, wo er seit dieser Zeit durch 47 Jahre ohne Unterbrechung einen Schatz von Beobachtungen gesammelt hat, der als die eigentliche Basis der gesammten neuen Astronomie betrachtet werden kann. Bekannt sind seine Beobachtungen über die Anziehung des Bleiloths durch den Berg Shehallien in Schottland. Er fand diese Anziehung 5.8 Sek., und die Dichte des Bergs nahe 5/9 von der mittleren Dichte der Erde. Da aber dieser Berg, eine gleichförmige Granitmasse, 5/2 von der Dichte des Wassers hatte, so folgt daraus die mittlere Dichte der Erde 4 1/2 der Dichte des reinen Wassers. Seine astronomischen Beobachtungen kamen, London 1776 fg., in vier Foliobänden heraus. Unter ihm erschienen auch die ersten 45 Bände des Nautical Almanac. Andere seiner Aufsätze finden sich in den Philos. Transactions. Er starb am 9. Febr. 1811. L.

Quadranten um sechs Sekunden aus der vertikalen Richtung, und aus dieser Wirkung berechnete Hutton [50]), daß die mittlere Dichte der Erde nahe $1^4/_5$ von der Dichte dieses Berges sein müsse.

Cavendish [51]), der zu diesen Berechnungen mehrere Hülfsmittel mitgetheilt hatte, wiederholte selbst dieses Experiment in einer ganz andern Gestalt mittels bleierner Kugeln von nahe neun Zollen im Durchmesser. Die Beobachtungen wurden mit der äußersten Genauigkeit und Feinheit gemacht, was allein ihnen Werth geben konnte, und das Resultat stimmte sehr nahe mit dem von dem Berge Shehallien überein, indem es für die Dichte der Erde nahe $5^1/_3$ der Dichte des Wassers gab. Ebenfalls nahe zu demselben Werthe gelangte auch Carlini im Jahre 1824 durch seine Pendelbeobachtungen, die er auf einem hohen Punkte der Alpen, in dem Hospiz des Berges Cenis, in einer beträchtlichen Erhöhung über der Meeresfläche angestellt hatte.

Neunter Abschnitt.

Anwendung der neuen Theorie auf die Ebbe und Fluth.

Endlich gelangen wir zu dem Gegenstande, in welchem noch am meisten zu thun ist, um seinen Zusammenhang mit Newton's

50) Hutton (John), geb. 1726 zu Edinburg, beschäftigte sich vorzüglich mit Mathematik und Chemie. Sein Hauptwerk ist die Theory of the earth, Edinb. 1795, in 2 Bänden, wo er das sogenannte platonische System aufstellt. Er fand einen eifrigen Vertheidiger in Playfair (m. s. dessen Illustrations of the Huttonian Theory, Edinb. 1802) und einen mächtigen Gegner in Werner. Er starb 1797.

51) Cavendish (Henry), einer der vorzüglichsten Chemiker, geb. 1731 zu Nizza. Er gab der erste die Analyse des Wasserstoffgases und dessen wesentlichen Unterschied mit der atmosphärischen Luft; so wie er uns auch die wichtige Entdeckung von der Zusammensetzung des Wassers aus Wasserstoff und Sauerstoff kennen lehrte. Nach seinen Experimenten und Bestimmungen fand er die Dichte der Erde $5^1/_3$mal so groß, als die des Wassers. Anfangs in beschränkten ökonomischen Verhältnissen lebend, wurde er 1773 von seinem Oheim zum Erben eines großen Vermögens eingesetzt, so daß er nun selbst in England für den reichsten unter den Gelehrten galt, wodurch aber weder sein Charakter, noch seine Lebensweise geändert wurde. Er starb zu London am 24. Febr. 1810 mit einer Verlassenschaft von mehr als einer Million Pfund Sterling. Die meisten seiner schriftlichen Aufsätze findet man in den Phil. Transact. von 1766–92.

allgemeinem Gesetze vollständig zu zeigen: zu der Theorie der Ebbe und Fluth des Meeres. Indeß ist auch hier, so weit unsere Beobachtungen reichen, die Uebereinstimmung derselben mit jener Theorie auffallend groß. Newton selbst hatte schon mit überraschendem Glücke alle die vorzüglichsten Umstände dieser Erscheinung, die zu seiner Zeit bekannt waren, in ihr wahres Licht gesetzt, nämlich die Differenz der hohen und niederen Fluthen, die Einwirkung der Deklination und Parallaxe des Mondes und der Sonne auf dieses Phänomen, so wie die Differenz der Morgen- und Abendfluthen, und endlich die unregelmäßigen Fluthen mehrerer besonderer Orte. Seit dieser Zeit bemühte sich die k. Gesellschaft der Wissenschaften in England sowohl, als auch die Pariser Akademie, zahlreiche Beobachtungen über jene Phänomene zu erhalten. Allein eben diese so nothwendigen Beobachtungen wurden leider nicht mit hinlänglicher Stetigkeit verfolgt. Unmittelbar nach Newton's Zeit war die Theorie der Ebbe und Fluth allerdings noch nicht ausgebildet genug, aber dieser Mangel wurde schon durch die vortrefflichen Preisschriften Euler's, Bernoulli's und d'Alembert's im Jahr 1740 größtentheils entfernt. Diese Schriften gaben die Mittel an die Hand, den Gegenstand ganz auf dieselbe Weise zu untersuchen, wie bisher alle anderen Wirkungen der allgemeinen Gravitation untersucht worden waren, nämlich durch Berechnung von Tafeln und durch die geordnete und fortgesetzte Vergleichung dieser Tafeln mit den Beobachtungen. Laplace [52]) verfolgte diesen Ge-

---

52) Laplace (Pierre Simon), einer der ersten Mathematiker, geb. den 23. März 1749 zu Beaumont en Auge, einem Flecken in dem Departement Calvados. Schon in früher Jugend zeichnete er sich durch sein starkes Gedächtniß und durch große Fassungskraft aus. Er erlernte sehr früh die alten Sprachen in großer Vollkommenheit und kultivirte glücklich mehrere Zweige der Literatur. Seine ersten Lorbeeren sammelte er sich in der Theologie, wo er die schwersten Controverspunkte mit dem größten Scharfsinn zu behandeln wußte. Als er nach Paris kam, machte er sich bald durch seine mathematischen Kenntnisse bekannt, erhielt die Stelle eines Examinators in dem k. Artilleriecorps und wurde bald darauf Mitglied der Akademie.

Nach Euler hat Laplace am meisten beigetragen, die mathematische Analysis zu begründen und zu erweitern. Zu diesem Geschäfte schien er gleichsam geboren zu sein, und alle seine mathematischen Arbeiten genstand auf einem andern Wege, indem er mit der außerordentlichen Kraft seiner mathematischen Analysis zuerst die

---

haben eine eigene Eleganz, eine besondere Symmetrie der Form, und sie sind eben so sehr durch Allgemeinheit der Methode, und durch Reichthum des Inhalts, als durch Vollendung des äußeren Styls ausgezeichnet. In seinem Hauptwerke, der Mécanique céleste (5 Bände, Paris 1799—1825 in 4to) hat er alle großen Entdeckungen, die bisher in der Mathematik und Astronomie gemacht worden sind, gesammelt und verbunden und sie mit seinen eigenen vermehrt. Für einen größeren Lehrkreis schien er seine Exposition du système du monde (7 Aufl.) bestimmt zu haben. Auch seine Théorie analytique des probabilités (3te Aufl. Paris 1820) mit seinem Essai philosophique sur les probabilités (Paris 1814) sind die vorzüglichsten Schriften, die wir über diesen Gegenstand besitzen. Seine anderen sehr zahlreichen Aufsätze finden sich größtentheils in den Mém. de l'Acad. de Paris von 1772 bis 1823. In den spätern Jahren beschäftigte er sich auch viel mit physikalischen Untersuchungen über die Wärme, die Haarröhrchenkraft, die Geschwindigkeit des Schalls u. s. Von Napoleon wurde er im Anfange der Consularregierung zum Minister des Innern, später zum Kanzler des Sénat conservateur und zum comte de l'empire ernannt. Im Jahre 1814 stimmte er für die provisorische Regierung und für Napoleons Entsetzung; während der hundert Tage nahm er kein Amt an. Obschon er seitdem seinen Ruhm als Gelehrter behauptete, blieb er doch als Mitglied der Pairskammer unthätig, und er weigerte sich, an dem Tage den Präsidentenstuhl einzunehmen, wo die Mitglieder des Instituts im Jahr 1825 eine an Carl X. zu erlassende Bittschrift für Abschaffung der Censur diskutirten.

Sein vorzügliches Gedächtniß behielt er bis in sein hohes Alter, wie er denn in seinen letzten Jahren noch von Racine und andern Schriftstellern ganze lange Stellen auswendig herzusagen pflegte. Im Genuß der Freuden der Tafel war er immer sehr mäßig und in seinem höheren Alter aß er ungemein wenig. Krankheiten plagten ihn erst die zwei letzten Jahre seines Lebens; nur seine Augen waren schwach, doch wußte er sie durch Mäßigung bis an seinen Tod brauchbar zu erhalten. Im Anfange der Krankheit, die sein Leben endete, bemerkte man öfter ein Irrereden über astronomische Gegenstände, als ob er in den Sitzungen der Akademie einen Vortrag halten wollte. Als an seinem Sterbetage die um ihn stehenden Freunde seiner großen Entdeckungen gedachten, soll er bitter lächelnd geantwortet haben: Ce que nous connaissons, est peu de chose, mais ce que nous ignorons, est immense. Wenige Stunden darauf verschied er ohne Schmerz am 5. Mai 1827. L.

Resultate der Theorie berechnete, und dann dieselben, bei geeigneten kritischen Fällen, mit den Beobachtungen in dem Hafen von Brest verglich. Durch dieses Verfahren wurde die Theorie, so weit dies auf diesem Wege möglich war, bestätigt. Allein diese Methode macht die Anwendung des eigentlichen Criteriums der Wahrheit in solchen Fällen, nämlich die Construktion und Bestätigung der Tafeln, keineswegs überflüssig. Bernoulli's Theorie im Gegentheile wurde zur Construktion solcher Tafeln benutzt, aber diese Tafeln waren doch nicht recht geeignet, mit den Beobachtungen verglichen zu werden, und wenn ja diese Vergleichungen, mehr des Gewinns, als wahrer wissenschaftlicher Zwecke wegen gemacht worden sind, so wurden sie doch nicht bekannt gemacht, und konnten daher auch nicht zur Bestätigung der neuen Lehre dienen.

Wir haben also noch immer keine hinreichende Vergleichung der Erscheinung mit der Theorie, da die von Laplace gegebene Theorie noch weit von einer solchen vollständigen Vergleichung entfernt ist. In diesen, so wie in allen anderen physischen Untersuchungen soll nämlich die Theorie nicht blos mit einigen ausgewählten und zu gewissen Zwecken zusammengestellten Fällen, sondern sie soll mit dem ganzen Laufe der Beobachtungen, und mit jedem einzelnen Theil der Erscheinung genau verglichen werden. Hier, wie überall in der physischen Astronomie, soll die wahre Theorie daran erkannt werden, daß sie uns die besten Tafeln der Erscheinung liefert. Allein nach Laplace's Theorie hat man, so viel ich weiß, nie Tafeln berechnet, und sonach konnte auch diese Theorie bisher noch nicht ihre wahre Bestätigung erhalten.

Wenn man bedenkt, auf welche Weise die Astronomie zu so großer Vollkommenheit gediehen ist, so muß man sich verwundern, das dieselben Menschen, in Beziehung auf den hier in Rede stehenden Gegenstand, nur einen Augenblick die Hoffnung hegen konnten, durch die blose Verbesserung der mathematischen Theorie, ohne viele und geeignete Beobachtungen, zu ihrem Ziele zu gelangen. In allen anderen Abtheilungen der Astronomie, wie z. B. bei dem Monde und den Planeten, wurde zuerst ein empirischer Grund der Untersuchung, durch Beobachtungen, gelegt, ehe man die Theorie des Gegenstandes auszubilden sich bemühte. Der von der Analogie uns vorgezeichnete

Weg war also der, daß man zuerst, durch die Prüfung einer langen und sorgfältig fortgesetzten Reihe von Beobachtungen der Ebbe und Fluth, die Wirkungen derselben in der Culmination, in der Parallaxe und in der Deklination des Mondes und der Sonne aufgesucht und unter einander verglichen, und auf diese Weise die *wahren Gesetze der Erscheinung* erhalten hätte, von denen man endlich zu den *Causalgesetzen* der Sache selbst mit Sicherheit übergegangen wäre.

Obschon die mathematischen Theoretiker diesen Weg nicht eingeschlagen haben, so ist er doch, wie es die Natur der Sache erfordert, von denjenigen verfolgt worden, die auf eine blos praktische Art solche Fluthtafeln erhalten wollten. Dadurch wurde aber die Anwendung von Kenntnissen auf den Nutzen des gemeinen Lebens von der Würde der Wissenschaft getrennt; jene praktischen Kenntnisse wurden als ein Gewinn bringendes Eigenthum betrachtet und demgemäß auch geheim gehalten. Die blose Kunst der praktischen Handgriffe verschmähte die ihr von ihrer Natur gebotene Unterordnung unter die Wissenschaft, oder vielmehr diese Kunst, ihrer natürlichen Leitung durch die Wissenschaft beraubt, nahm ihre alten, nach ihr selbst benannten Kunstgriffe von Ausschließung und Geheimniß wieder an. London, Liverpool und andere Hafenstädte Englands haben jede ihre besonderen Fluthtafeln, die größtentheils nach nicht bekanntgemachten Regeln konstruirt, und gewöhnlich mehrere Generationen hindurch als eine Art von Familienbesitzthum von dem Vater auf den Sohn fortgeerbt wurden, so daß man die Publikation jeder anderen mit Erläuterung ihrer Berechnung begleiteten Tafel dieser Art sofort als einen Eingriff in das Eigenthumsrecht ansehen und behandeln wollte.

Die Art, wie man zu jenen Tafeln gekommen, ist ohne Zweifel die oben angegebene, nämlich die Prüfung einer beträchtlichen Anzahl von Beobachtungen. Die besten dieser praktischen Fluthtafeln waren wahrscheinlich die von Liverpool, die ein Geistlicher, Namens Holden, aus den Beobachtungen des Hafenmeisters Hutchinson in dieser Stadt, abgeleitet hat. Dieser letzte hatte, aus besonderer Vorliebe für den Gegenstand, die Ebbe und Fluth in dem Hafen von Liverpool Tag und Nacht durch nahe zwanzig Jahre mit der größten Genauigkeit beobachtet und aufgezeichnet, und obschon Holden's Tafeln nur auf vier von diesen Beobachtungsjahren gegründet wurden, so waren sie doch von ausgezeichneter Genauigkeit.

Am Ende fingen die Männer der Wissenschaft an, zu begreifen, daß solche Berechnungen zu ihren Geschäften gehören, und daß es ihr Beruf sei, die von ihnen geleitete Theorie auch selbst, nach dem größtmöglichen Maßstabe, mit den Beobachtungen zu vergleichen. Lubbock war der erste Mathematiker, der in dieser Absicht sehr ausgedehnte Arbeiten unternahm. Er fand regelmäßige Fluthbeobachtungen vor, die man zu London seit dem Jahr 1795 gemacht hatte, wählte von denselben neunzehn Jahre (den Cyklus der Mondsknoten) und ließ sie im Jahr 1831 von dem geschickten Calkulator Dessiou berechnen. Auf diese Weise erhielt er [53]) Tafeln, welche die Wirkung der Deklination, der Parallaxe und der Culmination des Mondes auf die Fluthen anzeigten, und dadurch war er auch in den Stand gesetzt, aus den so erhaltenen Daten eigentliche Fluthtafeln abzuleiten. Einige Versehen in der ersten Ausgabe dieser Tafeln, die dem theoretischen Werthe der Sache keinen weitern Eintrag thun konnten, gab doch jenen praktischen Berechnern solcher Tafeln willkommene Gelegenheit, ihre Eifersucht zu zeigen, wie man aus der Bitterkeit sehen kann, mit welcher sie diese Versehen tadelten. Allein in wenigen Jahren schon fand man diese neue Tafeln, die auf einem offenen, rein wissenschaftlichen Wege mitgetheilt wurden, bereits viel genauer, als alle jene, die aus geheimen Künsteleien hervorgegangen waren, und dadurch wurden denn auch jene Praktiker, die sich bisher die Herrschaft angemaßt hatten, wieder zu der ihnen angemessenen Subordination unter die Theorie zurückgeführt.

Lubbock hatte die Gleichgewichtstheorie des Daniel Bernoulli zur Vergleichung mit den Beobachtungen gewählt, und es zeigte sich, daß diese Theorie, mit einigen Modifikationen ihrer Elemente, die Beobachtungen mit einer merkwürdigen Genauigkeit darstellte, wie er dies vorzüglich bei den halbmonatlichen Ungleichheiten der Fluthzeiten zu zeigen sich bemühte. Später zeigte Whewell [54]) im Jahr 1833, daß man bei den

53) M. s. Philos. Transact. 1831 und British Almanac für das Jahr 1832.

54) Philos. Transact. 1834.

Beobachtungen in Liverpool für die Zeiten sowohl, als auch für die Höhen der Fluthen eine noch größere Genauigkeit erhalten könne, da eben damals auch neunzehn Jahre von Hutchinsons Beobachtungen in Liverpool von Lubbock berechnet wurden. Die anderen Ungleichheiten, die von der Deklination in der Parallaxe der Sonne und des Mondes abhängen, wurden ebenfalls auf mannigfaltige Weise mit der erwähnten Gleichgewichtstheorie von Lubbock und Whewell verglichen. Das Endresultat aller dieser Arbeiten war, daß die Erscheinungen der Ebbe und Fluth mit der Bedingung des Gleichgewichts für eine bestimmte frühere Zeit sehr wohl übereinstimmen, daß aber diese frühere Zeit für verschiedene Phänomene ebenfalls verschieden sei. Eben so schien aus diesen Untersuchungen hervorzugeben, daß zur vollständigen Darstellung der Beobachtungen die Masse des Mondes für verschiedene Orte der Erde verschieden angenommen werden müsse. Auf dasselbe sonderbare Resultat ist auch für Frankreich Daussy, ein sehr eifriger Hydrograph, gekommen [55]). Dieser hatte nämlich gefunden, daß die Beobachtungen verschiedener Hafenplätze mit Laplace's Formel, die eine bestimmte Masse des Mondes voraussetzt, nicht in Uebereinstimmung gebracht werden können, wenn er nicht an der Wasserhöhe eine Aenderung anbrachte, was im Grunde mit einer Aenderung der Mondsmasse identisch ist. Alles vereinigte sich darnach, zu zeigen, daß die Formeln der Gleichgewichtstheorie von Bernoulli wohl geeignet seien, die Ungleichheiten der Erscheinungen in der Ebbe und Fluth des Meeres genau darzustellen, daß aber die eigentlichen Fluthhöhen, welche in diesen Formeln enthalten sind, aus den Beobachtungen selbst gesucht werden müssen.

Ob ein solches Resultat mit der Theorie bestehen kann, ist eine Frage, die nicht sowohl der physischen Astronomie, als der Hydrodynamik angehört, und die bisher noch nicht beantwortet ist. Eine vollständige Theorie der Ebbe und Fluth, die sich auch auf die abgeleiteten Theile dieses Phänomens, und auf die Combination derselben mit den Haupterscheinungen bezieht, setzt wahrscheinlich die höchste Vervollkommnung der mathematischen Analysis voraus.

---

55) M. s. Connaiss. des Tems f. d. J. 1838.

Als Beitrag zu den empirischen Materialien dieses Problems der Hydrodynamik wird es erlaubt sein, auch Whewell's Versuch zu erwähnen, den Fortgang der Ebbe und Fluth über alle Meere, welche unsere Erde bedecken, durch die sogenannten Cotidal-Linien zu bestimmen. Diese Linien drücken nämlich die gleichzeitige Lage der verschiedenen Punkte der großen Welle aus, welche das Hochwasser von Ufer zu Ufer führen [56]). Eine Unternehmung dieser Art ist nothwendig mit viel Arbeit und Hindernissen verbunden, da sie die Kenntniß der Fluthzeiten für denselben Tag in jedem Theile der Oberfläche der Erde voraussetzt. Allein je näher eine solche Arbeit ihrer Vollendung rückt, desto mehr Mittel wird sie uns auch zu einer allgemeinen Uebersicht der Bewegung des Oceans und der partikulären Erscheinungen derselben für jeden besonderen Hafen gewähren.

Wenn man auf diesen Gegenstand mit den Erfahrungen, welche uns die Geschichte der Astronomie gewährt, zurückblickt, so darf man es hier wohl noch einmal sagen, daß diesem Gegenstande nicht eher sein Recht werden kann, bis er wie alle andern Theile der Astronomie behandelt sein wird. Es müssen nämlich mit Hülfe der bereits erworbenen Kenntnisse des Gegenstandes von allen Erscheinungen Tafeln entworfen, und diese Tafeln müssen fortwährend mit den noch künftigen Beobachtungen verglichen, und eben dadurch immer mehr und mehr verbessert werden. Eine große Reihe von guten Fluthbeobachtungen und eine aus jenen Tafeln berechnete Fluthephemeride, welche die künftigen Erscheinungen voraussagt, würde dem Gegenstande sehr bald vielleicht dieselbe Genauigkeit gewähren, deren sich die andern Theile der Astronomie erfreuen. Auf diese Weise würden wir auch wahrscheinlich noch zu einer großen Anzahl unbekannter Erscheinungen gelangen, deren genaue Untersuchung uns wieder Materialien zu anderen, bisher ganz ungeahneten Wahrheiten bieten könnte.

---

56) M. s. Whewell's Essays towards an approximation to a map of Cotidal Lines. Philos. Transact. 1833 und 1836.

Fünftes Kapitel.

Nachfolgende Entdeckungen zu Newton's Theorie.

Erster Abschnitt.

Astronomische Refraktionstafeln.

Wir haben in den letzten Blättern des vorhergehenden Kapitels ein weit ausgedehntes Feld von mathematischen und astronomischen Arbeiten durchwandert, und auf jedem Punkte desselben uns immer noch unter der Gerichtsbarkeit des Gesetzes der allgemeinen Schwere gefunden, wie in jenen alten Universalmonarchien, wo kein Mann aus dem Reiche entfliehen konnte, ohne zugleich die Welt zu verlassen. — Wir wollen uns nun zu andern Untersuchungen wenden, deren Unterordnung unter jenes allgemeine Gesetz wenigstens nicht so unmittelbar vor Augen liegt.

Die Entdeckung des wahren Gesetzes der atmosphärischen Refraktion führte die Astronomen zu dem allgemeinen Gesetze von der Deflexion des Lichtes, unter dem auch das der Refraktion enthalten ist, und zugleich zu der Kenntniß der Gestalt und des Baues unserer Atmosphäre. Die großen Entdeckungen von Römer und Bradley [1]), namentlich die Entdeckung der Geschwin-

1) Bradley (James), geb. 1692 zu Sherbourn in Glocestershire. Sein Vater William hatte die Schwester des James Pound geheirathet, dessen astronomische Beobachtungen in Newton's Prinzipien öfter erwähnt werden. Schon 1716 beschäftigte sich B. mit der Astronomie, 1721 wurde er Savilian Professor in Oxford und 1724 begann er die wichtigen Beobachtungen, welche ihn zu seinen zwei glänzendsten Entdeckungen, der Aberration und der Nutation, geführt haben. Die ersten dieser Beobachtungen wurden in der Wohnung von Molyneux zu Kew gemacht, und 1727 errichtete er zu diesem Zwecke sein Zenithsekton in Wanstead. Die eigentliche Entdeckung der Aberration fällt in das Jahr 1728. Als er seinen Ruf als großer Beobachter bereits begründet hatte, wurde er 1742 als k. Astronom in Greenwich angestellt, und hier begann er jene Reihe von Beobachtungen, die ihn endlich im Jahr 1747 zur Entdeckung der Nutation führten. (M. s. darüber seine Mit-

digkeit des Lichtes, der Aberration und der Nutation, gaben den früheren Ansichten der Menschen über die Fortpflanzung des Lichtes neue und wesentliche Berichtigungen, und sie bestätigten zugleich die Lehre des Copernikus, Kepler und Newton von der Bewegung der Erde.

Die Entdeckung des wahren Gesetzes der atmosphärischen Refraktion ging nur sehr langsam vor sich. Tycho suchte die Ursache derselben blos in den untersten, dichtesten Theilen der Atmosphäre, und ließ die Refraktion in der Mitte zwischen Zenith und Horizont schon gänzlich aufhören. Kepler aber setzte sie mit Recht bis zu dem Zenith fort. Dominic Cassini bemühte sich, das Gesetz dieser Refraktion unmittelbar durch Beobachtung zu bestimmen. Zu diesem Zwecke brachte er der erste die Refraktion in eine Tafel, die man fortan bei allen Beobachtungen gebrauchen sollte, wodurch er, wie wir schon öfter zu bemerken Gelegenheit hatten, den wahren und einzigen wissenschaftlichen Weg zur genauen Kenntniß des Gegenstandes eingeschlagen hatte. Allein zu jener Zeit waren mit der Ausführung einer solchen Arbeit noch sehr große Schwierigkeiten verbunden, besonders weil noch die Parallaxe des Mondes und der Planeten unbekannt war. Einige dieser Hindernisse zu entfernen,

---

theilung in den Phil. Transact. N. 485 Vol. 45, so wie über die Aberration N. 406. Vol. 35.) Ein drittes großes Verdienst um die Astronomie erwarb er sich durch seine Bestimmung der Refraktion. Im Jahre 1751 erhielt er von der Regierung einen regelmäßigen Gehalt von 250 Pfund jährlich. Am ersten September 1761, in seinem 69sten Jahre, zog er sich nach Chelford auf das Land zurück, wo er am 13. Juli 1762 starb. Seine in Greenwich gesammelten Beobachtungen, in 13 Foliobänden Manuscript, wurden von seinen Erben als ihr Eigenthum zu sich genommen, und erst 1776 der Universität von Oxford angetragen, die sie dem Professor Hornsby zur Bekanntmachung übergab. Sie wurden in zwei Bänden, Oxford 1798 und 1805, herausgegeben, und umfassen die Beobachtungen der Jahre 1750 bis 1762. Ihren ganzen Nutzen äußerten dieselben erst, als Bessel in Königsberg diese Beobachtungen reduzirte und zu seinen Zwecken berechnete. M. s. Bessel's Fundamenta astronomiae, Königsb. 1816. Bradley wird allgemein als einer der größten praktischen Astronomen anerkannt. Die in Greenwich auf einander folgenden Astronomen sind: Flamstead, Halley, Bradley, Maskelyne, Pond und Airy. L.

ging Richer im Jahr 1762 an den Aequator, um dort Beobachtungen anzustellen. Seine Wiederkunft setzte Cassini in den Stand, seine früheren Schätzungen der Parallaxe und Refraktion einigermaßen zu verbessern. Aber noch blieben viele andere Schwierigkeiten zu besiegen übrig. Aus dem Phänomen der Dämmerung hatte man die Höhe der Atmosphäre über der Oberfläche der Erde zu 34,000 Toisen geschlossen [2]), während Lahire aus der Refraktion diese Höhe nur 2000 T. fand. Johann Cassini unternahm es, die Tafeln seines Vaters Dominic [3])

2) Bailly, Hist. d'Astron. II. 612.

3) Cassini, eine astronomische Familie, die, wie die der Bernoulli, eine mathematische zu nennen ist.

I. Johann Dominic Cassini war am 8. Juni 1625 zu Perinaldo in dem Distrikt von Nizza geboren. Seine erste Erziehung erhielt er von den Jesuiten in Genua. Im Jahr 1641 ging er auf die Universität zu Bologna, wo eben der Graf Malvasia eine Privatsternwarte baute, und 1650 wurde er, als Nachfolger Cavalleri's, Professor der Astronomie an dieser Universität. Hier beobachtete er den Kometen von 1652, über den er auch seine erste Schrift herausgab. Andere Beobachtungen wurden an dem großen Gnomon in einer Kirche von Bologna gemacht. 1657 wurde er von dieser Stadt als Gesandter an den Pabst geschickt und von diesem zum Oberaufseher der Wasserbauten an dem Po erhoben. 1664, wo er die Aufsicht über die Herstellung der Festungswerke von Urban erhielt, machte er auch zugleich seine erste namhafte astronomische Entdeckung über die Rotationszeit Jupiters, die er zu 9 Stunden 56 Min. bestimmte. (Nach den neuesten Bestimmungen von Airy in Greenwich ist sie 9 St. 55 Min. 21.3 Sek.) Auch sah er in diesem Jahre zum erstenmale die Schatten der Satelliten auf der Oberfläche dieser Planeten. Durch Vergleichung seiner eigenen Beobachtungen mit denen von Galilei konstruirte er 1665 die ersten brauchbaren Tafeln dieser Satelliten. 1667 bestimmte er die Rotation des Mars zu 24 St. 40 Min., und die der Venus, die schwer zu bestimmen ist, zu 23 St. 21 Min., so wie endlich auch die der Sonne zu 27 St. 0 M. Durch diese der Wahrheit schon sehr nahen Bestimmungen wurde sein Name zuerst in der astronomischen Welt rühmlich bekannt. Als Colbert 1666 die Pariser Akademie der Wissenschaften gründete, und zugleich eine Sternwarte in dieser Stadt aufführen ließ, schlug er Cassini vor, mit einer Besoldung, die seinen sämmtlichen Einkünften in Italien gleich kam, als Astronom nach Paris zu kommen. Pabst Clemens IX. gab seine Einwilligung dazu nur unter der Bedingung, daß Cassini's Abwesenheit von Italien nicht über drei Jahre dauern sollte. Er kam am 4. April 1669 an, trat hier seine astronomischen Geschäfte zu verbessern, wobei er von der wahren Voraussetzung ausging, daß die Bahn des Lichtes in der Atmosphäre eine krumme Linie

---

sogleich an und setzte sie ununterbrochen bis 1683 fort. In seinen letzten Jahren wurde er völlig blind. Er kehrte nie mehr nach Italien zurück und starb, 87 Jahre alt, am 14. Sept. 1712 ohne Krankheit, ohne Schmerz, und blos par la seule necessité de mourir, wie Fontenelle in seiner Eloge sagt. Im Jahre 1671 entdeckte er den III. und V. Satelliten Saturns, und 1684 den I. und II. Er lehrte uns die Librationen des Monds und die Lagen seines Aequators gegen seine Bahn und gegen die Ekliptik genauer kennen, so wie wir ihm auch die Verbesserung der Refraktion und die ersten guten Sonnentafeln verdanken. Seine letzten Tafeln der Jupiters Satelliten von 1668 und 1693 übertrafen alle vorhergehenden weit an Genauigkeit. Die Entdeckung der Geschwindigkeit des Lichts, die aus der Beobachtung derselben Satelliten von Römer geschlossen wurde, wollte er nie als wahr anerkennen. Seine anderen astronomischen Arbeiten sind in Delambre's Hist. d'Astron. Moderne Vol. II. verzeichnet. Er war ein großer Beobachter, aber, wie es scheint, kein guter Theoretiker. Der Lehre des Descartes streng zugethan, scheint er sich um Newton's Theorie nicht einmal bekümmert zu haben. Aus Anhänglichkeit für Rom bekannte er sich noch für das Ptolemäische System, mehr als ein Jahrhundert nach Copernikus und Galilei. Seine sonderbare Behandlung der Kepler'schen Gesetze, seine ganz grundlose Ansicht von dem Laufe der Kometen, und seine Unbehülflichkeit in allen tiefern theoretischen Untersuchungen machen das hohe Lob, das ihm Fontenelle und Lalande gespendet haben, unzuläßig. In seinen Schriften sucht er zuweilen, aus Unkenntniß oder Eitelkeit, die Entdeckung Anderer sich zuzueignen. Die zahlreiche Liste dieser Schriften findet man in Lalande's Bibliographie astronomique.

II. Jakob Cassini, des vorigen Sohn, geb. den 18. Febr. 1677 zu Paris. Schon in seinem 17ten Jahre wurde er Mitglied der P. Akademie, und folgte seinem Vater in der Direktion der P. Sternwarte. Als er auf sein Landgut Thury fuhr, wurde er vom Wagen geworfen und war seit dieser Zeit paralytisch. Auch er war, wie sein Vater, blos der praktischen Astronomie, dem eigentlichen Beobachten zugethan, obschon er mit der Theorie sich näher bekannt zu machen suchte. Wir haben von ihm Elémens d'Astronomie, Par. 1740, und De la grandeur et figure de la terre, ib. 1720. Das letzte Werk enthält die Fortsetzung der Meridianmessung in Frankreich, die Picard angefangen, D. Cassini mit Lahire 1680 fortgesetzt, und D. Cassini mit seinem Sohne Jakob 1700 noch einmal von vorn angefangen hatten. Aus den letzten ist. Die königliche Akademie in London hatte bereits auf experimentellem Wege die brechende Kraft der Luft bestimmt [4]),

---

Messungen hatte bekanntlich D. Cassini die Folgerung gezogen, daß die Erde an ihren Polen verlängert, nicht abgeplattet ist. Auch Jakob C. erklärte sich noch gegen die Römer'sche Entdeckung von der Geschwindigkeit des Lichts, wie man in den angeführten Elém. d'Astr. desselben sieht. Auch er wollte sich dem copernikanischen Systeme noch nicht ganz fügen und schien mit Newton's Theorie noch ganz unbekannt zu sein. Als bloser Beobachter aber verdient auch er ausgezeichnet zu werden. Seine Bestimmung der Umlaufszeit der fünf äußersten Satelliten Saturns ist sehr genau; er verbesserte die Refraktionstafeln, lehrte uns die Abnahme der Schiefe der Ekliptik und die Länge des Jahres genauer kennen. Er starb am 16. April 1756.

III. Cäsar Franz Cassini, Jakobs Sohn, geb. 17. Juni 1714 zu Paris. Er ist bekannter unter dem Namen Cassini de Thury, den er von seinem Landgute Thury angenommen hatte. Er half seinem Vater bei seinen großen geodätischen Vermessungen, und wurde schon in seinem einundzwanzigsten Jahre Mitglied der P. Akademie, wie er denn auch seinem Vater in der Direktion der P. Sternwarte nachfolgte, auf welcher er den 4. Sept. 1784 an den Blattern starb. Seine vorzüglichste Arbeit ist die große trigonometrische Vermessung Frankreichs, die er 1744 unter dem Titel: La Méridienne verifice zu Paris herausgegeben hat. Er hatte die große Karte Frankreichs nahe vollendet, von der später sein Sohn 124 Blätter der Nationalversammlung von 1789 vorgelegt hat. Ein Verzeichniß seiner übrigen Schriften findet man in Lalande's Bibliographie und in Delambre's Hist. d'Astron. du XVIII. Siècle.

IV. Johann Dominic Cassini, Sohn des Letztern, geb. den 30. Juni 1748 zu Paris. In seinem 22sten Jahre wurde er Mitglied der P. Akademie; 1787 arbeitete er mit Mechain und Legendre an der astronomisch-trigonometrischen Verbindung von London und Paris. Der Nationalkonvent, der ihm nicht gewogen schien, hatte im Jahr 1793 beschlossen, die Sternwarte nicht mehr von einem, sondern von vier Direktoren verwalten zu lassen. Da er sich dies nicht gefallen lassen wollte, so resignirte er am 6. Sept. dieses Jahres, worauf er den Befehl erhielt, binnen 24 Stunden die Sternwarte zu verlassen. Bald darauf wurde er für sieben Monate eingesperrt. Seit seiner Befreiung zog er sich auf sein Landgut zurück, ohne sich weiter mit der Astronomie zu befassen. Sein Sohn begann in seinem sechszehnten Jahre wohl wieder die astronomische Laufbahn, verließ sie aber bald darauf wieder, um sich ganz der Botanik zu widmen. L.

4) Bailly, II. 607.

und Newton hatte eine Refraktionstafel berechnet, die unter Halley's Namen in den Philos. Transact. für das Jahr 1721 bekannt gemacht wurde, aber ohne Mittheilung der Methode, die zu ihr geleitet hatte. Allein Biot hat erst vor Kurzem aus der nun bekannt gemachten Korrespondenz Flamstead's gezeigt [5]), daß Newton das Problem bereits auf eine Weise aufgelöst hat, die den besten Methoden der neueren Analyse ähnlich ist.

Dom. Cassini und Picard zeigten zuerst [6]), und Lemonnier bestätigte es i. J. 1738, daß die wahre Größe der Refraktion auch von der Temperatur der Luft, also von dem Stande des Thermometers abhängig ist. Tobias Mayer, der den Einfluß des Thermometers und des Barometers auf die Refraktion berücksichtigte, entwarf eine Theorie der Refraktion, die von Lacaille auf eine sehr mühsame Weise mit den Beobachtungen verglichen und endlich in eine Tafel gebracht wurde. Die Refraktionstafel Bradley's, die i. J. 1763 durch Maskelyne bekannt gemacht wurde, wurde bald in England die gebräuchlichste. Seine Formel, die größtentheils auf empirischem Wege erhalten wurde, folgt auch, wie Young gezeigt hat, aus den wahrscheinlichsten Voraussetzungen, die man über unsere Atmosphäre aufstellen kann. Bessel's Refraktionstafeln werden jetzt für die besten von allen gehalten.

Zweiter Abschnitt.

Römer's Entdeckung der Geschwindigkeit des Lichtes.

Die Geschichte der astronomischen Refraktion ist durch keine auffallende Entdeckung, sondern nur durch Mühe und Arbeit ausgezeichnet. Die nun folgenden Entdeckungen der Eigenschaften des Lichtes aber haben ein größeres Aufsehen in der gelehrten und ungelehrten Welt gemacht.

Im Jahre 1676 hatte man bereits eine große Menge von Finsternissen der Jupiterssatelliten beobachtet, und sie lagen nun zur Vergleichung mit Cassini's Tafeln dieser Monde bereit.

---

5) In den Comptes Rendus Hebdom. 1836. Sept. 5.

6) Bailly, Hist. d'Astron. III. 92.

Römer [7]), ein dänischer Astronom, den Picard nach Paris gebracht hatte, bemerkte, daß diese Finsternisse in einer Jahres-

---

7) Römer (Olaus), geb. den 25. Sept. 1644 zu Kopenhagen von unbemittelten Aeltern. Er erlernte die Mathematik unter Bartholin, der ihn auch brauchte, um die hinterlassenen Manuscripte Tycho Brahe's durchzusehen. Dadurch wurde er zur Astronomie geführt. Er lernte Picard auf seiner Reise nach Uranienburg kennen, der ihn 1672 mit nach Frankreich nahm, wo er zuerst den Dauphin in der Mathematik unterrichtete. Bald darauf wurde er in die neue P. Akademie als Mitglied aufgenommen. Im Jahre 1675 machte er dieser Akademie seine Entdeckung von der Geschwindigkeit des Lichtes bekannt, eine Entdeckung, die später durch die von Bradley aufgefundene Aberration so schön bestätigt wurde. Er lehrte uns die epicykloidische Form der Räderzähne bei Maschinen kennen, und führte mehrere kunstreiche Planetarien aus, so wie auch ein Jovilabium, durch welches man die Configuration und die Finsternisse der Jupitersſatelliten voraus bestimmen konnte. Im Jahre 1681 rief ihn der König von Dänemark in sein Vaterland zurück, wo er schon 1676 zum Professor der Mathematik in Kopenhagen ernannt war, und wo er jetzt als k. Astronom und als Direktor der k. Münze und Inspektor der Arsenale und Häfen von Dänemark angestellt wurde. Sein Vaterland verdankt ihm ein gutes Maaß- und Gewichtssystem, einen vervollkommneten Bergbau, und selbst namhafte Verbesserungen des Handels, der Schifffahrt und der Artillerie. Im Jahre 1707 wurde er k. dänischer Staatsrath und Bürgermeister von Kopenhagen. Unter allen diesen Beschäftigungen hatte er die Astronomie nie aus dem Gesichte verloren. Sein Hauptaugenmerk war die Bestimmung der Parallaxe der Fixsterne, um dadurch einen direkten Beweis für die jährliche Bewegung der Erde zu erhalten. Seit achtzehn Jahren hatte er zahlreiche Beobachtungen zu diesem Zwecke gesammelt, die er eben herausgeben wollte, als er am 19. Sept. 1710 am Stein starb. — Obschon zweimal verheirathet, hinterließ er doch keine Kinder. Unter seinen literarischen Freunden stand Leibnitz oben an. Der größte Theil seiner Manuscripte wurde durch die Feuersbrunst der Kopenhagner Sternwarte, den 20. Oktober 1728, verzehrt. Einige seiner Aufsätze sind in den Mém. de l'Acad. de Paris, Vol. VI. et X. enthalten. Sein Schüler und Nachfolger Horrebow hat in seiner Basis astronomiae 1735 die Geschichte von Römer's Entdeckungen und die Beschreibungen der Instrumente mitgetheilt, mit welchen er seine Sternwarte versehen hatte. Auch haben wir in Horrebow's „Triduum observatorionum tusculanarum" die Beobachtungen, die Römer auf einer Privatsternwarte seines Landgutes während drei Tagen angestellt hatte, und die sich durch

zeit immer früher, und in der anderen wieder später kamen, als sie nach jenen Tafeln kommen sollten. Die Astronomen konnten von dieser auffallenden Verschiedenheit keinen Grund finden. Der Fehler war für alle vier Satelliten derselbe. Wäre die Ursache davon in einem Fehler der Jupiterstafeln gewesen, so würde er wohl auch bei allen vier Satelliten, aber je nach der verschiedenen Geschwindigkeit derselben, bei jedem anders gewesen sein. Der Grund dieser Erscheinung mußte also irgendwo außer Jupiter liegen. — Römer hatte die glückliche Idee, den erwähnten Fehler mit den verschiedenen Entfernungen Jupiters von der Erde zu vergleichen, und es zeigte sich sofort, daß alle Finsternisse jener Monde um so später eintraten, je weiter Jupiter von der Erde entfernt war. Er zog daraus den Schluß, daß das Licht, dessen Geschwindigkeit man bisher für unendlich groß gehalten oder vielmehr dessen Geschwindigkeit man früher nicht gekannt hatte, eine bestimmte Zeit brauche, um einen gegebenen Raum zu durchlaufen, und jene Beobachtungen selbst setzten ihn in den Stand, diese Geschwindigkeit des Lichtes selbst zu messen. Er fand, daß es den Durchmesser der Erdbahn (von 41,320,000 geogr. Meilen) in 16 Minuten und 26 Sekunden, daß es also in einer Zeitsekunde nahe 41,900 Meilen zurücklegt.

Diese Entdeckung, einmal gemacht, erschien, wie so viele andere, sehr leicht und gleichsam uns von selbst entgegen zu kommen. Aber Dom. Cassini, einer der ausgezeichnetsten Astronomen seiner Zeit, faßte diese Idee wohl auch für einen Augenblick auf, ließ sie aber, als unfruchtbar, sogleich wieder fallen[8]), und Fontenelle wünschte ihm öffentlich Glück, daß er dieser Versuchung, eine vermeinte Entdeckung zu machen, so kräftig widerstanden hat. Die Einwürfe gegen die Annahme dieser Idee

---

eine für jene Zeiten kaum zu erwartende Genauigkeit auszeichnen. Er hat der erste das Mittagsrohr oder das sogenannte Instrument des passages, so wie auch die ganzen Kreise statt der bisher üblichen Quadranten, in Gebrauch gebracht, und dadurch der praktischen Astronomie eine neue Gestalt gegeben, deren Werth erst spät nach ihm allgemein anerkannt worden ist. Seine Eloge in den Mém. de l'Acad. ist von Condorcet. L.

8) Bailly's Hist. d'Astron. II. 419.

wurden größtentheils von der Ungenauigkeit der Beobachtungen hergenommen„ so wie von der Ueberzeugung, daß die Bewegungen der Satelliten gleichförmig und in Kreisen vor sich gehen. Ihre Abweichungen von dieser Gleichförmigkeit hatten die in Rede stehende Frage gleichsam entstellt und verkleidet. Als aber diese Ungleichheiten besser bekannt wurden, trat Römer's Entdeckung in ihrem ganzen Glanze hervor, und fortan wurde auch die Lichtgleichung ohne Anstand in die Tafeln dieser Satelliten aufgenommen.

Dritter Abschnitt.

Bradley's Entdeckung der Aberration.

Der nun folgenden Entdeckung mußte eine Verbesserung der astronomischen Instrumente und der ganzen Beobachtungskunst vorausgehen. — Da das Licht sowohl, als auch die Erde in steter Bewegung ist, so hätte man, scheint es, gleich anfangs voraussehen sollen, daß der wahre Ort der leuchtenden Himmelskörper nicht in der geraden Linie, welche sie mit uns verbindet, sondern in der mittleren Richtung zwischen denen der Erde und des Lichtes liegen werde. Allein auch hier, wie in so vielen andern Fällen, mußte die Beobachtung der Erscheinung der Theorie derselben vorausgehen, und die Entdeckung der Aberration des Lichtes, eine der glänzendsten des achtzehnten Jahrhunderts, wurde auf dem Wege der Beobachtung von Bradley gemacht, der damals Professor der Astronomie zu Oxford und später königlicher Astronom zu Greenwich war. Im Jahre 1725 begann er mit Molyneux eine Reihe von Beobachtungen in der Absicht, durch Zenithalsterne die so lange gesuchte jährliche Parallaxe dieser Himmelskörper zu finden. Er fand bald [9]), daß die von ihm beobachteten Sterne alle eine kleine scheinbare Bewegung haben, die aber nicht von einer Parallaxe derselben kommen könne. Er verfiel zuerst auf eine Bewegung der Erdaxe, um dadurch jene Bewegungen zu erklären. Allein indem er auch auf der gegenüberstehenden Seite des Pols andere Sterne in dieser Beziehung untersuchte, fand er seine erste Muthmaßung nicht bestätigt. Bradley, und Molyneux mit ihm,

9) M. s. Rigaud's Bradley.

nahmen dann ihre Zuflucht zu einer anderen, sonderbaren Hypothese, nach welcher die Atmosphäre der Erde nach den Jahreszeiten eine periodische Aenderung erleiden soll, wodurch auch die Refraktion geändert werden sollte. Aber sie gaben diesen Einfall bald wieder auf [10]). Im Jahre 1727 nahm Bradley allein seine früheren Beobachtungen mit einem ganz neuen Instrumente zu Wanstead wieder vor, und gelangte dadurch zu einigen empirischen Regeln, durch welche er die beobachteten Veränderungen der Sterne wenigstens in Deklination darstellen konnte. Endlich aber wurde seine Aufmerksamkeit zufällig auf den rechten Weg geleitet, auf dem allein die wahre Ursache jener Veränderungen gefunden werden konnte. Indem er in einem Boote auf der Themse fuhr, bemerkte er, daß die Fahne an der Mastspitze des Bootes eine von der wahren Richtung des Windes verschiedene Lage annahm, wenn das Boot selbst in dieser oder in einer andern Richtung segelte. Hierin hatte er ein treues Bild von seinen früheren Erscheinungen am Himmel: das Boot stellte die Erde vor, die in verschiedenen Richtungen im Weltmeere um die Sonne segelt, und der Wind konnte die Stelle des ebenfalls beweglichen Sternenlichtes vertreten. Diese Analogie einmal scharf aufgefaßt, blieb ihm nur noch übrig, die Folgen derselben auf seinen Fall abzuleiten, seine Idee in die Sprache der Mathematik zu übersetzen, oder sie in Formeln zu bringen. Er fand bald, daß diese aus seiner neuen Theorie abgeleiteten Formeln mit seinen früheren empirischen Regeln d. h. mit seinen Beobachtungen vollkommen übereinstimmen, und im Jahr 1729 theilte er diese seine Entdeckung der k. Gesellschaft der Wissenschaften in London mit. Seine Schrift über diesen Gegenstand enthält eine sehr wohlgerathene Darstellung seiner Arbeiten und der Ideen, die ihn dabei leiteten. Seine Erklärung war so klar und treffend, daß sie von allen Astronomen sofort als die wahre aufgenommen wurde, und seine Beobachtungen waren zugleich so genau, daß die Größe, die er der Aberration zuschrieb (der neunzehnte Theil eines Grades), durch spätere Astronomen keine bedeutende Veränderung mehr erfahren konnte. Doch muß bemerkt werden, daß Bradley blos die Wirkung der Aberration

10) Rigaud, l. c. S. 23.

in der Deklination berücksichtigt hatte. Die Einwirkung derselben auf die Rektascension erforderte eine ganz andere Art von Beobachtung, und vor allem eine Genauigkeit der astronomischen Uhren, die man zu seiner Zeit nur schwer erhalten konnte.

Vierter Abschnitt.

Bradley's Entdeckung der Nutation.

Als Bradley die Stelle eines k. Astronomen in Greenwich erhielt, setzte er die Art von Beobachtungen, die ihm zur Entdeckung der Aberration verholfen hatte, mit Eifer fort. Das Resultat dieser neuen Bemühungen war eine andere wichtige Entdeckung, nämlich die der Nutation der Erdaxe, die er früher, wie wir oben erzählten, als unstatthaft verworfen hatte. Dies mag auf den ersten Blick sonderbar erscheinen, trägt aber seine Erklärung selbst mit sich. — Die Aberration besteht in einer periodischen Bewegung der Fixsterne, die alle Jahre in derselben Ordnung wiederkehrt, und die daher durch die Beobachtung der Fixsterne zu verschiedenen Jahreszeiten gefunden werden kann. Die Nutation aber besteht in einer ganz andern, ebenfalls regelmäßig wiederkommenden Bewegung der Fixsterne, deren Periode aber achtzehn Jahre dauert. Diese letzte ändert daher den scheinbaren Ort eines Sterns während einem Jahre nur sehr wenig, aber sie wird dafür in dem Laufe mehrerer Jahre sehr auffallend. In der That genügten auch unserem vortrefflichen Astronomen schon wenige Beobachtungsjahre, um diese Bewegung vollkommen zu erkennen [11]), und noch lange vor dem Ablauf der ersten Hälfte jenes achtzehnjährigen Cyklus hatte er schon in seinem Geiste den Zusammenhang dieser Erscheinung in der Bewegung der Mondsknoten gefunden, die bekanntlich in derselben Zeit von achtzehn Jahren ihren ganzen Kreis um die Erde zurücklegen. Zu jener Zeit hatte Machin [12]),

---

11) Rigaud, ibid. S. 64.

12) Machin (Johann), Professor der Astronomie am Gresham Collegium und Sekretär der k. Societät der Wissenschaften in London. Wir haben von ihm ein Werk über die Bewegungen des Mondes nach Newton's Prinzipien, Lond. 1729, und mehrere Aufsätze über Astro-

Sekretär der k. Societät, sich eben damit beschäftigt, die verschiedenen Einflüsse der von Newton entdeckten Theorie der allgemeinen Schwere auf die Bewegungen der Himmelskörper zu untersuchen. Bradley theilte ihm seine Ansichten mit, und Machin überreichte ihm bald darauf eine astronomische Tafel, in welcher die Resultate seiner Berechnungen über diesen Gegenstand enthalten waren. Man fand in den Tafeln dasselbe Gesetz des Fortgangs der Zahlen, wie früher in den Beobachtungen, obschon die Größen dieser Zahlen in beiden etwas verschieden waren. Aus beiden ging hervor, daß die beiden Erdpole am Himmel, außer der allgemeinen Bewegung derselben durch die Präcession, in dem Zeitraume von nahe achtzehn Jahren einen kleinen Kreis, oder vielmehr, wie Bradley später fand, eine kleine Ellipse um ihren mittleren Ort beschreiben, deren große und kleine Axe neunzehn und vierzehn Sekunden beträgt [13]).

Für die streng mathematische Aufstellung dieser Wirkung der Anziehung des Mondes auf die Erde rief Bradley mit Recht die großen Geometer seiner Zeit zu Hülfe. D'Alembert, Thomas Simpson [14]), Euler und andere entsprachen diesem Aufruf, und

---

nomie und höhere Geometrie in den Philos. Transact. von 1718 und 1738. Mehreres über ihn s. in Ward's lives of the professors of Gresham college. Lond. 1740. L.

13) Rigaud, l. c. S. 66.

14) Simpson (Thomas), geb. 1710 in Leicestershire von armen Aeltern, denen er entfloh, weil man ihm die Beschäftigung mit Büchern nicht erlauben wollte. Bis zu seinem 26sten Jahre suchte er seinen Unterhalt durch Wahrsagen und Zauberkünste zu gewinnen, bis er in der Stadt Derby zufällig das Werk des de l'Hopital über die Differentialrechnung kennen lernte, wodurch sein mathematisches Talent geweckt wurde. Er errichtete in London eine mathematische Schule und gab 1737 sein erstes Werk „Ueber die Fluxionsrechnung" heraus. Drei Jahre später erschien seine Wahrscheinlichkeitsrechnung, und 1742 seine Schrift über Tontinen und Lebensrenten. Noch haben wir von ihm „Abhandlungen über mathematische und physische Gegenstände," eine Algebra 1747 und Geometrie 1760, und endlich seine Miscellaneous Tracts, 1757, das vorzüglichste seiner Werke. Von Arbeit erschöpft starb er am 14. Mai 1761. Die letzten 20 Jahre seines Lebens war er Prof. der Mathematik in Woolwich, und Mitglied der königl. Societät von London. L.

das Resultat ihrer Untersuchungen war, wie wir bereits in dem letzten Kapitel gesagt haben, wieder eine neue Bestätigung des Gesetzes der allgemeinen Schwere.

Delambre sagt [15]), daß Bradley's Entdeckungen ihm die ausgezeichnetste Stelle unter den Astronomen nach Hipparch und Kepler versichern. — Wenn er seine Entdeckungen vor Newton's Zeiten gemacht hätte, so würde man nicht anstehen, ihn diesem großen Manne gleich zu stellen. Das Licht, welches die Theorie Newton's über alle astronomischen Gegenstände verbreitete, mag in unsern Augen den Glanz der Bradley'schen Entdeckungen etwas verdüstern, aber dieser Umstand berechtigt uns noch nicht, irgend einen andern über den Urheber solcher Entdeckungen zu stellen, und so mögen wir denn Delambre's Urtheil immerhin als wohlbegründet betrachten.

Fünfter Abschnitt.

Entdeckung der Doppelsterne durch die beiden Herschel.

Nach allem Vorhergehenden kann kein Zweifel mehr darüber bestehen, daß das Gesetz der allgemeinen Schwere bis an die äußersten Grenzen unseres Sonnensystems waltet. — Erstreckt es sich aber auch noch weiter? Gehorchen ihm auch die Fixsterne, die in so großen Distanzen von jenen Grenzen abstehen? — Diese Frage dringt sich gleichsam von selbst auf, aber wo finden wir die Mittel, sie zu beantworten?

Wenn alle Firsterne von einander isolirt und abgesondert sind, wie unsere Sonne es von ihnen zu sein scheint, so ist uns jede Lösung dieser Aufgabe wohl so gut, als unmöglich. Allein unter diesen Fixsternen gibt es mehrere, die man Doppelsterne genannt hat und die einander so nahe stehen, daß sie nur durch Hülfe des Fernrohrs für unser Auge getrennt werden können. Der ältere Herschel [16]) beobachtete solche Sterne sehr

---

15) Delambre, Hist. de l'Astron. du XVIII. Siècle, S. 420, und Rigaud, loc. cit. S. 37.

16) Herschel (William), war der zweite Sohn eines Musikers von Hannover, geb. den 15. Nov. 1738. Sein Vater erzog ihn, mit vier anderen Söhnen für seine Kunst. In seinem vierzehnten Jahre

eifrig. Aber, wie es so oft schon sich ereignet hat, indem er ein gewisses Ziel zu erreichen suchte, gelangte er zu einem

---

wurde er als Musiker in das Hannover'sche Garderegiment versetzt, mit dem er bald darauf nach England ging. Hier verließ er das Militär, und war mehrere Jahre Organist in Halifax, wo er die Jugend des Ortes in der Musik und zugleich sich selbst in der Erlernung verschiedener Sprachen auszubilden suchte. Gegen das Jahr 1766 wurde er Organist in der berühmten Octagon-Chapel zu Bath, und hier scheint er zuerst seine Aufmerksamkeit auf den Himmel gerichtet zu haben. Mit der Tiefe der Mathematik unbekannt, wußte er doch, wie nach ihm Young, durch eigene Kraft, über alle Schwierigkeiten zu siegen, die sich ihm entgegenstellten, obschon er selbst später oft sich beklagen mußte, sich jener Wissenschaft nicht schon in der Jugend zugewendet zu haben. Seine nun immer weiter gehenden astronomischen Unterhaltungen machten ihm den Besitz eines guten Fernrohrs wünschenswerth, und da dies glücklicherweise über sein Vermögen war, so entschloß er sich 1774, selbst ein solches zu verfertigen. Nach manchen Versuchen wurde endlich ein fünffüßiges Newtonianisches Spiegeltelescop hergestellt. Sein erster Aufsatz in der Philos. Transactions ist von 1780, und schon in dem folgenden Jahre legte er daselbst seine Entdeckung des neuen Planeten Uranus nieder. Schnell verbreitete sich durch diese Entdeckung sein Ruf, und König George III. nahm ihn sofort als seinen Private astronomer mit einem Gehalte von 400 Pf. an seinen Hof nach Slough in der Nähe von Windsor, wohin er sofort mit seiner Schwester Caroline H. zog, die ihn in seinen astronomischen Beobachtungen eifrig unterstützte. Bald darauf verehelichte er sich mit M. Mary Pilt. Er erbaute in Slough eine Sternwarte, und versah sie, unterstützt von der Großmuth des Königs, mit angemessenen Instrumenten. Die vorzüglichsten dieser Instrumente waren aber bald die von ihm selbst verfertigten Spiegeltelescope, von 7, 10 und 20 Fuß Brennweite mit einem Spiegel von 1½ Fuß, und von 25 Fuß Brennweite mit einem Spiegel von 2 Fuß im Durchmesser. Diese Fernröhre erregten allgemeine Bewunderung und verbreiteten sich, ihres hohen Preises ungeachtet, schnell über ganz Europa, wo jeder Monarch stolz war, ein solches Instrument von Herschels Meisterhand zu besitzen. Aber nicht zufrieden, den Astronomen die mächtigsten Mittel zu Entdeckungen an die Hand gegeben zu haben, wollte er nun auch selbst als Entdecker in ihre Reihen treten. Seine Bemühungen wurden mit den glücklichsten Erfolgen gekrönt. Nebst der bereits erwähnten Entdeckung des neuen Planeten am 13. März 1781 setzte ihn sein 20füßiges Telescop, mit dem er überhaupt die meisten seiner Beobachtungen machte, auch ganz anderen. Er setzte voraus, daß diese Sterne nicht in der That, sondern nur scheinbar einander nahe stehen, und er hielt

---

in den Stand, zwei neue Satelliten des Saturns, und sechs Monde des Uranus zu entdecken. Er sah der erste die Duplicität des Saturnrings und bestimmte auch die Umlaufszeit seiner Bewegung zu 10½ Stunden. Ein vorzügliches Verdienst um die beobachtende Astronomie erwarb er sich durch seine lang und eifrig fortgesetzten Beobachtungen der Doppelsterne, und durch sein Verzeichniß der Nebelflecken und Sternhaufen. Was wir über diese letzten wunderbaren Gegenstände des Himmels wissen, verdanken wir beinahe alles nur ihm, da es bisher noch kein Astronom gewagt hat, diesen schwierigen Pfad zu betreten, auf welchen man ohne die ausgezeichnetsten Fernröhre nicht hoffen darf weiter vorzudringen. Das größte Telescop Herschels ist das bekannte vierzigfüßige, dessen Metallspiegel vier Fuß im Durchmesser hat. Mit diesem Telescope konnte er die Vergrößerung der Gegenstände bis auf 7000 im Durchmesser erheben. [Bei dem fraunhofer'schen Refraktor, der auf der Sternwarte in Dorpat aufgestellt ist, beträgt die Fokallänge 13⅓ Fuß, der Durchmesser des Objektivs ¾ Fuß (oder 9 Par. Zolle) und die stärkste Vergrößerung 600 im Durchmesser]. Doch blieb jenes große Spiegeltelescop nicht lange in gutem Stande, da der höchstpolirte Spiegel in der feuchten Abendluft oxidirte und matt wurde. Die meisten und schönsten seiner Entdeckungen hat Herschel nicht mit diesem großen, sondern mit seinen 12- und 20füßigen Telescopen gemacht.

Durch diese zahlreichen und höchst wichtigen Entdeckungen stieg sein Ruhm schnell auf eine Höhe, die ein von äußeren Verhältnissen so wenig begünstigter, nur seiner eigenen Kraft überlassener Mann wohl nur selten erreichen kann. Ganz England, ja die ganze gebildete Welt wurde von dem Glanze seiner unübertrefflichen Fernröhre und seiner außerordentlichen Entdeckungen erfüllt. Alle Akademien Europa's wetteiferten um die Ehre, ihn zu ihrem Mitgliede zu besitzen. Die k. Universität zu Oxford, die mit ihren Gunstbezeigungen besonders an Fremde so karg ist, ernannte ihn zu ihrem Doktor, und sein königlicher Beschützer Georg III. zierte 1816 eigenhändig seine Brust mit dem k. Guelphen-Orden. Die ganze gebildete Welt ehrte ihn als einen der ausgezeichnetsten praktischen Astronomen und einen der glücklichsten Entdecker früher nicht einmal geahnter Geheimnisse des Himmels; seine Freunde schätzten in ihm zugleich den redlichen, offenen Mann. Immer heitern Muthes führte er sein viel beschäftigtes, durch keine Krankheit gestörtes Leben bis in sein 84stes Jahr, und starb am 25. August 1822.

Sein einziger Sohn, John Fred. Wil. Herschel ist der Erbe sie deshalb für ein sehr angemessenes Mittel, etwas Verläßliches über die so lange gesuchte Parallaxe der Fixsterne zu erfahren. Allein während dem Laufe seiner zwanzigjährigen Beobachtungen machte er, im Jahr 1803, die Entdeckung, daß bei diesen Sternenpaaren der eine sich um den andern bewegt. Diese Umlaufszeiten waren bei den meisten so groß, daß er die genauere Bestimmung derselben der folgenden Generation überlassen mußte. Sein Sohn ließ diese Aufforderung nicht unbeachtet vorübergehen. Er sammelte noch eine sehr große Anzahl von Beobachtungen dieser Art, und schickte sich dann an, die Gesetze dieser Bewegungen aufzusuchen. Ein so lockendes Problem wurde auch von anderen, von Savary und Encke, im Jahr 1830 und 1831 angegangen, und durch Hülfe der Analysis die Lösung desselben versucht. Allein diese Aufgabe, die auf so geringe Differenzen von Zahlen und auf so unvollkommene Daten gegründet werden sollte, erforderte die größte Umsicht und Geschicklichkeit in der Behandlung. Der jüngere Herschel legte seinen Untersuchungen blos die Winkel zu Grunde, welche die Radien, die beide Sterne mit einander verbinden, zu verschiedenen Zeiten mit einander bilden, und schloß dafür die unsicheren Größen dieser Radien gänzlich aus. Seine Methode, die Elemente der Bahn dieser Doppelsterne zu bestimmen, bezieht sich übrigens nicht blos auf einige wenige ausgewählte, sondern auf den Complex aller bisher an einem solchen Sternenpaare gemachten Beobachtungen, wodurch besonders seine Bestimmungen ausgezeichnet sind. Das Resultat ist, daß diese Doppelsterne Ellipsen um einander beschreiben, und daß daher auch dort, in

---

seines beträchtlichen Vermögens, seiner Manuscripte und Instrumente und seines ausgezeichneten Talents, das er auch bereits durch zahlreiche und treffliche Arbeiten über astronomische und physische Gegenstände bewährt hat. Er ist 1790 zu London geboren, und erhielt seine wissenschaftliche Bildung auf der Universität zu Cambridge. Durch seine Beobachtungen der Doppelsterne mit James South, durch seine Revision der von seinem Vater entdeckten Nebelflecken, und durch seine Entdeckungen an dem südlichen Himmel, zu welchem Zwecke er sich mehrere Jahre am Vorgebirge der guten Hoffnung aufhielt, hat er, so wie durch seine zahlreichen astronomischen und physikalischen Schriften, seinen Namen in den Annalen der Wissenschaften eine ehrenvolle Stelle neben der seines großen Vaters erworben. L.

jenen ungemessenen Fernen von unserem Sonnensysteme, das Gesetz der allgemeinen Schwere das herrschende ist. Auch wurden bereits, wie es die Sitte der Astronomen immer gewesen ist, wenn einmal ein bestimmtes Gesetz der Erscheinungen bekannt wird, Tafeln dieser Sternenpaare entworfen, und Ephemeriden berechnet, welche die künftigen Bewegungen dieser Sonnen unter einander in so großen Entfernungen von uns enthalten, daß der ganze Durchmesser unserer Erdbahn von mehr als vierzig Millionen g. M. in jene Distanz von uns versetzt, selbst durch unsere stärksten Fernröhre nur als ein untheilbarer Punkt erscheinen würde. Die fortgesetzte Vergleichung der beobachteten Positionen dieser Doppelsterne mit den in jenen Tafeln vorausberechneten Orten derselben ist, wie bei unserem Sonnensysteme selbst, das beste und sicherste Mittel, diese Tafeln immer mehr zu verbessern und die Wahrheit der aufgestellten Theorie über alle Zweifel zu erheben. Die Astronomen sehen so eben dieser großen Bestätigung des von Newton entdeckten Gesetzes von allen Seiten entgegen. Das letzte Jahrhundert war bereits mit diesen Verifikationen und Entwicklungen jenes Gesetzes vollauf beschäftigt, und das gegenwärtige setzt dieselben mit unermüdlichem Eifer fort. Wir können unmöglich voraussehen, zu welchen neuen Kenntnissen, zu welchen andern, wichtigen Entdeckungen diese weiteren Bemühungen alle führen werden, aber jeder von uns muß es fühlen, daß dieses Gesetz, das wir in allen einzelnen Theilen unseres Sonnensystems, und nun auch außer demselben bereits bei mehreren Doppelsternen bestätigt gefunden haben, daß dieses große Gesetz sich unserem Geiste mit unwiderstehlicher Kraft als das allgemeine Gesetz der ganzen endlosen Schöpfung angekündigt hat.

In den beiden letzten Kapiteln haben wir einen kurzen Umriß von der Geschichte der Entwicklung jener für alle Zeiten unsterblichen Entdeckung Newton's gegeben. Aus der großen Masse von Arbeiten der ersten Geister jener Zeiten mögen wir auf die Größe des Zuwachses unserer Erkenntniß in diesem Gebiete der Naturwissenschaften den Schluß ziehen. Fleiß und Talent mußten auf eine bewunderungswürdige Weise so lange Zeit zusammen wirken, um ein so erhabenes Ziel glücklich zu erreichen. Und doch würde mit diesen Eigenschaften allein, so bedeutend und nothwendig sie auch sind, die Astronomie noch lange nicht in ihren gegenwärtigen blühenden Zustand gebracht worden sein, wenn ihnen nicht mehrere andere äußere Begünstigungen zu Theil geworden wären: die Huld so vieler Regenten, die ihren Ruhm in der Beförderung der erhabensten der Wissenschaften suchten; die jenen nacheifernde Unterstützung der Reichen und Mächtigen in jedem gebildeten Staate; die zweckmäßige Vertheilung der Arbeiten unter den Astronomen selbst, so wie auf der andern Seite wieder ihre stete und innige Verbindung mit den Akademien jener Länder, und endlich die zu gleicher Zeit mit der Theorie fortgehende Ausbildung der praktischen Mechanik, durch welche uns erst die dem jetzigen Zustande der Wissenschaft angemessenen Instrumente geliefert wurden.

Wir wollen in dem folgenden, letzten Kapitel dieses Buches die so eben aufgeführten Gegenstände näher betrachten, und mit dem letzten derselben, mit der Vervollkommnung der astronomischen Instrumente, beginnen.

Sechstes Kapitel.

Instrumente und andere Hülfsmittel der Astronomie während der Newton'schen Periode.

Erster Abschnitt.

Instrumente.

A. Quadranten und Kreise.

Die Astronomie hatte in allen Zeiten zu ihren Beobachtungen eigener Instrumente bedurft. Aber erst als diese Beobachtungen einen höheren Grad von Genauigkeit erforderten, um der bereits weiter vorgeschrittenen Theorie folgen zu können, fing man an, mehr Fleiß und Sorgfalt in ihre Konstruktion zu legen. Sie zeichneten sich bis dahin meistens nur durch ihre Größe und Kostbarkeit aus, doch fehlte es auch nicht an neuen Kombinationen und Hülfsmitteln, zu denen selbst andere Wissenschaften häufig beigetragen haben. Bald aber erhob sich diese Kunst über alle anderen mechanischen Künste, und von den Meistern derselben wurde Talent und Scharfsinn in hohem Grade, und selbst

Kenntniß der Astronomie erfordert, daher dieselben auch nicht mehr den blosen praktischen Künstlern, sondern den eigentlich wissenschaftlichen Männern beigesellt, und den Astronomen selbst an Ehre und Ansehen gleichgestellt wurden.

Tycho Brahe war der erste, der auf gute Instrumente drang, und deren Nothwendigkeit anerkannte. Seine eigene Instrumentensammlung in Uranienburg war die vorzüglichste von allen, die man je vor ihm gesehen hat. Er gab sich alle Mühe, der Aufstellung dieser Instrumente Festigkeit, und den Eintheilungen derselben Genauigkeit zu verschaffen. Sein Mauerquadrant war sehr zweckmäßig in dem Meridian aufgestellt. Er hatte ihm einen Halbmesser von fünf Cubitus gegeben, indem er voraussetzte, daß man, je größer das Instrument ist, desto kleinere Winkel damit messen kann. In derselben Ansicht wurden auch um jene Zeit viele sehr große Gnomone errichtet. Der berühmte Gnomon Cassini's in der Kirche des h. Petronius zu Bologna hatte eine Höhe von dreiundachtzig Par. Fuß.

Allein bald verließ man diesen Weg der blos großen Instrumente, und schlug bessre Bahnen ein. — Um dieselbe Zeit machten besonders drei wesentliche Verbesserungen in der praktischen Astronomie großes Aufsehen: die Anwendung des Mikrometers an das Fernrohr durch Huyghens, Malvasia und Auzout; ferner die Anbringung des Fernrohrs an den astronomischen Quadranten durch Picard, und endlich die Befestigung sehr feiner Fäden in dem Brennpunkte dieses Fernrohrs. Den Grad der Verbesserung, der durch diese drei Gegenstände in die Beobachtungskunst eingeführt wurde, kann man daraus entnehmen, daß Hevelius sie blos aus der Ursache nicht annehmen wollte, weil dadurch alle alten Beobachtungen ihren ganzen Werth verlieren müßten. Er hatte selbst sein ganzes, höchst thätiges Leben auf die alte Methode verwendet, und konnte es nicht ertragen, daß alle diese von ihm so mühsam gesammelten Schätze, durch die Entdeckung einer neuen, reicheren Mine, in Vergessenheit gerathen sollten.

Da durch die erwähnten Fäden im Brennpunkte des Fernrohrs der Ort der Gestirne mit so großer Präcision bestimmt werden konnte, so wurde nun auch eine dieser Präcision angemessene, genaue Eintheilung der Meßinstrumente nothwendig. Eine Reihe von, besonders englischen, Künstlern haben sich durch ihre Methoden, die Instrumente einzutheilen, große Verdienste um die beobachtende Astronomie erworben, und seit dieser Zeit sind mehrere einzelne Instrumente, die sich vor den anderen besonders auszeichneten, zu einer historischen Merkwürdigkeit, zu einer individuellen Berühmtheit gekommen. — Graham [1]) war einer der ersten dieser Künstler. Er hatte einen großen Mauerbogen für Halley in Greenwich erbaut, und für Bradley errichtete er den Zenithsector, mit welchem dieser die Aberration der Fixsterne entdeckte. Auch jener Sector war von ihm, den die französischen Akademiker nach Lapland zu ihren Vermessungen führten, und wahrscheinlich war die Trefflichkeit dieses Instruments, gegenüber der sehr unvollkommenen, die nach Peru gebracht wurden, die Ursache, warum diese letzten Messungen so lange dauerten. Etwas später, gegen das Jahr 1750, theilte auch Bird [2]) mehrere große Quadranten für verschiedene Sternwarten,

---

1) Graham (Georg), ein ausgezeichneter englischer Mechaniker und Uhrmacher, geb. 1675 zu Horsgills. Er vereinigte mit einer großen Erfindungsgabe eine außerordentliche Sorgfalt in der mechanischen Ausführung. Er verfertigte den ersten eigentlich bedeutenden Mauerquadranten für Halley zu Greenwich. Mit dem großen Zenithsector von diesem Künstler entdeckte Bradley die Aberration und Nutation. Die Uhrmacherkunst verdankt ihm das Echappement à cylindre, das in dieser Kunst Epoche machte. Seine Aufsätze in dem 31—42sten Band der Philos. Transact. zeugen auch von seinen astronomischen und physischen Kenntnissen. Er starb am 24. Nov. 1751 zu London und wurde in der Westmünsterabtei begraben. L.

2) Bird (John), einer der ersten astronomischen Mechaniker Englands. Er war anfangs Leinweber in seiner Vaterstadt Durham. Durch die Bekanntschaft eines Uhrmachers wurde er für die Mechanik gewonnen. Er gewann seinen Unterhalt lange Zeit durch Sonnenuhr-Blätter, die er mit besonderer Präcision verfertigte. Im Jahr 1745 kam er nach London, wo er sogleich von dem Mechaniker Sisson zur Eintheilung der astronomischen Quadranten gebraucht, und durch ihn an Graham empfohlen wurde. Bald darauf konnte er schon selbstständig mit einem eigenen Atelier in London auftreten. Er beschäftigte sich seitdem besonders mit der Verfertigung astronomischer Quadranten, besonders der sogenannten Mauerquadranten, deren er einen von 8 Fuß im Halbmesser für Greenwich, zwei gleich große für Paris, zwei für Oxford und einen für Petersburg, Madrid und Göttingen verfertigte. Bird ist zugleich als der Lehrer des großen Ramsden bekannt, dessen Schüler

und seine Methode wurde für so vollkommen gehalten, daß sie von der englischen Regierung angekauft und im Jahr 1767 öffentlich bekannt gemacht wurde. — Nicht weniger berühmt war Ramsden[3]). Der Fehler einer seiner besten Quadranten (der an die Sternwarte von Padua gekommen ist) soll nie zwei Sekunden überstiegen haben. Späterhin aber konstruirte Ramsden nur mehr ganze Kreise, da er dieselben für viel besser hielt, als die Quadranten. Er verfertigte im Jahr 1788 einen solchen Kreis von fünf Fuß Durchmesser für Piazzi in Palermo, und einen von eilf Fuß für die Sternwarte in Dublin. — Troughton, ein würdiger Nachfolger dieser Männer, erfand ein noch besseres Verfahren, diese Kreise einzutheilen, die in theoretischer Beziehung ganz vollkommen, und in praktischer der höchsten Genauigkeit fähig ist. Auf diese Weise führte er die schönen Kreise aus, die nach Greenwich, Armagh, Cambridge und an noch viele andere Orte gelangten. Wahrscheinlich gewährt diese Theilungsmethode, gehörig angewendet, dem astronomischen Beobachter alle die Genauigkeit, die ihm seine anderen Hülfsmittel zu erreichen erlauben. Allein der geringste Unfall, der einem solchen Instrumente begegnet, oder auch nur Unsicherheit, ob die Methode der Theilung richtig angebracht ist, kann schon ein solches Instrument für die besorgliche Mikrologie der neuen Beobachter unbrauchbar machen.

---

wieder der ausgezeichnete Troughton ist. Man hat von ihm: The method of constructing mural quadrants, Lond. 1768, und The method of dividing astr. instr., Lond. 1767. L.

3) Ramsden (John), einer der größten Mechaniker, geb. 8. Okt. 1730 zu Halifax. Von seinem Vater zum Tuchfabrikanten bestimmt, entfloh er nach London, wo er sich der Kupferstecherkunst widmete. Durch den berühmten Optiker Dollond, dessen Tochter er auch später heirathete, wurde er für die Optik und Mechanik, besonders für die Verfertigung der astronomischen Instrumente gewonnen. Beide Künste verdanken ihm wesentliche Verbesserungen und Erweiterungen, wie z. B. die Doppelokulare der Fernröhre, bei welchen das Bild außer den beiden Linsen dieser Okulare fällt, was für astronomische Beobachtungen wesentlich ist (m. s. Littrow's Dioptrik, Wien 1830, S. 286 fg., und Baumgartner's Zeitschrift für Physik, Vol. IV, S. 17 und 195 fg.). Mehrere wichtige Abhandlungen von Ramsden, auch über seine berühmte Theilmaschine, findet man in den Phil. Transact. Er starb am 5. November 1800. L.

Die englischen Künstler suchten diese Genauigkeit der Messung durch Subdivision mit Hülfe von mit Fäden versehenen Mikroscopen zu erreichen. T. Mayer schlug dazu einen andern Weg ein, indem er die Messungen, durch seine eigens dazu eingerichteten Multiplikationskreise, so oft wiederholte, bis der Fehler des Instruments ganz unbeträchtlich wurde. Die französischen Astronomen nahmen diese Art, Winkel zu messen, begierig auf, und sie findet auch heut zu Tage noch ihre Anhänger.

B. Uhren.

Die erwähnten Verbesserungen in der Messung der Winkel machte auch eine genauere Zeitbestimmung nothwendig. Der erste bedeutende Schritt dazu war die Anbringung des Pendels an die Räderuhren durch Huyghens im Jahr 1656. — Daß die auf einander folgenden Schwingungen eines Pendels gleichzeitig sind, hatte schon Galilei bemerkt. Um aber diese Entdeckung für die Ausübung fruchtbringend zu machen, mußte das Pendel mit einer Maschine in Verbindung gesetzt werden, durch welche der allmählichen Ermattung des Pendels stets entgegen gearbeitet, und zugleich die Anzahl der bereits vollendeten Schwingungen angezeigt wird. Indem Huyghens eine solche Maschine erfand, verhalf er uns zu einer Zeitbestimmung, die viel genauer war, als alle vorhergehenden. Von nun an gewann die beobachtende Astronomie eine ganz neue Gestalt, indem man mittelst einer solchen Uhr die Zeiten der Culminationen der Gestirne und dadurch die Rectascensionen derselben bestimmen konnte. Geübte Astronomen pflegen jetzt die Augenblicke dieser Culminationen bis auf den zehnten Theil einer Zeitsekunde anzugeben.

Um aber zu ganz genauen Uhren zu gelangen, mußte die Hülfe mehrerer ausgezeichneter Künstler in Anspruch genommen werden. Picard fand bald, daß die Uhren von Huyghens durch die Verschiedenheit der Temperatur in ihrem Gange geändert werden, weil die Wärme alle Körper, also auch die Metalle der Uhrtheile ausdehnt. Man suchte diesem Umstande durch die Combination verschiedener Metalle, z. B. von Eisen und Kupfer, zu begegnen, die sich durch die Wärme in verschiedenem Maaße ausdehnen, und daher dahin gebracht werden können, in diesen ihren Veränderungen einander entgegen zu wirken. Graham wendete später das Quecksilber zu demselben Zwecke an. Auch das sogenannte Echappement und andere wesentliche Theile der Uhren wurden durch den Scharfsinn und den Fleiß der Künstler einer immer größern Vollkommenheit entgegengeführt, und auf diese Weise sind endlich unsere Pendeluhren zu einer Vortrefflichkeit gebracht worden, die wohl nur sehr wenig mehr zu wünschen übrig lassen kann.

Aber auch für die tragbaren Federuhren oder für die Chronometer sah man einer solchen Verbesserung mit Sehnsucht entgegen, da diese Gattung von Zeitmessern vorzüglich auf der See zur Bestimmung der geographischen Länge dienen sollte. Aus diesem Grunde wurde die Verfertigung jener kleinen Instrumente der Gegenstand eines Nationalwunsches, der in der Aussetzung des Preises von 20000 L. mit inbegriffen war, welcher von dem englischen Parlamente, wie wir bereits erzählt haben, auf die Entdeckung der Meereslänge gesetzt worden ist. — Harrison [4]), ursprünglich ein Zimmermann [5]), wendete der Erste seinen Geist mit Erfolg auf diesen wichtigen Gegenstand. Nach dreißig Jahren von Versuchen und Anstrengungen, während welchen er von mehreren ausgezeichneten Personen unterstützt wurde, stellte er endlich im Jahr 1758 einen Zeitmesser (time-keeper) her, der auf einer Fahrt nach Jamaika geprüft wurde. Nach 161 Tagen war der Fehler der Uhr nur eine Minute und fünf Sekunden, und der Künstler erhielt von seiner Nation 5000 L. zur Belohnung. Seit dieser Zeit suchte er seine Erfindung immer mehr zu verbessern, und als er im Jahr 1765, in seinem 75sten Lebensjahre, der dafür bestellten Kommission eine noch viel bessere Uhr übergab, erhielt er neue 10,000 L. an demselben Tage, an welchem auch Euler und die Erben von T. Mayer jeder 3000 L. für ihre Mondstafeln erhalten hatten.

---

4) Harrison (John), der Erfinder der Seeuhren, geb. 1693, lernte anfangs bei seinem Vater als Zimmermann. Erst nach seinem dreißigsten Jahre wendete er sein großes mechanisches Talent auf die Verbesserung der Uhren und verfertigte 1736 die erste Seeuhr, für die ihm der Copley'sche Preis zuerkannt wurde. Für eine zweite noch bessere, im Jahr 1761 verfertigte Seeuhr erhielt er den dafür von dem Parlamente ausgesetzten Preis von 10,000 Pf. Sterl. Sein Werk über diese kunstreichen Maschinen erschien Lond. 1759. Er starb 1776 im Alter von 83 Jahren. L.

5) Montucla, Hist. des Math. IV, 554.

Die zwei Methoden, die geographische Länge durch Hülfe der Chronometer und durch die Distanzen des Monds von den Gestirnen zu bestimmen, haben uns eine für den praktischen Zweck vollkommen genügende Auflösung jenes Problems gegeben. Diese Distanzen aber erforderten noch ein eigenes Instrument, durch welches man den Mond auf dem immer wankenden Schiffe mit Sicherheit beobachten konnte. Hadley [6]) erfand zu diesem Zwecke im Jahre 1731 den Sextanten, ein kleines, mit zwei Spiegeln versehenes Instrument, das man leicht in der Hand halten kann, und durch welches man die Distanz zweier Gestirne beobachtet, indem man das eine derselben durch Reflexion von jenen Spiegeln zu einer scheinbaren Coincidenz mit dem andern Gestirne bringt.

C. Fernröhre.

Wir haben bereits oben von der wichtigen Verbindung des Fernrohrs mit den andern astronomischen Meßinstrumenten gesprochen, und müssen nun noch die allmähligen Verbesserungen erwähnen, welche dasselbe erfahren hat. Es ist im Allgemeinen sehr leicht, die optische Kraft eines Fernrohres zu vergrößern, aber man läuft dabei Gefahr, andern Uebeln zu begegnen, indem

---

6) Hadley (John), nach dem der astronomische Seesextant genannt wird, den eigentlich Newton erfunden, und Hadley in den hinterlassenen Papieren desselben, nicht aber in seinem eigenen Kopfe, gefunden haben soll. Er beschrieb, der Erste, dieses nützliche Instrument in den Philos. Transact. für 1731, wo auch noch mehrere andere Aufsätze von ihm stehen. Er starb 15. Febr. 1744. — In der Reihe dieser großen astronomischen Mechaniker muß auch

Reichenbach (Georg) aufgezählt werden, geb. 24. Aug. 1772 zu Durlach. Er wurde in Baiern 1794 Artillerielieutenant, 1811 Salinenrath und 1820 Vorsteher des Wasser- und Straßenbaues. Er ist mit Fraunhofer die Zierde des 1805 in Benediktbeuern von Utzschneider errichteten mechanisch-optischen Instituts gewesen, und seine astronomischen Instrumente, Meridiankreise, Passageninstrumente, Aequatoriale, Heliometer, Theodolithen u. s. machen Epoche in der beobachtenden Astronomie. Seine Einrichtungen in den Salinen zu Berchtesgaden und Reichenhall, in der Gewehrfabrik zu Amberg und in der Kanonenbohrerei zu Wien sind bleibende Denkmäler seines seltenen mechanischen Talents. Er starb 21. Mai 1826 zu München. L.

die Bilder der Gegenstände verzerrt oder undeutlich, schwach beleuchtet oder durch verschiedene Farben verdunkelt werden. Dies erfolgt, wenn man die Vergrößerung des Fernrohres zu weit treibt, ohne zugleich die Oeffnung des Objektivs zu vergrößern. Man suchte diesen Uebelständen anfangs vorzüglich dadurch abzuhelfen, daß man die Brennweite des Objektivs so groß als möglich machte. Huyghens gab seinen früheren Objektiven eine Brennweite von 22 Fuß, und später machte Campani [7]), im Auftrage Ludwigs XIV., Fernröhre von 86, von 100 und von 136 Fuß [8]). Huyghens spätere Fernröhre hatten sogar eine Länge von 210 Fuß. Ja Auzout und Hartsöcker sollen noch viel weiter gegangen sein und Objektive von 600 Fuß Brennweite verfertigt haben. Allein schon die von Campani waren, ihrer Länge wegen, nicht mehr gut zu gebrauchen. Huyghens stellte bei seinen langen Fernröhren das Objektiv an die Spitze eines Pfahls, und hielt während seiner Beobachtungen das Okular in den Brennpunkt seines Objektivs.

Der wichtigste Einwurf, den man der sonst so wünschenswerthen Vergrößerung der Oeffnung des Objektivglases entgegensetzte, waren jene farbigen Bilder der Gegenstände, die von der ungleichen Brechung der verschiedenfarbigen Sonnenstrahlen kamen. Newton, der zuerst die wahre Ursache dieser Farbenbilder im Fernrohre aufgefunden hatte, hielt dieses Uebel für ganz unvermeidlich, und er erklärte auch den Vorschlag der doppelten und vielfachen Objektive, die Euler und Klingenstierna zur Abhülfe dieses Uebels vorgeschlagen hatten, für zwecklos. Aber Dollond [9]) widerlegte ihn im Jahr 1755 durch die That, indem

7) Campani (Matthäus und Joseph), zwei Brüder, in der zweiten Hälfte des 17ten Jahrhunderts in Spoleto geboren. Sie machten beide Kunstuhren, und besonders Fernröhre, die durch ihre große Fokallänge bekannt sind. Für K. Ludwig XIV. verfertigten sie Fernröhre dieser Art von 100, 115 und 158 Par. Fuß Fokallänge, mit deren einem D. Cassini die Satelliten Saturns entdeckte. Weidler sagt, nach dem Journal des Savans, 1665, S. 4, daß Campani sich bemühte, die farbigen Bilder seiner Fernröhre durch ein dreifaches Okularglas wegzubringen. M. s. Gaudentii Roberti Misc. Ital. Phys. Math. Bologna 1692. L.

8) Bailly, Hist. d'Astr. II, 253.

9) Dollond (John), geb. 10. Juni 1706, von armen Aeltern, brachte seine Jugend als Arbeiter in einer Kattundruckerei zu, wußte aber doch noch so viel Zeit für seine eigene Ausbildung zu gewinnen,

er ein solches aus zwei Glaslinsen (das eine von Kron- und das andere von Flintglas), bestehendes Objektiv verfertigte, das ganz farbenlose Bilder gab. Seitdem wurden diese Fernröhre Achromaten genannt. Während nun Euler, Clairaut und d'Alembert auf theoretischem Wege die zu diesem Achromatismus nöthige Gestalt jener Glaslinsen suchten, lieferten Dollond und sein Sohn [10]) immer bessere Fernröhre dieser neuen Art, unter andern mehrere von blos drei Fuß Fokallänge mit einem dreifachen Objektive, die ganz dieselbe Wirkung hatten, als die frühern von fünfundvierzig Fuß. Man glaubte anfänglich, daß durch diese Entdeckung den Astronomen ein ohne Ende zu erweiternder Gesichtskreis geöffnet werde, aber man fand bald, daß sich der Verfertigung sehr großer Stücke von ganz reinem und homogenem Flintglase beinahe unübersteigliche Schwierigkeiten entgegensetzen, und daß endlich auch Instrumente dieser Art, wenn sie zu Messungen noch mit Bequemlichkeit gebraucht wer-

---

daß er als Jüngling schon mit vielen Wissenschaften und mit alten und neuen Sprachen näher bekannt wurde, wie er denn der französischen, deutschen und italienischen Sprache gleich mächtig war. Seinen Sohn, Peter, gab er früh schon zu einem Optiker in die Lehre, wodurch er selbst mit optischen Instrumenten bekannt wurde, an deren Vervollkommnung bald beide gemeinschaftlich arbeiteten. Es handelte sich um diese Zeit vorzüglich um die Darstellung farbenloser Refraktoren zu Fernröhren, die Newton für unmöglich, Euler aber für ausführbar erklärt hatte. Dollond's interessante und mühsame Versuche über diesen Gegenstand hat er selbst in den Philos. Transact. 1753—58 erzählt. Endlich gelang es ihm im Jahr 1758, das erste achromatische Fernrohr mit einem Doppelobjektiv von Flint- und Kronglas, von fünf Fuß Fokallänge zu Stande zu bringen, das er in demselben Jahre der k. Societät in London vorlegte, und das von der ganzen gebildeten Welt mit dem größten Beifalle aufgenommen wurde, da es in seinen Wirkungen die besten bisher bekannten Fernröhre von 15 bis 20 Fuß Fokaldistanz weit übertraf. Er verwendete die letzten drei Jahre seines Lebens zur Vervollkommnung seiner wichtigen Entdeckung, die durch seine beiden Söhne und nach diesen durch einen seiner Neffen, der ebenfalls den Namen Dollond angenommen hatte, weiter geführt wurde. Er starb 30. Sept. 1761. Seine Familie wurde durch die Widerrufung des Edikts von Nantes (am 22. Okt. 1685) zur Flucht von Frankreich nach England gezwungen. L.

10) Bailly, III, 118.

den sollen, keinen zu großen Umfang haben dürfen. So blieb denn dieser Theil der astronomischen Optik seit Dollond lange Zeit durch stationär, bis endlich in den neueren Zeiten Fraunhofer [11]) in München den Gegenstand wieder zu fördern begann, indem er mit Hülfe Guinand's und mit der pekuniären Unterstützung Utzschneider's neue und vortreffliche Objektive von bisher nicht bekannter Größe verfertigte. Seitdem werden achromatische Objektive von einem Fuß im Durchmesser und von zwanzig Fuß Fokallänge nicht mehr für unmöglich gehalten, obschon der Künstler, bei so schwierigen Unternehmungen, nicht immer auf einen sichern Erfolg rechnen darf.

---

11) Fraunhofer (Jos.), geb. 6. März 1787 zu Straubing in Baiern, der Sohn eines armen Glasers, dessen Geschäft er früher treiben mußte, weßwegen er auch die Schule nicht besuchen konnte, so daß er bis in sein 14tes Jahr des Schreibens und Rechnens unkundig blieb. Später wurde er von Utzschneider unterstützt und suchte das Versäumte schnell nachzuholen. Im Jahre 1806 trat er als Optiker in die mechanisch-optische Werkstätte Utzschneiders zu Benediktbeuern, das 1819 nach München verlegt wurde. Hier war es, wo er sein Talent entwickelte und sich schnell zu dem ersten Optiker Deutschlands erhob. Seine vorzüglichen Fernröhre und Mikroscope sind in ganz Europa bekannt. Sein größtes Fernrohr, auf der Sternwarte in Dorpat, hat 9 P. Zolle Durchmesser des Objektivs und 13 1/3 Fuß Fokallänge. Seine schriftlichen Aufsätze findet man in den Memoiren der bair. Akademie, in Gilbert's Annalen der Physik und in Schumacher's astron. Abhandlungen. Er starb 7. Juni 1826.

In der Reihe der vorzüglichsten Opkiker muß auch

Plößl (Simon) genannt werden, geb. 19. Sept. 1794 in Wien, der seinen Vater, einen unbemittelten Tischler, schon in seinem siebenten Jahre verlor, und daher die kaum angefangenen Schulen wieder verlassen und ebenfalls zu einem Tischler in die Lehre gehen mußte. Im Jahre 1812 aber trat er in die optische Werkstätte des E. Voigtländer, wo er sich bald unter seinen Mitarbeitern durch Geschicklichkeit und Talent auszeichnete. Durch das damals so beliebte Kaleidoscop erwarb er sich bald so viel, um 1823 sich selbstständig als Optiker und Mechaniker einrichten zu können. Von dieser Zeit an verbreitete sich der Ruf seiner optischen Instrumente schnell durch ganz Europa, zuerst durch seine trefflichen Feldstecher, dann durch seine größeren Fernröhre und Mikroscope, und endlich durch seine dialytischen Fernröhre, deren Vorzüglichkeit nun allgemein anerkannt ist. M. s. Baumgartner's Zeitschrift für Physik. Neue Folge. Vol. IV. Wien 1837. S. 379. L.

So große und vollkommene Refraktoren würden ohne Zweifel unsere Kenntniß des gestirnten Himmels sehr vermehrt haben, wenn ihnen nicht die Reflektoren (Fernröhre, bei welchen, statt der Glaslinsen der Objektiven, Metallspiegel gebraucht werden), zuvorgekommen wären. Sie wurden von Jakob Gregory erfunden und von Newton verbessert und zugleich in die beobachtende Astronomie eingeführt. Ihre volle Wirkung aber äußerten sie erst, als der ältere Herschel sich mit aller Kraft auf die Verbesserung derselben legte. Seine Kunst und seine Ausdauer in der Verfertigung dieser Metallspiegel und ihrer Aufstellung wurden durch eine große Anzahl von wichtigen und äußerst merkwürdigen Entdeckungen belohnt. Im Jahre 1789 verfertigte er einen Reflektor von 40 Fuß Länge mit einem Spiegel von 4 Fuß im Durchmesser. Der erste Anblick des Himmels durch dieses Riesenteleſcop zeigte ihm einen neuen Satelliten Saturns. Er und sein Sohn haben mit Reflektoren von zehn und zwanzig Fuß eine Uebersicht des gestirnten Himmels geliefert, so weit derselbe für England sichtbar wird, und der letzte ist noch vor Kurzem von dem Kap der guten Hoffnung zurückgekehrt, wo er durch mehrere Jahre den dort sichtbaren Theil des südlichen Himmels beobachtete, um dadurch jene Uebersicht vollständig zu machen.

Noch müssen wir der Verbesserung der Okulare erwähnen, die bei den verschiedenen Gattungen der Fernröhre gebraucht werden. Anfangs nahm man zu diesen Okularen nur einfache bikonvexe Glaslinsen. Huyghens aber gebrauchte zuerst Doppellinsen dazu, und obschon er damit einen andern Zweck erreichen wollte, so gelang es ihm doch, damit auch zugleich die Farben der Bilder wenigstens großentheils aufzuheben [12]). Ramsden verfertigte später solche Doppelokulare auf eine neue Art, um sie besonders für Fadenmikrometer zu gebrauchen. Andere Okulare von mehr zusammengesetzter Konstruktion hat man zu verschiedenen andern Zwecken einzurichten gesucht.

---

12) M. s. Coddington's Optics. II, 21.

Zweiter Abschnitt.

Sternwarten.

Die Sternkunde, die auf diese Weise mit großen und kostbaren Instrumenten versehen wurde, bedurfte nun auch fester, zweckmäßig eingerichteter Observatorien, mit einem hinreichenden Fond für ihre Unterhaltung und für die an ihnen angestellten Beobachter versehen. Solche Observatorien wurden zwar schon in den ältesten Zeiten und oft mit großen Kosten errichtet, aber in der eigentlich astronomischen Periode, zu welcher wir hier in unserer Geschichte gelangt sind, vermehrten sie sich in einem solchen Maaße, daß wir sie nicht mehr alle vollständig aufzählen können. Demungeachtet müssen wir alle diese Institute und die Arbeiten, die in ihnen vollführt worden sind, als wesentliche und wichtige Theile des Fortgangs der Wissenschaft betrachten. Um nur einiger der vorzüglichsten dieser Sternwarten zu erwähnen, so waren die des Tycho Brahe in Uranienburg, und die des Landgrafen Wilhelm von Hessen-Kassel, wo Rothmann und Byrgius beobachteten, die ersten ihrer Zeit. Tycho's Beobachtungen waren bekanntlich die Basis, auf denen Kepler und Newton ihre Entdeckungen erbauten. Seitdem aber wurde bei weitem der größte Theil aller wichtigen Beobachtungen an der Sternwarte in Paris, und vorzüglich an der zu Greenwich gemacht. — Die von Paris wurde im Jahr 1667 erbaut. Hier machte der erste der Cassini's mehrere wichtige Entdeckungen. Ihm folgten auf derselben Stelle drei andere Cassini, und auch die beiden Maraldi aus derselben Familie [13]), nebst manchen andern ausgezeichneten Astronomen, wie Picard, La Hire, Lefevre, Fouchy, Le Gentil [14]), La Chappe [15]), Méchain [16]) und Bouvard. — Die

---

13) Montucla, IV, 346.

14) Le Gentil wurde nach Pondichery in Ostindien geschickt, um daselbst den Venusdurchgang von 1761 zu beobachten. Da indeß diese Festung in Feindeshände übergegangen war, so wurde er nach Isle de France beordert, kam aber daselbst ohne seine Schuld zu spät für jene Beobachtung an. Um keiner Nachlässigkeit beschuldigt zu werden, beschloß er, bis zu dem zweiten Durchgang 1769 daselbst zu bleiben. Aber an dem bestimmten Tag war der Himmel bedeckt und die Beobachtung wurde wieder vereitelt. Doch machte er in diesen acht Jahren eine

Sternwarte zu Greenwich wurde acht Jahre später, im Jahre 1675, erbaut, und seit ihrer Gründung war die daselbst ununterbrochen fortgesetzte Reihe von Beobachtungen die Basis beinahe aller Verbesserungen, welche die Astronomie seitdem erhalten hatte.

---

große Menge von andern Beobachtungen, Ortsbestimmungen, über die Winde, Pflanzen und Thiere jener Gegenden, stellte Nachsuchungen über die Astronomie der Brahmanen, gab eine gute Karte von Manilla, von den Philippinischen Inseln u. s.

15) La Chappe (Jean), geb. 1728 in der Auvergne, ein Schüler D. Cassini's in der Astronomie. Seine ersten bedeutenden Beobachtungen sind die der zwei Kometen von 1760 und die eines großen Nordlichts von demselben Jahre. Zur Beobachtung des Venusdurchgangs von 1761 wurde er nach Tobolsk geschickt, wo er über Wien und Kasan kam. Die Kaiserin Katharina suchte ihn in ihren Dienst zu erhalten, aber er zog sein Vaterland vor, in welchem er im August 1762 wieder ankam. Seine vielen Barometerbeobachtungen in Rußland zeigen, daß die von ihm besuchten Gegenden Sibiriens lange nicht so hoch über der Meeresfläche liegen, als man wegen der daselbst herrschenden Kälte früher vermuthet hatte. M. s. seine Rélation d'un voyage en Sibérie. Paris 1768. II. Vol. in 4. Im Jahr 1768 unternahm er eine zweite Reise nach Kalifornien im westlichen Nordamerika, um da den Venusdurchgang von 1769 zu beobachten. Nach der glücklich vollendeten Beobachtung wurde er von einer in Kalifornien herrschenden Epidemie ergriffen und starb daselbst am 1. August 1769. Seine Reise und die damit verbundenen Beobachtungen gab Cassini 1772 zu Paris heraus. L.

16) Méchain (Pierre), geb. 16. Aug. 1744 zu Laon, ein Schüler Lalande's in der Astronomie. Zuerst machte er sich durch den von der P. Akademie auf den Kometen von 1761 gesetzten und von ihm gewonnenen Preis bekannt. Seitdem hat er eine bedeutende Anzahl von neuen Kometen entdeckt, deren Beobachtungen er in den Mém. de l'Académie und in der von ihm selbst besorgten Conn. des tems herausgab. In den ersten Jahren der Republik erhielt er den Auftrag, zur Bestimmung des metrischen Systems den Meridianbogen zwischen Dünnkirchen und Barcellona zu messen, wo er, besonders in Spanien, mit großen, selbst politischen Schwierigkeiten zu kämpfen hatte. Er wurde selbst längere Zeit durch seiner Freiheit beraubt. Erst 1803 konnte er wieder zu seinen Arbeiten zurückkehren, um sie bis zu den Balearischen Inseln fortzusetzen. Er starb während seiner Vermessungen zu Valencia am gelben Fieber, am 12. Sept. 1804. Die Ergebnisse seiner Arbeiten findet man in den Mém. de l'Ac. de Paris, in den Conn. de tems und in den Base du système métrique. L.

Diesem berühmten Observatorium standen nach der Reihe vor: Flamsteed, Halley, Bradley, Bliß, Maskelyne, Pond und seit dem Jahre 1835 Airy, der von der Sternwarte von Cambridge hieher versetzt wurde. — Seitdem wurden beinahe in jedem Lande Europen's, selbst in mehren Provinzen derselben, neue Sternwarten errichtet, die aber oft früh schon wieder in Unthätigkeit verfielen oder doch nur wenig zum Fortgange der Astronomie beitrugen, da ihre Beobachtungen nicht öffentlich bekannt gemacht wurden. Aus demselben Grunde haben auch die zahlreichen Privatsternwarten Europa's nur wenig zu der Vermehrung unserer Kenntnisse beigetragen, diejenigen ausgenommen, wo die Aufmerksamkeit ihrer Beobachter auf bestimmte Zwecke gerichtet waren, wie z. B. die herrlichen Leistungen Herschel's, oder die geschickten Beobachtungen Pond's mit dem Westbury-Kreis, die uns zuerst die Theilungsfehler des großen Mauerquadranten in Greenwich kennen gelehrt haben. Nun werden die Beobachtungen regelmäßig bekannt gemacht [17]): an der Sternwarte in Greenwich seit Maskelyne; in Königsberg von Bessel seit 1814; in Wien von Littrow seit 1820, und in Speier von Schwerd seit 1826. Die Publikation der Beobachtungen in Cambridge von Airy begann mit dem Jahr 1828, und die von Robinson in Armagh in dem Jahr 1829. Außer diesen findet man noch eine große Anzahl von nützlichen Beobachtungen anderer Orte in unsern verschiedenen Zeitschriften angeführt, z. B. in der monatlichen Korrespondenz von Zach in Gotha, in der Zeitschrift für Astronomie von Lindenau und Bohnenberger [18]), in Bode's

17) M. s. den oben erwähnten Report on Astronomy von Airy.

18) Bohnenberger (Joh.), geb. 5. Juni 1765 in Würtemberg, Professor der Astronomie in Tübingen, wo er auch 19. April 1831 starb. Seinen literarischen Ruf begründete er durch seine Vermessung von Schwaben, durch seine Anleitung zur geogr. Ortsbestimmung, Götting. 1795, und durch seine „Astronomie,“ Tübing. 1811, in welcher letzten er das von Huyghens zuerst entdeckte und allgemein übersehene Reversionspendel wieder in Anregung brachte. Seine Maschine zur Erläuterung der Gesetze der Umdrehung der Erde wurde mit allgemeinem Beifall aufgenommen und auf Napoleon's Befehl in den Schulen Frankreichs eingeführt. Seine Schrift darüber erschien zu Tübingen 1817. Noch gab er mit Lindenau die Zeitschrift für Astronomie (Tübing. 1816—18) heraus. L.

astron. Jahrbuch, in Schuhmacher's astr. Nachrichten u. s. f. Andere Beobachter endlich beschäftigten sich vorzüglich mit der Bildung von Sternkatalogen, deren wir weiter unten mit einigen Worten gedenken werden.

Diese Errichtung neuer Sternwarten beschränkte sich nicht blos auf Europa. Im Jahr 1786 errichtete Beauchamp [19]), auf Kosten Ludwigs XVI., eine Sternwarte in Bagdad, „zur Fort„setzung," wie es in dem Programm dieses Observatoriums hieß, „der alten Beobachtungen der Chaldäer und Araber," aber dieses Institut hat nur sehr wenige Früchte getragen. Im Jahre 1828 vollendete die britische Regierung den Bau der Sternwarte am Kap der guten Hoffnung. Eine andere wurde von Sir Thomas Brisbane 1822 in Neuholland errichtet und dem Gouvernement abgetreten. Diese beiden Sternwarten sind noch in Thätigkeit. Die ostindische Kompagnie hat ebenfalls Sternwarten in Madras, Bombay und St. Helena errichtet, von denen auch mehrere Beobachtungen bekannt gemacht worden sind.

Der Einfluß dieser Institute auf den Fortgang der Wissenschaft erhellt aus allem bisher Gesagten. Ihr Verhältniß

---

19) Beauchamp (Joseph), geb. 29. Juli 1752 zu Vesoul, ein Bernardiner und Schüler Lalande's in der Astronomie. Sein Onkel Miroudot, Bischof und französischer Konsul zu Bagdad, ernannte ihn zu seinem Großvikar in Bagdad, wo er seit 1781 vorzüglich der praktischen Astronomie sich widmete. Seine daselbst angestellten Beobachtungen wurden größtentheils von Lalande, dem er sie zuschickte, in dem Journal des Savans bekannt gemacht, wohin auch eine schätzbare Karte von dem Laufe des Tigris und Euphrats gehörte. Auf seinen großen Reisen im Orient besuchte er die Ruinen von Babylon, über die er viele Zeichnungen und Beschreibungen nach Europa schickte, bestimmte die Ufer des kaspischen Meeres genauer, und kehrte 1790 wieder nach Frankreich zurück. Hier lebte er im Kreise seiner Familie bis 1796, wo er als Konsul von Mascate nach Arabien ging, und mit Napoleon in Aegypten zusammentraf. Seine hier gesammelten Beobachtungen findet man in den Mémoires de l'Institut du Caïre. Bald darauf kam er in die Gefangenschaft der Türken, wo er drei Jahre in einem Thurm am schwarzen Meere saß, bis er 1801 wieder seine Freiheit erhielt. Aber Kummer und Entbehrungen hatten seine Gesundheit untergraben, und er starb, auf seiner Rückreise nach Frankreich, zu Nizza am 19. Nov. 1801. Das Verzeichniß seiner Werke ist in Lalande's Bibliographie astronomique. L.

zu dem künftigen Zustand der Wissenschaft wird der Gegenstand einiger Bemerkungen an dem Schlusse des gegenwärtigen Kapitels sein.

Dritter Abschnitt.

Wissenschaftliche Gesellschaften.

Vorzüglich einflußreich auf den Fortgang der Astronomie waren die gelehrten Gesellschaften oder Akademien. In allen Zweigen unserer Erkenntniß ist der Nutzen solcher Vereinigung talentvoller und eifriger Männer über allen Zweifel erhoben. Die klare Bestimmtheit unserer Ideen und ihre Uebereinstimmung mit den ihnen zu Grunde liegenden äußern Erscheinungen der Natur, diese zwei Hauptbedingungen jeder wissenschaftlichen Wahrheit, können nur durch Verbindung mit andern Menschen streng, und eben dadurch sehr wohlthätig für die Wissenschaft selbst, geprüft und erprobt werden. In der Astronomie besonders macht die große Masse der Gegenstände und die Mannigfaltigkeit der Untersuchungen die Theilung der Arbeit und die gegenseitige Hülfe der Mitarbeiter beinahe unentbehrlich. — Die k. Gesellschaften der Wissenschaften zu London und Paris wurden beinahe in derselben Zeit mit der Erbauung der Sternwarten dieser zwei Hauptstädte errichtet. Wir haben oben gesehen, welche Reihe von ausgezeichneten Männern sich zu jener Zeit erhob und mit welchem harmonischen Eifer sie alle einem gemeinschaftlichen Ziele zueilten. Alle diese Männer aber stehen in den Listen, und alle ihre Arbeiten erscheinen in den Gedenkschriften der zwei erwähnten berühmten Akademien. Da der durch sie erzeugte Fortgang der Astronomie die Aufmerksamkeit und Bewunderung der andern Völker auf sich zog, so wurden bald auch bei diesen ähnliche wissenschaftliche Institute errichtet. Die Akademie in Berlin wurde von Leibnitz im Jahr 1710, und die von Petersburg von Peter dem Großen im Jahr 1725 in die wissenschaftliche Welt eingeführt. Beide haben seitdem eine große Anzahl der wichtigsten und schätzbarsten Memoiren geliefert. In den neuern Zeiten wurden noch sehr viele solcher Institute errichtet. Es würde nutzlos und unmöglich zugleich sein, eine genaue Uebersicht ihrer wahrhaft unübersehlichen Arbeiten und Schriften geben zu wollen. Gedenken wir daher nur noch, als mit unserm gegenwärtigen Zwecke nahe verwandt, der k. astronomischen Gesellschaft in London, die i. J. 1820 gegründet wurde und die gleich von ihrem Anfange an auf die Beförderung der Astronomie in England sehr lebhaft eingewirkt hat.

Vierter Abschnitt.

Beschützer der Astronomie.

Man hat die Vortheile, welche die Wissenschaft von der Gunst der Großen erhalten solle, oft in Zweifel gestellt, und die Liebe zur Wahrheit, die solcher Mittel bedarf, nicht für rein, so wie die Spekulationen derer, die sich in solche Fesseln fügen, nicht für frei genug gehalten. Wie dies bei manchen andern Wissenschaften sich verhalten mag — in denjenigen, die so viele Beobachtungen und Berechnungen, die kostbare Apparate und das Zusammenwirken Mehrerer zu einem Zwecke bedürfen, in denjenigen Wissenschaften, deren Prinzipien und Zwecke weder mit den Meinungen der Menge, noch mit dem Interesse irgend eines besondern Theils der menschlichen Gesellschaft in unmittelbarem Zusammenhange stehen, in diesen wird es wohl unangemessen sein, den Beistand, welchen sie von den Reichen und Mächtigen erhalten, bestreiten oder mißgünstig verdüstern zu wollen.

Die Astronomie besonders hat zu allen Zeiten unter dem Schutze der Großen geblüht, und in derjenigen Zeit, von der wir hier sprechen, war dies mehr als je der Fall. Ludwig XIV. behandelte die Astronomie in seinem Lande auf eine Weise, ohne welche sie nie zu der allgemeinen Auszeichnung gekommen wäre, deren sie sich jetzt in beinahe allen gebildeten Ländern erfreut. Vorzüglich trug dazu bei, daß er den berühmten Dominic Cassini nach seiner Hauptstadt rief, in der er ihm mit wahrhaft königlichen Kosten eine Sternwarte im großen, wenn gleich nicht eben zweckmäßigen, Style erbauen ließ. Cassini, ein geborner Italiener von Perinaldo in der Grafschaft Nizza, war früher Professor in Bologna, und bereits im Besitze eines berühmten Namens, als sich der französische Gesandte im Namen seines Monarchen, an den Senat von Bologna und an den Pabst Clemens IX. wendete, um ihn für seinen König nach Paris zu erbitten. Cassini erhielt diese Erlaubniß nur für sechs Jahre, allein am Ende dieser Zeit hatten die Wohlthaten und Ehrenbezeugungen, mit welchen ihn der König überhäufte, ihn bereits für immer an sein neues Vaterland gefesselt. Der Aufschwung, den dieser Mann der Astronomie in Frankreich zu geben wußte, war das beste Zeugniß für die Weisheit dieser Wahl. Aber in demselben Geiste wußte der König auch den berühmten Römer aus Dänemark, und den großen Huyghens aus Holland nach Paris zu ziehen, so wie er dem Hevelius [20]) in Danzig eine

---

20) Hevel, eigentlich Hevelke (Johann), geb. 28. Januar 1611 zu Danzig. Nachdem er die vorzüglichsten Länder Europa's durchreist hatte, ließ er sich in seiner Vaterstadt nieder, wo er Bürgermeister oder erste Magistratsperson wurde und sich in Nebenstunden mit Astronomie beschäftigte. Im Jahre 1641 erbaute er sich eine eigene Sternwarte, die er mit den besten Instrumenten seiner Zeit versah. Hier beobachtete er vorzüglich den Mond, dessen Beschreibung er auch in seiner „Selenographie“ 1647 herausgab. Im Jahre 1654 erschien seine Schrift: De motu lunae libratorio; dann de natura Saturni 1656; de transitu Mercurii 1661; Kometenbeobachtungen von den Jahren 1664, 65 und 68, in welchem letzten Jahre auch seine „Cometographia“ erschien. 1673 gab er den ersten Theil seiner „Machina coelestis“ heraus, worüber er mit Hooke in England in Streit gerieth, der seine Animadversiones in Mach. Coel. Hevelii zu London 1674 herausgab. Hevel war gegen die Fernröhre, als täuschende Instrumente, eingenommen und zog die mit freien Augen gemachten Beobachtungen vor. Die k. Societät von London schickte Halley 1679 nach Danzig, um sich von dem Werthe der H. Beobachtungen zu überzeugen. Halley's Bericht war dem Hevel sehr günstig und der letzte wurde zum Mitglied der Londoner Societät ernannt. In demselben Jahre 1679 verlor er sein Haus und seine Sternwarte durch eine Feuersbrunst, durch die auch die meisten Exemplare von dem zweiten Theile seiner „Machina Coelestis“ zu Grunde gingen, daher derselbe jetzt so ungemein selten ist. Dieser Unfall schien seine Thätigkeit neu zu beleben. Er erbaute sofort eine zweite Sternwarte, und schon 1685 war wieder ein neuer Folioband von Beobachtungen zum Drucke bereit, den er auch unter dem Titel: Annus Climactericus herausgab, weil er eben in seinem 63sten Lebensjahre war, was damals für ein sogenanntes Stufenjahr gehalten wurde. Nach seinem Tode erschien noch sein „Firmamentum Sobieskianum 1690,“ und sein „Prodromus astronomiae 1691.“ Er starb, allgemein verehrt, zu Danzig i. J. 1688. Er stand mit allen ausgezeichneten Gelehrten Europa's in Verbindung. Seine Correspondenz und seine noch übrigen Beobachtungen, siebenzehn Foliobände füllend, kaufte

beträchtliche Pension, und als seine Sternwarte i. J. 1679 von den Flammen verzehrt wurde, eine bedeutende Summe zur Entschädigung übersenden ließ.

Als auch die Monarchen von Preußen und Rußland den Entschluß faßten, in ihren Reichen die Wissenschaft zu ermuntern, verfolgten sie denselben Weg, den Ludwig XIV. von Frankreich so glücklich eingeschlagen hatte. So nahm, wie wir schon gesagt haben, Peter der Große den Astronomen Delisle nach Petersburg; Friedrich II. zog Euler und Lagrange, Maupertuis und Voltaire nach Berlin, und später gewann Katharina II. denselben Euler, zwei Bernoulli und mehrere andere ausgezeichnete Geometer für die Akademie ihrer Hauptstadt.

Es wird unnöthig sein, hier noch der bekannten neuesten Fälle zu erwähnen, in welchen die Astronomie oder einzelne Astronomen von ihren Monarchen oder Regierungen ausgezeichnet worden sind.

Fünfter Abschnitt.

Astronomische Expeditionen in ferne Gegenden.

Außer den großen Summen, die auf die erwähnte Weise der Astronomie und ihren vorzüglichsten Bearbeitern zu Theil wurden, unterzogen sich mehrere durch ihre Kultur und Liebe zur Wissenschaft ausgezeichnete Regierungen noch bedeutenderen Ausgaben für astronomische Reisen und Expeditionen in die entferntesten Länder der Erde. So wurde Picardi i. J. 1671 nach Uranienburg, dem ehemaligen Sitze des berühmten Tycho Brahe, gesendet, um die geographische Lage dieser alten, ausgezeichneten Sternwarte zu bestimmen. Er fand „die Himmelsstadt“ gänzlich auf der Erde vertilgt, so daß selbst die Grundmauern derselben nur mit Mühe wieder erkannt wurden. In einer ähnlichen Absicht wurde auch Chazelles [21]) i. J. 1672 nach Alexandria ge-

Delisle i. J. 1725 von Hevel's Verwandten, und ein Theil derselben wurde von Kohlius in dem Supplement zu dem IX. Bande der „Acta Eruditorum“ herausgegeben, während der Rest auf der k. Pariser Sternwarte aufbewahrt wird. M. s. Delambre, Hist. Astr. chodem. Vol. II.
L.

21) Chazelles (Jean), geb. 24. Juli 1675, ein Schüler des D. Cassini, mit dem er auch an der großen Karte von Frankreich ar-

sendet, um daselbst die geographische Länge und Breite der altberühmten Sternwarte der ptolemäischen Schule aufzunehmen. Richer's astronomische Reise nach Cayenne i. J. 1672 haben wir bereits erwähnt. Eben dahin wurden auch einige Jahre später Varin und Deshayes zu ähnlichen Zwecken geschickt. Halley's Expedition nach St. Helena i. J. 1677 zur Beobachtung des südlichen Himmels wurde auf seine eigene Kosten unternommen. Etwas später aber, im Jahre 1698, erhielt er von König Wilhelm III. das Kommando eines eigenen Schiffes, um damit seine magnetischen Beobachtungen in allen Theilen der Erde zu machen. — Lacaille [22]) wurde von der französischen Re-

---

beitete. Im Jahre 1685 wurde er Professor der Hydrographie zu Marseille. Hier lieferte er eine neue Karte der Küsten der Provence, gab Pläne zu mehreren Rheden und Häfen und zeigte sich überhaupt für die vaterländische Marine sehr thätig. Im Jahre 1693 durchreiste er Griechenland, die Türkei und Aegypten, wo er viele Beobachtungen anstellte. Die neun letzten Jahre seines Lebens war er immer kränklich, aber nie unthätig. Er starb 16. Januar 1710. L.

22) Lacaille (Nicl. Louis), geb. 15. März 1713 zu Rumigny, widmete sich anfangs der Theologie, und wurde in seinem 23sten Jahre durch Jakob Cassini und Maraldi für die Astronomie gewonnen. Er nahm mit Maraldi die südlichen Küsten von Frankreich auf und arbeitete mit J. Cassini sehr thätig an der großen Meridianvermessung dieses Landes. Im Jahre 1739 wurde er Professor der Mathematik an dem Collége Mazarin, wo man für ihn eine eigene Sternwarte erbaute. Hier berechnete er die Finsternisse der Sonne und des Mondes für volle 18 Jahrhunderte seit dem Anfange unserer Zeitrechnung für die erste Ausgabe der Art de verifier les dates. Vorzüglich beschäftigte er sich viel mit der Verbesserung unserer Sternkataloge, zu welchem Zweck er die Rectascensionen der Sterne alle durch die sogenannten correspondirenden Höhen zu bestimmen suchte, eine beschwerliche, aber damals noch die einzige verläßliche Methode. Dieselbe befolgte er auch bei seiner Aufnahme der Sterne des südlichen Himmels, zu welchem Zwecke er 1750 an das Kap der guten Hoffnung reiste, wo er mit seltenem Fleiße in 127 Nächten die Position von 10000 Sternen bestimmte und dabei noch einen terrestrischen Grad der südlichen Halbkugel trigonometrisch vermaß. Zur Bestimmung der geographischen Länge zur See brachte er vorzüglich die seitdem allgemein gewöhnliche Methode der Distanzen des Mondes von der Sonne oder von den vorzüglichsten Fixsternen in Anwendung. Als er 1754 wieder nach Paris zurückkehrte,

gierung vier Jahre (von 1750 bis 1754) an dem Vorgebirge der guten Hoffnung unterhalten und mit Instrumenten ausgerüstet, um daselbst die Sterne des südlichen Himmels zu beobachten. — Die zwei Vorübergänge der Venus vor der Sonne in den Jahren 1761 und 1769 gaben den aufgeklärten Regierungen Europa's Gelegenheit, ihre Astronomen mit großen Kosten nach allen Weltgegenden auszusenden. Rußland schickte seine Beobachter nach Tobolsk und Kamtschatka; Frankreich nach Isle de France und Coromandel; England nach Otaheite und St. Helena; Schweden und Dänemark nach Drontheim und Lapland. Aus den neuesten Zeiten könnten wir der großen Meridianvermessungen verschiedener Nationen, und der beinahe unzähligen Reisen gedenken, die sie durch ihre Mitbürger in allen Gegenden der Oberfläche der Erde und des Meeres ausführen ließen, oder endlich der mit so vielen Kosten und Schwierigkeiten verbundenen englischen Expeditionen nach den Polen unserer Erde von dem Capitän Basil Hall, Sabine und Foster, um die nordöstliche Durchfahrt zu suchen, bisher unbekannte Gegenden der Erde kennen zu lernen, und die Länge des Sekundenpendels in allen Zonen zu bestimmen. — Sehr viel wurde bisher geleistet, aber nicht mehr, als das Bedürfniß der so weit vorgerückten Wissenschaft erforderte, und immer nur noch ein kleiner Theil von dem, was unsern Nachfolgern zu erforschen übrig gelassen werden muß.

---

beschäftigte er sich vorzugsweise mit den Beobachtungen des Mondes, den Zodiakalsternen und mit der Verbesserung der Sonnentafeln. Seine Geschicklichkeit im Beobachten, seine Fertigkeit im Rechnen und seine unermüdliche Ausdauer wurde allgemein anerkannt. Er starb 21. März 1762. Wir haben von ihm: Leçons elém. de mathématiques. Par. 1741; Leçons de mécanique 1743; Leçons d'astronomie 1746; Elémens d'optique 1750; Observations faites au Cap de bonne Espérance; Astronomiae fundamenta 1757; Tabulae Solares 1758; Ephémérides depuis 1745 jusqu'à 1775; Coelum australe stelliferum 1763, welches letzte Werk Maraldi herausgegeben hat, und Journal historique d'un voyage fait au Cap de bonne Espérance. Unter seinen Schülern zählte er Bailly und Lalande. L.

Sechster Abschnitt.

Gegenwärtiger Zustand der Astronomie.

Die Astronomie ist jetzt nicht nur unter allen Wissenschaften am meisten vorgerückt, sondern sie ist auch unter allen in den günstigsten Verhältnissen, um noch ferner große Fortschritte zu machen. Wir werden späterhin Gelegenheit haben, die Methoden und Mittel näher kennen zu lernen, durch welche sich die einzelnen Wissenschaften solche Vortheile verschaffen. Hier wollen wir nur einige von den Umständen angeben, die zu dem gegenwärtigen blühenden Zustand der Astronomie vorzüglich beigetragen haben.

Diese Wissenschaft wird jetzt von einer sehr großen Anzahl ihr ganz ergebenen Freunde mit so regem Eifer, und mit so viel Beihülfe von Unterstützung jeder Art gepflegt, wie sich dessen keine andere Wissenschaft rühmen kann. Die Art, wie sie in allen öffentlichen und Privat-Sternwarten kultivirt wird, hat das Eigenthümliche, daß sie in einer stetig fortgehenden Verifikation der bereits bestehenden, und zugleich in einer sehr zweckmäßig eingerichteten, allgemeinen Jagd nach neuen Entdeckungen besteht. Alle Beobachtungen werden, sobald sie gemacht sind, mit den besten Tafeln und mit der Theorie verglichen, und wenn sich irgendwo die kleinste Abweichung zeigt, so sind sogleich alle aufgeregt und hinter der Sache her, und nicht eher wird davon abgelassen, bis sie von allen Seiten berichtigt und zur allgemeinen Beruhigung in Ordnung gebracht ist. Diese Vergleichung der Beobachtungen mit der Theorie, und diese allmähligen Verbesserungen beider, fordern aber viele Mühe und Arbeit auf der Sternwarte sowohl als an dem Rechentische. — Alle unsere Beobachtungen beziehen sich, in letzter Instanz, auf unsere Kenntniß der Orte, welche die Fixsterne am Himmel einnehmen. Deshalb wurden die S t e r n k a t a l o g e, wie wir sie von Flamsteed, Piazzi, Bode, Bessel, Lalande u. a. erhielten, immer als die eigentliche Basis der gesammten beobachtenden Astronomie betrachtet. Diese Sterntafeln enthalten aber nur den Ort jener Fixsterne für eine bestimmte Epoche. Um sie daher mit den zu einer andern Zeit gemachten Beobachtungen zu vergleichen, muß man sie durch Präcession, Nutation und Aberration auf diese Zeit zurückführen. Es ist daher von der größten Wichtigkeit, die sogenannten Konstanten oder die Koefficienten der Formeln, welche diese drei Bewegungen ausdrücken, auf das Genaueste zu kennen. Diese Kenntniß wird aber wieder nur durch lange fortgesetzte Beobachtungen und Vergleichungen erhalten. Arbeiten dieser Art beschäftigen die Astronomen schon lange, und sie werden sie noch länger beschäftigen. Wie weit sie aber bereits darin vorgeschritten sind, sieht man am besten aus den kleinen Differenzen, um die es sich hier handelt, und um die ihre verschiedenen Angaben noch von einander abweichen. So geht die größte Verschiedenheit des Hauptkoefficienten der Nutation, wie er jetzt von den Astronomen angenommen wird, nur nahe auf drei oder vier Zehntheile einer Raumsekunde.

Zuweilen erheben sich auch wohl ganz neue Fragen, die mit jenen allgemeinen Untersuchungen in keinem weiteren Zusammenhange stehen. Eine der merkwürdigsten ist die von der jährlichen Parallaxe der Fixsterne, die Brinkley aus seinen Beobachtungen behaupten, und Pond durchaus läugnen wollte. Ein Streit dieser Art zwischen zwei der größten Beobachter zeigt uns, daß der Gegenstand desselben, wenn er anders in der That für uns existirt, so gering ist, daß er sich unter den uns ebenfalls unmerklichen kleinen Fehlern, denen unsere Instrumente und Rechnungen noch ausgesetzt sind, gänzlich verliert.

Allein nebst jenen Fixsternen dringen sich dem Astronomen vorzüglich die Planeten unseres Sonnensystems als Gegenstand seiner unablässigen Untersuchungen auf. Die bisher aufgestellte Theorie dieser Planeten hat uns Tafeln derselben gegeben, aus welchen der tägliche Ort derselben berechnet und in den Ephemeriden verzeichnet wird, wie z. B. in dem Nautical Almanac von Greenwich, in dem Berliner Jahrbuch von Encke, in der Connaissance des tems von Paris, in den Effemeridi di Milano u. s. Die Vergleichung der täglich beobachteten Orte der Planeten mit diesen Tafeln oder Ephemeriden gibt uns die Mittel, die Elemente, nach welchen jene Tafeln konstruirt sind, und die Konstanten derselben durch Rechnung zu bestimmen und immer mehr und mehr zu verbessern. Diese Konstanten hängen aber nicht blos von den eigentlichen elliptischen Elementen der Planetenbahnen, sondern auch, da hier die Störungen der Planeten unter einander berücksichtigt werden müssen, von der Masse und selbst von der Gestalt dieser Himmelskörper ab, die daher ebenfalls immer genauer gekannt, immer mehr verbessert werden sollen, wobei sich eine große Anzahl von Zweifeln, Fragen und Problemen zur Auflösung darbieten. Eines der neuesten und interessantesten Ereignisse dieser Art begegnete uns bei der Bestimmung der Masse Jupiters, des größten Planeten unseres Sonnensystemes. Aus seinen Satelliten leitete schon Newton und später genauer noch Laplace eine Bestimmung dieser Masse ab, die der letztere besonders für sehr gewiß hielt. Allein die Perturbationen, welche die vier neuen Planeten von Jupiter erleiden, und die nicht weniger geschickt sind, dieses Element zu bestimmen, gaben eine von jener beträchtlich verschiedene Masse dieses Planeten, wie Nikolai und Encke zuerst bemerkten. Man fing bereits an, zu zweifeln, ob die gegenseitige Anziehung der Körper im Allgemeinen in der That ihrer Masse proportional sei, wie Newton's Gesetz der allgemeinen Attraktion voraussetzt, als Airy in England, und nach ihm Santini in Padua fanden, daß jene erste Bestimmung der Jupitersmasse auf einer fehlerhaften Messung der Elongation seiner Satelliten beruhe, und daß ihre genauere Bestimmung dieser Elongation ganz dieselbe Masse wieder gebe, welche man aus den Störungen der neuen Planeten erhält. — Auf ähnliche Art haben Burckhardt, Littrow, Bessel, Carlini und Airy sich bemüht, die Elemente der Sonnentafeln noch weiter zu verbessern. Wieder in anderen Fällen fand man, daß man durch eine blose Verbesserung dieser Koefficienten die Tafeln nicht zu einer völligen Uebereinstimmung mit den Beobachtungen bringen kann, und daß daher noch einige bisher unbekannte Störungsgleichungen aufgesucht werden müssen. So gelangte Airy, bei seiner Untersuchung der Sonnentafeln, nicht nur zu einer Verminderung der bisher angenommenen Marsmasse, sondern er wurde auch dadurch auf die Vermuthung einer bisher noch nicht berücksichtigten Störungsgleichung geführt, die er endlich auch auf theoretischem Wege in der Attraktion der Erde von der Venus fand. Eben so hatte Encke in der Untersuchung des nach ihm benannten Kometen eine stets fortgehende Abnahme seiner Umlaufszeit um die Sonne gefunden, wodurch er auf die Vermuthung eines über den Weltraum verbreiteten Aethers geführt wurde, dessen Widerstand jene Veränderung der Umlaufszeit bewirken soll. Uranus endlich weicht noch immer von seinen tabellarischen Orten beträchtlich ab, und die Ursache dieser Verschiedenheit ist bisher nicht gefunden worden.

Auf diese Weise ist es beinahe unmöglich, daß irgend eine mit dem gegenwärtigen Zustande der Astronomie nicht übereinstimmende Erscheinung oder Behauptung, eine dauernde Herrschaft über die Wissenschaft selbst ausüben sollte. Solche Fehler mögen wohl in andern reinen didaktischen Doktrinen herrschen, die der einsamen Studierstube, nicht der Welt angehören, und die, so viel auch über sie gesprochen und geschrieben werden mag, doch nur selten oder nie auf den Probirstein der Erfahrung und der eigentlichen Beobachtung gebracht werden. In der Astronomie aber zeigt sich jeder Irrthum, wenn er sich erhebt, sogleich in den Tafeln, in den Ephemeriden, in der nächtlichen Beobachtungsliste und am andern Morgen schon auf der Schiefertafel des Astronomen; hunderte von Sternwarten sind sogleich hinter ihm her, und nicht eher wird geruht, bis der Widerspruch aufgelöst, bis der Fehler auf seine Quelle zurückgeführt, und fortan für immer verschwunden ist.

In diesem hochbegünstigten Zweige der menschlichen Erkenntniß darf die feinste und verborgenste Entdeckung keinem größeren Zweifel oder Widerspruche blosgestellt werden, als die offenbarste und handgreiflichste sinnliche Erscheinung, welche die Natur unsern Augen darbieten kann. Die letzte große Entdeckung in der Astronomie — die aus der Aberration entstehende Bewegung der Gestirne — ist der großen Anzahl der astronomischen Beobachter in allen Theilen der Welt ganz eben so offenbar und geläufig geworden, als es die tägliche Bewegung dieser Gestirne um den Pol dem nächtlichen Wanderer nur immer sein kann. Diese Bevorrechtung, diese unschätzbare Befreiung von aller Gefahr irgend eines wesentlichen, dauernden Irrthums in der einmal aufgestellten Wissenschaft ist gleich einer festen Burg, in welcher der Astronom von allen Angriffen sicher stehen, und von deren Zinnen er festen Blickes die ganze Natur überschauen und immer tiefer in die Geheimnisse derselben eindringen kann. Verbinden wir noch damit den Fleiß und die ängstliche Sorge der Astronomen, alles, was bisher in der Wissenschaft gethan worden ist, zu sammeln und wohlgeordnet den Nachfolgern zu überlassen, besonders von allen jenen Gegenständen, von welchen wir bisher noch kein allgemeines, sie sämmtlich verbindendes Prinzip entdeckt haben, und die daher nur wie zerstreute Schätze umher liegen. Ich erwähne hier nur, außer den Verzeichnissen der sogenannten Fundamentalsterne, der in der That unübersehbaren Kataloge von kleineren Sternen und anderen Gegenständen des Himmels. Flamsteed's Historia Coelestis, der größte Sternkatalog seiner Zeit, enthielt 3000 Fixsterne. Allein die in unsern Zeiten erschienene Uranographie von Bode enthält über 17,200, Lalande's Histoire céleste 50,000 Sterne und nahe eben so viel findet man auch in den Zonenbeobachtungen Bessel's in Königsberg. Erst kürzlich sind auch mehrere treffliche Karten des Himmels erschienen, und um unsere Kenntniß desselben auch von dieser Seite zu fördern, machte die Akademie zu Berlin im Jahre 1825 den Vorschlag, eine gemeinschaftliche Bearbeitung des Himmels, und die Verfertigung einer ganz vollständigen Karte desselben unter alle Astronomen zu vertheilen. Wir haben bereits oben von den Beobachtungen der Doppelsterne durch die beiden Herschel gesprochen, die zur Kenntniß der wunderbaren Bewegungen dieser neuen Sonnensysteme geführt haben. Auch haben diese beiden berühmten Astronomen sehr zahlreiche und äußerst schätzbare Beobachtungen über die vielen am Himmel zerstreuten Nebelmassen gesammelt, und dieselben als Materialien zu künftigen, noch größeren Entdeckungen im Weltall, als ihr reiches, dermaleinst die herrlichsten Früchte tragendes Erbe, der spätern Nachwelt übergeben.

Achtes Buch.

Geschichte der Akustik.

Ηεριην αψιδα διεῤῥοιζησε πεδιλω
Εις δομον Ἁρμονιης παμμητορος.

Hastigen Schritts durcheilte er die luftige Bahn in die Behausung der Allmutter Harmonie.

Nonnus, Dionysiac. XLI. 275.

Einleitung.

Ueber die secondären mechanischen Wissenschaften.

In der eigentlichen Mechanik, so wie in der physischen Astronomie, sind Kraft und Bewegung die direkten und vorzüglichsten Gegenstände unserer Betrachtung. Es gibt aber noch eine andere Klasse von Wissenschaften, in welchen man andere, nicht eben rein mechanische Erscheinungen unter eine bestimmte Abhängigkeit von mechanischen Eigenschaften und Gesetzen zu bringen sucht. In den hier gemeinten Fällen stellen sich nämlich die Erscheinungen der Natur nicht unmittelbar als bloße Modifikationen der Stellung und Bewegung, sondern als andere, secondäre Eigenschaften der Körper dar, die aber in gewisser Beziehung aus jenen primären Eigenschaften abgeleitet sind. Auch werden, in allen diesen Fällen, die Erscheinungen auf ihre mechanischen Ursachen und Gesetze nur in einer secondären oder indirekten Weise zurückgeführt, indem man sie nämlich als die Operationen eines Mediums betrachtet, das zwischen dem Gegenstande, der diese Erscheinung hervorbringt, und zwischen unserem Sinne liegt. Aus diesem Grunde kann man also alle diese Doktrinen mit dem Namen der secondären mechanischen Wissenschaften bezeichnen. Die hieher gehörenden Lehren sind aber die, welche von den sinnlichen Eigenschaften des Tons, des Lichts und der Wärme handeln, d. h. die Akustik, Optik und die Thermotik.

Bemerken wir zuerst, daß es nicht unsere Absicht ist, eine vollständige Darstellung dieser Wissenschaften, oder eine genaue Aufzählung aller der Männer zu geben, von welchen sie bereichert worden sind. Unser Zweck ist nur, eine Uebersicht des Fortgangs dieser Zweige der menschlichen Erkenntniß, als eben so vieler spekulativen Wissenschaften mitzutheilen; die Epochen der

Entdeckung ihrer allgemeinen Prinzipien aufzusuchen, und endlich alles das hervorzuheben, was in den Umständen und in den Personen, die mit diesen Epochen im nächsten Zusammenhange stehen, als charakteristisch und als vorzüglich belehrend betrachtet werden kann. Eine Geschichte der Wissenschaft, zu solchem Zwecke geschrieben, kann auf einen kleinen Raum beschränkt werden, aber sie würde als mißlungen anzusehen sein, wenn sie die charakteristischen Hauptzüge derselben nicht in ein klares Licht setzen könnte.

Wir beginnen diese Betrachtungen mit der Akustik oder mit der Tonlehre, weil der Fortgang zu wahren theoretischen Ansichten in dieser Wissenschaft ebenfalls viel früher, als in den beiden andern, gemacht worden ist, und auch, weil eine klare Einsicht in die Theorie der Akustik als die beste Propädeutik für die (keineswegs unbedeutenden) Schwierigkeiten ist, die uns in den beiden andern Wissenschaften, in der Optik und Thermotik, begegnen.

Erstes Kapitel.

Eingang zur Auflösung der akustischen Probleme.

Die wahre Theorie des Tons wurde schon sehr früh in gewissem Maße errathen oder gemuthmaßt, obschon sie anfangs auf eine noch sehr schwankende und unbestimmte Weise aufgefaßt worden ist. Daß der Schall durch irgend eine Bewegung des schallenden Körpers erzeugt, und durch die Bewegung der Luft bis zu unserem Gehöre fortgeführt werde, ist eine Meinung, der man schon in den frühesten Zeiten der Geschichte begegnet. Aristoteles wird uns als der beste Exeget jener ersten Ansicht dienen können. — In seiner Schrift „Vom Ton und vom Hören“ sagt er: „Der Ton entsteht, wenn ein Körper die Luft „bewegt, nicht indem er der Luft, wie manche glauben, eine gewisse Form eindrückt (σχηματιζομενον), sondern indem er diese „Luft auf eine angemessene Weise in Bewegung setzt, (wahrscheinlich meint er dabei, auf eine dem von dem Körper erhaltenen Impulse angemessene Weise); „die Luft wird dabei zusam„mengedrückt und auseinander gezogen; diese Luft wird durch „den Impuls des Athems oder der schwingenden Seite eingeholt „oder überfallen und gleichsam gestoßen. Denn wenn der Athem „auf die Luft fällt und die ihm nächsten Theile derselben bewegt, „so wird diese Luft mit einer gewissen Kraft vorwärts getrieben, „und die ihr zunächst liegende Luft wird dadurch ebenfalls weiter „geführt, und auf diese Weise verbreitet sich derselbe Schall im„mer weiter nach allen Richtungen, wo die Luft noch bewegt „werden kann."

Wie es mit allen solchen Darstellungen der Physik der Alten zu gehen pflegt: verschiedene Lehrer werden in ihnen immer auch ein verschiedenes Maaß von Wahrheit und Deutlichkeit finden. Die Bewunderer des Alterthums werden, wenn sie den Ausdruck etwas modifiziren und dabei die Kenntniß der Neuern anwenden, in dieser Stelle eine ganz vollkommene Darstellung von dem Ursprung und der Fortpflanzung des Schalles finden. Andere wieder werden der Meinung sein, daß in derselben Stelle nur unbestimmte Notionen und bloße Wortkünste enthalten seien. Das letzte drückt Baco[1]) sehr emphatisch auf folgende Weise aus, indem er sagt: „Diese Kollision oder dieses Stoßen der „Luft, die einige für die Ursache des Schalls angeben, bezeichnet „weder die Art, noch den eigentlichen Fortgang des Schalls, „sondern ist blos ein inhaltsleerer Ausdruck, der nur Unwissen„heit und eine ganz oberflächliche Betrachtung der Sache verräth." — Auch kann nicht geläugnet werden, daß ein bestimmter und genauer Begriff von der Bewegung der Luft bei dem Schalle nicht in dem Bereiche der alten griechischen Philosophen lag, und daß derselbe erst viel später entstanden ist. Es war keineswegs so leicht, die Natur dieser Bewegung der Luft mit den gewöhnlichen Erscheinungen der Bewegung in Zusammenhang zu bringen. Der ganze Prozeß stellt sich dem ersten Blicke gar nicht als eine Bewegung dar, „da der Ton," wie Baco an demselben Orte bemerkt, „die Flamme einer Kerze in keine merkbare Bewegung „versetzt, so wenig als einen Faden oder sonst einen andern sehr „leichten Körper, der doch sonst schon die leiseste Bewegung der

---

1) Baco, Historia Soni et Auditus. Opp. Vol. IX. S. 68.

„ihn umgebenden Luft verräth.“ — Demungeachtet hielt der Glaube, daß der Ton in einer Bewegung der Luft bestehe, fest in der Ansicht der Menschen, und erhielt auch nach und nach mehr Bestimmtheit. Die Erklärung Vitruvs ist noch jetzt eine der besten, die man geben kann. „Der Ton,“ sagt er [2]), „ist „ein fliegender Hauch, der die Luft erschüttert und sich dadurch „unserem Ohre kund gibt. Dabei bewegt sich die Luft in zahl„losen koncentrischen Kreisen, gleich den Wellen des Wassers, in „welches ein Stein geworfen wird, die auch in unzähligen Kreisen „bestehen, die immer größer werden, je weiter sie sich von ihrem „Mittelpunkte entfernen, und die so lange auswärts fortschreiten, „bis sie von einer Begränzung des Raumes oder sonst einem „Hindernisse in ihrer Bewegung aufgehalten werden. Ganz eben „so schreitet auch der Schall in Kreisen durch die Luft fort. „Allein im Wasser gehen diese Kreise blos in der Breite und in „horizontaler Richtung fort, während der Schall in der Luft „nicht nur in der Breite, sondern auch in der Tiefe allmählig „immer weiter schreitet.“

Beides, die richtige Vergleichung und die Bemerkung des Unterschiedes dieser beiden Fälle beweist, daß Vitruv einen sehr klaren Begriff von seinem Gegenstand hatte. Er zeigt dies auch noch weiter, indem er die Resonanz der Wand eines Gebäudes mit der Störung der Außenseite einer Wasserwelle vergleicht, wenn diese einem festen Gegenstand begegnet und von ihm zurückgeworfen wird. „Wie die Außenseite einer Wasserwelle, so „schreitet auch der Ton in der Luft immer weiter fort, und wenn „kein Hinderniß die vorderen aufhält, so werden auch dadurch „die zweiten und die folgenden Töne nicht gestört, und alle kom„men zu unserem Ohre, wir mögen hoch oder niedrig stehen, „und ohne alle Resonanz. Wenn sie aber auf ihrem Wege „Hindernisse treffen, so werden die ersten daselbst ankommenden „Töne von diesem Hindernisse zurückgeworfen, und stören da„durch auch die Kreise aller folgenden Töne.“

Aehnliche Gleichnisse wenden die Alten auch zur Erklärung des Echo's an, Aristoteles z. B. sagt [3]): „Ein Echo entsteht, „wenn die Luft, die in Beziehung auf den Raum, in dem sie

---

2) Vitruv, de Architectura. V. 3.

3) Aristoteles, de anima. II. 8.

„enthalten ist, als ein Körper betrachtet wird, wegen den Grenzen dieses Raumes nicht vorwärts schreiten kann, und von den „Wänden desselben, wie ein Ball, zurückgeworfen wird.“ — Zu diesen Erklärungen wurde seitdem, bis in die neueren Zeiten, nichts Wesentliches mehr hinzugefügt.

Sonach führten die ersten Muthmaßungen dieser alten Philosophen schon zu einer Ansicht über die Ursachen und Gesetze des Schalls, die nur noch deutlicher verstanden und auf mechanische Prinzipien zurückgeführt werden dürfte, um einer reinen Wissenschaft über den Schall ihr Dasein zu geben. Was hier noch fehlte, war allerdings die Sache des Scharfsinns und einer langen Zeit; aber demungeachtet nahm, in Folge jener frühen glücklichen Vermuthungen, die neue Wissenschaft schon sehr bald eine feste und die ihr eigenthümliche Gestalt an. Während nämlich die Geschichte der Astronomie, so wie auch die der Optik, eine Reihe von Generalisationen enthält, deren eine immer die andere vorhergehende in sich schließt, so tritt im Gegentheile in der Akustik die höchste Generalisation der Zeit nach sogleich als die erste auf, und das Geschäft des Gründers der Wissenschaft besteht nur mehr in der Deutung und Anwendung jenes ersten und höchsten Prinzips auf jeden besondern Fall. Statt einer Reihe von induktiven Wahrheiten, die nach und nach aus dem Geiste des Beobachters hervor treten, begegnen wir hier einer Reihe von blosen Explanationen, durch welche die Erscheinungen der Natur, wie sie sich nach und nach unseren Sinnen darstellen, jenem Prinzipe, das bereits in unserer Gewalt ist, subsummirt und ihm angepaßt werden sollen. Statt sich mühsam und von Stufe zu Stufe einer geahneten, aber tief verborgenen Entdeckung, wie der allgemeinen Schwere, zu nähern, stellen wir uns sofort auf dem sichern Boden einer bereits anerkannten Wahrheit fest auf, indem wir den Ursprung und die Fortpflanzung des Schalls, als durch die Bewegung der Körper und der sie umgebenden Luft bereits gegeben annehmen, und indem wir dieses Prinzip zugleich mit anderen ebenfalls schon bekannten Wahrheiten (mit den Gesetzen der Bewegung), und mit einer nicht minder bekannten Eigenschaft der Körper (der Elasticität) in Verbindung zu bringen suchen. Hier haben wir demnach auch keine E p o c h e n v o n E n t d e c k u n g e n, sondern nur Auflösungen von Problemen zu betrachten, und diese sind es auch, zu welchen wir sofort übergehen wollen.

Nur wollen wir noch vorerst bemerken, daß diese Probleme auch noch andere Gegenstände, als die blose Entstehung und Verbreitung des Schalles, umfassen. Welches ist die Ursache und das Gesetz der Verschiedenheit der Töne, der hohen und niederen, der starken und schwachen, der augenblicklichen und der fortdauernden? Worin besteht die Differenz der artikulirten Töne unserer eigenen Stimme sowohl, als auch der verschiedenen musikalischen Instrumente? — Von diesen und vielen anderen Fragen mußte die erste, von dem Unterschiede der hohen und niederen Töne, vor allen anderen ansprechen, da sie die Basis einer der merkwürdigsten Wissenschaften des Alterthums geworden ist. Daher finden wir auch schon in den ältesten Schriftstellern über die Musik Versuche, diese Frage zu beantworten. In der Harmonik des Ptolemäus trägt das dritte Kapitel des ersten Buches die Aufschrift: „Wie entstehen die hohen und die tiefen Töne?“ Als Antwort auf diese Frage geht er zuerst im Allgemeinen die Differenz der Töne und ihrer Ursachen durch, und findet dieselbe in der Kraft, mit welcher der tönende Körper in Bewegung gesetzt wird, in der physischen Konstitution dieses Körpers u. dergl. Dann aber setzt er hinzu: „Die Dinge, „welche den höheren Ton erzeugen, sind eine größere Dichtigkeit „und ein kleineres Volum des tönenden Körpers; und die Dinge, „welche einen tieferen Ton hervorbringen, sind eine größere Lok„kerheit und eine dickere Gestalt des tönenden Körpers.“ Er sucht dies nachher auf eine Weise weiter zu erklären, die zum Theil viel Wahrheit in sich enthält. So sagt er: „Wenn bei „Saiten oder Pfeifen alles andere ungeändert bleibt, so geben „die Saiten, die in der kleinsten Distanz von dem Steg befestigt „werden, den höchsten Ton, und eben so sind bei den Pfeifen „diejenigen Töne die höchsten, die durch die dem Mundloche „nächsten Oeffnungen gehen.“ Er sucht selbst die Sache noch allgemeiner darzustellen, indem er hinzusetzt, daß die größere Höhe des Tons eigentlich von der größeren Gespanntheit des tönenden Körpers komme, „und daß sonach die Härte eines Kör„pers der größern Dichtigkeit desselben entgegen wirken könne, „wie wir denn sehen, daß Messing einen höheren Ton gibt, als „Blei.“ Allein der Begriff von Spannung muß bei Ptolemäus noch sehr vag und unbestimmt gewesen sein, da er sie ohne Unterschied auf Saiten und auf Pfeifen von demselben Metall anwendet. Auch scheint er ganz und gar keine genaue Kenntniß von der eigentlichen Natur derjenigen Bewegung, die zu einem Ton erfordert wird, und noch weniger von den mechanischen Prinzipien gehabt zu haben, nach welchen diese Bewegungen betrachtet werden müssen. Der Begriff einer Vibration der Theile des tönenden Körpers ist ihm offenbar nicht als ein wesentlicher Umstand bei seinen Betrachtungen erschienen, obschon die Sache in mehreren Fällen, wie z. B. bei den tönenden Saiten, in die Augen fällt. An die Vibration der Luft aber hat wohl keiner dieser Alten auch nur gedacht, ausgenommen so weit, daß sie eine Bewegung der Luft zur blosen Weitertragung des Tons annahmen, und daß sie dieselbe mit der Bewegung der Wellen auf der Oberfläche des Wassers verglichen, wie wir oben bei Vitruv gesehen haben. Ueberdies ist es noch sehr unwahrscheinlich, daß sie selbst in den Wasserwellen die Bewegung der kleinsten Theile derselben richtig erkannt haben, da diese keineswegs so leicht gefunden werden kann.

Nach dieser allgemeinen Einleitung wollen wir nun zu der näheren Betrachtung der oben erwähnten Probleme übergehen.

Zweites Kapitel.

Problem der Vibration der Saiten.

Man bemerkte früh schon, daß die Fortdauer eines Tons von einer fortgesetzten, kleinen und schnellen Bewegung, von einer Erschütterung, einem Zittern des tönenden Körpers komme. So sagt schon Baco [1]): „Die Dauer des Tons einer Glocke oder „einer Saite, der sich in die Länge zu ziehen und allmählig ab„zunehmen scheint, kömmt nicht von dem ersten Anstoß dieser „Körper, sondern die Erzitterung, das fortgesetzte Beben derselben

---

1) Baco, Historia Soni et Auditus. Vol. IX. S. 71

„erzeugt immerwährend einen neuen Ton. Denn wenn man „diese zitternde Bewegung aufhebt, indem man die Saite oder „die Glocke festhält, so stirbt der Ton schnell ab, wie bei dem „Spinet (einer Art Klavier), wo der Ton sogleich aufhört, wie „der fallende Hammer die Saite berührt.“ — Bei gespannten Saiten ist es sehr leicht, sich zu überzeugen, daß diese Bewegung derselben in einem Ausweichen der Saite zu beiden Seiten von derjenigen Richtung besteht, welche sie im ruhenden Zustande einnimmt. Nach dieser Bemerkung bot sich die Untersuchung der näheren Umstände dieser Oscillationen gleichsam von selbst dar, besonders da um dieselbe Zeit Oscillationen einer anderen Art (des Pendels nämlich) in der Schule des Galilei die allgemeine Aufmerksamkeit auf sich gezogen hatten. Mersenne, einer der eifrigsten Verbreiter der Galilei'schen Lehre in Frankreich, hat sich, so viel mir bekannt, der erste umständlich mit diesen Untersuchungen beschäftigt[2]). Er stellt in der Proposition XV seines ersten Buches den Satz auf, daß die Differenz und Concordanz der hohen und niederen Töne von der Schnelligkeit jener Vibrationen und von den Verhältnissen derselben abhänge, und er sucht dies auch durch eine Reihe von Experimenten zu beweisen. So findet er[3]), daß der Ton einer Saite sich wie ihre Länge verhält, wenn man sie zuerst zwei- und dann viermal länger nimmt, als zuvor, und wenn alle anderen Dinge an derselben ungeändert bleiben. Diese Bemerkung war auch in der That schon den alten Griechen bekannt, und sie diente ihnen als die Basis ihrer numerischen Bezeichnung der verschiedenen Noten. — Nach diesen Untersuchungen geht Mersenne weiter, um nun auch den Einfluß der Dicke und der Spannung der Saiten auf den Ton kennen zu lernen. Er findet (Prop. VII.), daß eine Saite viermal so dick sein muß als eine andere, um von der letzten die nächst untere Oktave zu geben. Eben so findet er (Prop. VIII.), daß auch die Spannung derselben Saite nahe viermal größer sein muß, um die nächst obere Oktave zu erhalten. Aus diesen Propositionen leitet er dann verschiedene andere ab, und man kann sagen, daß er die Gesetze dieser

---

2) M. s. Mersenne's Harmonicorum Liber. Paris 1636.
3) Id. Ibid. Lib. II. Prop. 6.

Erscheinungen durch seine Experimente vollständig bestimmt hat. Er unternahm es auch, diese Erscheinungen numerisch auszudrücken, das heißt, die Zahl der Vibrationen der Saite für jeden besondern Fall zu bestimmen. Dies mußte auf den ersten Blick schwer scheinen, da es offenbar unmöglich ist, so kleine und schnell auf einander folgende Schwingungen der Saiten mit dem Auge zu verfolgen. Aber Mersenne nahm ganz richtig an, daß die Anzahl dieser Schwingungen einer Saite so lange unverändert ist, als der Ton derselbe bleibt, und daß das Verhältniß der Schwingungszahlen verschiedener Saiten durch die Zahlenrelationen ihrer Töne (oder ihrer Noten) bestimmt werden kann. Er brauchte demnach nur die Schwingungszahl einer bestimmten Saite oder einer bestimmten Note zu kennen, um daraus auch die aller anderen abzuleiten. Er nahm daher eine Saite, die drei Viertheile eines Fußes lang war, und die er mit dem Gewichte von $6^5/_8$ Pfund spannte, und den Ton dieser Saite nahm er gleichsam als den Grundton (standard note) an. Er fand dann, daß eine Saite von demselben Material und von derselben Spannung, die fünfzehn Fuß lang (d. h. zwanzigmal länger als die erste) war, in einer Sekunde zehn ganze Schwingungen machte, und daraus schloß er, daß jene erste Saite auch zwanzigmal mehr, oder daß sie in einer Sekunde zweihundert Schwingungen machen müsse.

Diese erste Bestimmung Mersenne's scheint anfangs nicht die ihr gebührende Aufmerksamkeit der Anderen erhalten zu haben. Etwas später aber wurden mehrere Versuche angestellt, den Zusammenhang zwischen den einzelnen Tönen und ihren Schwingungszahlen auf eine mehr direkte Weise zu erforschen. Hooke machte 1681 seine hieher gehörenden Versuche an metallenen Rädern, und Stancari[4]) zeigte in Gegenwart der Akademie

4) Stancari (Victor), geb. 1678 zu Bologna, ein Schüler und Freund Monfredi's, des bekannten Astronomen der Bologner Sternwarte, dem er auch als Vorsteher dieser Anstalt im Jahr 1700 folgte. Er war der erste, der die neue Infinitesimalrechnung in Italien einführte und zu verbreiten suchte. Er starb 18. März 1709 im 31sten Lebensjahre. M. s. Vict. Stancarii schedae mathematicae post ejus obitum collectae, Bologna 1713, wo auch weitere biographische Nachrichten von ihm vorkommen. Das Verzeichniß seiner sämmtlichen Schriften findet sich in Scrittori Bolognesi, Vol. VIII. S. 46. L.

von Bologna im Jahr 1706 mittels eines großen, in der Luft schnell gedrehten Rades, wie man die Schwingungszahlen jedes Tons auch auf diese Weise bestimmen könne. Sauveur[5]), einer der größten Beförderer der auch von ihm zuerst so genannten Akustik, obschon er die ersten sieben Jahre seines Lebens taub war, hatte sich um dieselbe Zeit ebenfalls damit beschäftigt, die Schwingungszahl eines fixen Grundtones mit aller Genauigkeit zu bestimmen. Er bediente sich zu diesem Zwecke zweier Methoden, die beide indirekt, aber auch beide sehr scharfsinnig waren.

Die erste dieser Methoden war die des Zusammenschlags der Töne. — Man hört bei zwei Orgelpfeifen, die einen Discord geben, wenn sie zusammen tönen, von Zeit zu Zeit einen eigenen heulenden oder wogenden Laut entstehen, während in der Zwischenzeit der allgemeine Ton regelmäßig anschwillt und dann wieder abnimmt. Er schrieb dies mit Recht der Coincidenz der Schwingungen der beiden Pfeifentöne am Ende einer

5) Sauveur (Joseph), geb. 24. März 1653 zu La Flèche im Departement Sarte, wo sein Vater Notar war. Er war bis zu seinem achten Jahre stumm, und blieb bis an sein Ende Stammler. Schon sehr früh entwickelte sich sein Talent für Mechanik. Er war, wie Fontenelle sagt, als Knabe schon der Ingenieur seiner Spielkameraden, wie Cyrus der König unter den seinigen. Im Jahr 1670 ging er allein und zu Fuß nach Paris, wo er bei Rohault Physik hörte, und von mathematischem Unterricht in Privathäusern sich erhielt. 1676 wurde er Lehrer der Geometrie bei dem Prinzen Eugen, und 1680 Pagenmaitre der Kronprinzessin. Der große Condé hegte eine besondere Freundschaft für ihn, und dies gab ihm Gelegenheit, sich mit der Hydraulik, mit Wasserleitungen und mit der Fortifikation zu beschäftigen. 1686 wurde er Professor der Mathematik am Collége royal und 1696 Mitglied der Akademie der Wissenschaften zu Paris, und seit dieser letzten Epoche beschäftigte er sich ausschließend mit der Gründung einer neuen, physico-mathematischen Wissenschaft, der „musikalischen Akustik.“ Ein um so kühneres Unternehmen, da er nicht nur eine sehr unvollkommene Stimme, sondern auch ein ganz falsches Gehör hatte, so daß er sich bei seinen Untersuchungen der Töne von Musikern unterstützen lassen mußte, um die Intervalle und Akkorde der Töne herauszufinden. Dies erinnert an Saunderson (gest. 1739), der schon in seinem ersten Jahre an den Blattern völlig erblindete und doch einer der vorzüglichsten Professoren der Geometrie in Cambridge war. Man findet Sauveur's erste akustische Aufsätze in der Chém. de Paris 1700 und 1701, 2, 7, 11 und 1713. Er starb 9. Juli 1716. L.

jeden bestimmten Periode zu. Wenn z. B. die Schwingungszahl der beiden Töne sich wie die Zahlen 15 und 16 verhielt, so müßte jede 15te Schwingung des einen Tons mit jeder 16ten der andern zusammenfallen, während alle zwischenliegenden Schwingungen mehr oder weniger von einander abwichen, und so mußte denn auch jede 15te oder 16te Schwingung als ein eigener Ton, als ein Zusammenschlag jener beiden Pfeifentöne, dem Ohr bemerklich werden. Nun sah sich Sauveur um einen besondern Fall um, wo diese Töne so langsam waren, daß sie mit Sicherheit gezählt werden konnten [6]), und wo das Verhältniß der Schwingungen der Töne schon durch die Kenntniß ihrer musikalischen Relation gegeben war. Wenn z. B. die zwei Töne das Intervall eines sogenannten Semitons haben, so wird ihr Verhältniß das oben erwähnte von 15 zu 16 sein, und wenn in der Sekunde sechs Zusammenschläge bemerkt werden, so weiß man, daß in dieser Zeit der tiefere Ton 90, und der höhere 90mal 6 oder 540 Schwingungen macht. Auf diesem Wege fand Sauveur, daß eine offene Orgelpfeife von fünf Fuß Länge in jeder Sekunde hundert Schwingungen gebe.

Die zweite Methode Sauveurs ist etwas versteckter und nähert sich gleichsam einer rein mechanischen Ansicht der Aufgabe, die hier zu lösen ist [7]). Er ging dabei von der Ansicht aus, daß eine horizontal gespannte Saite nie eine mathematisch genaue gerade Linie bildet, sondern daß sie gegen ihre Mitte, gleich einem Blumengehänge, etwas abwärts gebogen ist. Er nahm diesem gemäß an, daß die Transversalschwingungen einer solchen Saite auch mit den Saitenschwingungen eines solchen Gehänges Aehnlichkeit haben werden. Durch seine Messungen hatte er gefunden, daß die Saite C in der Mitte eines Claviers um den $^1/_{322}$sten Theil eines Zolls abwärts gebogen sei, und daraus fand er durch Rechnung, nach den Gesetzen der Pendelbewegung, daß die Schwingungszeit einer solchen Saite $^1/_{122}$ einer Sekunde betragen, oder daß diese Saite C des Claviers, die er seine fixe Note nannte, 122 Schwingungen in einer Sekunde mache. Es ist auffallend, daß dieses scheinbar so willkührliche Verfahren sich streng auf die Prinzipien

6) Mém. de l'Ac. des Sc. Hist. 1700. S. 131.

7) Ibid. 1713.

der Mechanik zurückführen läßt, obschon man kaum dem Autor in den Ansichten beistimmen kann, die er für seine Rechtfertigung anführt. Man begreift aber leicht, daß dieses Verfahren auch mit den andern Experimenten übereinstimmte, durch welche man die Abhängigkeit des Tons von der Länge und von der Spannung der Saiten aufgesucht hatte.

Das Bedürfniß aber, diese Abhängigkeit durch die reinen Prinzipien der Mechanik oder auf theoretischem Wege vollständig zu erklären, drängte die Mathematiker immer mehr, je genauer diese Erscheinungen durch die Experimente von Mersenne und Sauveur bekannt geworden waren. Es war in der That in hohem Grade wünschenswerth, diese Phänomene, von deren Existenz man nun auf praktischem Wege versichert war, auch durch die bisher bekannten Gesetze der Mechanik, in deren Gebiet sie offenbar gehörten, darzustellen. Allein es war auch vorauszusehen, daß die bisher bekannte mathematische Analysis und ihre Anwendung auf die Mechanik eine neue Entwicklung erforderte, um sie zur Auflösung von Fragen dieser Art geeignet zu machen.

Da die Vibrationen der Saite durch die Spannung derselben erzeugt werden, so war es vor allem nothwendig, das Gesetz dieser Spannung, die bei der Vibration der Saite thätig ist, zu bestimmen. Es ist nämlich klar, daß die Saite, wenn sie aus ihrer ursprünglichen geradlinigen Lage gebracht wird, dadurch eine Vermehrung ihrer Spannung erhält, durch welche Vermehrung sie eben wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückgeführt wird. Hooke bestimmte im Jahr 1678 das Gesetz dieser vermehrten Spannung durch die Formel: „Ut tensio, sic vis," die Spannung verhalte sich „wie die Kraft," oder deutlicher, die Kraft der Spannung verhält sich wie die Ausdehnung, d. h. bei einer Saite, wie die Vergrößerung ihrer Länge. Allein dies Prinzip, das in manchen andern akustischen Problemen sehr wichtig ist, erscheint für die gegenwärtige Aufgabe von weniger Gewicht. Die Kraft nämlich, durch welche die vibrirende Saite wieder zu ihrer ursprünglichen geradlinigen Lage zurückgeführt wird, hängt bei den kleinen Ausdehnungen, die wir hier zu betrachten haben, nicht sowohl von der Spannung, als vielmehr von der Krümmung der Saite ab, und das, was hier eigentlich zur Auflösung jenes Problems gefordert wurde, bestand mehr in der Schwierigkeit, die Veränderung dieser Krümmungen auf mathematischem Wege zu erfassen und die mechanischen Folgen derselben durch die Analysis gehörig auszudrücken.

Zuerst griff dieses Problem in seiner wahren Gestalt Brook Taylor an, ein englischer Mathematiker aus Newton's Schule. Er gab seine Auflösung i. J. 1715 in seiner berühmten Schrift: Methodus Incrementorum. Seine Auflösung war in der That noch unvollständig, denn er hatte nur eine Art, nur eine gewisse Form der Vibration betrachtet, in welcher sich nämlich die Saite in Uebereinstimmung mit den bisher bekannten Gesetzen der Mechanik bewegen konnte, nicht aber diejenige Art der Vibration, in welcher sie sich bewegen muß, wenn ihre Gestalt ganz willkührlich ist. Er zeigte, daß die Curve, welche die Saite unter dieser Voraussetzung hat, von der Natur derjenigen ist, die man die „Begleiterin der Cyclois" zu nennen pflegte, und seine so aufgestellten Berechnungen bestätigten auch die bisher gleichsam vorläufig aufgestellten Gesetze, nach welchen nämlich der Ton oder die Schwingungszeit der Saite von der Länge, der Spannung und von der Dicke dieser Saite abhängen sollen. Diese mathematische Unvollständigkeit von Taylor's Auflösung darf uns aber nicht hindern, sie demungeachtet als einen sehr wichtigen Schritt in dieser ganzen Untersuchung zu betrachten. Wenn nur einmal die Schwierigkeit, die Prinzipien der Mechanik auf jenes Problem anzuwenden, besiegt waren, so konnte man die Erweiterung und Verbesserung der Untersuchung schon mit Sicherheit von den nachfolgenden Geometern erwarten, was denn auch in der That sehr bald geschehen ist. Man kann noch hinzusetzen, daß auch die folgenden, allgemeinen Auflösungen doch immer noch in Beziehung auf jene von Taylor betrachtet werden müssen, um sie völlig klar und in ihrer ganzen Wichtigkeit zu übersehen. Auch konnte wohl jeder Mathematiker, selbst vor der Erscheinung jener allgemeinen Auflösung, leicht sehen, daß die Abhängigkeit der Schwingungszeit von der Länge und von der Spannung der Saiten im Allgemeinen dieselbe bleiben würde, wie in der Taylor'schen Curve, so daß man also, in Beziehung auf die physische Seite des Problems, die Auflösung von Taylor nahezu als vollständig gelten lassen konnte.

Wenige Jahre später löste Johann Bernoulli das Problem von der Schwingung der Saiten nahe nach denselben Prinzipien und Voraussetzungen, wie Taylor [8]). Um das Jahr 1747 aber erhob sich eine neue Generation von großen Mathematikern, d'Alembert, Euler und Daniel Bernoulli, um die seitdem gewachsenen Kräfte der mathematischen Analysis an der ganz allgemeinen Auflösung dieses Problems zu versuchen, zu welchem Zwecke auch die merkwürdige Rechnung der sogenannten partiellen Differentialien erfunden wurde. Allein um dieselbe Zeit fingen diese Untersuchungen, so weit sie der Physik angehörten, bereits an, in das Gebiet eines andern Problems von der Zusammensetzung der Vibrationen überzugehen, von dem wir erst weiter unten sprechen werden, weshalb wir also auch die weitere Geschichte von den Schwingungen der Saiten bis dorthin verschieben wollen, wo wir dieselbe in Verbindung mit ganz neuen Experimenten und Beobachtungen wieder aufnehmen werden.

Drittes Kapitel.

Problem von der Fortpflanzung des Schalls.

Wir haben bereits gesehen, daß die Griechen die Entstehung sowohl, als auch die Fortpflanzung des Schalls einer Bewegung der Luft zugeschrieben haben, ohne übrigens die Art dieser Bewegung näher anzugeben. Einige von ihnen verglichen diese Bewegung nicht unglücklich mit der des Wassers, wenn auf der Oberfläche desselben durch einen fremden Körper Wellen erregt werden. Andere verwerfen diese Ansicht als unstatthaft und schreiben, wie z. B. selbst Baco gethan hat, die Fortpflanzung des Schalls in der Luft einer gewissen geistigen Art (species spiritualis) von Bewegung zu.

Es war ohne Zweifel ein sehr alltäglicher Einfall, die Fortpflanzung des Schalls der Bewegung der uns von allen Seiten umgebenden Luft zuzuschreiben. Aber die nähere Angabe der eigentlichen Art dieser Bewegung muß doch zu jener Zeit mit

---

8) Joan. Bernoulli, Opp. Vol. III. S. 207.

großen Schwierigkeiten verbunden gewesen sein, und sie ist wohl selbst heut zu Tage noch den meisten nicht vollkommen bekannt. Daß der wahre Begriff dieser Bewegung nicht so gar leicht aufzufassen ist, läßt sich schon daraus abnehmen, daß der jüngere Johann Bernoulli [1]) ohne Anstand erklärte, ihm sei Newton's Proposition über diesen Gegenstand ganz unverständlich geblieben. Die Schwierigkeit dieser Conception besteht darin, daß die Bewegung der Lufttheilchen, in welcher der Ton besteht, vorwärts schreitet, während die Lufttheilchen selbst an dieser fortschreitenden Bewegung im Allgemeinen nicht Theil nehmen. Deshalb fragte auch Otto von Guericke, der Erfinder der Luftpumpe [2]): „Wie könnte der Ton durch die Bewegung der Luft fortgepflanzt „werden? Finden wir doch, daß diese Fortpflanzung in der „stillen Luft besser vor sich geht, als wenn sie von Winden bewegt wird." — Doch muß man bemerken, daß Guericke zum Theil dadurch in Irrthum geführt wurde, weil er aus seinen Experimenten den Schluß gezogen hatte, daß eine Glocke auch in dem leeren Raume der Luftpumpe noch hörbar sei, ein Resultat, dessen Ursprung wohl in der Unvollkommenheit seines Apparats gesucht werden muß.

Man hat viele Versuche angestellt, die näheren Umstände dieser Bewegung der Luft, und vorzüglich die Geschwindigkeit derselben, durch Experimente zu bestimmen. Gassendi war einer der ersten auf diesem Wege. Er bediente sich zu diesem Zwecke der Feuergewehre, und fand, daß die Geschwindigkeit des Schalls in der Luft 1473 Par. Fuß in einer Sekunde betrage. Roberval dagegen fand eine so geringe Geschwindigkeit (nur 560 Fuß), daß dadurch die ganze Sache auf längere Zeit ungewiß blieb, und daß selbst Newton's Untersuchungen dadurch beirrt wurden [3]). Später fanden Cassini, Huyghens, Picard und Römer eine Geschwindigkeit von 1172 Par. Fuß, was schon genauer war, als das Resultat des Gassendi, der zugleich sehr überrascht war, zu finden, daß die Geschwindigkeit des starken und des schwachen Schalls in der Luft nicht verschieden ist.

---

1) In seiner Preisschrift „über das Licht" vom Jahre 1736.
2) In seiner Schrift de Vacuo Spatii. S. 138.
3) M. s. Newton's Princip. B. II. Prop. 50 Schol.

Die theoretische Erklärung dieser konstanten Geschwindigkeit des Schalls und seines Maaßes war eines von den Problemen, das Newton schon in der ersten Ausgabe seiner Prinzipien (vom Jahre 1687) zu lösen versuchte. Er setzt hier zuerst die wahre Natur der Bewegung und der gegenseitigen Wirkung der Lufttheilchen, durch welche der Schall fortgepflanzt wird, auseinander. Er zeigt (B. II. Prop. 43), daß ein in einem elastischen Medium schwingender Körper seine Schläge (Pulsus) durch dieses Medium fortsetzt, d. h., daß die kleinsten Theile dieses Mediums sich vor- und rückwärts bewegen, und daß durch diese Bewegung allmählig auch alle jene Lufttheile afficirt werden, die in einer immer größeren Entfernung von dem tönenden Körper oder von dem Ursprung dieser Bewegung liegen. Wenn diese Lufttheilchen vorwärts gehen, so erzeugen sie eine Verdichtung der Luft, und wenn sie gleich darauf rückwärts gehen, so bewirken sie wieder eine Verdünnung, eine Ausdehnung der Luft, und die Wirkung der Elasticität, die bei diesen auf einander folgenden Verdichtungen und Verdünnungen der Luft entwickelt wird, ist die eigentliche Kraft, durch die jene Bewegung derselben immerwährend fortgepflanzt wird.

Der Begriff einer solchen Bewegung ist, wie gesagt, nicht so leicht von Jedermann aufzufassen, und doch ist eine richtige und scharfe Conception derselben ein unentbehrlicher Schritt zur Vervollkommnung der ganzen wissenschaftlichen Akustik, da diese Pulse, wie sie Newton nannte, diese Vibrationen oder Undulationen nicht blos dem Schalle, sondern auch dem Lichte und wahrscheinlich auch der Wärme zu Grunde liegen. Man trifft die Schwierigkeit, diese undulatorische Bewegung gehörig aufzufassen, und sie von einer fortschreitenden Bewegung des Mediums, als eine Masse für sich, zu trennen, sehr oft auch bei anderen selbst alltäglichen Erscheinungen. So ist es z. B. nicht so leicht, sich ohne weiteres Nachdenken gleich auf den ersten Blick vorzustellen, wie das Gewässer eines Stromes bei seiner Mündung immer a b w ä r t s dem Meere zufließt, während sich doch große Wellen auf derselben Stelle des Stromes a u f w ä r t s rollen, indem die bedeutenden Wasserhügel, die von der Fluth erzeugt werden, mit einer Geschwindigkeit von oft einer deutschen Meile von der See landeinwärts strömen. Die Bewegung dieser Wogen oder Wasserhügel ist ganz verschieden von jenen des Stromes, und sie ist so recht eigentlich undulatorischer Art. Einzelne Massen des Flußwassers erheben sich für eine kurze Zeit über den übrigen Wasserspiegel, vereinigen sich um eine benachbarte Stelle, und ziehen sich dann wieder an ihren vorigen Ort zurück, wobei die einzelnen Theile dieser Masse, je nach ihrer Stellung zu der ganzen Masse, auf verschiedene Weise von dieser allgemeinen Bewegung afficirt werden. Vielleicht wird man sich die gehörige Auffassung dieser Erscheinung erleichtern, wenn man ein von dem Winde in Wellen bewegtes Kornfeld betrachtet, wo ebenfalls kein eigentliches Fortschreiten der Aehren, die durch ihren Stängel an dem Boden befestigt sind, sondern nur ein abwechselndes Beugen und Erheben der Halme statt hat, wodurch in den dichtgedrängten Aehren Vertiefungen und Erhebungen, dichtere und lockere Parthien, also auch eigentliche Wellen erzeugt werden.

Allein Newton hatte auch noch die mechanischen Folgen zu betrachten, die aus diesen aufeinander folgenden Verdichtungen und Verdünnungen der gesammten Luftmasse in den einzelnen kleinsten Theilen dieser Masse entstehen. Indem er darauf die bekannten Gesetze der Elasticität der Luft anwendete, theilt er in einem sehr merkwürdigen Satze (B. II. Prop. 48) das eigentliche Gesetz mit, nach welchem die Vibrationen dieser Lufttheilchen vor sich gehen. Bemerken wir jedoch, daß auch in dieser Auflösung, so wie in der oben erwähnten von den Schwingungen der Saiten, eine Regel aufgestellt wurde, nach welcher diese Theilchen oscilliren *können*, nicht aber das eigentliche Gesetz, nach welchem sie in allen Fällen oscilliren *müssen*. Es wurde nämlich bewiesen, daß, wenn man die Bewegung jedes Lufttheilchens derjenigen eines Pendels ganz ähnlich annimmt, daß dann die Kräfte, welche durch jene abwechselnde Ausdehnung und Zusammenziehung erzeugt werden, ganz dieselben sein werden, welche die in der That beobachtete Bewegung erfordert. Allein es wurde nicht gezeigt, daß nicht auch noch andere Arten von Oscillationen, (die von denen des Pendels verschieden sind,) zu derselben Uebereinstimmung der Kraft mit der Bewegung führen können. Diese Untersuchungen Newton's führten ihn auch zugleich zu einer theoretischen Bestimmung der Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Schalls in der Luft. Er fand, daß diese Geschwindigkeit gleich derjenigen ist, die ein Körper in dem freien Fall durch „die halbe Höhe einer homogenen Atmosphäre“ erhalten würde. Unter dieser Höhe einer homogenen Atmosphäre verstand er aber die Höhe, welche die Atmosphäre der Erde haben müßte, wenn sie überall gleich dicht sein, und doch an der Oberfläche der Erde denjenigen Druck hervorbringen würde, den sie jetzt, mit ihrer bekanntlich in der Höhe sehr schnell abnehmenden Dichte, in der That hervorbringt. Er fand diese Höhe gleich 29000 Fuß, und daraus folgte die Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Schalls in der Luft gleich 968 Fuß in einer Sekunde. Dieses Resultat ist in der That viel kleiner, als dasjenige, welches wir oben durch unmittelbare Beobachtungen gefunden haben. Aber zu der Zeit, wo Newton seine Berechnungen anstellte, waren noch keine genauen und verläßlichen Beobachtungen bekannt, und er selbst hatte in dem Kloster des Trinity Collegiums, wo er wohnte, einige Versuche angestellt, die nahe zu demselben Resultate mit seinen Rechnungen führten und die daher nicht ganz richtig sein konnten. Als späterhin genauere Versuche diese Geschwindigkeit zu 1142 Eng. Fuß gegeben hatten, bemühte sich Newton, diese Differenz der Theorie mit der Beobachtung durch verschiedene Erklärungen zu erläutern, die aber alle nicht angemessen gefunden wurden, wie z. B. durch die Dimensionen der Lufttheilchen, aus welchen die Atmosphäre bestehen soll, durch die dieser Atmosphäre beigemischten Dünste u. dgl. Andere Mathematiker suchten andere Auswege, diese Differenz zu erklären, aber die wahre Erläuterung derselben blieb einer beträchtlich späteren Zeit aufbehalten.

Newton's Berechnung der Bewegung des Schalls war, obschon logisch unvollständig, doch der größte Schritt zur Auflösung jenes Problems. Die Geometer konnten nicht anders, als voraussetzen, daß das von ihm erhaltene Resultat nicht blos auf die Hypothese beschränkt ist, für welche er es erhalten hatte, und die weitere Entwicklung der Auflösung erforderte sonach nur mehr gewöhnliche Talente. Allein der logische Fehler seiner Auflösung wurde, wie man es nicht anders erwarten konnte, von seinen Nachfolgern angegriffen. Cramer [4]), Professor in

4) Cramer (Gabriel), geb. zu Genf den 31. Juli 1704. Sein hohes mathematisches Talent und sein unermüdlicher Jugendfleiß setzten ihn in den Stand, schon in seinem achtzehnten Jahre seine originelle

Genf, meinte im Jahr 1741 die Schlußrichtigkeit Newton's zu zerstören, indem er zeigte, daß dieser Schluß sich auf alle Arten von Oscillationen anwenden lasse. Dies stand in der That im Widerspruche mit der 48sten Proposition des zweiten Buchs der Prinzipien, aber es bestätigte und erweiterte zugleich das allgemeine Resultat des Beweises, denn es ließ selbst die Geschwindigkeit des Schalls ungeändert, und zeigte dadurch, daß diese Geschwindigkeit von der Art der Oscillationen ganz unabhängig ist. — Allein die ganz genügende Auflösung dieses Problems

---

Ideen über den Schall, als Thesen einer gelehrten Disputation, öffentlich mit Erfolg zu vertheidigen. In seinem zwanzigsten Jahre wurde ihm und seinem wissenschaftlichen Freunde J. L. Calandrelli die gemeinschaftliche Besorgung des Lehrstuhls der Mathematik an der Akademie zu Genf übertragen. Im Jahr 1728 besuchte er Joh. und Nic. Bernoulli zu Basel, so wie 1729 die vorzüglichsten Mathematiker Frankreichs, Englands und Hollands, mit denen er auch nach seiner Zurückkunft nach Genf einen ununterbrochenen wissenschaftlichen Briefwechsel unterhielt. Im Jahre 1750 aber fühlte er, in Folge übermäßiger Arbeiten, seine Gesundheit sehr angegriffen, die durch eine zur Erholung angestellten Reise nach Paris noch leidender wurde. Ein Sturz vom Pferde und eine zweite Reise in das südliche Frankreich beförderten das Uebel noch mehr, und er starb am 4. Januar 1752 zu Bagnols bei Nismes. Er war ein, nur Leibnitz zu vergleichender, auf das vielseitigste gebildeter Mann und einer der vorzüglichsten Mathematiker und Physiker seiner an solchen Männern sehr reichen Zeit. Ausgezeichnet als Architekt und Hydrotechniker, als Historiker und Theolog, als Kenner der Musik, der gesammten Physik und Mathematik, wurde er nicht weniger auf seinem Lehrstuhle, als in dem Rathe der Sechszig, in den er 1749 berufen wurde, bewundert. Die vorzüglichsten Akademien Europens bemühten sich, ihn in die Zahl ihrer Mitglieder zu erhalten. Sein vorzüglichstes Werk ist die Introduction à l'analyse des lignes courbes. Génève 1750 in 4to. Mehrere andere seiner mathematischen und physischen Aufsätze sind in den Memoiren der Akademie von Paris, London, Berlin u. s. zerstreut, und ein Verzeichniß seiner sämmtlichen Schriften findet man in dem dritten Theil der Histoire literaire de Génève von Senebier. Auch besorgte Cramer die Ausgaben von Wolfii Elementa matheseos. Genf, 1732—42, in 5 Quartbänden; ferner die Opera von Joannes Bernoulli, Genf 1742, von Jakob Bernoulli, Genf, 1744; und das Commercium epistolicum Leibnitzii et Bernoulli, Genf 1745. Seine Bibliographie gab Bernet in der Nouvelle bibl. germanique, Vol. X. S. 359. L.

war erst von der Vervollkommnung der mathematischen Analysis zu erwarten, an der nun eben die ausgezeichnetsten Männer zu arbeiten begannen. Diesem gemäß wurde die Auflösung des Problems erst von dem großen Meister in der Analysis, von Lagrange, im Jahr 1759 zu Ende geführt, als er in dem Alter von dreiundzwanzig Jahren mit zweien seiner Freunde den ersten Band der Turiner Memoiren herausgab. Euler erkannte sofort den hohen Werth dieser Auflösung und verfolgte, nach seiner Weise, den Gegenstand auf der neueingeschlagenen Bahn. Diese zwei großen Mathematiker haben die Auflösung des Problems auf mannigfaltige Weise vervollkommnet und erweitert, aber keiner von ihnen hat an der Formel für die Geschwindigkeit des Schalls irgend eine Veränderung angebracht, und der Unterschied zwischen der Rechnung und der Beobachtung, beinahe der sechste Theil der ganzen Größe, der schon Newton in Verlegenheit gesetzt hatte, blieb auch jetzt noch unerörtert.

Das Verdienst, diese Differenz auf eine befriedigende Weise zu erklären, war Laplace aufbehalten. Er bemerkte der erste [5]), daß das gewöhnliche Gesetz der Veränderung der Elasticität in der Luft, das blos von der Compression derselben abhängig ist, nicht auf jene äußerst schnellen Vibrationen, in welchen der Ton besteht, angewendet werden kann, weil die plötzliche Compression der Luft zugleich eine erhöhte Temperatur der Luft erzeugt, wodurch die Elasticität derselben ebenfalls wieder vermehrt wird. Die Größe dieser Vermehrung mußte durch Experimente über die veränderliche Temperatur der Luft gefunden werden. Laplace machte im Jahr 1816 [6]) das Theorem bekannt, von welchem die hier in Rede stehende Korrektion abhängt. Indem man sie auf Newton's frühere Formel anwendete, fand man, daß die so berechnete Geschwindigkeit des Schalls mit den besten der bisher angestellten Beobachtungen übereinstimmte, und diese Uebereinstimmung wurde auch noch durch mehrere darauffolgende, noch genauere Experimente vollkommen bestätigt.

Durch diesen letzten Schritt wurde demnach die Auflösung des Problems von der Fortpflanzung des Schalls vollständig

---

5) Laplace, Mécanique Céleste. Vol. V. Lib. XII. S. 96.

6) In den Annales de Phys. et Chémie. B. III. S. 288.

gemacht. Die hieher gehörenden mathematischen Untersuchungen gaben zu mehreren interessanten und wichtigen analytischen Diskussionen Veranlassung, wie z. B. zu der Aufnahme der diskontinuirlichen Funktionen in der Auflösung der Differentialgleichungen mit partiellen Differentialien. Allein diese Gegenstände gehören mehr der Geschichte der reinen Mathematik an, daher wir uns hier nicht weiter dabei aufhalten können. Was davon der eigentlich physischen Theorie der Akustik angehört, werden wir bei Gelegenheit der Aufgabe mittheilen, wodurch die Bewegung der Luft in Röhren bestimmt wird, zu dem wir aber nicht eher übergehen können, bis wir, in dem nächstfolgenden Kapitel, noch von einer andern Form einige Worte gesprochen haben werden, die man dem Probleme von den schwingenden Saiten durch die seitdem immer weiter fortgesetzten Beobachtungen, zu geben gezwungen war.

Viertes Kapitel.

Problem der verschiedenen Töne derselben Saite.

Man hatte schon sehr früh bemerkt, daß von derselben Saite verschiedene Töne kommen können. Auch wußte schon Mersenne und andere [1]), daß eine vibrirende Saite in einer ihr nahen, unisonen Saite, auch ohne Berührung der letzteren, einen Ton erzeuge, selbst wenn diese letzte Saite um eine Oktave von der andern abstand. In England, wo man diese Erscheinung so früh schon nicht gekannt zu haben scheint, wurde sie erst i. J. 1674 von Wallis der k. Societät vorgelegt [2]). Diese späteren Beobachter aber bemerkten überdies, daß jede längere Saite sich von selbst in zwei oder drei gleiche Stücke theile, die durch Ruhepunkte oder Knoten von einander getrennt werden, was sie durch kleine Papierstückchen fanden, die sie in verschiedenen Punkten auf die schwingende Saite legten. Die-

---

1) Mersenne, Harmonicorum Liber IV. Prop. 28. Paris 1636.

2) Philos. Transact. 1677. April.

selbe Entdeckung wurde auch von Sauveur i. J. 1700 wiederholt [3]). Jene Töne, die in einer ruhenden Saite durch eine andere vibrirende erzeugt wurden, nannte man sympathetische Töne. Aehnliche Töne werden oft durch Tonkünstler z. B. auf der Violine hervorgebracht, wenn sie die Saite in bestimmten Richtungen streichen, wo sie dann die von ihnen sogenannten akuten Töne erzeugten. Diese Erscheinungen waren, nach den von Taylor aufgestellten theoretischen Ansichten, nicht schwer aus den mechanischen Bedingungen der Saite zu erklären; allein desto schwerer war es, zu zeigen, wie ein tönender Körper solche verschiedene Töne zu gleicher Zeit erzeugen soll. Mersenne hatte dies zuerst bemerkt, Sauveur aber noch weiter verfolgt und deutlicher auseinander gesetzt. Man nannte diese den eigenthümlichen Ton der Saite begleitenden Ton den secondären, und diese secondären Töne waren gewöhnlich die Oktave, oder auch der zwölfte und siebenzehnte Ton der Hauptnote. — Solche gleichzeitige Vibrationen zu erklären, mußte also als der nächste und dringendste Schritt der Akustik betrachtet werden.

Daniel Bernoulli löste dieses Problem in einer Schrift von d. J. 1753 auf [4]), in welcher er das Prinzip der Coexistenz der kleinen Oscillationen aufgestellt und bewiesen hatte. Er zeigte, daß eine Saite entweder in einer einzigen Curve, (Bauch, wie er die Distanzen zwischen zwei nächsten Knoten der Saite nannte), oder auch in zwei, drei oder mehr solchen Curven zwischen unveränderlichen Knoten der Saiten ihre Schwingungen machen können. Er zeigte ferner, wie man diese Knoten unter einander kombiniren kann, so daß jeder von ihnen eine gewisse Stelle so annimmt, als ob er allein da wäre. Dies schien hinlänglich, die Coexistenz jener harmonischen Töne zu erklären. Zwar hat d'Alembert in dem Artikel „Fundamental" der französischen Encyklopädie, so wie auch Lagrange in seiner Abhandlung über den Ton [5]) verschiedene Einwendungen gegen diese Erklärung gemacht, und es ist auch nicht zu läugnen, daß der Gegenstand seine eigenen Schwierigkeiten habe. Allein dies

---

3) Mém. de l'Acad. de Paris. 1701.
4) Mém. de Berlin 1753. S. 147.
5) Mém. de Turin. Vol. I. S. 64 und 103.

alles kann dem Verdienste Bernoulli's keinen Eintrag thun, der dieses durch die gesammte Physik so wichtige Prinzip, der Coexistenz der kleinen Vibrationen, zuerst aufgestellt hat.

Jenes Memoir von Daniel Bernoulli erschien zu einer Zeit, wo die Wolken, die anfänglich über dem Probleme von den Schwingungen der Saiten hingen, sich desonders auf d'Alembert und Euler gelagert, und ihnen in dem Eifer ihres Zwistes die reine Ansicht geraubt hatten. Bernoulli bot sich, als Vermittler, mit seinen neuen Ansichten dar, die er als eine Auflösung der zwischen ihnen schwebenden Hindernisse ansah, was sie, im mathematischen Sinne genommen, nicht waren, und so war es wohl auch nicht zu verwundern, daß er von beiden eine Zurückweisung erlitt.

Die weitere Verfolgung dieses Gegenstandes, von den verschiedenen Arten der Schwingungen eines und desselben Körpers, oder von der sogenannten akuten Harmonik, kann hier keinen Raum finden. Die andere oben erwähnte Erscheinung aber, von den mittönenden Saiten, hat mit jenen ersten nichts gemein, und gehört auch nicht in dieses Kapitel. Sie steht mit dem Zusammenschlag der Töne in Verbindung, von der wir oben (Kap. II. bei Sauveur's erstem Versuche) gesprochen haben, wenn nämlich diese Schläge einander so nahe rücken, daß sie einen eigenen, bestimmten Ton hervorbringen. Man schreibt diese Entdeckung von den mittönenden Saiten gewöhnlich dem Tartini zu, welcher derselben i. J. 1754 erwähnt; allein sie werden etwas früher noch i. J. 1744 in Sorge's Schrift „über die Orgeln" erwähnt [6]), wo er die Sache in Gestalt einer Frage vorträgt. Lagrange hat darauf die beste Antwort gegeben [7]).

---

6) Chladni's Akustik. S. 254.

7) In Mem. de Turin. Vol. I. S. 104.

Fünftes Kapitel.

Von den Tönen der Blasinstrumente.

Es wurde von allen Akustikern als ausgemacht vorausgesetzt, daß die Töne der Flöten, der Orgelpfeifen und überhaupt aller Blasinstrumente in gewissen Schwingungen bestehen müssen; allein es war nicht leicht, die Natur und die Gesetze dieser Schwingungen zu bestimmen und sie auf bestimmte mechanische Prinzipien zurück zu führen. Der leitende Faden bei diesen Untersuchungen war die Erfahrung, daß die Höhe des Tons einer Pfeife von ihrer Länge abhängt, und daß man eine solche Pfeife dahin bringen kann, sowohl den ihr eigenthümlichen, als auch ihren secondären Ton (m. s. Kap. IV) zu erzeugen. Auch hatte man bemerkt [1]), daß an ihrem Ende verschlossene Pfeifen, statt der harmonischen Reihe 1, $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ u. s. nur diejenigen Töne geben, die den Zahlen 1, $^1/_3$, $^1/_5$, $^1/_7$ u. s. entsprechen. — Newton machte auch hier die ersten Schritte zur Auflösung der hieher gehörenden Probleme [2]). Am Schlusse des oben erwähnten Satzes von der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls bemerkt er, daß aus Mersenne's und Sauveur's Experimenten zu folgen scheine, daß während der Zeit einer jeden Vibration die Luft, der Pulsschlag der Luft, wie er sagt, zweimal die Länge der ganzen Pfeife durchlaufe. Ohne diese Bemerkung weiter zu verfolgen, bemerkt er nur im Vorbeigehen, daß der Ton einer Pfeife aus solchen Pulsschlägen der Luft bestehe, welche die Länge der Pfeife vor- und rückwärts durchlaufen, und durch den Athem des Spielers in Bewegung erhalten werden. Diese Voraussetzung stimmt mit der beobachteten Abhängigkeit der Tonhöhe von der Pfeifenlänge überein. Indeß wurde der Gegenstand nicht weiter auf theoretischem Wege verfolgt, bis Lagrange i. J. 1760, im zweiten Theile der Turiner Memoiren, und Dan. Bernoulli i. J. 1762 in den Par. Me-

---

1) Dan. Bernoulli, Mém. de Berl. 1753. S. 150.

2) Newton, Princip. Schol. Propos. 50.

moiren ihre Darstellungen bekannt machten, wo die vorzüglichsten Erscheinungen dieses Gegenstandes auf eine vollkommen befriedigende Weise auseinander gesetzt wurden, und wo daher auch dieses Problem als in seinen Haupttheilen glücklich gelöst betrachtet werden konnte.

Für diese Untersuchungen mußte allerdings manche Hypothese aufgestellt werden. Bei den schwingenden Saiten wurde die Gestalt der Schwingungscurven bald errathen, und die Existenz, ja selbst der Ort der Schwingungsknoten konnte dem Auge deutlich sichtbar dargestellt werden. Bei den Vibrationen der Luft aber kann man weder die Art dieser Schwingungen, noch die Knoten derselben unmittelbar bemerken. Allein dafür sind wieder hier mehrere andere Erscheinungen von diesen Bedingungen ganz unabhängig. So erklären z. B. die beiden erwähnten theoretischen Auflösungen des Problems sehr gut, warum ein an einem Ende geschlossenes Rohr unison ist mit einer doppelt so langen und an beiden Enden offenen Röhre; warum die Knoten, wenn sie überhaupt vorkommen, für die harmonischen Töne der Reihe 1. 3. 5. 7. der ungeraden Zahlen in verschlossenen, und der Reihe 1. 2. 3. 4. der natürlichen Zahlen in offenen Röhren entsprechen. Beide jener Ansichten von der Natur der Vibrationen scheinen im Grunde dieselben zu sein, obschon die von Lagrange mit einer schwer zu übersehenden analytischen Allgemeinheit gegeben ist, während Bernoulli wieder eine vielleicht gar zu specielle Hypothese zu Grunde gelegt hat. Lagrange [3]) betrachtet die Vibrationen der offenen Flöten als „Oscillationen einer Saite von Luft" unter der Bedingung, daß die Elasticität dieser Saiten an ihren beiden Endpunkten, während der ganzen Oscillation, dieselbe mit der sie umgebenden Luft bleibt. Bernoulli aber [4]) setzt voraus, daß das Moment der Trägheit der ganzen Luftmasse in einen einzigen Punkt versammelt ist, und daß dieser Punkt durch die ganze aus seiner Ortsversetzung entstehende Elasticität in Bewegung gesetzt wird. Man kann bemerken, daß beide Verfahren der oben erwähnten Theorie Newton's nahe kommen, denn obschon Bernoulli alle in der Flöte

---

3) Mém. Turin. Vol. II. S. 154.
4) Mém. Berl. 1753. S. 446.

enthaltene Luft mit eins sich bewegen läßt, (nicht aber allmählig, wie bei den Pulsen Newton's), so wird doch in beiden Fällen die ganze Luft von der ganzen Elasticität derselben bewegt. Seit dieser Zeit wurde der Gegenstand noch weiter entwickelt durch Euler [5]), Lambert [6]) und Poisson [7]), woraus aber keine neuen Erklärungen der Thatsache selbst hervorgegangen sind. Doch wurden seitdem noch mannigfaltige Versuche gemacht, die Orte der Knoten auf experimentellem Wege zu finden. Schon Bernoulli hatte gezeigt, daß dieser Ort durch die Größe der Oeffnung bestimmt wird, und Lambert [8]) hat auch andere Fälle in dieser Beziehung näher untersucht. Savart hatte den Ort der Knoten für mehrere Röhren unter verschiedenen Verhältnissen angegeben, und erst kürzlich hat Hopkins [9]) in Cambridge dieselben experimentellen Untersuchungen noch weiter verfolgt. Es scheint daraus zu folgen, daß die früheren Annahmen der Theorie, in Beziehung auf die Lage dieser Knoten, durch die Erfahrung nicht bestätigt werden.

Da wir dieses Problem nur in Beziehung auf dessen mathematische Auflösung betrachten wollten, so übergingen wir alles das, was man über die Abhängigkeit der Vibration von den verschiedenen Ursachen, die den Ton hervorbringen, gefunden haben will, die Einwirkungen nämlich von dem Bau des Rohrs, von dem Mundansatz u. dgl., was von Chladni [10]), Savart,

---

5) Nov. Act. Petrop. Vol. XVI.

6) Mém. de Berlin. 1775.

7) Journ. de l'Ecole Polyt. Cap. XIV.

8) Mém. de Berlin. 1775.

9) Cambridge Transact. Vol. V. S. 234.

10) Chladni (Ernst Friedrich), geb. zu Wittenberg den 30. Nov. 1756. Seine Voreltern stammten aus Ungarn, wo sie 1676 als Protestanten vertrieben wurden. Nach seiner ersten harten Erziehung im väterlichen Hause wurde er auf die Fürstenschule zu Grimma geschickt, und studirte später in Leipzig und Wittenberg die Rechte. Aber bei dem Tode seines Vaters 1781 folgte er, obschon ohne alle Aussicht auf Lebensunterhalt, seiner Neigung zu den Naturwissenschaften. Da er schon früh guten Unterricht in der Musik erhalten hatte, so wendete er sich vorzüglich der Akustik zu. Bereits im Jahr 1787 erschienen seine Entdeckungen über die Theorie des „Klangs." Im Jahre 1790

Willis und andern untersucht worden ist. Man sieht übrigens leicht, daß die sehr verwickelten Wirkungen, die aus der Elasticität und anderen Eigenthümlichkeiten des Rohrs sowohl, als auch der darin enthaltenen Luft entstehen, eine vollständige Auflösung des Problems nicht eher hoffen lassen, bis unsere Kenntniß des Gegenstandes und unsere mathematische Analysis selbst sich weit über ihre gegenwärtigen Grenzen erweitert haben werden. In der That bietet die Akustik eine große Masse von Thatsachen dar, auf die sich das eben Gesagte sehr wohl anwenden läßt; aber wenn man auch nur einige derselben gleichsam isolirt heraus-

---

erfand er sein musikalisches Instrument „Euphon," das ihm, in Verbindung mit seinen akustischen Vorlesungen, die Mittel gab, die vorzüglichsten Städte Deutschlands zu durchreisen. Der bekannten Harmonika substituirte er 1802 den von ihm erfundenen „Clavicylinder," in welchem gläserne Cylinder, die sich um ihre Axe drehen, durch eine eigene Claviatur, statt den benetzten Fingern, zum Tönen gebracht werden. In demselben Jahre erschien auch seine „Akustik." Mit jenen beiden Instrumenten durchreiste er die vorzüglichsten Länder Europa's, wo er besonders in Paris von Laplace, Berthollet, und selbst von Napoleon sehr gut aufgenommen und von dem letzten auch thätig unterstützt wurde. Hier gab er auch 1809 seinen Traité d'acoustique heraus. Im folgenden Jahre durchwanderte er Italien und kam 1812 nach Wittenberg zurück. Während der Kriegsunruhen seinen Zweck rastlos verfolgend, gab er die Sammlung seiner gemachten Erfahrungen in den geschätzten „Beiträgen zur praktischen Akustik," Leipzig 1821, heraus. Außer dieser Wissenschaft beschäftigte ihn auch die Theorie der sogenannten Meteorsteine, über die er schon 1794 eine kleine Schrift herausgab: „Ueber den Ursprung der von Pallas gefundenen Eisenmassen." und in einem spätern Werke, („Ueber Feuermeteore," Wien 1819), den Gegenstand definitiv abzuschließen suchte, indem er die Ursache dieser Erscheinungen in kosmischen, außer unserer Atmosphäre entstandenen Körpern nachwies oder doch sehr wahrscheinlich machte. Am 4. April 1827 starb er zu Breslau an einem Schlagflusse. Erfindungskraft, reger Witz und Gutmüthigkeit zeichneten ihn vor vielen aus. Kein deutscher Fürst hat ihm eine Anstellung oder einen Jahresgehalt angeboten. Er lebte die letzten 37 Jahre seines Lebens, die er beinahe immer auf Reisen zubrachte, von dem Ertrag seiner eigenen Erfindungen, und konnte doch noch der Armenkasse seiner Vaterstadt ein bedeutendes Vermögen, und dem k. Mineralienkabinet zu Berlin seine kostbare Sammlung von Meteorsteinen vermachen. L.

stellt, so müssen wir dieselben doch immer noch als Theile eines sehr ausgedehnten und bisher noch ungelösten Problems betrachten.

Sechstes Kapitel.

Verschiedene Arten der Vibrationen der Körper überhaupt.

Aber nicht blos die bisher erwähnten, sondern beinahe alle Körper der Natur sind solcher Vibrationen fähig. Nebst den Saiten und Pfeifen könnten wir auch Glocken, Metallplatten und Stimmgabeln unter den festen Körpern, Trommeln und Tambourinen unter den gespannten Membranen anführen, und wenn man mit der feuchten Spitze des Fingers an dem Rande eines Trinkglases hinfährt, so wird auch die in dem Glase enthaltene Flüssigkeit in eine vibrirende Bewegung versetzt. Der verschiedene Charakter des Tons, der von dem Raume bestimmt wird, in welchem er sich bewegt, zeigt uns, daß auch größere Massen von Luft ihre eigenen Arten von Vibrationen besitzen.

Diese Vibrationen sind im Allgemeinen immer von einem Tone begleitet, und sie können daher alle als eigentlich akustische Phänomene betrachtet werden, besonders da dieser Ton selbst gewöhnlich etwas Eigenthümliches besitzt, wodurch die Art dieser Vibration näher angezeigt wird. Endlich hat auch jeder der erwähnten Körper die Fähigkeit, auf verschiedene Weise zu vibriren, indem die schwingenden Parthien desselben durch Knotenlinien von einander abgesondert werden, wo dann die Art der Schwingung dieser Parthien, in jedem besondern Falle, durch die Weise bestimmt wird, auf welche der Körper gehalten oder unterstützt, oder auf welche er in Bewegung gesetzt wird.

Das allgemeine Problem dieser Vibrationen schließt die Entdeckung und Klassifikation dieser Phänomene, die Auffindung ihrer formellen Gesetze, und endlich auch die Zurückführung derselben auf mechanische Prinzipien in sich. Der Zweck dieser Schrift erlaubt uns aber nicht, auf alle diese Gegenstände umständlich einzugehen.

Die erwähnten Knotenlinien schwingender Körper wurden zuerst von Galilei auf dem Resonanzboden musikalischer Instrumente bemerkt. Hooke schlug vor, die Vibrationen einer elastischen Kugel durch Bestreuung derselben mit feinem Staube zu beobachten. Chladni aber war es, der die Akustik mit der Entdeckung der mannigfaltigsten symmetrischen Figuren bereicherte, die auf regelmäßig geformten Platten entstehen, wenn sie in eine solche Bewegung gesetzt werden, daß sie einen reinen Ton von sich geben. Seine ersten Untersuchungen dieses Gegenstandes machte er in seinen „Entdeckungen über die Theorie des Klangs 1787“ bekannt, denen er späterhin, 1802 und 1817, noch andere Entdeckungen hinzufügte. In diesen seinen Schriften führt er nicht blos eine große Anzahl von neuen und interessanten Beobachtungen auf, sondern er brachte auch mehrere derselben gewissermaßen auf Regeln und bestimmte Gesetze zurück. So reduzirte er z. B. die Vibrationen aller vierseitigen ebenen Platten auf Klassen, in welchen die Knotenlinien der einen oder der andern Seite dieser Platten parallel sind, und er gründete sogar auf diese Klassifikation eine bestimmte Bezeichnung für die verschiedenen, hier statthabenden Vibrationsarten. So bezeichnete z. B. 5—2 die Form, in welcher fünf Knotenlinien mit einer, und zwei mit der andern Seite der Platte parallel sind. Savart verfolgte diesen Gegenstand noch weiter, indem er durch unmittelbare Versuche die Form der Knotenlinien bestimmte, welche die Theile der Oberflächen der festen Körper und der Luftmassen im Zustande der Vibration von einander trennen.

Die Abhängigkeit dieser Vibrationen von ihrer physischen Ursache, der Elasticität der Körper, läßt sich im Allgemeinen leicht übersehen; aber die mathematische Bestimmung derselben ist, wie man erachten kann, mit vielen Schwierigkeiten verbunden, selbst wenn man bei der sich zuerst darbietenden Frage, von der mechanischen Möglichkeit solcher Vibrationen, stehen bleibt, ohne sich auf die Abhängigkeit derselben von der Art ihrer Entstehung einzulassen. Die Transversalschwingungen elastischer Stäbe, Platten und Ringe wurden zuerst von Euler i. J. 1779 betrachtet, allein seine Berechnungen, die sich auf elastische Platten beziehen, haben nur einen sehr kleinen Theil von den interessanten Erscheinungen vorausgesagt, die Chladni später durch

Versuche gefunden hat [1]), und die verschiedenen Töne, die, seiner Rechnung zufolge, derselbe Ring geben sollte, wurden mit den Experimenten nicht übereinstimmend gefunden [2]). In der That waren auch Untersuchungen dieser Art, wie sie Euler und andere [3]) anstellten, mehr nur als Beispiele analytischer Geschicklichkeit, nicht aber als wahre Erklärungen physischer Erscheinungen zu betrachten. Jakob Bernoulli versuchte es nach der Bekanntmachung von Chladni's Versuchen i. J. 1787, das Problem der schwingenden Platten zu lösen, indem er dieselben als aus elastischen Fibern bestehend betrachtete, allein die Richtigkeit dieser Voraussetzung wird, wie Chladni bemerkt, schon durch den Mangel an Uebereinstimmung der Beobachtungen mit den Resultaten jener Rechnung widerlegt.

Das Institut von Frankreich, das den Arbeiten Chladni's ihren Preis zuerkannte, schlug i. J. 1809 das hier in Rede stehende Problem noch einmal als Preisfrage vor [4]): „Die ma„thematische Theorie der Vibrationen elastischer Flächen zu geben, „und sie mit den darüber angestellten Versuchen zu vergleichen.“ — Allein nur ein Memoir erschien zur Preisbewerbung, und es wurde nicht gekrönt, obschon man desselben ehrenvoll erwähnte [5]). Die Formeln von Jakob Bernoulli sind, nach Poisson's Erklärung, mangelhaft, weil er auf die Normalkraft keine Rücksicht nahm, die auf die äußere Begränzung der Platte einwirkt [6]). Der Verfasser jenes anonymen Memoirs verbesserte diesen Fehler und berechnete auch den Ton, der den verschiedenen Gestalten der Knotenlinien entspricht, und er fand eine Uebereinstimmung mit den praktischen Versuchen, durch die seine Theorie allerdings gerechtfertiget wird. Allein er hatte von seiner Fundamentalgleichung keinen Beweis gegeben, den erst Poisson in einem Memoir von 1814 nachtrug [7]). In einer noch spätern Zeit haben Poisson und Cauchy, so wie auch die gelehrte Dame, Mad.

---

1) Fischer, Geschichte der Physik, Vol. VI. 587.
2) Ibid. VI. 596.
3) M. s. Chladni, S. 474.
4) M. s. Chladni, S. 357.
5) Poisson's Mém. in Acad. de Paris. 1812. S. 169.
6) Ibid. S. 220.
7) Ibid. 1812. S. 2.

Sophie Germain, auf dieses schwierige Problem die Kunstgriffe der höchsten mathematischen Analysis angewendet. Poisson [8]) hat die Relationen der Töne bestimmt, die zu den Longitudinal- und Transversal-Schwingungen eines elastischen Stabes gehören, und er hat auch der erste das Problem von den schwingenden Kreisplatten für den Fall gelöst, wo die Knotenlinien derselben selbst wieder konzentrische Kreise sind. In beiden Fällen scheint die Uebereinstimmung seiner Resultate mit der Erfahrung die Richtigkeit seiner Rechnungen zu bestätigen [9]). Er geht dabei von der Voraussetzung aus, daß die elastischen Körper aus getrennten Theilen bestehen, die durch ihre gegenseitige Attraktion zusammen gehalten, und durch die Repulsivkraft der Wärme wieder von einander entfernt werden. Auch Cauchy [10]) berechnete die Longitudinal- und Transversal-, so wie die rotatorischen Schwingungen elastischer Stäbe, und er erhielt Resultate, die mit einer großen Reihe von Beobachtungen nahe übereinstimmen. Die Autorität von zwei so großen Analytikern, wie Poisson und Cauchy, läßt uns glauben, daß die Mathematik, für die einfacheren Fälle der Vibrationen elastischer Körper, ihren Auftrag gehörig erfüllt hat, allein noch gar manche andere, verwickeltere Fragen sind bisher noch immer unbeantwortet.

Die zwei Brüder, Ernst und Wilhelm Weber [11]), haben ebenfalls viele sehr interessante Untersuchungen über diese Vibrationen angestellt. Sie sind in ihrer „Wellenlehre, Leipzig 1825," enthalten. Sie gelangten durch ihre Versuche zu der Annahme

---

8) Poisson's Mém. in Acad. de Paris. Vol. VIII. 1829.

9) Annales de Chémie. Vol. 36. 1827. S. 90.

10) Cauchy, Exercices de Mathématique. Vol. III. et IV.

11) Weber (Ernst), geb. 24. Juni 1795, und seit 1818 Professor der Anatomie zu Leipzig, hat sich durch seine anatomischen und physiologischen Untersuchungen und durch die in Gemeinschaft mit seinem Bruder (Eduard Wilhelm, geb. 1804 und seit 1831 Professor der Physik zu Göttingen) begründete Theorie der Wellen um die Wissenschaft sehr verdient gemacht. M. s. ihre „Wellenlehre," Leipzig 1825. Andere gemeinschaftliche Aufsätze der Brüder über denselben Gegenstand findet man in der „allgemeinen musikalischen Zeitung," 1826, und in den „Annalen der Physik," 1830. Seit den letzten Jahren beschäftigt sich E. W. in Gemeinschaft mit Gaus zu Göttingen vorzüglich mit den neuen magnetischen Beobachtungen. L.

(die auch schon Young früher geäußert hat), daß die Chladni'schen Figuren der Knotenlinien bei den elastischen Platten durch die Superposition der Wellen entstehen [12]). Wheatstone [13]) unternahm es, die Chladni'schen Figuren bei vierseitigen Quadratplatten durch diese Superposition von zwei oder mehr einfachen und offenbar sehr zulässigen Knoteneintheilungen zu erklären, welche alle dieselbe Zeit der Vibration haben. Zu diesem Zwecke nimmt er gewisse „ursprüngliche Figuren“ an, die blos parallele Knotenlinien enthalten, und indem er von denselben erst zwei, und dann vier kombinirt, erhält er die meisten jener Chladni'schen Figuren, so wie er auch zugleich von ihren gegenseitigen Uebergängen und von ihren Abweichungen von der regelmäßigen Gestalt Rechenschaft zu geben weiß.

Das Prinzip von der Superposition der Schwingungswellen ist, als eine mechanische Wahrheit, bereits so gut begründet, daß man jedes akustische Problem als genügend angeordnet betrachten kann, wenn es einmal auf dieses Prinzip zurückgeführt wird, da dies nahe so viel ist, als wenn es durch die mechanische Analysis aufgelöst wäre. Allein man darf dabei nicht übersehen, daß die gehörige Anwendung und Begrenzung dieses Gesetzes oft mit großen Schwierigkeiten verbunden ist. Man muß daher hier, wie bei allen andern Fortschritten der Naturwissenschaft, wünschen, den neuen Boden, den wir auf diese Weise gewonnen haben, noch durch Andere auf andere Art bebaut zu sehen, um uns den Besitz desselben vollkommen und dauernd zu sichern.

Savart's Gesetze.

In dem bisher Gesagten wurden die Vibrationen der Körper auf gewisse allgemeine Klassen zurückgeführt, deren Trennung uns erst durch die Beobachtungen bekannt geworden sind. Hieher gehören z. B. die longitudinalen, die transversalen und die rotatorischen oder drehenden Schwingungen der elastischen Stäbe. Die transversalen Schwingungen, bei welchen die Theile des Stabes, in senkrechter Richtung auf der Länge derselben, vor-

12) Weber, Wellenlehre, S. 474.

13) Philos. Transact. 1833. S. 593.

und rückwärts gehen, waren lange die einzigen, welche die früheren Akustiker kannten. Die beiden andern wurden vorzüglich durch Chladni zu unserer Kenntniß gebracht. Diese Klassifikation führte uns, wie bereits gesagt, zu mehreren wichtigen Sätzen, wie z. B. zu dem von Poisson aufgestellten Verhältnisse der Töne, die aus den transversalen und longitudinalen Schwingungen der Stäbe entspringen. Allein Felix Savart benutzte dieselbe Eintheilung der Vibrationen noch zur Auffindung eines viel allgemeineren Gesetzes, und als er dann die Generalisation dieses Gesetzes noch weiter verfolgen wollte, schien die Existenz desselben, wie dies wohl schon öfter auch bei andern Fortschritten der Wissenschaft geschehen ist, unter seinen Händen wieder beinahe gänzlich zu verschwinden. Einige wenige Worte werden dies näher erklären.

Es war schon lange vorher bekannt, daß die Vibrationen der Körper durch unmittelbaren Kontakt andern Körpern mitgetheilt werden können. Nachdem nun einmal die Distinktion zwischen transversalen und longitudinalen Schwingungen aufgestellt war, fand Savart, daß, wenn ein Stab einem andern in einer auf dieser senkrechten Stellung begegnet, die longitudinalen Schwingungen des ersten Stabes transversale Schwingungen in dem zweiten Stabe erzeugen und umgekehrt. Dies ist aber um so merkwürdiger, da diese zwei Schwingungsarten von ungleicher Geschwindigkeit sind, und daher auf keine uns bekannte Weise mit einander sympathisiren können [14]). Savart fand sich selbst berechtigt, diesen Satz noch weiter auszudehnen, indem er sagte, daß bei jeder senkrechten Stellung von Stäben, Saiten oder Platten, die eine Art dieser zwei Vibrationen in dem einen dieser Körper immer die andere Vibration in dem andern Körper erzeuge.

Auf diese Weise wurde das neue Gesetz noch mit der Sprache jener alten Klassifikation ausgedrückt. Man sieht aber, daß man es auch, ohne diese Beziehung, allgemeiner darstellen kann, indem man sagt, daß die Vibrationen immer in einer ihrer ursprünglichen Richtung parallelen Lage den andern Körpern mitgetheilt werden. Indem nun Savart diesen Weg weiter verfolgte, gelangte er am Ende zu der Ansicht, daß zwischen allen

---

14) Annales de Chim. 1819. Vol. 14. S. 138.

jenen drei Arten von Vibrationen durchaus kein wesentlicher Unterschied bestehe. „Wir sind demnach, sagt er [15]), dahin ge„kommen, die normalen (transversalen) Vibrationen nur als „einen blosen Umstand einer mehr allgemeinen und allen Kör„pern gemeinschaftlichen Bewegung zu erkennen, und dasselbe „gilt auch von den longitudinalen und rotatorischen Schwingun„gen, d. h. von allen Bewegungen dieser Körper, die durch kleine „Molecular-Oscillationen erzeugt und je nach der Rich„tung der auf sie einwirkenden Kräfte modificirt werden.“

Diese Induktion, wie er sie selbst sehr richtig nennt, wird durch eine große Anzahl sehr sinnreicher Experimente unterstützt, und sie kann als wohlbegründet angesehen werden, wenn sie auf bloße Molecular-Oscillationen beschränkt wird, dies Wort in dem obigen Sinne genommen, und wenn sie zugleich nur für diejenigen Körper gebraucht wird, in denen das Spiel der elastischen Kräfte nicht durch fremde, feste Theile, wie z. B. durch den Stimmstock in der Violine, unterbrochen wird [16]).

Ehe wir aber diesen Gegenstand verlassen, muß ich noch einer Folgerung gedenken, die Savart aus diesen seinen Ansichten abgeleitet hat, und die, auf den ersten Blick wenigstens, den größten Theil der ganzen früheren Lehre über die vibrirenden Körper umzustoßen scheint. Es wurde nämlich früher behauptet, daß gespannte Saiten und elastische Stäbe immer nur in einer bestimmten und unabänderlichen Reihe von Knoten und Knotenlinien vibriren. Allein Savart behauptet [17]) im Gegentheile, daß diese Vibrationen bei allen Körpern Töne erzeugen, die durch unmerklich kleine Zwischenräume stufenweise in einander übergehen. Der Leser wird wohl die Frage aufstellen, worin die Auflösung dieses scheinbaren Widerspruchs zwischen jenen früheren und diesen neuesten Entdeckungen bestehe? Die Antwort darauf aber kann jetzt nur die sein, daß die erwähnten stufenweisen Vibrationen in ihrer Natur sehr verwickelt und isolirt, also auch sehr schwer darstellbar sind, und daß die früher allein angenommenen drei Vibrationsarten durch ihre Einfachheit sowohl, als

---

15) Im Jahre 1822. M. s. Ann. de Chim. Vol. 25. S. 33.

16) Die Mittheilung der letzten Beschränkung verdanke ich Hrn. Willis.

17) Annal. de Chimie. 1826. Vol. 32. S. 384.

auch durch die Leichtigkeit ihrer Darstellung, so ausgezeichnet vor allen jenen intermediären Vibrationen hervortreten, daß man sie wohl, gleichsam zu dem gewöhnlichen Gebrauche, als eine besondere Klasse für sich betrachten darf, obschon man sie, wo man kann, zur Erlangung größerer Allgemeinheit, mit der unendlichen Anzahl aller jener andern Molecular-Oscillationen in Verbindung zu bringen suchen soll. Auf diese Weise erleidet also die bereits früher aufgestellte Maxime auch hier, wie bei allen andern Fortschritten unserer Erkenntniß, keine Ausnahme, daß nämlich alles, was einen wesentlichen Theil unserer frühern wissenschaftlichen Kenntniß gebildet hat, auch immer einen integrirenden Theil aller nachfolgenden Systeme bilden muß.

Wir haben nun die Geschichte der Akustik in Beziehung sowohl auf die Entdeckung der Gesetze ihrer Erscheinungen, als auch auf die Reduktion dieser Gesetze auf ihre mechanischen Ursachen von den ältesten bis auf unsere gegenwärtigen Zeiten schnellen Schrittes durchlaufen. Der erste Zweig dieser Wissenschaft mußte, seiner Natur nach, auf induktivem Wege entwickelt werden, daher wir auch unsere besondere Aufmerksamkeit auf ihn gewendet haben. Daraus aber wird sich der Leser von selbst erklären, warum wir nicht länger bei den deduktiven Arbeiten derjenigen großen Analytiker verweilen wollten, die sich mit dem theoretischen Theile dieses Gegenstandes beschäftiget haben.

Die mit dem hohen und verdienten Ruhme bekannt sind, der den Arbeiten über diesen Gegenstand von Euler, d'Alembert und Lagrange unter den Geometern zu Theil geworden ist, werden vielleicht sagen, daß wir denselben in unserem kurzen Abrisse die ihnen gebührende Stufe nicht angewiesen haben. Allein wir müssen hier, wie oben bei der Hydrodynamik, bemerken, daß wenn die allgemeinen Prinzipien einer Wissenschaft einmal festgestellt sind, blose mathematische Deduktionen aus ihnen nicht mehr zu der eigentlichen Geschichte der Wissenschaft gehören, den einzigen Fall ausgenommen, wenn diese Deduktionen zu neuen Gesetzen führen, die zwischen jenen allgemeinen Prinzipien und zwischen den individuellen Thatsachen liegen, und die allein durch die Beobachtungen ihre Bestätigung erhalten können.

Das Geschäft der Konstruktion einer Wissenschaft kann mit dem der Errichtung einer Straße verglichen werden, auf welcher unser Geist von seinem inneren Wohnsitze zu irgend einer Provinz der Außenwelt gelangen will. Es bedarf da einer Brücke, um von den innersten Gemächern unserer Ideen und spekulativen Prinzipien zu jenen entfernten Gestaden der materiellen Thatsachen zu gelangen. Nach allen Seiten hin ist der Abgrund, der beide trennt, zu breit, um ihn zu übersetzen, so lange man keine Zwischenpunkte findet, auf denen man, als auf eben so vielen Grundpfeilern, jene Verbindungsbrücke stützen kann. Blose Thatsachen, ohne Gesetz und Zusammenhang, sind nur rohes, loses Gestein, von dem jenseitigen Ufer gebrochen, auf denen die Bogen unserer Brücke nicht mit Sicherheit erbaut werden können. Und blose hypothetische, mathematische Kalkulationen sind nur als Entwürfe, als Pläne des künftigen Gebäudes zu betrachten, Pläne, die sich überdies nur auf einen einzigen Bogen dieser künftigen Brücke beziehen, der auf der einen Seite in der Luft hängt, und auf der andern nur auf Ideen und Hypothesen ruht, denen vielleicht keine Realität in der Außenwelt entspricht. Es bedarf also einer festen Unterlage von unter einander zusammenhängenden Thatsachen, Gesetzen und Generalisationen, um darauf ein ebenfalls zusammenhängendes und festes Gebäude zwischen jenen beiden Extremen errichten zu können.

Bei dem Gegenstande, von dem wir hier sprechen, fehlt es es uns allerdings nicht an solchen Zwischenpunkten, obschon sie meistens noch sehr unregelmäßig vertheilt sind, und auch noch nicht ganz deutlich gesehen werden. Die Anzahl der bereits beobachteten Verhältnisse und Gesetze der Phänomene des Schalls ist bereits sehr groß, und obschon es vielleicht noch lange währen mag, so darf man doch hoffen, eines Tages sie alle durch klare, mechanische Ideen unter einander zu verbinden, und dadurch die Akustik endlich zu einer eigentlichen strengen Wissenschaft zu erheben.

Uebrigens enthält dieser Abriß der Geschichte der Akustik nur diejenigen Theile derselben, die wenigstens in gewissen Graden auf allgemeine Gesetze und auf wahre physische Ursachen zurückgebracht worden sind, wodurch denn allerdings Vieles von dem ausgeschlossen wird, was man sonst in dieser Wissenschaft anzuführen pflegt. Manches von diesem letzten, obschon es auch Gegenstand der Rechnung geworden ist, gehört doch mehr der angenehmen Einwirkung auf unser Gehörorgan, wie z. B. die Lehre von der Konsonanz und der Dissonanz der Töne, von der chromatischen Tonleiter u. s. f. Allein dies ist ein Theil der theoretischen Musik, nicht der Akustik; dies gehört in das Gebiet der schönen Künste, nicht in das der Naturwissenschaften, und mag daher einer folgenden Abtheilung dieses Werkes vorbehalten bleiben, so weit nämlich Untersuchungen dieser Art überhaupt mit unserem Gegenstande zusammenhängen.

Auch hat man sich bisher in der Akustik noch mit andern Eigenschaften der Töne, nebst ihrer Höhe und Tiefe, beschäftigt, wie z. B. mit den verschiedenen Artikulationen derselben, die in unserer Sprache vorkommen. Man hat sich bemüht, auch diesen Gegenstand auf allgemeine Vorschriften zurückzuführen. Kempelen's [18]) Sprachmaschine war zwar nur ein bloses Werk der Kunst, aber die Maschine von Willis [19]), welche das Verhältniß zwischen den Selbstlautern darstellt, gibt uns bereits ein solches Gesetz, wie man es zu einem wahren wissenschaftlichen Fortschritte bedarf. Man kann dieses letzte Instrument als ein eigentliches Diphthongometer (Selbstlauter-Messer) betrachten, und unter dieser Beziehung werden wir später wieder darauf zurückkommen, wenn wir von den Messungen dieser Art zu sprechen haben werden.

---

18) Kempelen (Wolfgang), geb. 23. Januar 1734 zu Preßburg, ist der Erfinder der berühmten Schachmaschine, die er 1769 zuerst der Kaiserin Maria Theresia vorzeigte, und mit der er auch in Paris und 1785 in England großes Aufsehen erregte. Diese Maschine gewann beinahe gegen Alle, die mit ihr Schach spielten. Obschon er die Räder und Hebel ihres Innern Jedermann zeigte, so vermuthete man doch die Wirkungen eines dabei verborgenen Menschen, den man aber nicht entdecken konnte. Noch künstlicher scheint seine im Jahr 1778 verfertigte Sprachmaschine zu sein, die aus einem 1½ Fuß langen und ½ Fuß breiten, mit einem Blasebalg versehenen Kasten bestand, und die alle vorgelegten Sylben deutlich aussprechen konnte. Auch haben wir von ihm ein Werk über diesen Gegenstand: „Mechanismus der menschlichen Sprache," Wien 1791. Er starb als Hofrath und Referent der ungarischen Hofkanzlei zu Wien am 26. März 1804. L.

19) M. s. Willis, On the vowel sounds and on reed organ-pipes. Cambridge. III, 237.

Neuntes Buch.

Geschichte der Optik, der formellen sowohl, als auch der physischen.

Ω Διος ὑψιμελαθρον εχων κρατος αιεν ατειρες
Αστρων, Ἡελιυτε, Σεληναιηστε μερισμα
Πανδαματωρ, πυριπνε, πασιν ζωοισιν εναυσμα
Υψιφανης ΑΙΘΗΡ, κοσμε στοιχειον αριστον·
Αγλαον ω βλαστημα, σελασφορον, αστεροφεγγες.

O du, dem die hohe, nie ermattende Kraft Jupiters beiwohnt, Allvater von Sonne und Mond und jedem Gestirn, wärme-athmender Quell alles Lebenden, weithinscheinender Aether, edelster Stoff, glänzender, lichtbringender, sternbesäter Weltkeim.

Orpheus, Hymn.

Einleitung.

Formelle und physische Optik.

Die Geschichte der Optik, als Wissenschaft, umständlich beschrieben, würde sehr bändereich sein. Unsere Geschichte aber soll dies nicht, da unsere Absicht nur ist, die eigentliche Natur dieser Wissenschaft und die Bedingungen ihres allmähligen Fortgangs zu verzeichnen. In dieser Beziehung ist die Geschichte der Optik besonders lehrreich, da sie einen von den beiden letztbehandelten Wissenschaften ganz verschiedenen Weg gegangen ist. Die Astronomie nämlich schritt, wie wir gesehen haben, festen und sicheren Fußes, seit den frühesten Zeiten, von einer Generation zur andern stets weiter vorwärts, bis sie endlich durch die großen Entdeckungen Newton's ihr durch Jahrhunderte angestrebtes, hohes Ziel erreicht hat. Die Akustik aber faßte ihre letzte Generalisation gleich anfangs auf, sie ging gleichsam von ihrem Ziele aus, und ihre Geschichte besteht daher nur in der immer weiter getriebenen Anwendung ihres bereits gegebenen ersten Prinzips auf verschiedene, auf einander folgende Probleme. Die Optik im Gegentheile schritt zwar auch durch eine Reihe von Generalisationen vorwärts, die eben so merkwürdig sind, als jene der Astronomie, aber sie blieb doch auch eine sehr lange Zeit durch stationär, bis sie endlich, durch die vereinte Kraft von zwei oder drei erfindungsreichen Geistern, gleichsam plötzlich sich zu der Höhe erhob, auf welcher wir sie jetzt erblicken. Das Ziel, welches die Optik auf diese Weise so spät und doch so schnell erreicht hat, ist nur wenig von dem verschieden, zu welchem die Akustik gleich anfangs gelangte; aber in dem ältern Theile der Optik wird selbst noch jetzt jene ausgezeichnete und gleichsam handgreifliche Bestätigung des allgemeinen Prinzips vermißt, welches die Undulationstheorie erst späterhin aufgestellt hat. Die Astronomie hat ihren Reichthum an Schätzen aller Art nur durch Arbeit und Fleiß von vielen Jahrhunderten erworben, während die Optik ihren Wohlstand in wenigen Jahren schon durch Scharfsinn und glückliche Spekulationen begründete, und während endlich die Akustik, früh schon wohlhabend, sich nur mit der Erhaltung, Verbesserung und fernern Ausschmückung ihrer alten Schätze begnügte.

Man kann die aufeinander folgenden Induktionen, durch welche die allmähligen Fortschritte der Optik in der Geschichte dieser Wissenschaft bezeichnet werden, mehr auf dieselbe Weise, wie oben die der Astronomie, behandeln. Jede dieser größern Induktionen hat ihr eigenes Vorspiel und ihre besondere Folge. Aber viele von den Entdeckungen der Optik sind weniger auffallend und sie haben die Aufmerksamkeit der Menschen viel weniger auf sich gezogen, als jene der Astronomie. Es wird daher auch nicht nothwendig sein, ihrer hier schon so umständlich zu erwähnen, ehe wir zu jener großen Generalisation gelangen, durch welche endlich die allgemeine Theorie der Wissenschaft fest und unabänderlich begründet worden ist. Wir wollen demnach jene frühesten optischen Entdeckungen nur eilenden Fußes durchlaufen, ohne uns in jene Unterabtheilungen des Weges einzulassen, die wir oben für die Geschichte der Astronomie angenommen haben.

Die Optik hat, gleich der Astronomie, zum Gegenstand ihrer Untersuchung zuerst die Gesetze der Phänomene, und dann die Verbindung derselben mit ihren physischen Ursachen. Diese Wissenschaft wird daher auch, gleich jener, in die formelle und in die physische Optik eingetheilt werden können. Der Unterschied, der durch diese zwei Worte aufgestellt wird, ist für sich klar und selbstständig, aber es ist nicht immer so leicht, denselben auch in unserer Erzählung stetig festzuhalten. Denn nachdem einmal, in den neuesten Zeiten, die Theorie der Optik so rasche Fortschritte gemacht hatte, so wurden auch viele von den Gesetzen der Erscheinungen zugleich und in unmittelbarer Beziehung auf diese Theorie studiert, ja selbst erst entdeckt, so daß also für sie jene Absonderung, die wir in der Astronomie so deutlich bemerkten, nicht mehr statthaben kann. Dazu kömmt aber auch noch ein anderer, beide Wissenschaften wesentlich unterscheidender Umstand. Die formelle Astronomie nämlich stand beinahe schon vollendet da, noch ehe die physische existirte, da man, um die letzte in's Leben zu rufen, vorerst die Mechanik als Wissenschaft begründen und selbst in einem nicht unbeträchtlichen Grade vollenden mußte. In der neueren Optik aber, die nach der Mechanik entstand, konnte man die Resultate der Undulationstheorie sogleich der Rechnung unterwerfen, und die mathematisch-mechanische Analyse nicht nur auf die schon längst bekannten, sondern auch auf diejenigen Phänomene anwenden, die sich erst jetzt, durch jene Theorie selbst gleichsam geleitet und hervorgerufen, unter den Händen der Beobachter entwickelten.

Wir werden demnach, in den nun folgenden ersten neun Kapiteln der Geschichte der Optik, von der formellen Wissenschaft, das heißt, von der Entdeckung der Gesetze der Erscheinungen sprechen. Die hieher gehörenden Erscheinungen sind nicht wenig zahlreich, nämlich die Reflektion und Refraktion, die Farbenzerstreuung, der Achromatismus, die doppelte Refraktion, die Polarisation und Dipolarisation, die Farben dünner und dicker Platten, und die gefärbten Säume und Einfassungen der Schatten. Alle diese Gegenstände wurden bereits zu einer Zeit untersucht und von vielen derselben selbst ihre Gesetze gewissermaßen entdeckt, wo die eigentliche physische Theorie derselben noch unbekannt war, durch welche letzte wir erst eine einfache und festbegründete Erkenntniß aller dieser Phänomene erworben haben.

Formelle Optik.

Erstes Kapitel.

Ursprüngliche Induktion der Optik. — Lichtstrahlen und Gesetze der Reflexion.

Wir haben bereits oben bemerkt, daß die ältesten optischen Physiker sich mit der Ansicht zufrieden stellten, das Licht in geraden Linien oder Strahlen fortgehen zu lassen. Diese Strahlen machten den eigentlichen Gegenstand ihrer Wissenschaft aus. Sie waren bereits dahin gekommen, zu bemerken, daß bei der Reflexion dieser Strahlen an einer glatten Fläche der Einfallswinkel dem Reflexionswinkel gleich ist, und sie wußten auch, aus diesem Satze, mehrere interessante und wichtige Folgerungen abzuleiten.

Zu diesen optischen Kenntnissen der Alten kann man auch noch die ersten Elemente der Perspektive zählen, die in der That nur eine bloße Folgerung von der Lehre der gradlinigen Lichtstrahlen ist. Denn wenn wir die äußeren Gegenstände durch solche Strahlen auf eine Tafel beziehen, die zwischen ihnen und unseren Augen aufgestellt ist, so folgen daraus alle Regeln der Perspektive gleichsam von selbst. Die Alten kannten diese Kunst, wenn gleich unvollkommen, wie wir in den Gemälden sehen, die von ihnen auf uns gekommen sind. Sie schrieben selbst über sie, wie wir in Vitruv [1]) lesen. Agatharchus wurde von Aeschylus in der Kunst Theaterdekorationen zu verfertigen unterrichtet, und er war selbst der erste Autor über diese Dinge. Anaxagoras aber, ein Schüler dieses Agatharchus, schrieb über die Actinographie (Linienmalerei). Aber keine dieser Schriften ist auf uns

---

1) Vitruvius, de Architectura, IX. Montucla, hist. du Math. I. 707.

gekommen. Die Neuern mußten diese Kunst wieder erfinden, und dies geschah in der eigentlichen Blüthezeit der Malerkunst, oder gegen das Ende des fünfzehnten Jahrhunderts. Aus dieser letzten Zeit haben wir auch mehrere Schriftsteller über Perspektive.

Allein alles dies konstituirt blos eine deduktive Anwendung der ersten Elemente der Optik. Gehen wir demnach sofort zu den Induktionen der nächstfolgenden Entdeckungen über.

Zweites Kapitel.

Entdeckung des Refraktionsgesetzes.

Nachdem man einmal deutlich bemerkt hatte, daß das Sehen durch geradlinige Strahlen bewirkt wird, so fanden sich auch wieder manche andere Erscheinungen, die auf eine Beugung oder Brechung dieser Strahlen, besonders an der Oberfläche durchsichtiger Flüssigkeiten, deuteten. Es erforderte aber eine gewisse Stetigkeit der Auffassung und eine Art von geometrischer Präcision, dieses Phänomen klar und richtig zu verstehen. Auch sind alle Nachrichten von solchen Erscheinungen, während der stationären Periode des Mittelalters, nur verworren und unzusammenhängend. Seneka [1]) sagt, daß ein Ruder im Wasser gebrochen erscheint, und daß Aepfel, durch ein Glas besehen, größer werden. Aber über alle diese auffallenden Erscheinungen begnügt er sich mit der vagen Anmerkung, daß nichts so trüglich ist, als unser Gesicht. Es scheint ihm gar nicht einzufallen, daß die Form des Glases einen Einfluß auf jene Vergrößerung seiner Aepfel haben könne. Man kann jedoch nicht gut zweifeln, daß manche Andere unter den Alten eine bestimmtere Ansicht dieser Gegenstände hatten. So soll Archimedes eine Schrift: „Ueber einen Ring unterm Wasser gesehen" verfaßt haben, und ein Mann seiner Art hat sich gewiß nicht mit so vagen und unbestimmten Notionen zufrieden gestellt. — Aristoteles [2]) hat der

---

1) Seneca, Nat. Quaest. X. Lib. I. Cap. 3.

2) Aristoteles, Meteorol. III. 2. „Der Lichtstrahl," sagt er, „wird

erste den Ausdruck **Brechung** oder **Refraktion** (ανακλασις) gebraucht, obschon auf eine noch sehr unbestimmte Weise. Dieses Wort scheint in die „Optischen Hypothesen" des Heliodor von Larissa nur auf eine technische Weise eingeführt worden zu sein, denn diese Schrift, so wie wir sie jetzt besitzen, enthält durchaus keine Nachricht von dem Phänomen der Refraktion.

Die ersten richtigen Begriffe von diesem Gegenstande findet man in den arabischen Mathematikern. Alhagen, der gegen das Jahr 1100 lebte, sagt in seinem siebenten Buche: „daß die Refraktion gegen das Loth hin statt hat," und er bezieht sich deshalb auf eigens zu diesem Zwecke angestellte Experimente. Aus diesen Versuchen stellt er auch den Satz auf, daß die Größe der Refraktion nach der Größe des Winkels verschieden ist, welchen die einfallenden Strahlen (primae lineae) mit den Einfallslothen bilden, und überdies (was von seiner Genauigkeit und deutlichen Ansicht der Sache zeugt), daß der Refraktionswinkel dem Einfallswinkel **nicht** proportionirt sei.

Nachdem man einmal bis hieher gekommen war, so blieb, in Beziehung auf die nähere Kenntniß der Refraktion, nichts mehr übrig, als durch Versuche und Experimente das wahre Gesetz derselben aufzufinden, und dabei das Prinzip, so weit es bekannt war, gehörig anzuwenden. Den letzten Theil übernahm Alhagen zum Theil selbst, da er auf eine nahe ganz richtige Weise zeigt, wie sehr eine unter Wasser gesehene Linie vergrößert wird. — In Roger Baco's Werk [3]) findet man eine ziemlich klare Auseinandersetzung der Wirkung eines konvexen Glases. In dem Werke des Vitellio endlich, eines Polen, der wie Baco im dreizehnten Jahrhundert lebte, wird die Refraktion eines Lichtstrahls an zwei gegenüberstehenden Punkten der Oberfläche einer Glaskugel deutlich auseinander gesetzt [4]).

Die Regel, nach welcher man für jeden besondern Fall die Größe der Refraktion bestimmen sollte, wurde um so mehr der Gegenstand einer besondern Aufmerksamkeit, als Tycho Brahe gefunden hatte, daß man eine von dieser Refraktion abhängige

---

„durch das Wasser, durch die Luft und durch alle Körper gebrochen, die „eine glatte Oberfläche haben."

3) Opus Magnum, S. 343.

4) Vitellio, Optica, S. 443.

Korrektion an die beobachtete Höhe der Gestirne anbringen müsse. Die bald darauf erfolgte Entdeckung des Teleskops gab dieser Untersuchung noch ein neues Interesse. Schon Vitellio [5]) hatte durch seine Experimente eine Anzahl von Messungen der Refraktion aus der Luft in Wasser und in Glas erhalten [6]). Aber aus diesen Beobachtungen hat Niemand irgend eine stetige Vorschrift abzuleiten gesucht, bis endlich Kepler im Jahr 1604 sein Supplement zu Vitellio's Optik (Paralipomena ad Vitellionem) herausgab. Wir haben schon oben erzählt, auf welche Weise Kepler die vor ihm liegenden astronomischen Beobachtungen Tycho's auf irgend ein stabiles Gesetz zu reduziren suchte, wie er eine beinahe unzählige Menge von Hypothesen und Formeln entwarf, die Folgen einer jeden derselben mit rastlosem Eifer verfolgte, und wie er dann die Furcht und die Hoffnungen, die ihn während seiner mühsamen Arbeiten verfolgten, mit lebhafter Redseligkeit seinen Lesern erzählte. Ganz eben so verfuhr er nun auch mit den optischen Beobachtungen Vitellio's über die Refraktion. Er entwarf eine Menge von Konstruktionen durch Dreiecke, Kreise und Kegelschnitte, die ihm aber alle nicht genügten, so daß er sich endlich [7]) genöthigt sieht, sich mit einer Näherung zufrieden zu stellen, in welcher er die Refraktion zum Theil dem Einfallswinkel, zum Theil aber auch der Secante dieses Winkels proportionirt annimmt. Dadurch konnte er den beobachteten Refraktionen bis auf die Differenz von nahe einem halben Grad entsprechen. Wenn man bedenkt, wie ungemein einfach dieses so lange und mühsam gesuchte Gesetz der Refraktion

---

5) Optica, S. 411.

6) Vitellio, ein Pole, aus der altberühmten Familie der Ciolek, der im dreizehnten Jahrhundert in Krakau lebte, wo er sich vorzüglich mit der Optik und mit der Redaktion seiner früher gemachten Reisen beschäftigte. Erst lange Zeit nach seinem Tode erschienen seine Perspectivae libri decem, Nürnberg 1533, Fol., welche Ausgabe von Apian und Tonstetter besorgt wurde, und Vitellionis de optica, Nürnberg 1551, Fol., welche zweite Schrift auch als eine neue Ausgabe der ersten betrachtet werden kann. Eine dritte Ausgabe erschien 1572 zu Basel. Man betrachtet dieses Werk als das erste bessere über die Optik der Neueren. Der Verf. zeigt eben so viel Scharfsinn als Belesenheit in den alten griechischen und arabischen Schriftstellern. L.

7) Kepler's Paralip. S. 115.

ist [8]), so muß man es sonderbar finden, daß ein Mann, wie Kepler, in so vielen Versuchen es nicht entdecken konnte. Aber dieses anfängliche Nichtsehen von Dingen, die späterhin ganz an der Oberfläche zu liegen scheinen, ist etwas sehr Gewöhnliches bei allen unsern Untersuchungen der verborgenen Wahrheit.

Endlich entdeckte Willebrord Snell [9]) um das Jahr 1621 dieses Gesetz der Refraktion. Doch wurde es zuerst von Descartes bekannt gemacht, der aber vorher die Papiere des Snell gesehen hatte [10]). Descartes sagt nicht, daß dieses Gesetz von irgend einem Andern früher entdeckt worden wäre, und statt dasselbe

---

8) Dieses Gesetz besteht bekanntlich in dem Satze, daß das Verhältniß der Sinus des Einfalls- und Refraktionswinkels für dasselbe Medium konstant ist.

9) Snell oder Snellius (Willebrord), geb. 1591 zu Leyden, wo sein Vater Professor der Mathematik war. Er studirte die Rechte, wendete sich aber später zu den sogenannten exakten Wissenschaften. Schon in seinem siebenzehnten Jahre gab er seine Restitution des Werkes De sectione determinata des Apollonius unter dem sich beigelegten Namen Apollonius Batavus heraus, die seinem Scharfsinn Ehre machte, aber seit Simpson's besserem Versuch derselben Wiederherstellung vergessen ist. Auf einer Reise durch Deutschland lernte er Kepler und Tycho kennen, mit dem er später einen lebhaften Briefwechsel unterhielt. Nach seiner Zurückkunft erhielt er die Stelle seines seitdem verstorbenen Vaters an der Universität zu Leyden. Nach dem Zeugnisse des Vossius und Huyghens war er der Entdecker des wahren Refraktionsgesetzes, nach welchem der einfallende Lichtstrahl zu dem gebrochenen sich verhielt, wie der Sinus des Einfalls- zu dem des Brechungswinkels. Eben so gab er uns die erste genaue geometrische Vermessung der Erde, oder die erste eigentliche Meridianmessung. Seine vorzüglichsten Schriften sind, nebst einigen lateinischen Uebersetzungen der Werke von Stevin und Ludolph van Keulen: De re numaria liber singularis, Antwerp. 1613, über die Münzen der Alten; Eratosthenes Batavus de terrae ambitus vera quantitate suscitatus, Leyden 1617, sein Hauptwerk, in welchem er seine geometrische Meridianvermessung zwischen den Städten Alkmar und Bergopzoom beschreibt; Descriptio com tae anni 1618; Cyclometricus seu de circuli dimensione, Leyden 1621; Typhis Batavus sive de cursu navium, Leiden 1624; Doctrinae triangulorum canonicae libri quatuor, Ib. 1627. — Nach einer mehrjährigen Krankheit starb er am 31. Okt. 1626 im 35sten Jahre seines Lebens. L.

10) Huyghens Dioptrica, S. 2.

durch Experimente zu bestätigen, unternimmt er es, nach seiner Weise, a priori zu beweisen, daß dies das wahre Gesetz sein muß [11]), zu welchem Zwecke er die Elemente, aus denen das Licht bestehen soll, mit Kugeln vergleicht, die auf einen Körper stoßen, der ihre Bewegung accelerirt.

Obschon aber Descartes bei dieser Gelegenheit seine Ansprüche auf den Charakter eines wahren Naturphilosophen eben nicht bewährt, so zeigt er doch viel Geschicklichkeit in den Entwicklungen der Folgen, die aus diesem Prinzip, wenn es einmal aufgestellt ist, entspringen. Insbesondere muß man ihn als den ersten wahren Erklärer des Regenbogens betrachten. Es ist wahr, Fleischer [12]) und Kepler hatten schon früher die Erscheinungen des Regenbogens den Sonnenstrahlen zugeschrieben, die, auf Regentropfen fallend, von ihrer innern Fläche reflektirt und wieder nach außen gebrochen werden. Auch hatte Antonio de Dominis bereits gefunden, daß eine hohle, mit Wasser gefüllte Glaskugel, in eine bestimmte Stellung zu dem Auge gebracht, lebhafte Farben zeige, woraus er denn die kreisförmige Gestalt des Regenbogens ableitete, was auch schon lange vor ihm Aristoteles [13]) gethan hat. Aber keiner von ihnen allen hat gezeigt, wie jener schmale, helle, farbige Kreis von einem bestimmten Durchmesser entsteht, da doch die Tropfen, welche die Strahlen in unser Auge senden, sich über einen viel größern Raum am Himmel verbreiten. Descartes aber gab davon den wahren Grund auf die befriedigendste Weise [14]), indem er zeigte, daß die Strahlen, die nach zwei Refraktionen und einer Reflexion in das Auge des Beobachters, unter einem Winkel von nahe einundvierzig Graden mit ihrer ursprünglichen Richtung gelangen, viel dichter sind, als alle übrigen, die neben dem Beobachter vorübergehen. Auch zeigte er auf dieselbe Weise, daß die Existenz und die Lage des sekondären Regenbogens demselben Gesetze folge. Dies ist aber die richtige und vollständige Darstellung des Gegenstandes, in Beziehung auf die Gestalt und

---

11) Descartes, Dioptrique, S. 53.

12) M. s. Montucla, Hist. des Math. I, 701.

13) Aristoteles, Meteorolog. III, 3.

14) Descartes, Meteorum, Cap. VIII, S. 196.

Breite jenes Bogens: die Erklärung der verschiedenen Farben desselben aber gehört dem nächstfolgenden Kapitel.

Diese Erklärung des Regenbogens durch das von Snell entdeckte Refraktionsgesetz war vielleicht einer von den leitenden Punkten in der Verifikation dieses Gesetzes selbst. Uebrigens wurde dieses Prinzip, einmal aufgestellt, durch Hülfe der mathematischen Analysis, sehr bald auch auf andere Gegenstände angewendet: auf die atmosphärische oder astronomische Refraktion, auf die optischen Instrumente, auf die diakaustischen Linien (hellere Kurven, die bei der Refraktion durch die Begegnung der Lichtstrahlen entstehen), und auf verschiedene andere Untersuchungen, die eben dadurch alle zur weitern Bestätigung jenes Gesetzes führten. Doch wurde es bald schwer, diese Anwendungen noch weiter zu verfolgen, da denselben ein anderes Hinderniß entgegen kommt, von dem wir nun sogleich näher sprechen wollen.

Drittes Kapitel.

Dispersion des Lichtes durch Refraktion.

Schon früh hatte man Versuche zur Erklärung des Regenbogens und anderer farbigen Erscheinungen in der Natur gemacht. Aristoteles [1]) erklärt die Farben des Regenbogens aus dem durch ein dunkles Medium gesehenen Lichte der Sonne. „Das Helle," sagt er, „durch das Dunkle gesehen, erscheint roth, „wie z. B. das Feuer von grünem Holz durch Rauch, oder wie „auch die Sonne durch Nebel gesehen. — Je schwächer das Licht „oder die Sehkraft ist, desto mehr nähert sich die Farbe des Ge„genstandes dem Schwarzen, indem es zuerst roth, dann grün, „dann dunkelpurpurfarb wird. — Aber der äußere Kreis ist im„mer heller, weil er zugleich der größere ist, und so haben wir „eine Stufenfolge von Roth durch Grün bis zum Purpur, wenn „man von dem äußern Kreis zu dem innern geht." — Diese Darstellung würde kaum der Erwähnung werth sein, wenn sie

---

1) Aristoteles, Meteor. III, 3. S. 373.

nicht in den neuern Zeiten wieder aufgeweckt worden wäre. Dieselbe Lehre findet sich auch in der Schrift des oben erwähnten Ant. de Dominis [2]). Nach ihm ist das Licht an sich weiß. Wenn man dasselbe mit etwas Schwarzem mischt, so entstehen die Farben, zuerst die rothe, dann die grüne, endlich die blaue oder violette. Er sucht dadurch die Farben des Regenbogens zu erklären [3]). Die Strahlen, sagt er, die von den kugelförmigen Regentropfen zu unserem Auge gelangen, gehen bald durch dickere, bald durch dünnere Theile dieser Tropfen, und daher kommen jene Farben.

Descartes kam der wahren Erklärung dieser Farben des Regenbogens viel näher. Er fand, daß eine ähnliche Reihe von Farben durch die Refraktion des von Schatten begrenzten Lichtes durch ein Prisma entstehe [4]), und er schloß daraus, daß weder die Krümmung der Oberfläche der Wassertropfen, noch die Reflexion, noch auch die wiederholte Refraktion der Strahlen zur Erzeugung dieser Farben nothwendig sei. Bei der weitern Untersuchung dieser Strahlen kommt er der wahren Auffassung des Gegenstandes sehr nahe, und er wäre wohl Newton selbst in dieser Entdeckung zuvor gekommen, wenn es ihm überhaupt möglich gewesen wäre, anders, als mit den Begriffen und in den Ausdrücken seiner einmal vorgefaßten Ideen, seine Schlüsse und Folgerungen zu ziehen. Nach allen seinen Untersuchungen gelangt er zu dem Schluß: „Die Elementartheilchen der äußerst „feinen Materie, welche die Wirkungen des Lichts fortpflanzt, „drehen sich so stark und heftig, daß sie sich nicht mehr in einer „geraden Linie bewegen können, und daher kommt die Refraktion. „Diejenigen Theilchen, welche sich am schnellsten drehen, erzeugen „die rothe Farbe, und die sich weniger schnell drehen, die gelbe" u. s. w. [5]). Man sieht hier die Begriffe von Farben und von ungleicher Refraktion bereits in gehörige Verbindung gebracht, aber die eigentliche Ursache der Refraktion wird noch aus einer ganz willkührlichen Hypothese abgeleitet.

Es scheint nun, daß Newton und Andere dem Descartes

2) Kap. III, S. 9. Man sehe auch Göthe's Farbenlehre, Vol. II. S. 251.

3) Göthe II, S. 263.

4) Descartes, Meteor. Sectio VIII, S. 190.

5) Meteor. Sect. VII, S. 192.

unrecht gethan haben, indem sie dem Ant. de Dominis die wahre Erklärung des Regenbogens zuschrieben. Die Theorie dieser Erscheinung enthält zwei Hauptpunkte. Zuerst muß nämlich gezeigt werden, daß ein heller kreisförmiger Bogen von einem bestimmten Durchmesser aus der größeren Intensität des Lichtes entsteht, das unter einem bestimmten Winkel in das Auge des Beobachters tritt, und zweitens muß die Verschiedenheit der Farben dieses Bogens aus der Verschiedenheit der Größe der Refraktion der Lichtstrahlen erklärt werden. Beides scheint nun Descartes ungezweifelt geleistet zu haben. Auch hat er, wie er selbst erzählt [6]), sich einige Mühe dabei geben müssen. „Zuerst zweifelte „ich, ob die Regenbogenfarben auf dieselbe Weise, wie die Farben „in dem Prisma entstehen, aber endlich ergriff ich die Feder, „berechnete sorgfältig den Lauf der Strahlen, die auf jeden „Punkt des Tropfens fallen, und fand, daß bei weitem mehrere „dieser Strahlen unter dem Winkel von einundvierzig Graden, „als unter andern Winkeln, zu dem Auge gelangen, so daß also „hier auch wieder ein lichter, durch Schatten begrenzter Bogen „statt hat, und daß daher die Farben dort ganz eben so, wie bei „dem Prisma, erzeugt werden.“

Die Sache blieb nahe in demselben Stand in dem Werke Grimaldi's: Physico-Mathesis de Lumine, Coloribus et Iride, Bologna 1665. In diesem Werke herrscht eine immerwährende Beziehung auf zahlreiche Experimente, und zugleich eine systematische Exposition der bereits schon weiter vorgerückten Wissenschaft. Grimaldi's Berechnungen des Regenbogens werden beinahe in derselben Gestalt mit denen des Descartes vorgetragen, aber er ist demungeachtet weiter, als dieser, von der Auffassung des wahren Prinzips der Farbenentstehung entfernt. Er stellt mehrere Versuche, in welchen die Farbe von der Refraktion entsteht (Prop. 35), richtig zusammen, aber er erklärt sie dadurch, daß überall, wo die Lichtstrahlen dichter sind, auch die Farben heller sein müssen, und daß das Licht auf derjenigen Seite dichter ist, wo der Strahl durch die Refraktion hingedreht wird u. s. w. Diese Erklärungsart mag manche einzelne der von ihm beobachteten Erscheinungen erläutern, aber sie ist viel fehlerhafter, als eine blose weitere

---

6) Descartes, Meteorolog. Sect. IX, S. 193.

Entwicklung von den frühern Ansichten des Descartes gewesen wäre.

Endlich gab Newton im Jahr 1672 die wahre Erklärung des Phänomens [7]): daß nämlich das Licht aus verschiedenen Farben von verschiedener Brechbarkeit bestehe Dies scheint uns jetzt eine so einfache und natürliche Auslegung der Sache, daß wir nicht gut einsehen können, wie sie anders sollte dargestellt werden. Demungeachtet zeigt der Eindruck, den sie auf Newton's Zeitgenossen machte, wie weit sie von den damals angenommenen Ansichten entfernt war. Es scheint zu jener Zeit die Ansicht geherrscht zu haben, daß der Ursprung der Farben nicht in einer eigenthümlichen Brechung des Lichtes, sondern in andern Nebenumständen liege, in einer gewissen Dispersion des Lichts, in einer Variation der Dichte desselben u. dergl. Newton's Entdeckung zeigte nun deutlich, daß das Gesetz der Refraktion nicht auf die Lichtstrahlen im Allgemeinen, sondern auf jeden einzelnen farbigen Strahl angewendet werden müsse.

Als Newton das Sonnenlicht durch eine kleine runde Oeffnung in den Fensterladen seines verfinsterten Zimmers gehen ließ und dasselbe durch ein Prisma auffing, erwartete er, an der gegenüberstehenden Wand dieses Zimmers ein helles rundes Sonnenbild zu erblicken. Dies würde auch der Fall gewesen sein, wenn sich die Strahlen, nach ihrem Durchgang durch das Prisma, in allen Richtungen auf gleiche Weise verbreitet hätten. Allein zu seiner nicht geringen Verwunderung sah er jenes Bild oder das sogenannte Sonnenspectrum fünfmal so lang als breit. Er überzeugte sich bald, daß die Ursache dieser Erscheinung weder in der verschiedenen Dicke des Glases, noch in der Unebenheit seiner Oberfläche, noch endlich in der Verschiedenheit der Winkel der Sonnenstrahlen liegen könne, die von der entgegengesetzten Seite des Sonnenendes kommen. Auch fand er, daß diese Strahlen von dem Prisma zu dem Spectrum nicht in krummen, sondern daß sie in geraden Linien fortgehen, und alles dies gewährte ihm endlich die volle Ueberzeugung, daß jeder der farbigen Strahlen seine eigene Refraktion habe, was er noch dadurch bestätigte, daß er jeden dieser farbigen Strahlen einzeln durch das

7) Philos. Transact. Vol. VII, S. 3075.

Prisma gehen ließ, um sich von der ihm eigenthümlich zukommenden Refraktion zu versichern.

Diese Experimente sind alle so leicht und gemein, und Newton's Erklärung derselben ist so einfach und überzeugend, daß man erwarten mußte, sie mit allgemeinem Beifall aufgenommen zu sehen. Auch war, gleichsam zur Vorbereitung dieser Aufnahme, schon früher Descartes, wie wir oben gesagt haben, dieser Entdeckung bereits sehr nahe gekommen. In der That währte es auch nicht eben lange, bis Newton's Meinung allgemein wurde, aber anfänglich traf sie auf viel Mißverstand und selbst Tadelsucht, die dem großen Entdecker sehr lästig fiel, dessen klare Ansicht und ruhige Gemüthsart ihm den Stumpfsinn und die Streitsucht seiner Gegner unerträglich machte.

Wir brauchen uns wohl nicht lange bei jenen frühern Einwürfen aufzuhalten, die man gegen Newton's Lehre aufgestellt hat. Ignaz Pardies, ein Jesuit und Professor in Clairmont, versuchte es zuerst, einen andern Grund für die Verlängerung jenes Spectrums anzugeben, die er von der Differenz der Winkel ableiten wollte, welche die Sonnenstrahlen von zwei entgegengesetzten Stellen ihres Randes bilden. Als jedoch Newton seine Berechnung vorlegte, welche die gänzliche Unzulänglichkeit einer solchen Erklärung zeigte, zog sich dieser Opponent sofort zurück. Bald darauf erschien ein anderer, hartnäckigerer Gegner, Franz Linus, ein Arzt aus Lüttich. Dieser behauptete, bei allen seinen Experimenten mit dem Prisma bei klarem Himmel das Spectrum immer rund, und nie länglich gesehen zu haben, und er schrieb daher das von Newton gesehene längliche Bild nur den Wolken zu. Newton wollte anfangs auf diese Einwürfe, so oft und dringend sie auch wiederholt wurden, durchaus gar nicht antworten. Endlich ging seine Antwort ab, eben zur Zeit, wo Linus im Jahr 1675 starb. Gascoigne aber, ein Freund des Linus, fuhr fort zu behaupten, daß auch er selbst und mehrere andere dasselbe runde Bild, wie Linus, gesehen hätten. Newton, den die Offenheit von Gascoigne's Brief ergötzte, erwiederte ihm, daß die Herren in Holland wahrscheinlich eines von den vielen Nebenbildern, die von den Flächen des Prisma's reflektirt werden, für das wahre, gebrochene Bild genommen haben. Auf diesen Wink wiederholte Lucas von Lüttich den Versuch noch einmal, und fand jetzt auch ein mit Newton übereinstimmendes

Resultat, mit der Ausnahme jedoch, daß sein Spectrum nicht fünfmal, sondern nur drei= und einhalbmal so lang, als breit war. Allein Newton blieb fest dabei, daß das Bild fünfmal so lang als breit sein müsse, wenn nur der Versuch gehörig angestellt wird. Es muß uns auffallen, daß er sich darin so sicher dünkte, und daß er dieses Resultat für das einzig mögliche für alle Fälle ausgeben wollte. Wir wissen jetzt sehr gut, daß die Dispersion der farbigen Strahlen, also auch die Länge jenes Bildes, für verschiedene Glasarten ebenfalls sehr verschieden ist, und es ist mehr als wahrscheinlich, daß jenes niederländische Prisma aus einer Glasgattung gemacht war, welches die Lichtstrahlen viel weniger zerstreute, als das englische [8]). Diesen Irrthum, in den Newton bei dieser Gelegenheit verfiel, hielt er nach seiner Art bis an sein Ende fest, und er war es auch, der ihn an einer andern wichtigen Entdeckung hinderte, von der wir in dem nächstfolgenden Kapitel sprechen werden.

Aber Newton wurde noch von andern, bedeutenderen Männern, namentlich von Hooke und Huyghens, widersprochen. Diese Gegner griffen jedoch nicht sowohl das Gesetz der Refraktion der verschiedenen Farben, als vielmehr nur einige von Newton gebrauchte Ausdrücke an, die, wie sie sagten, über die Natur und die Zusammensetzung des Lichtes falsche Begriffe mit sich führen. Newton hatte behauptet, daß von allen diesen verschiedenen Farben jede von einer eigenen Art sei, und daß sie, wenn sie alle zusammengesetzt werden, ein weißes Licht geben. Dies ist in Beziehung auf die Farben so weit richtig, als es unmittelbar aus der Analyse und der Komposition der Farben durch Refraktion folgt. Allein Hooke behauptete, daß alle natürlichen Farben blos aus der Kombination von zwei Grundfarben, der rothen und violetten, bestehen [9]), und Huyghens lehrte dasselbe, nur mit dem Unterschiede, daß er Gelb und Blau für die Basis aller Farben nahm. Newton erwiederte, daß die Verbindungen der Farben, von welchen sie sprechen, keine Verbindungen von einfachen Farben seien, das Wort in dem von ihm gebrauchten Sinne genommen. Ueberdies hatten aber auch jene zwei Gegner die Meinung angenommen, daß das Licht in blosen Vibrationen

---

8) M. s. Brewster, life of Newton, S. 50.

9) Brewster, life of Newton, S. 54.

eines überall verbreiteten sehr feinen und elastischen Mediums bestehe, und sie tadelten daher auch hierin die Ausdrücke Newton's, die stillschweigend die Hypothese voraussetzen, daß das Licht ein Körper sei. Aber Newton, den eine Art von Entsetzen bei dem Worte Hypothese anzuwandeln schien, protestirte förmlich gegen jenen Einwurf, daß seine „Theorie“ auf eine solche Basis erbaut sei.

Die Lehre von der ungleichen Brechbarkeit der Sonnenstrahlen zeigt sich deutlich in der Wirkung der Glaslinsen bei Fernröhren, da sie, eben wegen jener Umstände, von den dadurch betrachteten Gegenständen Bilder geben, die mehr oder weniger mit farbigen Säumen eingefaßt sind. — Zu Newton's Zeit war die Verbesserung der Fernröhre, um dadurch reine, farbenlose Bilder zu erhalten, das wichtigste praktische Motiv, die theoretische Optik zu vervollkommnen. Newton's Entdeckung zeigte die Ursache der Unvollkommenheit der bisherigen Fernröhre, ja die Wahrheit dieser Entdeckung wurde selbst durch diese Unvollkommenheit erst vollkommen bestätiget. Allein der bereits oben erwähnte Fehlschluß, daß die Dispersion der Farben dieselbe bleibt, so lang die Refraktion sich nicht ändert, dieser Irrthum verleitete Newton, zu glauben, daß diese Unvollkommenheit der Fernröhre unübersteiglich sei, so daß er auch alle refrangirenden Instrumente dieser Art gänzlich verließ, und sich dagegen zu den Reflektoren (Fernröhren mit Metallspiegeln) wendete. Allein die, obgleich erst späte, Berichtigung dieses Irrthums war doch im Grunde nur wieder eine weitere Bestätigung der allgemeinen Wahrheit des dadurch in anderer Beziehung aufgestellten Prinzips, und seit dieser Zeit ist wohl die Richtigkeit des Newton'schen Gesetzes der Refraktion von keinem Physiker mehr in Zweifel gezogen worden.

In den neuesten Zeiten jedoch hat sich eine Stimme dagegen, und zwar von einer Seite vernehmen lassen, wo man wohl eine umständliche Diskussion dieses Gegenstandes am wenigsten erwartet hätte. Der berühmte Göthe hat eine ganz neue „Farbenlehre“ geschrieben. Einer der Hauptzwecke dieser Schrift ist, Newton's Ansicht und das Werk, in welchem er diese Ansicht öffentlich machte (Newton's Optik), als ein durchaus falsches und mißverstandenes darzustellen, dem nur die äußerste Blindheit und das hartnäckigste Vorurtheil seinen Beifall geben kann. —

Wer da weiß, wie weit und schnell sich eine von Göthe aufgestellte Meinung in Deutschland verbreitet, der wird nicht verwundert sein, auch bei andern Schriftstellern dieser Nation dieselbe Sprache zu hören. So sagt Schelling [10]): „Newton's „Optik ist das größte Beispiel eines ganzen Systems von Irr„thümern, das, in allen seinen Theilen, auf Beobachtung und „Erfahrung gegründet ist.“ — Allein auch mit dieser Aeußerung über Newton's Werk ist Göthe noch lange nicht zufrieden gestellt. Er geht einen großen Theil desselben Seite für Seite durch, zankt und hadert ohne Unterlaß mit jedem Experiment, mit jeder von Newton gebrauchten Figur, mit jedem Schluß, mit jedem einzelnen Ausdruck desselben, und zieht endlich aus Allem das Resultat, daß das ganze Werk mit den einfachsten Beobachtungen und Thatsachen in direktem Widerspruch steht. Als ich, so erklärt er selbst [11]), das erstemal durch ein Prisma schaute, sah ich die weiße Wand meines Zimmers immer nur weiß, und obschon ich ganz allein war, so rief ich doch, wie durch Instinkt getrieben, sogleich aus: „Newton's Lehre ist falsch.“ — Es wird wohl unnöthig sein, zu sagen, wie so ganz unangemessen der Theorie Newton's es war, zu erwarten, wie Göthe that, daß die Wände seiner Stube überall mit Farben überzogen erscheinen sollten.

Allein Göthe begnügte sich nicht, die Meinung von der gänzlichen Falschheit der Theorie Newton's aufzustellen und auf das tapferste zu vertheidigen, sondern er wollte auch der Schöpfer eines andern, eigenen Systems sein, um dadurch die wahre Natur der Farben und alle Erscheinungen derselben zu erklären. Der Sonderbarkeit wegen mag es erlaubt sein, einige Augenblicke bei diesem neuen System zu verweilen. — Göthe's Ansichten sind in der That nur wenig von denen des Aristoteles oder von denen des Antonio de Dominis verschieden, obschon er sie vollständiger und systematischer entwickelt. — Farben, sagt er, entstehen, wenn wir durch ein trübes Mittel sehen. Das Licht an sich selbst ist farblos, aber wenn es durch ein etwas trübes Mittel gesehen wird, so erscheint es gelb; wenn die Trübe des

---

10) Schelling's Vorlesungen, S. 270.

11) Göthe's Farbenlehre, Tübing. 1810, Vol. II, S. 678.

Mittels wächst oder wenn seine Dicke zunimmt, so sehen wir das Licht stufenweise eine gelbrothe Farbe annehmen, die endlich in eine rubinrothe übergeht. Und wieder umgekehrt: Wenn man die Finsterniß durch ein trübes Medium sieht, das durch ein darauf fallendes Licht erleuchtet wird, so bemerkt man eine blaue Farbe, die immer heller und bläßer wird, je mehr die Trübe des Mediums wächst, und die eben so immer dunkler und satter wird, je durchsichtiger das trübe Medium ist; und wenn man auf diese Weise endlich zu dem geringsten Grad der reinsten Trübe kommt, so sieht man ein ganz vollkommenes Violet [12]). — Als Zugabe zu dieser „Lehre von dem trüben Mittel" erhalten wir noch ein zweites Prinzip der Refraktion. In unzähligen Fällen sollen nämlich die Bilder der Gegenstände von anderen „accessorischen Bildern" begleitet sein, so wie wir z. B. dergleichen sehen, wenn wir hellleuchtende Gegenstände in einem Spiegel betrachten (§. 223). Wenn nun, fährt er fort, ein Bild durch die Refraktion von seiner Stelle verrückt wird, so ist diese Verrückung nie ganz vollständig, klar und scharf, sondern sie ist nur unvollständig und so, daß immer ein accessorisches Bild sich neben jenem Hauptbilde hinzieht (§. 227). Aus diesem Prinzip sollen nun die Farben, die durch die Refraktion in dem Bilde eines hellleuchtenden Objekts auf einem schwarzen Grunde entstehen, ohne Weiteres von selbst erklärt werden. Das accessorische Bild ist halb durchsichtig (§. 238), und somit wird derjenige Rand desselben, der vorwärts rückt, aus dem Dunkeln in das Helle gebracht, wodurch die gelbe Farbe zum Vorschein kommt. Im Gegentheile aber, wenn der helle Rand über den finstern Hintergrund tritt, wird die blaue Farbe sichtbar (§. 239), woraus denn sofort folgen soll, daß das Bild an dem einen Ende roth und gelb, und an dem andern blau und violet erscheinen muß.

Es wird überflüssig sein, dieses sogenannte System noch weiter zu verfolgen und zu zeigen, wie schwankend, unbestimmt und grundlos alle die hier aufgestellten Begriffe und Ansichten sind. Vielleicht ist es aber nicht schwer, die Eigenthümlichkeit in Göthe's intellektuellem Charakter zu finden, durch welche er

---

12) Göthe's Farbenlehre, §. 150.

zu diesen ausgezeichnet unphilosophischen Ansichten geführt worden ist. — Eine dieser Eigenthümlichkeiten ist wohl die, daß er, wie alle Menschen, in welchen die eigentlich dichtende Imagination sehr thätig ist, alles mathematischen Talentes baar, und des eigentlich geometrischen Denkens ganz unfähig war. Nach aller Wahrscheinlichkeit hat er die Schlüsse und Relationen, auf denen Newton's Lehre gegründet ist, nie klar und stetig aufgefaßt. — Ein anderer Grund seiner Unfähigkeit, die Theorie Newton's in sich aufzunehmen, war, daß er den Begriff der „Komposition“ der Farben auf eine ganz andere Weise, als Newton, aufgefaßt und festgehalten hat. Man kann nicht wohl sagen, was denn Göthe eigentlich zu sehen erwartete, aber aus seinem eigenen Geständniß folgt, daß seine Absicht, warum er mit dem Prisma Experimente anstellte, aus seinen frühern Spekulationen über die Regeln der Farbengebung bei Gemälden entstanden ist, und es läßt sich wohl einsehen, daß solche vielleicht ganz heterogene Begriffe von der Komposition der Farben zuerst ganz entfernt und zur Seite gelegt werden müssen, ehe man hoffen darf, das, was Newton in *seinem* Sinne über diese Komposition gesagt hat, vollkommen zu verstehen und klar und rein in sich aufzunehmen.

Andere, von jenen ganz verschiedene Einwürfe wurden der Newton'schen Theorie erst in den neuesten Zeiten von David Brewster gemacht. Er bestreitet Newton's Meinung, daß die farbigen Strahlen, in welche das Sonnenlicht durch die Refraktion aufgelöst wird, auch schon einfache und homogene und überhaupt solche Strahlen sein sollen, die nicht weiter zergliedert oder modifizirt werden können. Brewster findet nämlich, daß, wenn solche Strahlen durch gefärbte Media gehen (z. B. durch blaues Glas), sie nicht nur absorbirt und in verschiedenen Graden durchgelassen werden, sondern daß auch einige derselben ihre Farbe ändern. Er kann dies nicht anders, als durch eine weitere Zerlegung (Analyse) dieser Strahlen erklären, wobei eine der komponirenden Farben absorbirt, die andere aber durchgelassen wird. (Andere Experimente haben jedoch diese letzte Thatsache nicht bestätigt.) Darauf kann man aber nur sagen, wie wir bereits oben gethan haben, daß Newton seine Lehre, so weit dabei die Analyse und die Dekomposition des Lichts *durch Refraktion* in Thätigkeit ist, vollständig und fernerhin ganz unbestreitbar aufgestellt hat. Wenn aber ganz andere Analysen, die mit Hülfe von absorbirenden Medien oder anderen Agentien gemacht werden, so sind wir allerdings nicht berechtigt, aus Newton's Versuchen den Schluß zu ziehen, daß die Farben des Lichtes keiner andern Dekomposition mehr fähig sein sollen. Ueberhaupt liegt der ganze Gegenstand von den Farben der Objekte, der dunkeln sowohl als der durchsichtigen, noch im Zweifel. Newton's Muthmaßungen über die Ursachen der Farben der natürlichen Körper helfen uns hier nur wenig, und seine Meinungen über diesen Gegenstand müssen ganz getrennt werden von dem großen und wichtigen Fortschritte, den er in der wissenschaftlichen Optik durch seine Begründung der wahren Lehre von der brechenden Dispersion der Lichtstrahlen gemacht hat.

Gehen wir nun zu den verschiedenen Verbesserungen und Erweiterungen über, welche diese Lehre durch die nächstfolgende Generation erhalten hat.

Viertes Kapitel.

Entdeckung des Achromatismus.

Die Entdeckung, daß die refraktirten Dispersionen der verschiedenen Substanzen sich so verhalten, daß Kombinationen derselben möglich werden, durch welche die Dispersion neutralisirt wird, ohne zugleich die Refraktion zu neutralisiren, diese Entdeckung ist bisher für die Kunst viel mehr, als für die Wissenschaft selbst, fruchtbar und nützlich gewesen. Diese Eigenthümlichkeit ist ohne unmittelbaren Einfluß auf die Theorie des Lichts, aber sie ist von der größten Wichtigkeit in ihrer Anwendung auf die Verfertigung der Fernröhre, und sie zog daher die allgemeine Aufmerksamkeit um so mehr auf sich, da Vorurtheile und, wie es schien, unübersteigliche Hindernisse eine lange Zeit durch ihr den Eingang verwehrten.

Newton glaubte durch seine Experimente bewiesen zu haben [1]), daß das Licht nach der Refraktion nur in dem einzigen Falle

---

1) Newton's Optik. B. I.

weiß bleibt, wenn der aus dem brechenden Körper ausfahrende Strahl dem einfallenden parallel ist. Wenn dies in der That wahr wäre, so würde die Erzeugung farbenloser Bilder, durch Komposition von zwei oder mehr brechender Medien, allerdings unmöglich sein. Dies war auch, in Folge des großen Ansehens Newton's, einige Zeit durch der allgemeine Glaube. Euler [2]) machte, der Erste, die Bemerkung, daß eine Kombination von Linsen, um dadurch ein farbloses Bild zu erhalten, nicht unmöglich sein könne, weil wir ein Beispiel einer solchen Kombination in dem menschlichen Auge besitzen. Er suchte demgemäß auf mathematischem Wege die Bedingungen, die dazu erforderlich sind. Auch Klingenstierna [3]), ein schwedischer Mathematiker, zeigte, daß Newton's Meinung nicht in allen Fällen richtig sein könne. Endlich wiederholte John Dollond [4]) das Experiment Newton's, und erhielt ein ganz entgegengesetztes Resultat. Er fand, daß ein Gegenstand durch zwei Prismen, eines von Glas und das andere von Wasser, gefärbt erscheint, wenn die brechenden Winkel derselben so beschaffen sind, daß der Gegenstand durch die Refraktion nicht aus seiner Stelle gerückt wird. Daraus folgt, daß die Strahlen, ohne gefärbt zu werden, eine Refraktion erleiden können, und daß demnach, wenn man Linsen an die Stelle der Prismen setzt, eine solche Kombination dieser Prismen möglich sein muß, die ganz farbenlose Bilder erzeugt, und die daher zur Konstruktion von achromatischen Fernröhren geeignet ist.

Euler stand anfangs an, dem Experimente Dollond's sein Vertrauen zu schenken, aber Clairaut, der sich der Sache besonders thätig annahm, versicherte ihn von der Richtigkeit des Versuchs, und nun gingen diese zwei ausgezeichneten Geometer, in Verbindung mit d'Alembert, an das Geschäft, den Gegenstand durch ihre gewandte Analysis zu fördern. — Die übrigen Deduktionen, die sich größtentheils auf die Gesetze der Dispersion der verschiedenen brechenden Körper bezogen, gehören mehr in die Geschichte der Kunst, als in die der Wissenschaft. Dollond gebrauchte anfangs zu seinen achromatischen Objektiven zwei Linsen,

---

2) M. s. Mém. de Berlin, 1747.

3) Mem. der schwed. Akad. 1754.

4) Philosophical Transact. Vol. I, 1758.

eine von Kron- und die andere von Flintglas. Später umgab er, in seinen dreifachen Objektiven, eine Flintglaslinse zu ihren beiden Seiten mit einer Linse von Kronglas. Zugleich gab er seinen Linsen eine solche Krümmung, daß dadurch der Fehler ihrer sphärischen Gestalt aufgehoben wurde. Späterhin gebrauchte Blair und neuerlich erst Barlow Flüssigkeiten zwischen den Glaslinsen, und verschiedene Andere, wie J. Herschel und Airy in England, haben sich mit der Vereinfachung und Verbesserung der analytischen Formeln beschäftigt, durch welche man die besten Kombinationen der Linsen für die Objektive sowohl, als auch für die Okulare der Fernröhre erhalten kann [5]).

Nach Dollond's Entdeckung sollen die Spectra der Prismen von zwei verschiedenen Substanzen, wie Kron- und Flintglas, von derselben Länge sein, wenn die Refraktionen derselben verschieden sind. Allein hier entstand eine neue Frage, ob nämlich, wenn die beiden äußersten Farben der beiden Spectra auf einander fallen, dann auch schon alle anderen mittleren Farben coincidiren? Dies ließ sich nur durch Experimente entscheiden. Es zeigte sich bald, daß diese Coincidenz nicht statthat, und daß demnach eine bloße Korrektion der beiden äußeren Farben nicht auch alle übrigen mittleren vernichtet. Wenn man drei Prismen oder, bei den Fernröhren, drei Linsen anwendet, so kann man damit auch drei Farben neutralisiren oder zur Coincidenz bringen, wodurch der von der Farbenzerstreuung kommende Fehler der Fernröhre allerdings bedeutend vermindert wird. Die Entdeckung der dunklen fixen Linien in dem Spectrum, durch Wollaston und Fraunhofer, haben uns Mittel gegeben, die entsprechenden farbigen Theile des Spectrums der verschiedenen brechenden Substanzen mit sehr großer Genauigkeit zu bestimmen.

Ohne diesen Gegenstand weiter zu verfolgen, wenden wir uns zu andern optischen Erscheinungen, die erst in unsern letzten Tagen zu großen und umfassenden Entwickelungen führten.

---

5) M. s. Baumgartner's Zeitschrift für Physik, Band IV, S. 257, und neue Folge, Band III, S. 57.

Fünftes Kapitel.

Entdeckung der Gesetze der doppelten Refraktion.

Die bisher beschriebenen Gesetze der Refraktion des Lichts sind sehr einfach und für alle brechenden Körper gleichförmig, da sie ein konstantes Verhältniß zu der Oberfläche des brechenden Mittels haben. Es erschien daher den Physikern sonderbar, als sie plötzlich einer ganz neuen Klasse von Erscheinungen begegneten, in welchen diese Einfachheit gänzlich vermißt wurde, in welchen sogar die Refraktion ganz außer der Einfallsebene vor sich ging. Dieser Gegenstand war aber ihrer Aufmerksamkeit und Untersuchung um so würdiger, da die nähere Kenntniß desselben endlich zu der Entdeckung der allgemeinen Gesetze des Lichtes geführt hat.

Die Phänomene, von denen ich hier spreche, sind die, welche man bei verschiedenen krystallinischen Körpern bemerkt, die aber lange Zeit durch nur bei einem einzigen derselben, nämlich bei dem isländischen Kalk- oder Doppelspath, gefunden wurden. Dieser rhomboedrische Krystall ist gewöhnlich sehr glatt und durchsichtig und oft von beträchtlicher Größe. Wenn man durch ihn auf hellerleuchtete Gegenstände sah, so erschienen dieselben d o p p e l t. Diese Erscheinung wurde schon in der zweiten Hälfte des 17ten Jahrhunderts für so merkwürdig gehalten, daß Erasmus Bartholin, der sie zuerst bemerkt zu haben scheint, eine eigene Schrift darüber herausgab (Experimenta Crystalli Islandici, Copenhag. 1669). Er fand, daß das eine der zwei Bilder durch die g e w ö h n l i c h e, bisher bekannte, das andere aber durch eine andere, u n g e w ö h n l i c h e Refraktion erzeugt werde. Nach seinen Beobachtungen war diese letzte Refraktion für verschiedene Lagen des einfallenden Strahls verschieden, indem sie sich nach den zu den Seiten des Rhomboeders parallelen Linien richtete, und am größten in der Richtung einer Linie war, die zwei gegenüberstehende Winkel des Krystalls halbirte.

Diese Bemerkungen, welche die Stelle der Gesetze dieser ungewöhnlichen Refraktion vertreten sollten, waren an sich richtig. Daß Bartholin aber die eigentlichen Gesetze dieser Refraktion nicht gleich selbst entdeckte, wird uns um so weniger auffallend erscheinen, da sie keineswegs sehr einfach sind, da selbst Newton sie, nachdem sie schon bekannt geworden waren, noch nicht verstehen konnte, und da sie endlich selbst in unsern Tagen nicht eher allgemein angenommen und als wahr anerkannt worden sind, bis Haüy [1]) und Wollaston die Richtigkeit derselben durch

---

1) Haüy (René-Just), geb. 28. Febr. 1743 im Departement de l'Oise. Sein Vater, ein armer Leinweber, ließ ihn in einem Kloster erziehen, von dem er dann durch seine Mutter nach Paris geführt wurde, wo er sich lange Zeit als Chorknabe selbst erhalten mußte. Nachdem er mehrere Jahre Botanik studirt hatte, wurde er durch Daubenton's Vorlesungen für die Mineralogie gewonnen. Als er bei einem zufällig herabgefallenen und zerbrochenen Kalkspath die krystallinischen Formen des Bruches bemerkte, verfolgte er diesen Gegenstand, zerbrach absichtlich viele Stücke seiner Sammlung und wurde auf diesem Wege der Gründer der Krystallographie. Als er im Jahr 1781 aufgefordert wurde, seine Entdeckungen der Akademie in Paris vorzulegen, theilte er dieselben in einer Art von Vorlesung mit, deren Zuhörer Laplace, Lagrange, Fourcroy, Lavoisier u. a. waren. Im Jahr 1783 wurde er von der Akademie als Mitglied aufgenommen, und seine ersten öffentlichen Arbeiten erschienen in den Memoiren dieses Instituts von 1788 und in dem Journal de Physique von 1782—86. Auch an Gegnern konnte es dem friedlichsten der Menschen nicht fehlen. Man behauptete sehr irrig, daß Bergmann in Schweden diese Entdeckungen schon acht Jahre früher gemacht habe, und Romé Delisle, der sich sehr lange mit Krystallen beschäftigt hatte, ohne was Bedeutendes zu finden, zog ihm den Spottnamen Crystalloclast (Krystallzerbrecher) zu, während unser Mann den Weg seiner Entdeckungen ruhig weiter ging. Auch die Revolution konnte ihn in seinem Gange nicht beirren, obschon er einige Zeit durch im Gefängnisse zubringen mußte, weil er den geforderten Priestereid nicht leisten wollte. Die letzten Jahre seines Lebens verlor er durch die Ungunst eines Ministers, der sich blos durch Sparsamkeit empfehlen wollte, seine Pension, und war nahe daran, Mangel zu leiden. Er zog sich in seine kleine Geburtsstadt zurück, wo er schlicht und einfach lebte. Hier begegnete er auf einem seiner Spaziergänge zwei Soldaten, die sich duelliren wollten. Er versöhnte sie nicht ohne Mühe, und um ihrer Aussöhnung gewiß zu sein, begleitete er sie, nach Soldatenart, an den Ort der Freundschaft, in das Weinhaus. — Er starb, 79 Jahre alt, am 3. Junius 1822, seiner Familie nichts, als seinen Ruhm und die Sammlung seiner Krystalle hinterlassend. Seine vorzüglichsten Werke sind: Traité de minéralogie, 4 Vol. in 8.

Experimente von allen Seiten bestätiget hatten. Huyghens allein scheint in jener Zeit den Schlüssel zu diesem Geheimnisse in der Theorie besessen zu haben, die er über die Undulation des Lichts aufgestellt hatte, eine Theorie, die er mit vollkommener Klarheit und Bestimmtheit wenigstens so weit aufstellt, als sie zur richtigen Anwendung auf diese Gegenstände erforderlich sein konnte. Er war daher auch im Stande, die wahren Gesetze dieser Erscheinungen (die wir hier allein zu betrachten haben) mit einer Präcision und mit einer Genauigkeit auszudrücken, die erst dann nach ihrem ganzen Werthe bewundert wurde, als dieser Gegenstand, in einer viel späteren Zeit, die ihm in so vollem Maße gebührende Aufmerksamkeit unter den Physikern erhalten hatte. Huyghens Schrift hierüber [2]) wurde schon im Jahre 1678 verfaßt, aber erst im Jahr 1690 von ihm bekannt gemacht.

Die Gesetze der gewöhnlichen und ungewöhnlichen Brechung in dem isländischen Spath werden in dieser Schrift auf einander bezogen; sie bilden auch in der That unter sich ähnliche Konstruktionen, die sich für den gewöhnlichen Strahl auf eine imaginäre Sphäre, und für den ungewöhnlichen auf ein Sphäroid beziehen, wo die Abplattung des Sphäroids der rhomboedrischen Gestalt des Krystalls entspricht, und wo die große Axe desselben in der sogenannten symmetrischen Axe des Krystalls liegt [3]). Huyghens verfolgte seine allgemeine Konzeption des Gegenstandes durch alle einzelnen Lagen und Bedingungen des einfallenden Strahls, und erhielt so Vorschriften, die er mit seinen Beob-

---

Par. 1821 und 1822; Traité des caractères des pierres précieuses, Par. 1817; Traité de physique, Par. 1804, II Vol.; Théorie de la structure des crystaux, Par. 1784; Tableau des résultats de la crystallographie etc., Par. 1809; Traité de crystallographie, Par. 1822, II Vol., mit einem Atlas. Napoleon, der ihn sehr schätzte, ernannte ihn zum Offizier der Ehrenlegion, zum Professor der Mineralogie in dem Jardin des plantes und zum Kanonikus an der Metropole von Paris. L.

2) Huyghens, Abhandlung über das Licht.

3) M. s. über dieses von Huyghens aufgestellte Gesetz: Baumgartner's Naturlehre, sechste Auflage, Wien 1839, bei Gerold, Seite 325, in welcher Schrift die optischen Theile der Physik von Ettingshausen vorzüglich gut vorgetragen sind, daher wir uns im Folgenden zur näheren Erklärung der manchem Leser vielleicht dunklen Stellen öfter auf sie beziehen werden. L.

achtungen zusammenhielt, wobei er die Schnitte des Krystalls und die Lage des Lichtstrahls auf das mannigfaltigste abzuändern suchte. „Ich untersuchte," sagt er [4]), „die Eigenschaften der ungewöhnlichen Brechung dieses Krystalls umständlich, um zu sehen, ob jede einzelne Erscheinung, die aus meiner darüber aufgestellten Theorie folgt, auch mit den Beobachtungen in der That genau übereinstimmt. Ich fand dieselbe überall bestätigt, und dies wird daher, wie ich hoffe, ein hinlänglicher Beweis von der Richtigkeit meiner Voraussetzung und meiner Prinzipien sein. Ich will aber hier noch eines hinzusetzen, wodurch diese Bestätigung noch auffallender wird. Wenn man nämlich diesen Krystall nach verschiedenen Richtungen schneidet, so erhält man mit allen diesen Schnitten genau dieselben Refraktionen, wie ich sie, schon vor diesen Experimenten, aus meiner Theorie ableiten konnte."

Aeußerungen solcher Art und von einem Manne, wie Huyghens kommend, waren wohl geeignet, großes Vertrauen einzuflößen. Indeß scheint Newton sie nicht geachtet, oder wohl gar gering geschätzt zu haben. Er stellt in seiner „Optik" ein anderes Gesetz für die ungewöhnliche Brechung in dem isländischen Kalkspath auf, das durchaus fehlerhaft ist, ohne auch nur mit einem Worte zu sagen, warum er das von Huyghens aufgestellte Gesetz verwirft, und ohne endlich, wie es scheint, auch nur eine einzige Beobachtung darüber gemacht zu haben.

Die Lehre der doppelten Refraktion von Huyghens wurde sammt seiner Theorie der Undulation, eine lange Zeit durch der Vergessenheit und einer Nichtachtung überlassen, von der wir weiter unten noch näher sprechen werden. — Erst im Jahr 1788, also beinahe ein volles Jahrhundert nach der Bekanntmachung dieser Theorie, zeigte Haüy, daß Huyghens Vorschrift viel besser als die von Newton mit den Beobachtungen übereinstimme, und im Jahr 1802 kam Wollaston, indem er eine von ihm selbst erfundene Methode, die Brechung des Lichts zu messen, auf diesen Fall anwendet, zu demselben Resultat. „Wollaston machte," wie Young erzählt [5]), „eine große Anzahl sehr genauer Beob-

4) M. s. Maseres Optik, S. 250 und Huyghens Abhandlung über das Licht, Kap. V. Art. 43.

5) Quarterly Review. 1809. Nov. S. 338.

„achtungen mit einem von ihm selbst erfundenen sehr zweckmäßi-„gen Apparat, um die Phänomene der doppelten Brechung nach „allen ihren Seiten aufzufassen. Aber er konnte kein allgemeines „Prinzip auffinden, diese Phänomene unter einander zu ver-„knüpfen, bis man ihn endlich auf Huyghens Schrift aufmerk-„sam gemacht hatte.“ — Im Jahr 1808 wurde dieser Gegenstand der Doppelbrechung von dem französischen Institute als Preis-frage vorgelegt. Malus [6]), der den Preis erhielt, drückt sich

---

6) Malus (Etienne Louis), geb. 23. Juni 1775 zu Paris. Von seinem Vater, der Tresorier de France war, erhielt er eine gute, klassische Erziehung, wie er denn noch in seinen letzten Tagen viele große Stellen der Ilias auswendig wußte. Bis zu seinem siebenzehnten Jahre beschäftigte er sich mit der schönen Literatur, und in demselben Jahre gab er sein Trauerspiel: Cato's Tod, heraus. Dann aber wendete er sich ganz der Mathematik zu, und wurde 1793 in der Ecole du génie aufgenommen, aus der er bald darauf als Offizier zur Armee ging. Da er hier den Republikanern verdächtig wurde, verließ er sein Korps, um als Gemeiner in die Nordarmee einzutreten. Hier erkannte sein Chef, Lepere, das mathematische Talent des jungen Mannes, und brachte ihn in das ihm mehr angemessene polytechnische Institut zu Paris, wo er sogleich, in Monge's Abwesenheit, die analytische Geometrie vortrug. Im Jahr 1797 wurde er in Metz Professor der Mathematik an dem Militairinstitut dieser Stadt, wo er Wilhelmine Koch, Tochter des Kanzlers der Universität von Gießen, kennen lernte, die er auch bald darauf heirathete. Im Jahr 1798 zog er unter Bonaparte nach Aegypten, wo er die Schlachten an den Pyramiden, von Heliopolis, und die Belagerung von El-Arisch und Jaffa mitmachte, und selbst an der Pest erkrankte. Als Mitglied des Instituts von Cairo kam er am 14. Okt. 1801, erschöpft von Mühen und Krankheiten, nach Frankreich zurück. Seine letzten Jahre widmete er ganz der Mathematik und besonders der theoretischen Optik, der doppelten Refraktion und der Polarisation des Lichtes, über welche er mehrere vortreffliche Aufsätze in den Pariser Memoiren mittheilte. Er ist der Entdecker der Polarisation des Lichtes durch Reflexion, die für die wissenschaftliche Optik von dem wichtigsten Einfluß geworden ist. Er wurde Mitglied des Instituts von Frankreich, Großkreuz der Ehrenlegion, Direktor des Fortifikations-wesens und Vorsteher der polytechnischen Schule zu Paris. Seine außerordentlichen Leistungen in so kurzer Zeit und mit einem von Krankheiten zerrütteten Körper erregten die allgemeine Bewunderung, führten aber auch sein frühes Ende herbei. Die letzten zwei Jahre seines Lebens arbeitete er beinahe nur im Bette und er starb am 24. Febr.

darüber in seiner Abhandlung auf folgende Weise aus: „Ich „fing damit an, eine lange Reihe von Beobachtungen und Mes„sungen an den natürlichen sowohl, als auch den künstlichen „Seiten jenes Krystalls vorzunehmen. Indem ich aber auf diese „Weise durch meine Beobachtungen die verschiedenen Gesetze „prüfte, welche die Physiker bis auf unsere Tage über diesen „Gegenstand aufgestellt haben, wurde ich ganz ergriffen von der „bewunderungswürdigen Uebereinstimmung der Beobachtungen „mit dem von Huyghens aufgestellten Gesetze, und ich überzeugte „mich sehr bald, daß dies in der That das Gesetz der Natur „ist.“ Er verfolgte den Gegenstand noch weiter, und fand, daß jenes Gesetz selbst denjenigen Erscheinungen, die Huyghens nicht gekannt haben konnte, ebenfalls vollkommen entspreche, und seit dieser Zeit erst hat dieses Gesetz bei den Physikern Eingang gefunden, so wie denn auch bald darauf die Theorie der Undulation, zu welcher jenes Gesetz Gelegenheit gegeben hat, allgemein angenommen worden ist.

Die Eigenschaft der doppelten Brechung wurde zuerst nur an jenem isländischen Spath untersucht, bei welchem sie auch in der That besonders deutlich hervortritt. Doch besitzen noch viele andere Krystalle dieselbe Eigenschaft. Schon Huyghens hat sie auch in Bergkrystall[7]) und Malus noch in vielen andern bemerkt, wie im Arragonit, Baryt, Strontian, Zirkon, Smaragd, Feldspath, Schwefel u. s. f. Es wurden verschiedene meistens mißlungene Versuche gemacht, alle diese Körper unter das Gesetz zu bringen, das man an dem isländischen Spath gefunden hatte. Anfangs nahm Malus an, daß die Lage des ungewöhnlichen Strahls in allen Fällen durch ein abgeplattetes Sphäroid konstruirt werden müsse. Allein Biot zeigte[8]), daß man zwei Klassen dieser Krystalle unterscheiden müsse, für deren eine jenes Sphäroid abgeplattet, für die andere aber verlängert ist, und die er daher in anziehende und abstoßende Krystalle unterschied.

1812. Seine oben erwähnte Gemahlin, die ihn während seiner langen Krankheit mit der größten Hingebung pflegte, wurde von derselben ergriffen und folgte ihm am 18. August 1813. L.

7) Huyghens, Abh. über das Licht. Kap. V. Art. 20.

8) Biot, Traité de Physique. III. 330. Baumgartner's Naturlehre S. 329.

Mit dieser Korrektion konnte das von Huyghens aufgestellte Gesetz schon auf eine sehr beträchtliche Anzahl von Körpern angewendet werden, allein späterhin bemerkte man, daß dieses so erweiterte Gesetz doch nur auf jene Körper anwendbar sei, wo deren Kyrstallisation sich nur auf eine einzige symmetrische Axe beziehen, wie z. B. das Romboeder oder die vierseitige Pyramide. In anderen Fällen, wie z. B. in dem prismatischen Rhombus, muß die Gestalt des Körpers, in Beziehung auf dessen krystallinische Symmetrie, als zweiaxig betrachtet werden, und dann ist das Gesetz der doppelten Brechung viel komplizirter, als für jene ersten, einaxigen Krystalle. In diesem Falle gehen nämlich jene Kugel und jenes Sphäroid, das man, wie gesagt, zur Konstruktion der doppelten Brechung bei einaxigen Krystallen gebraucht, in zwei andere Oberflächen über[9]), die durch zwei auf einander folgende Rotationen einer eigenen krummen Linie entstehen, und hier folgt keiner der zwei Lichtstrahlen, in welche der einfallende Strahl gespalten wird, dem Gesetz der gewöhnlichen Brechung, so wie auch der analytische Ausdruck, der die Lage dieser beiden Strahlen bestimmt, sehr zusammengesetzt ist. Doch kann man auch hier sich sehr leicht von der Uebereinstimmung dieses analytischen Ausdrucks mit den Experimenten überzeugen, wenn man nur, wie Fresnel und Arago gethan haben, diese zweiaxigen Krystalle auf eine angemessene Weise abschleift. Dieser letzte zusammengesetzte Ausdruck wurde aber erst später, und mehr auf dem reinen Wege der Theorie der Undulation gefunden, von der wir erst nachher sprechen können, daher wir hier wieder zu jenen früheren Untersuchungen zurückkehren.

---

9) M. s. Baumgartner's Naturlehre S. 331.

Sechstes Kapitel.

Entdeckung des Polarisationsgesetzes.

Wenn die ungewöhnliche Brechung in dem isländischen Spath schon auffallend erschien, so war dies noch mehr der Fall mit einer anderen Eigenschaft desselben Krystalls, deren große Wichtigkeit man erst in der Folge gehörig anerkannte. Ich meine aber hier jene höchst interessanten Erscheinungen, die später unter dem Namen der Polarisation bezeichnet wurden. Auch von diesen verdankt man Huyghens die erste Entdeckung. Zum Schlusse seiner schon öfter erwähnten Abhandlung [1]) sagte er: „Ehe ich diese Untersuchungen des merkwürdigen Krystalls „verlasse, will ich noch einer anderen wunderbaren Eigenschaft „desselben erwähnen, die ich während meiner Beschäftigung mit „diesen Körpern gefunden habe. Ich habe zwar bisher noch nicht „die Ursache dieser neuen Erscheinung entdecken können, aber ich „will sie demungeachtet bekannt machen, um anderen dadurch „Gelegenheit zu dieser Entdeckung zu geben." Man kann die hier in Rede stehende Erscheinung mit folgenden Worten ausdrücken. Wenn die Hauptschnitte zweier Rhomboeder dieses Spaths einander parallel gelegt werden [2]), so wird der durch den ersten Spath doppelt gebrochene Strahl durch den zweiten nicht mehr getheilt, sondern der gewöhnliche Strahl des ersten Krystalls wird auch, im zweiten auf die gewöhnliche Weise gebrochen, und eben so wird auch der ungewöhnliche Strahl des ersten Krystalls in dem zweiten wieder auf die ungewöhnliche Weise gebrochen, und keiner von jenen beiden Strahlen des ersten Krystalls wird durch den anderen, wie zuvor, in

---

1) Huyghens, über das Licht, S. 252.

2) In jedem Krystalle gibt es im Allgemeinen eine gerade Linie, die meistens die Lage einer Diagonale des krystallinischen Körpers hat, längs welcher ein einfallender Lichtstrahl keine doppelte Brechung erleidet, und diese Linie wird die Axe der doppelten Brechung des Krystalls genannt, und dann heißt jeder ebene Schnitt des Krystalls, der mit dieser Axe parallel ist, der Hauptschnitt des Krystalls. L.

zwei Strahlen gespalten. Wenn aber die Hauptschnitte dieser beiden Krystalle auf einander senkrecht stehen, so tritt ein dem vorigen ganz entgegengesetzter Fall ein: dann wird nämlich der gewöhnliche Strahl des ersten Krystalls in dem zweiten die ungewöhnliche, der ungewöhnliche Strahl des ersten Krystalls aber wird in dem zweiten die gewöhnliche Brechung erleiden, ohne daß übrigens auch hier einer jener beiden Strahlen des ersten Krystalls durch den andern in zwei Strahlen gespalten würde. Sonach wird also, in jeder dieser zwei Hauptrichtungen der Krystalle, der in der ersten doppelt gebrochene Strahl in der zweiten nur einfach, aber in jeder dieser zwei Hauptrichtungen auf eine andere Weise, gebrochen. In jeder andern Richtung dieser beiden Krystalle endlich, das heißt, wenn ihre Hauptschnitte weder parallel noch zu einander senkrecht sind, wird auch jeder der zwei Strahlen des ersten Krystalls in dem zweiten wieder doppelt gebrochen, so daß also dann vier Strahlen aus dem zweiten Krystall austreten, während man früher, in jenen beiden Hauptrichtungen der Krystalle, nur zwei austretende Strahlen hatte. (Mit anderen Worten: Wenn man durch einen solchen Krystall auf einen leuchtenden Gegenstand, z. B. auf einen Stern sieht, so bemerkt man im Allgemeinen zwei Bilder des Sterns, das gewöhnliche und das ungewöhnliche. Betrachtet man denselben Gegenstand durch zwei solcher Krystalle, deren Hauptschnitte parallel oder auf einander senkrecht stehen, so sieht man ebenfalls nur zwei Bilder; in allen andern Lagen der beiden Hauptschnitte aber sieht man vier Bilder, deren Intensität jedoch verschieden ist und bei beiden periodisch wechselt, so zwar, daß für parallele oder senkrechte Hauptschnitte zwei dieser vier Bilder, dem Vorhergehenden gemäß, ganz verschwinden, und daß sie alle vier nur dann eine gleiche Intensität haben, wenn die beiden Hauptschnitte um 45 Grade gegen einander geneigt sind. L.)

Newton machte in der zweiten Ausgabe seiner Optik (1717) einen Versuch, diese Erscheinungen zu erklären. Seine Meinung war[3]), daß die Lichtstrahlen verschiedene „Seiten" haben, und daß sie die gewöhnliche oder ungewöhnliche Refraktion erleiden, je nachdem diese ihre Seiten dem Hauptschnitte des Krystalls

3) M. s. Baumgartner's Naturlehre S. 335. 375.

parallel oder darauf senkrecht sind (Quaest. 26). Bei dieser Ansicht ist es klar, daß diejenigen Strahlen, welche in dem ersten Krystall die ungewöhnliche Brechung leiden, weil ihre Seiten senkrecht auf dem Hauptschnitte stehen, in dem zweiten Krystall alle wieder die ungewöhnliche Brechung haben werden, wenn die Hauptschnitte beider Krystalle zu einander parallel sind, so wie daß sie alle die gewöhnliche Brechung in dem zweiten Krystall erfahren werden, wenn die beiden Hauptschnitte senkrecht zu einander stehen. Diese Darstellung erklärte demnach allerdings mehrere von den Hauptzügen dieser Erscheinung, aber bei vielen anderen ließ sie doch noch Dunkelheit und Zweifel übrig.

Ueberhaupt wurde kein wesentlicher Fortschritt in dieser Sache gemacht, bis sie etwa ein Jahrhundert später, in Verbindung mit andern interessanten Erscheinungen der Doppelbrechung, von dem berühmten Malus[4]) wieder aufgenommen wurde. Er untersuchte und bestätigte zuerst die früheren Beobachtungen von Huyghens und Newton, aber er entdeckte zugleich noch einen ganz andern Weg, dem Lichte jene merkwürdige Modifikation zu ertheilen, nach welcher es bald auf die gewöhnliche, bald auf die ungewöhnliche Weise gebrochen wird. Einen Theil dieser Entdeckung machte er ganz zufällig[5]). Er beobachtete nämlich eines Abends im Jahr 1808 durch einen solchen Kalkspath den Reflex der untergehenden Sonne an den Fensterscheiben des k. Schlosses zu Luxemburg, und fand, daß die beiden Bilder desselben, wenn er den Krystall drehte, abwechselnd an Intensität ab- und zunahmen. Ein vollständiges Verschwinden des einen oder des andern der beiden Bilder bemerkte er aber nicht, weil das von diesen Fenstern reflektirte Licht nicht ganz geeignet dazu war, oder, um mit Malus zu sprechen, weil dieses Licht noch nicht vollständig polarisirt war. Diese vollständige Polarisation (des Lichts durch Reflexion von Glas oder von andern durchsichtigen Körpern) tritt nur, wie er bald darauf fand, bei einem bestimmten Einfallswinkel des Lichts ein, der für jeden Körper ein anderer ist[6]). Auch fand man, daß bei allen Krystallen, die

4) Malus, Théorie de la double refraction, S. 296.

5) Arago in dem Art.: Palarization des Suppl. der Encycl. Brit.

6) Leitet man nämlich einen Lichtstrahl auf einen geschwärzten Glasspiegel unter den Winkel von $54^0\ 35'$ mit dem Einfallsloth, und

eine doppelte Brechung geben, diese Brechung stets von einer Polarisation begleitet ist, indem nämlich die zwei gebrochenen Strahlen, der gewöhnliche und der ungewöhnliche, immer, wie man zu sagen pflegt, entgegengesetzt polarisirt sind, d. h. in Ebenen liegen, die unter rechten Winkeln zu der Polarisationsebene stehen. Auch überzeugte man sich bald, daß die so erzeugte Modifikation des Lichts, oder daß die Natur der Polarisation in allen diesen Fällen dieselbe sei, und daß die oben erwähn-

---

fängt ihn nach seiner Reflexion durch einen solchen Doppelspath auf, dessen Hauptschnitt mit der Spiegelebene parallel ist, so wird dieser Strahl in dem Krystall nur die gewöhnliche Brechung erleiden. Dreht man aber den Krystall, bis der Hauptschnitt auf der Spiegelebene senkrecht steht, so erleidet der reflektirte Strahl nur die ungewöhnliche Brechung. Zwischen diesen beiden Stellungen aber, d. h. wenn der Hauptschnitt des Krystalls mit dem Spiegel einen Winkel zwischen 0° und 90° bildet, wird der reflektirte Strahl in dem Krystalle doppelt oder in zwei Strahlen, den gewöhnlichen und den ungewöhnlichen, gebrochen. Tritt der Strahl unter einem anderen Winkel auf den Spiegel, so wird er nur unvollständig polarisirt, d. h. der reflektirte Strahl wird in dem Krystalle auch in den beiden obigen Fällen, wo er, als ein vollständig polarisirter Strahl, nur eine Brechung erlitt, jetzt noch eine doppelte Brechung leiden, aber eines der beiden Bilder wird im Verhältniß zum andern immer sehr schwach sein. Jener Winkel, unter welchem das Licht einfallen muß, um vollständig polarisirt zu werden, heißt der Polarisationswinkel. Wir werden bald sehen, daß für jeden besonderen Körper die Tangente des Polarisationswinkels dem Brechungsexponenten dieses Körpers gleich ist. Ein solcher (durch Refraktion im Krystall oder durch Reflexion von einem Spiegel unter dem Polarisationswinkel) vollkommen polarisirter Strahl hat nicht blos die eben angeführte Eigenschaft, sich nach Umständen der doppelten Brechung, sondern auch jene, sich der Reflexion und der gewöhnlichen Brechung zu entziehen. Leitet man nämlich z. B. einen durch Reflexion von einem Glasspiegel vollständig polarisirten Strahl wieder auf einen Glasspiegel unter denselben Winkel von 54° 35′, so wird er von diesem zweiten Spiegel ganz reflektirt, wenn die Einfallsebenen in beiden Spiegeln mit einander parallel sind, und ganz durchgelassen (oder, falls das Glas geschwärzt ist, ganz absorbirt), wenn jene zwei Einfallsebenen auf einander senkrecht stehen, in jeder anderen Lage aber, zwischen den beiden erwähnten, wird der Strahl immer zum Theil reflektirt und zum Theil durchgelassen oder absorbirt. — Die Einfallsebene des ersten Spiegels wird gewöhnlich die Polarisationsebene genannt. L.

ten Abwechslungen des gewöhnlichen und ungewöhnlichen Strahls in allen Krystallen, und bei jeder Polarisationsart immer wieder kommen, oder mit einem Worte, daß diese Eigenthümlichkeit des Lichtes, einmal von demselben erworben, von allen äußern Umständen unabhängig, und blos durch die Seiten oder Pole des Strahls bedingt sind, und aus diesem Grunde wurde auch, gegen das Jahr 1811, diese von Malus zuerst eingeführte Benennung „der Polarisation des Lichts" allgemein angenommen [7]).

Bei dieser Lage der Sache entstand die sich gleichsam von selbst darbietende Frage, ob sich diese Eigenschaft dem Lichte nicht auch durch andere Mittel mittheilen lasse, und nach welchen Gesetzen dieses geschehe? — Man fand, daß einige Krystalle, statt durch eine doppelte Brechung zwei einander entgegengesetzt polarisirte Strahlen zu geben, nur ein einziges polarisirtes Bild erzeugen. Diese Eigenschaft wurde bei der Turmalin von Seebeck 1813 und von Biot [8]) 1814 entdeckt, und seitdem wurde dieses Mineral gleichsam vorzugsweise zu den Polarisations-Versuchen (Baumgart. Naturl. S. 339) angewendet. Andere Physiker entdeckten verschiedene andere mit diesen Gegenständen in naher Verbindung stehende Erscheinungen. So fand man bald darauf, daß das Licht auch durch Reflexion, so wie durch Refraktion, von der Oberfläche unkrystallinischer Körper, wie z. B. von Glas, vollkommen polarisirt werden könne, wenn nämlich die Polarisationsebene senkrecht auf der Refraktionsebene

---

7) Baumgartner's Naturlehre, S. 375.

8) Biot (Jean), geb. 21. April 1774 zu Paris, trat zuerst in Artilleriedienste, und ging dann aus Liebe zur Wissenschaft nach Paris zurück, wo er mehrere Jahre die polytechnische Schule besuchte, bis er im Jahr 1800 Professor der Physik am Lycée de France zu Paris wurde. Im Jahr 1806 ging er mit Arago nach Spanien, um die große Meridianmessung Frankreichs auch über jenes Land fortzusetzen. In einer ähnlichen Absicht machte er 1816 eine Reise nach den Orkney-Inseln. Seine beiden elementären Schriften Astronomie physique und Traité analytique des courbes et surfaces du second degré haben viel Beifall gefunden. Sein vorzüglichstes Werk ist sein Traité de physique expérimentale et mathématique, 4 Vol. Paris 1816, deutsch von Wolf 1818, und von Fechner (1829). Die Memoiren der Pariser Akademie enthalten viele Aufsätze von ihm, besonders über die theoretische Optik, in denen er das alte Emissionssystem festzuhalten suchte. L.

steht [9]); ferner daß, wenn ein Theil des Strahls durch Reflexion polarisirt wird, der andere Theil desselben durch Refraktion polarisirt werde, wenn die zwei Polarisationsebenen auf einander senkrecht stehen; und endlich, daß bei der Reflexion sowohl, als auch bei der Refraktion die mit einer einzigen Platte nur unvollständige Polarisation durch eine allmählige Vermehrung der Platten immer vollständiger gemacht werden kann [10]).

Bei dieser Anhäufung von Erscheinungen aller Art drängte sich das Bedürfniß immer mehr auf, die Gesetze, nach welchen sie alle vor sich gehen, zu entdecken. Allein solche Entdeckungen ohne eine wenigstens vorläufige Theorie dieser Phänomene zu besitzen, erforderte keinen gewöhnlichen Scharfblick und die besondere Begünstigung eines glücklichen Zufalls. Einige dieser Gesetze wurden indeß schon damals, wo unsere Kenntniß des

---

9) Die zwei Bilder, die man durch den isländischen Krystall sieht, variiren in ihrer Intensität für die verschiedenen Stellungen des Krystalls, wie bereits oben gesagt worden ist. Wenn aber der einfallende Strahl durch diese Krystalle vollständig polarisirt wird, so verschwindet in diesem Augenblicke immer eines jener zwei Bilder, und diese Verschwindung des einen Strahls hat immer statt für eine gewisse Lage des Hauptschnitts des Krystalls, während er wieder in einer auf dieser Lage senkrechten Ebene seine größte Intensität erhält. Dieses Verschwinden des einen der beiden Strahlen hat auch bei verschiedenen andern brechenden oder reflektirenden optischen Apparaten statt (bei denen gewöhnliches Licht nicht verschwinden würde), aber immer nur in einer bestimmten Lage der Hauptebene dieser Apparate, während im Gegentheile derselbe Strahl am lebhaftesten wird oder die größte Intensität besitzt, wenn jene Hauptebenen in eine gegen ihre frühere Stellung senkrechte Lage gebracht werden. Man sagt dann, daß der Strahl in der Ebene polarisirt ist, in welcher er die größte Intensität seines Lichtes zeigt.

Der Ausdruck Polarisation wurde für diese Modifikation des Lichtes gewählt, weil man sich dabei vorstellte, daß die einzelnen Lichttheilchen Pole hätten, und daß diese Theilchen in ihrem Fortgange beschleunigt oder aufgehalten werden, je nachdem jene Pole derselben sich in der Polarisationsebene, oder in einer darauf senkrechten Ebene befänden.

Wenn man aber auch diese Erklärung jener Eigenschaft des Lichtes jetzt nicht mehr annehmen kann, so bleibt der Ausdruck Polarisation doch immer noch angemessen und richtig, da wir in allen Fällen solche Eigenschaften polar zu nennen pflegen, die für entgegengesetzte Lagen auch entgegengesetzte Resultate geben. L.

10) Baumgartner's Naturlehre, S. 348.

Gegenstandes noch so unvollkommen war, aufgefunden. So kam Malus im Jahr 1811 auf den wichtigen und umfassenden Satz, daß man, so oft man auf irgend eine Weise einen polarisirten Lichtstrahl erhält, immer auch zugleich einen anderen Strahl erzeugt, der mit jenem entgegengesetzt polarisirt ist. Wenn z. B. ein polarisirter Lichtstrahl durch Reflexion erhalten wird, so ist derselbe stets von einem gebrochenen, entgegengesetzt polarisirten Strahl begleitet, längs welchem aber auch zugleich ein Theil von unpolarisirtem Lichte hingeht.

Noch wichtiger war das von Brewster entdeckte Gesetz, durch welches bei jedem Körper der Polarisationswinkel desselben bestimmt wird. Malus hatte früher[11]) behauptet, daß der Polarisationswinkel der durchsichtigen Körper (bei denen nämlich der von diesen Körpern reflektirte Strahl vollständig polarisirt wird) in keinem angebbaren Zusammenhange mit der brechenden oder dispersiven Kraft dieser Körper stehe. Allein dieser Zusammenhang existirte demungeachtet und er kann überdieß auf eine sehr einfache Weise ausgedrückt werden. Im Jahre 1815 fand Brewster[12]) das Gesetz, nach welchem bei jedem Körper dieser Winkel bestimmt wird, nach welchem Gesetze nämlich „der „Refraktionsindex des Körpers zugleich die Tangente seines Po- „larisationswinkels ist.“ Daraus folgt sofort, daß die vollständige Polarisation des Lichtes bei jedem Körper in dem Augenblicke eintritt, wo von dem einfallenden Strahl der reflektirte und der gebrochene Antheil unter rechten Winkeln zu einander stehen. Dieses schöne und einfache Gesetz wurde durch alle nachfolgenden Untersuchungen, besonders durch Biot und Seebeck, vollkommen bestätigt gefunden, und es muß als eine der wichtigsten und glücklichsten Entdeckungen in der Optik betrachtet werden.

Nachdem man so die Erklärung der Polarisation für jede einzelne Reflexion gefunden hatte, suchten nun auch Brewster und Biot versuchsweise für diejenigen Fälle Formeln aufzustellen, wo mehrere auf einander folgende Reflexionen oder Refraktionen eintreten. Auch Fresnel untersuchte im Jahre 1817 und 1818

---

11) Mém. de l'Institut. 1810.

12) Philos. Transact. 1815 und Baumg. Naturl. S. 341.

die Wirkung der Reflexion durch Modifikationen der Polarisationsrichtungen, die Malus im Jahre 1810 nicht ganz genau dargestellt hatte. Allein die Verwicklung dieser Gegenstände machte alle solche Versuche höchst unsicher, so lange die wahre Theorie dieser Erscheinungen nicht bekannt war. — Dieser Periode kommen wir nun immer näher. Die bisher erwähnten Gesetze waren, so interessant und wichtig sie auch an sich erscheinen mögen, doch nur Materialien für jene künftige Theorie, und diese letzte wurde nicht sowohl durch jene Gesetze, als vielmehr durch eine andere, ganz neue Klasse von Erscheinungen gefördert, die wir in den drei nächstfolgenden Kapiteln sogleich näher betrachten wollen.

Siebentes Kapitel.

Farben dünner Plättchen.

Die Farben, welche dünne Plättchen zeigen (Fischschuppen, Glaskugeln, Seifenblasen, dünne Schichten von Flüssigkeiten u. s. f.), haben ihren Grund in der Kleinheit der Dimensionen dieser Körper. Das Licht wird nämlich in diesen Plättchen durch irgend eine ihrer Substanz zukommenden Eigenheit nicht zerlegt oder auf irgend eine Weise in seiner Natur modifizirt, wie bei den vorhergehenden Erscheinungen, sondern es wird durch diese Plättchen blos auf die gewöhnliche Weise gebrochen oder an den beiden Oberflächen derselben zurückgeworfen. In dieser Beziehung haben uns diese Farben sehr wichtige Anzeigen zur nähern Kenntniß der Struktur des Lichtes gegeben, und auch in der That schon sehr früh auf Ansichten geführt, die der Wahrheit sehr nahe kommen.

Hooke scheint der erste gewesen zu sein, der einigen Fortgang in der Entdeckung der Gesetze dieser merkwürdigen Farben gemacht hat. Er beschreibt in seiner „Mikrographie 1664“ auf eine umständliche und systematische Weise verschiedene Erscheinungen dieser Art, die er „phantastische Farben“ nennt. Er beobachtete diese Farben besonders in dem sogenannten Frauenglase (Miroir d'ane), einer Glimmergattung, die man vorzüglich häufig in Sibirien findet, wo es bei den ärmeren Einwohnern statt des Fensterglases gebraucht wird. Dieses Mineral läßt sich leicht in ungemein dünne Platten spalten, die zu jenen Versuchen sehr geeignet sind. Er sah diese Farben auch in den Seifenblasen, in dünnen Scheiben von Harz, Gummi, Glas; in den sehr dünnen Häutchen an der Oberfläche des gehärteten Stahls; zwischen zwei krummen Glasstückchen u. dgl. Er bemerkte dabei sehr richtig [1]), daß jede einzelne Farbe eine bestimmte Dicke dieser Plättchen erfordert, und er bediente sich dieses Umstands als eines der Gründe, die er für seine neue Theorie des Lichtes anführte.

Newton nahm den Gegenstand da auf, wo ihn Hooke gelassen hatte, und verfolgte ihn mit seiner gewohnten Kraft und Klarheit in seinem „Discours on light and colours," den er im Jahre 1675 der k. Akademie zu London mittheilte. Er bestimmte, was Hooke nicht that, die Dicke des Plättchens, die zu jeder besondern Farbe gehört, und er erklärte zugleich auf eine vollständige und bewunderungswürdige Weise die gefärbten Ringe, die entstehen, wenn zwei konvexe Glaslinsen an einander gedrückt werden, so wie auch die Farbenskalen, welche bei diesen Ringen statthaben, ein um so wichtigerer Schritt, da dieselbe Skale auch bei mehreren andern optischen Erscheinungen wieder vorkommt.

Es ist hier nicht unsere Sache, die Hypothese zu würdigen, die Newton seiner Erklärung dieser Phänomene zu Grunde legt, nämlich seine sogenannten „Anwandlungen (fits) des Lichtes zur leichtern Reflexion und Transmission [2])." Wir werden weiter

---

1) Hooke's Micrographia, S. 53.

2) Accessus facilioris reflexionis et transmissionis, wie er es ausdrückte. Vermöge dieser Eigenschaft des Lichtes sollen sich nämlich, nach Newton's Voraussetzung, die Theilchen desselben in periodisch wechselnden Zuständen befinden, mit welchen in gleichem Maße die Disposition desselben zur Reflexion und zur Transmission wechselt. Der Weg, den ein Lichttheilchen durchlauft, bis es die am Anfange dieses Wegs gehabte Anwandlung wieder erlangt, nannte er „Intervall der Anwandlung," und jede Farbe sollte ein ihr eigenthümliches Intervall haben. Er nahm ferner an, dieses Intervall variire bei dem senkrechten Uebergange des Lichts in ein neues Medium, und verhalte sich zu den früheren, wie der Brechungsindex zur Einheit; bei schief einfallenden

unten sehen, daß die von ihm versuchte Induktion unvollständig und daß sein Versuch, das Phänomen zu erklären, ungenügend zu nennen ist. Dieses Mißgriffs in seiner Spekulation über den Gegenstand ungeachtet verdanken wir ihm doch eine nähere Kenntniß desselben. Er zeigte z. B. deutlich, daß wenn die Dicke des Plättchens den 178000sten Theil eines Zolls, oder auch 3, 5, 7mal... so viel beträgt, immer eine helle Farbe sichtbar wird, ein dunkler Ring aber dann statthat, wenn die Dicke des Plättchens zwischen den genannten Größen genau in der Mitte liegt. Er fand weiter, daß die Dicke, welche der rothen Farbe entspricht, sich zu jener der violetten wie 14 zu 9 verhält[3]), und daß die zwischen diesen beiden liegenden Farben auch den zwischenliegenden Dicken der Plättchen entsprechen. Besonders schön und interessant sind seine Versuche mit homogenem (gleichfarbigem)

Strahlen aber hänge dieses Intervall auch noch von dem Einfallswinkel ab, und sei unter übrigens gleichen Umständen um so kleiner, je weiter die Farbe im Spectrum von der rothen entfernt ist. Nach dieser Annahme wird ein Lichttheilchen, das reflektirt wird, wenn es in einem Mittel bis zu der bestimmten Tiefe a gedrungen ist, wieder reflektirt, wenn die Schichte des Mittels die Dicke 3a, 5a, 7a... hat, und im Gegentheile durchgelassen, wenn die Dicke der Schichte 2a, 4a, 6a... ist.

Newton brauchte zu seinen Experimenten vorzüglich eine Glasplatte, auf die er ein wohl centrirtes Konvexglas von großem Krümmungshalbmesser legte. Diese Linse berührt nämlich die ebene Platte nur an einer Stelle, und steht rings um diese Stelle in gleicher Entfernung auch gleichweit von der Platte ab, und dieser Abstand läßt sich überdies mit großer Schärfe bestimmen. Gibt man dann in den Raum zwischen beide Gläser eine Flüssigkeit, z. B. Luft, Wasser, Weingeist, so füllt sie diesen Raum aus, und bildet daher gleichsam konzentrische, an Dicke nach außen wechselnde ringförmige Plättchen, und diese sind es, welche man unter den oben erwähnten Farben erblickt. M. s. Baumgartner's Naturlehre, S. 370. So genau und scharfsinnig aber auch das von Newton bei diesen Versuchen angewandte Verfahren sein mag, so kann es doch durchaus nicht als eine vollständige Erklärung der hier in Rede stehenden Erscheinungen, von den Farben der dünnen Plättchen, überhaupt gelten, und selbst die Erklärung der erwähnten farbigen Ringe muß als mangelhaft erkannt werden, seitdem bewiesen ist, daß das an der oberen Fläche eines solchen ringförmigen Plättchens reflektirte, also noch gar nicht eingedrungene Licht, zur Hervorbringung der Erscheinung eben so wesentlich beitrage, als das eingedrungene. L.

3) Newton's Optik, S. 184.

Lichte, das er auf seinen (in der Note 2 erwähnten) Apparat fallen läßt [4]).

Es wird unnöthig sein, das Detail der hieher gehörenden Erscheinungen umständlich anzuführen. Der wichtige Schritt, den Newton durch seine Untersuchungen machte, bestand in der Bemerkung, daß das Licht, bei diesen Durchgängen und Reflexionen von dünnen Platten, gewisse Modifikationen periodisch durchlaufe, wo der Raum jeder Periode im Allgemeinen nur den zweihunderttausendsten Theil eines Zolls beträgt, und daß endlich diese äußerst geringen Zwischenräume für verschiedene Farben ebenfalls unter sich verschieden sind. Es gelang ihm zwar nicht, die wahren Gesetze, welche diesen periodischen Charakter jener Phänomene bedingen, aus dem Gewirre von Erscheinungen rein herauszufinden, aber schon die von ihm aufgestellte Bemerkung, daß dieser Charakter und unter welchen Verhältnissen er existire, mußte auf die Untersuchungen seiner Nachfolger, und dadurch auf die weitern Fortschritte der Optik selbst, wesentlichen und wohlthätigen Einfluß haben.

Ehe wir aber zu jenen größeren Fortschritten übergehen, müssen wir noch eine Reihe anderer Erscheinungen anführen, die in großen Massen vor dem Beobachter sich anhäuften, und die nur die belebende Berührung der Theorie erwarteten, um sich alle unter ein gemeinschaftliches höchstes Gesetz zu schmiegen, das auf dem blosen Wege der Experimente wohl nicht leicht gefunden werden konnte.

Achtes Kapitel.

Versuche zur Entdeckung anderer Gesetze. Beugung des Lichts.

Die Resultate, welche aus der Combination einzelner, selbst sehr einfacher optischer Erscheinungen hervorgehen, sind meistens sehr verwickelt. Die Theorie, wenn sie einmal gefunden ist,

---

4) M. s. Baumgartner's Naturlehre, S. 371.

kann allein Licht und Klarheit in jenes verworrene Dunkel bringen, aber ohne diesen Schlüssel zu den Geheimnissen ist es oft schwer, wenn nicht unmöglich, Ordnung und Zusammenhang in diesem Chaos zu entdecken. Eine Unternehmung dieser Art würde derjenigen gleich zu achten sein, wenn man, ohne das Gesetz der allgemeinen Schwere zu kennen, alle Bewegungen und Perturbationen des Mondes oder eines Planeten erforschen wollte.

Wir werden hier nur einige dieser Störungen anführen, welche die Optiker lange beschäftigt, und in nicht geringe Verlegenheit gebracht haben.

Hieher gehören zuerst die Farbensäume, von welchen die Schatten der im Lichte stehenden Körper eingefaßt zu werden pflegen [1]) Die farbigen Begrenzungen der Schatten wurden zuerst von Grimaldi [2]) i. J. 1665 entdeckt, und von ihm einer Eigenthümlichkeit des Lichtes zugeschrieben, die er Diffraktion genannt hat. Wenn man in ein verfinstertes Zimmer durch eine kleine Oeffnung Licht eintreten läßt und einen feinen Draht in dieses Licht stellt, so findet man den Schatten dieses Drahts in einer bestimmten Entfernung viel breiter, als er, in Folge der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes, sein sollte, und zugleich sieht man diesen Schatten zu beiden Seiten von farbigen Säumen begrenzt. Im Jahre 1672 theilte Hooke der k. Societät ähnliche Beobachtungen mit, und zwar „als eine neue Eigen„schaft des Lichtes enthaltend, deren bisher noch kein Optiker erwähnt hat," woraus man sieht, daß ihm Grimaldi's Versuche unbekannt gewesen sind. Newton behandelt in seiner Optik denselben Gegenstand, und er schreibt die erwähnte Erscheinung einer Inflexion des Lichtes zu. Er fragt (Quaest. 3): „Werden „die Lichtstrahlen, wenn sie nahe bei den Ecken und Seiten der „Körper vorübergehen, mehrmal vor und rückwärts wie in einer „aalförmigen Bewegung gebogen? Entstehen die drei gefärbten „Säume der Schatten ebenfalls von drei solchen Biegungen des Lichts?" — Es ist merkwürdig, daß Newton nicht bemerkte, daß es auf diesem Wege ganz unmöglich ist, der beobachteten Thatsache zu entsprechen, oder auch nur irgend ein Gesetz dieser Er-

---

1) M. s. Baumgartner's Naturlehre, S. 357 und 390.

2) Physico-Mathesis de lumine, coloribus et Iride, Bologna 1665.

scheinung aufzustellen, weil das jene Säume erzeugende Licht, auch wenn es die Nähe des dunklen Körpers schon verlassen hat, in krummen, und nicht in graden Linien fortgepflanzt wird. Aus diesem Grunde mußten auch alle, die Newton's Inflexion angenommen haben, in unvermeidlichen Irrthum fallen, so oft sie auch versuchten, in diese Erklärung des Phänomens Verstand und Zusammenhang zu bringen. Dies ist z. B. der Fall mit Brougham's Versuch in den Philosophical Transactions von dem Jahre 1796. Dasselbe läßt sich auch von anderen Physikern sagen, wie von Mairan [3]) und Du Four [4]), die zur Erklärung der Erscheinung noch eine Atmosphäre um den dunklen Körper angenommen haben. Andere, wie Maraldi [5]) und Comparetti [6]) haben dieselben Beobachtungen auf verschiedenen Wegen wiederholt oder abgeändert

Newton hat auch gewisse farbige Ringe bei Glasspiegeln bemerkt, die er „Farben dicker Platten" genannt hat. Er suchte sie mit den oben erwähnten Farben der dünnen Plättchen in Zusammenhang zu bringen. Allein seine Argumentation ist auf keine Weise genügend, obschon es später lange Zeit durch eine Art Sitte wurde, diese Farben dicker Platten als einen besonderen Fall anzuführen, in welchem das Licht während seinen oben erwähnten „Anwandlungen" einen viel größeren Raum, als gewöhnlich, durchlaufen sollte. Wieder andere, welche diese Versuche ebenfalls wiederholten, verwechselten sie mit äußeren Erscheinungen von ganz anderer Natur, wie z. B. der Herzog von Chaulnes [7]), der seinen Spiegel mit Musselin bedeckte, und Dr. Herschel [8]), der ihn mit Haarpuder bestreute. Die von jenem Nesseltuche erzeugten Farben gehörten den sogenannten Gitterversuchen an, die später Fraunhofer, von der Theorie geleitet, so vorzüglich durchgeführt hat. Auch die Farben können hier erwähnt werden, die auf feingekerbten Flächen, auf Perlmutter,

3) Mém. de Paris. 1738.
4) Mém. de Paris présentés. Vol. V.
5) Mém. de Paris 1723.
6) Observationes opticae de luce inflexa et coloribus. Padua 1787.
7) Mém. de Paris. 1755.
8) Philos. Transactions. 1807.

auf Federn und ähnlichen Körpern erscheinen. Diese letzten wurden von mehreren Physikern, Boyle, Mazeas, Brougham u. a. beobachtet, aber alle diese Versuche konnten zu jener Zeit nur als isolirte, mit dem Ganzen unzusammenhängende und gesetzlose Erscheinungen betrachtet werden.

Neuntes Kapitel.

Entdeckung der Gesetze der Dipolarisation des Lichts.

Außer den erwähnten Fällen, wo Farben von gemeinem Lichte erzeugt werden, wurden bald darauf noch andere, periodische, aus polarisirtem Lichte entstandene Farben entdeckt, welche die Aufmerksamkeit der Physiker in besonders hohem Grade auf sich zogen. Im August 1811 gab Arago dem französischen Institute seinen Bericht von den Farben, die er beobachtet hatte, indem er polarisirtes Licht durch Glimmerplättchen gehen ließ und dasselbe mit einem Prisma von isländischem Spath analysirte [1]). Es ist merkwürdig, daß das Licht, welches in diesem Falle die Farben erzeugt, ein von den Wolken polarisirtes Licht ist, welche Quelle der Polarisation man bisher noch nicht gekannt hatte. Arago nannte die auf diese Weise erzeugte Modifikation des Lichtes die Depolarisation desselben, ein nicht eben glücklich gewählter Ausdruck, da die Wirkung dieser Modifikation nicht in einer Vernichtung oder Aufhebung der Polarisation, sondern vielmehr in der Kombination eines neuen polarisirenden Einflusses mit dem bereits vorhergegangenen besteht. Man hat daher später das Wort Dipolarisation für diese Erscheinung vorgeschlagen, das auch derselben viel angemessener ist.

---

1) Dieses Prisma von isländischem Spath erzeugt nämlich jene Farben, indem es den durch dasselbe gehenden polarisirten Lichtstrahl nach den oben erwähnten Gesetzen der doppelten Brechung trennt, oder, wie man eben deshalb zu sagen pflegt, indem es den Lichtstrahl analysirt.

Bald darauf entdeckte man noch viele andere ähnliche und merkwürdige Erscheinungen im Quarz, Flintglas u. s. f. [2]). Arago konnte zwar diese Phänomene auf kein allgemeines Gesetz zurückführen, aber er war doch von ihrem großen Werthe vollkommen überzeugt, und er stand nicht an, die Entdeckung derselben unter die eigentlichen Hauptfortschritte der Optik zu zählen. „Die Kenntniß der doppelten Brechung, kann man „sagen, verdanken wir dem Bartholin; Huyghens lehrte uns „die diese doppelte Brechung begleitende Polarisation des Lichtes „kennen; Malus entdeckte die Polarisation des Lichtes durch „Reflexion, und Arago endlich hat die Dipolarisation des Lichtes gefunden.“ — Auch Brewster war um dieselbe Zeit mit ähnlichen Untersuchungen beschäftigt, und machte selbst manche hieher gehörende Entdeckung, ohne die bereits von Arago mitgetheilten zu kennen. Brewster's Treatise on new philosophical Instruments, welche Schrift im Jahr 1813 erschien, enthält viele interessante Versuche über die dipolarisirende Eigenschaft der Mineralien. Diese Beobachter machten vorzüglich auf die Farbenänderungen aufmerksam, die durch eine Aenderung in der Lage des Lichtstrahls hervorgebracht werden, so wie auf diejenigen, die in den zwei entgegengesetzt polarisirten Bildern entstehen. Auch hatte Brewster gefunden, daß im Topas vorzüglich diese Erscheinung eine bestimmte Beziehung auf gewisse Linien habe, die er die neutral dipolarisirenden Axen nannte. Biot machte einen Versuch, diese Erscheinungen auf ein Gesetz zurückzubringen. Aber diese Gesetze traten erst dann ganz deutlich hervor, als Brewster die hieher gehörenden Beobachtungen in einem größern Gesichtskreise anstellte [3]). Er fand, daß die Farben im Topas, unter den hier beschriebenen Verhältnissen, sich in der Gestalt elliptischer Ringe, von einem schwarzen Streifen durchbrochen, darstellen, „die prachtvollste aller dieser Erscheinungen in dem ganzen Gebiete der Optik,“ wie er mit Recht hinzusetzt. Im Jahre 1814 beobachtete auch Wollaston die kreisförmigen Ringe mit dem schwarzen Kreuz, die unter ähnlichen Umständen im Kalkspath entstehen, eine Beobachtung,

---

2) M. s. Baumgartner's Naturlehre, S. 350.

3) Philos. Transact. 1814.

die auch Biot im Jahr 1815 wiederholte. Biot und Brewster maßen die Dimensionen dieser Ringe mit großer Sorgfalt, und entdeckten noch eine Menge ähnlicher interessanter Erscheinungen, zu denen auch Seebeck, der jüngere Herschel u. a. Beiträge lieferten.

Ueber die Priorität dieser Entdeckungen und ihrer Gesetze erhoben sich einige eifersüchtige Zwiste zwischen den beiden Nationen, denen die erwähnten Physiker angehörten. Arago drückt sich darüber, in einem anonymen Schreiben, auf folgende Art aus [4]). „Dr. Brewster sagt in der von ihm herausgegebenen „Bekanntmachung seiner Versuche im Jahr 1813, daß er dieselben „gemacht habe, noch ehe er Arago's Aufsatz darüber gesehen „habe, und selbst ehe einer seiner Landsleute in England irgend „eine Kenntniß von dem erhalten hatte, was man in dieser „Beziehung in Frankreich geleistet hat. (Edinburgh Encyclo„paedia. Art. Optics, S. 587). Für den ersten Theil dieser „Behauptung müssen wir dem Dr. Brewster auf sein Wort „glauben, aber seit ein Auszug von Arago's Schrift in dem „Moniteur vom 30. August 1811 erschienen ist, wird er einige „Schwierigkeit haben, auch die Wahrheit des zweiten Theiles „seines Satzes zu beweisen." — Biot beschwert sich ebenfalls über Brewster's Aufsatz von 1818, der ihm nicht nach den Prinzipien der gegenseitigen Billigkeit verfaßt scheint [5]). Er gibt zu, daß Brewster die Abweichung der Farben von Newton's Skale durch den Einfluß von zwei Axen richtig erklärt, und daß er für die Farbencurven ein Gesetz aufgestellt hat, das zwar nur empirisch ist, aber doch die beobachteten Variationen genau angibt; aber er reklamirt auch mit Recht für sich selbst das Verdienst, die ersten Formeln aufgestellt zu haben, durch welche die scheinbar anomale Aufeinanderfolge der Farben in zweiaxigen Krystallen, namentlich in dem sibirischen Glimmer, bestimmt werden.

Im Jahre 1818 entdeckte Brewster eine allgemeine Relation zwischen der Krystallform und der optischen Eigenschaft der Körper, wodurch dieser Gegenstand erst recht aufgeklärt und

---

4) Suppl. zu der Encycl. Brit. Artikel Polarisation of light.
5) M. s. Mém. de l'Institut. 1818. S. 180. 191. 196.

wesentlich gefördert worden ist. Er fand, daß die in krystallographischem Sinne einaxigen Körper auch in ihren optischen Eigenschaften als einaxig zu betrachten sind, indem sie durchaus nur kreisförmige Farbenringe geben, während im Gegentheile die krystallographisch zweiaxigen Körper ovale und verschlungene Curven mit zwei Polen für ihre isochromatischen Linien geben. Eben so entdeckte er ein Gesetz für die Intensität der Farbe jedes Punktes in allen diesen Fällen. Nach diesem von Biot [6]) vereinfachten Gesetz ist diese Intensität dem Produkte der Entfernung des Punktes von den zwei Polen proportionirt. In dem folgenden Jahre 1819 wurde dieses Gesetz von Herschel noch weiter bestätigt, indem er durch unmittelbare Messungen zeigte, daß die isochromatischen Curven in diesen Fällen die unter dem Namen der Lemniscate bekannte krumme Linie ist, in welcher das Produkt der Distanz jedes ihrer Punkte von den beiden Polen derselben einer konstanten Größe gleich ist [7]). Auch wußte Herschel mehrere andere scheinbare Anomalien in diesen Erscheinungen auf bestimmte Vorschriften zurückzuführen.

Eben so gab Biot eine Regel für die Richtungen der zwei Polarisationsebenen der beiden Strahlen, welche in zweiaxigen Krystallen durch die doppelte Brechung erzeugt werden, die mit den Erscheinungen der Dipolarisation in innigem Zusammenhange steht. Diese Regel sagt, daß die eine Polarisationsebene den Neigungswinkel der zwei Ebenen halbirt, die durch die optische Axe des Krystalls gehen, und daß die andere Polarisationsebene senkrecht auf die eine der beiden letzten Ebenen steht. Als jedoch Fresnel auf rein theoretischem Wege die wahren Gesetze der doppelten Brechung entdeckte, erschien diese Regel als nicht ganz genau, obschon die Abweichung derselben so gering war, daß sie durch blose Beobachtung und ohne Hülfe der Theorie wohl nie gefunden worden wäre [8]).

Auch noch manche andere optischen Erscheinungen zogen die Aufmerksamkeit der Beobachter auf sich, wie z. B. diejenigen, die man bei senkrecht auf ihre Axe geschnittenen Quarzplätt-

---

6) Mém. de l'Instit. 1818.

7) M. s. Philos. Transact. 1819.

8) Fresnel, in den Mém. de l'Institut. 1827. S. 162.

chen bemerkte. Arago hatte im Jahr 1811 bemerkt, daß dieses Mineral eine Drehung der Polarisationsebene von der rechten zur linken Hand hervorbringt, ein Resultat, das man später einer eigenen Modifikation des Lichts zuschrieb, die man cirkuläre Polarisation nannte. Biot [9]) fand im Jahr 1815, daß verschiedene Flüssigkeiten dieselbe sonderbare Eigenschaft besitzen. Herschel wurde durch einen glücklichen Zufall zu der Entdeckung geführt, daß diese besondere Polarisationsart im Quarz mit einer ebenfalls besondern Eigenthümlichkeit der Krystallisation dieses Minerals in Verbindung stehe. Gleich dicke Plättchen desselben bewirken diese Drehung bald nach der rechten, bald nach der linken Seite, und oft schon der blose Anblick der Krystallgestalt läßt auf diese Richtung der Drehung durch die besonders gelagerten trapezförmigen Flächen schließen, die sich neben den Kombinationskanten des Krystalls vorfinden, und die ebenfalls bald von rechts nach links, bald wieder umgekehrt liegen. Herschel fand, daß die erwähnte Drehung der Polarisationsebene nach der einen oder nach der entgegengesetzten Richtung in allen Fällen mit dieser analogen inneren Struktur des Krystalls bei der erwähnten cirkularen Polarisation zusammenhänge [10]).

Man sieht wohl ohne unsere ausdrückliche Erinnerung, daß alle diese herrlichen Erscheinungen nicht vollständig beobachtet und noch weniger auf bestimmte Gesetze zurückgeführt werden konnten, ohne einen vorausgehenden Versuch, diese Phänomene sämmtlich unter die Herrschaft irgend einer wohlbegründeten und umfassenden Theorie zu bringen. Unternehmungen solcher Art, von den Kenntnissen und Erfahrungen, wie wir sie bisher angeführt haben, zu einer allgemeinen Theorie des Lichtes aufzusteigen, wurden oft genug und beinahe in allen Perioden gemacht, welche die Wissenschaft seit ihrer Entstehung durchlaufen hat. Aber erst die letzten Versuche dieser Art, die Versuche unserer eigenen Tage, wurden mit dem gewünschten Erfolge gekrönt.

Wir sind nun bei dem wichtigsten Punkt unserer Geschichte angekommen, bei dem Uebergange der Wissenschaft von den

---

9) Biot, Traité de Physique, IV. 512.

10) Baumgartner's Naturlehre, S. 352. 407.

Gesetzen der äußeren Erscheinungen zu den inneren Ursachen derselben, bei dem Uebergange von der formellen zu der eigentlich physischen Optik.

Die Undulationstheorie des Lichts 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 auch auf ihre Allgemeinheit, ihre Fruchtbarkeit und ihre innere Sicherheit. Mit Recht wird daher auch diese wichtige Lehre ganz mit derselben feierlichen Umständlichkeit abzuhandeln sein, wie dies bisher nur mit jenen bewunderungswürdigen Entdeckungen der Astronomie geschehen ist.

Diesem gemäß wollen wir also auch hier zuerst von der Einleitung, gleichsam von dem Vorspiele, sprechen, welches der eigentlichen Hauptepoche der Optik vorangegangen ist; dann diese Epoche selbst und endlich die Folgen derselben näher betrachten.

Erläuternde Zusätze.

Ehe wir aber zu diesem wichtigsten Theile unserer Geschichte übergehen, wird es vielleicht manchem unserer Leser angemessen erscheinen, zum besseren Verständniß des vorhergehenden sowohl, als auch des nun folgenden Theils dieser Geschichte, die hier in Rede stehenden Gegenstände etwas näher erläutert zu sehen, da sie selbst in ihren Hauptzügen, so viel uns bekannt, noch nicht so weit in unsere größeren deutschen Lesekreise vorgedrungen sind, als der gelehrte Verfasser für seine vaterländischen Leser vorauszusetzen scheint. Wir wollen diese Bemerkungen, nach dem Vorgange des Originals, der bequemeren Uebersicht wegen ebenfalls in Abschnitten mittheilen, deren Aufschriften auf den ersten Blick ihren Inhalt bezeichnen. Weitere Ausführungen durch analytische Ausdrücke, geometrische Figuren u. s. f. zu denen hier kein Raum ist, wird man in den angeführten Stellen von der schon oben erwähnten trefflichen Naturlehre von Baumgartner und von Ettingshausen, II. Aufl. Wien 1839, finden. L.

Erster Abschnitt.

Emanationstheorie.

Nach der Emanationstheorie ist das Licht eine Materie eigener Art, die von den leuchtenden Körpern nach allen Seiten ausgesendet wird. Dabei wird angenommen, daß die Bewegung jedes einzelnen Lichttheilchens im leeren Raume sowohl, als auch in einem gleichartigen Mittel, stets nach geraden Linien vor sich geht, die man Lichtstrahlen nennt. Diese Theilchen des Lichtstoffs sollen wohl den Gesetzen der Trägheit, aber nicht der Kraft der Schwere unterworfen und in Beziehung auf ihr Volum von der äußersten Feinheit sein, weil man sonst nicht, wie man sagt, durch eine sehr kleine Oeffnung eine so große Menge von Gegenständen zugleich übersehen würde, und weil sonst diese Lichttheilchen nicht nach allen Richtungen durch die durchsichtigen Körper ungehindert durchgehen könnten. Noch geringer aber soll die verhältnißmäßige Masse oder die Dichtigkeit dieser Lichttheilchen sein, da man der ungemeinen Geschwindigkeit derselben (42000 deutsche Meilen in jeder Sekunde) ungeachtet in dem Brennpunkte der größten Brennspiegel, wo doch eine außerordentliche Menge von Lichtstrahlen zu gleicher Zeit eintrifft, durchaus nicht wahrnehmen kann, was auf eine merkliche Größe der Bewegung schließen ließe. Wegen dieser großen Geschwindigkeit der Lichttheilchen in Verbindung mit der Fortdauer, welche der Lichteindruck in unserem Auge macht, können übrigens diese einzelnen Lichttheilchen eines Strahls durch sehr große Zwischenräume (von vielleicht Hunderten von Meilen) von einander getrennt sein.

Die Intensität des Lichts ist, in dieser Theorie, die ganz einfache Folge der Anhäufung der Lichttheilchen in einem Punkte. Um die verschiedenen Farben zu erklären, die man in den Sonnenstrahlen, wenn sie z. B. durch ein Glasprisma zerlegt werden, bemerkt, legt man den Lichttheilchen verschiedene Massen und selbst verschiedene Gestalten bei. Zur Erklärung der Polarisation des Lichts setzt man in jedem Lichttheilchen eine gewisse Axe seiner Wirkungen voraus, so daß, durch den Akt der Polarisation, diesen Axen der verschiedenen Lichttheilchen eine übereinstimmende oder wenigstens eine regelmäßig abwechselnde Stellung gegeben werden soll. Die erste dieser Voraussetzung nimmt man für die geradlinige, die zweite aber für die cirkulare und elliptische Polarisation an. Aus diesen Vorstellungen ist auch eigentlich die Benennung „Polarisation“ entstanden, indem man nämlich die Endpunkte der Axen jener Lichttheilchen als die Pole dieser Theilchen betrachtete. Nachdem man die doppelte Brechung der Lichtstrahlen in mehreren Krystallen bemerkt hatte, nahm man zur Erklärung dieser Erscheinung eigene Kräfte an, die aus den optischen Axen dieser Krystalle entspringen sollten; zur Erklärung der Interferenz nahm man wieder seine Zuflucht zu anderen, sehr komplicirten Gesetzen der Attraktion und Repulsion, unter deren Herrschaft die Lichttheilchen stehen sollten; die Erläuterung der periodischen Farben dünner Plättchen gab den Anwandlungen des Lichts zum leichten Durchgang durch die Körper ihren Ursprung, und die Farbenerscheinungen krystallisirter Körper in polarisirtem Lichte oder die sogenannte Dipolarisation des Lichts ließ noch eigene Bewegungen der Lichttheilchen um ihre Mittelpunkte der Massen zu Hülfe rufen, woraus Biot's Hypothese von der sogenannten „beweglichen Polarisation“ entstand. — Mit allen diesen Fiktionen und Annahmen aber wurde das Ziel, die Erklärung der beobachteten Phänomene, doch noch lange nicht vollständig erreicht und das Bedürfniß neuerer Zugaben zu dem ohnehin schon sehr komplicirten Gerüste wurde mit jedem Tage fühlbarer.

Diese Theorie der Emanation oder der Emission wurde in seinen Hauptzügen zuerst von Newton aufgestellt, von seinen zahlreichen Nachfolgern eifrig festgehalten und verfochten, und erst in den neuesten Zeiten von Biot auf den höchsten Grad ihrer Ausbildung gebracht.

Zweiter Abschnitt.

Undulationstheorie.

Die Undulationstheorie postulirt die Existenz eines eigenen, den Weltraum und das Innere der Körper erfüllenden Stoffes, den Aether, der die materielle Grundlage der Erscheinungen des Lichtes ausmacht. Die Theilchen des Aethers wirken, auf einander abstoßend, vielleicht auch zugleich anziehend, und werden durch ähnliche Kräfte auch von den Theilchen der Körper afficirt. Diese Kräfte des Aethers sind, wenn keine Lichterscheinung in ihm vorgeht, im Zustande des stabilen Gleichgewichtes. Bei den selbstleuchtenden Körpern aber befinden sich die kleinsten Theilchen, aus welchen sie bestehen, in vibrirenden Bewegungen, durch welche das Gleichgewicht des angrenzenden Aethers gestört, und derselbe ebenfalls in Vibrationen versetzt wird, die bis zu unserem Auge vordringen und in ihm die Empfindung des Sehens zur Folge haben.

Daß man durch diese Theorie die sämmtlichen bisher bekannten Erscheinungen des Lichtes auf eine eben so einfache als vollständige Weise erklären kann, werden wir weiter unten sehen.

Diese Theorie ist von Descartes, obwohl auf eine nur unbestimmte Weise aufgestellt, von Huyghens in mehreren ihren Hauptzügen begründet, und von Euler in Schutz genommen und weiter ausgeführt worden. In unseren Zeiten erst hat sie durch Young, Fresnel, Airy, Hamilton, Neumann, Cauchy u. a. eine bereits der Vollendung sehr nahe Entwicklung erhalten.

Die Geschichte dieser beiden Hypothesen ist zugleich die Geschichte der gesammten Optik. Die Emanationshypothese wurde von den ersten Männern der Wissenschaft ausgebildet und von ihren Nachfolgern lange Zeit festgehalten, bis sie endlich, in unseren Tagen, der fortschreitenden Erfahrung und Einsicht weichen und als ganz unhaltbar aufgegeben werden mußte, um der anderen Lehre, der Undulationstheorie, die ihr so lange und heftig bestrittene Herrschaft einzuräumen. Diese letzte wurde zur Zeit ihres ersten Auftretens, und selbst noch nahe zwei Jahrhunderte nachher, kaum beachtet und höchstens nur als ein merkwürdiges Beispiel der Verirrungen, denen selbst die hohen Talente eines Huyghens und Euler's ausgesetzt sein können, angeführt. Aber als man einmal ihren Werth zu erkennen und durch Beobachtung und Rechnung ihre Geheimnisse zu entlocken gelernt hatte, entfaltete sie sich selbst und alle ihre Vorzüge so wunderbar schnell, daß sie in wenigen Jahren schon aus ihrer Kindheit sich zur Kraft ihres männlichen Alters erhob, daß sie nun als Muster einer physikalischen Theorie dasteht, und daß sie in der Reihe der Naturwissenschaften eine der höchsten Stellen einnimmt.

Dritter Abschnitt.

Vergleichung des Werthes beider Hypothesen.

Man hat früher der Undulationshypothese den Einwurf gemacht, daß ihr gemäß kein Schatten möglich wäre, da man, so wie ein schallender Körper auch hinter der Wand gehört wird, einen leuchtenden Körper selbst dann noch sehen müßte, wenn sich zwischen dem Auge und ihm undurchsichtige Körper befinden. Allein dieser Einwurf beruht auf einem Mißverständnisse. Wir werden unten (in der Note am Ende des zehnten Kapitels) sehen, daß die Länge der Lichtwellen ganz unvergleichbar kleiner sind, als die Schallwellen. Daraus aber folgt, daß die Fortpflanzung der Lichtwellen, auch wenn sie durch sehr kleine Oeffnungen z. B. eines Schirms gehen, doch nur in geradliniger Richtung geschieht, während die viel größeren Schallwellen durch die Wände einer solchen Oeffnung nach allen Richtungen zerstreut werden. — Ein anderer Einwurf, der dem Undulationssystem gemacht worden ist, wurde aus dem Widerstande genommen, welchen der Aether den Bewegungen der Planeten entgegen setzen mußte, während doch die Beobachtungen keine Wirkung dieses Widerstandes bisher gezeigt haben. Allein man braucht nur die Dichtigkeit dieses Mediums für uns ganz unmerklich anzunehmen, um auch die Unmerklichkeit jenes Widerstandes für unsere Sinne erklärlich zu machen. Uebrigens hat Encke an dem nach ihm benannten Kometen in der That eine Acceleration seiner mittleren Bewegung bemerkt, die er, nicht ohne große Wahrscheinlichkeit, der Wirkung eines solchen Mittels zuschreibt, eine Wirkung, die für die viel dichteren Planeten uns vielleicht für immer unmerklich bleiben wird. Muß doch auch, nach der Emanationshypothese, der Weltraum in allen seinen Theilen mit materiellem Lichtstoff ausgefüllt sein, der von der Sonne und von dem unermeßlichen Heere der Fixsterne ausströmen soll. Wollte man auch die Distanz von je zwei nächsten Lichttheilchen eines Sonnenstrahls zu mehreren tausend Meilen annehmen, so muß doch der dabei entstehende Zwischenraum wieder von dem Lichte anderer Himmelskörper, deren so viele Millionen auf einmal Licht aussenden, erfüllt werden. Auch mußte sich dieser Lichtstoff mit der Zeit immer mehr anhäufen, denn wenn auch derselbe von den Körpern des Himmels wieder zum Theil absorbirt werden sollte, so wird man doch nicht annehmen wollen, daß sie daran unersättlich sind; sie werden daher, wenn sie einmal gesättigt sind, das aufgenommene Licht wieder frei lassen müssen, wodurch die frühere Schwierigkeit wieder eintritt. — Die chemischen Wirkungen endlich, welche viele mit der Vibrationshypothese unvereinbar finden, und von welchen am Ende des zehnten Kapitels dieser Geschichte gesprochen werden wird, lassen sich aus dieser Hypothese noch viel besser, als aus der Emission des Lichtes, erklären. Arago hat die Entdeckung gemacht, daß bei Chlorsilber, auf welches ein Interferenzspectrum fällt, an den Stellen, wo dunkle Linien liegen, auch keine Schwärzung eintritt. Dies ist ganz der Undulationstheorie gemäß, da dort, wo keine Bewegung, mithin auch kein Licht vorhanden ist, auch jene Wirkung des Lichtes, die Schwärzung, nicht eintreten kann. Nach der Emanationslehre aber kommen an diese dunkle Stellen doch Lichttheilchen zusammen, die ihre chemische Wirkung um so weniger verfehlen sollten, je mehr derselben vorhanden sind. Diese Einwürfe suchen die Anhänger der Emanation durch die Annahme einer chemischen Verwandtschaft des Lichtes zu gewissen Körpern zu erklären, das heißt, durch eine neue Hypothese, die wohl mit den oben erwähnten Anwandlungen des Lichtes in eine Klasse gehören mag. So lange man es in der Optik blos mit den gewöhnlichen Erscheinungen der Refraktion und der Reflexion des Lichtes zu thun hatte, bot die Emissionstheorie immer noch hinlängliche Mittel zur Erklärung dar, obschon auch hier die zu Hülfe gerufenen hypothetischen Kräfte, die nur in den kleinsten Abständen von den Körpern, und zwar, nach dem jedesmaligen Bedürfnisse, bald anziehend und bald auch wieder abstoßend wirken sollten, nur willkührlich und problematisch erscheinen konnten. Sie mußten aber sofort als ungenügend und ganz unzulässig erkannt werden, als man sie auf die Phänomene der Beugung und der Interferenz des Lichtes anwenden wollte, die sich durch solche Hülfsmittel durchaus nicht erklären lassen, wie wir weiter unten (Kap. **XI.** Absch. 3, Note 2) näher zu zeigen Gelegenheit finden werden.

Vierter Abschnitt.

Nähere Erklärung der Vibrationen des Aethers.

Man hat anfangs geglaubt, daß sich die Fortpflanzung des Lichtes in durchsichtigen Körpern nach den Gesetzen und Gleichungen richten müsse, welche die Mechanik für die Fortpflanzung einer Erschütterung in Wasser oder in der Luft gegeben hat. Allein man erkannte in der neuesten Zeit, daß die erwähnten Gleichungen auf Voraussetzungen beruhen, die ganz wegfallen, wenn man den Aether lediglich als ein System materieller Theilchen ansieht, welche auf einander durch anziehende und abstoßende Kräfte wirken, und daß die Fortpflanzung einer Erschütterung, mit welcher nur geringe Aenderungen in den relativen Positionen der Theilchen eines Mittels verbunden sind, sich nach denselben Gesetzen richtet, das Mittel mag die feste oder die flüssige Aggregationsform haben. Die analytische Untersuchung dieses Gegenstandes lehrt, daß in einem Inbegriffe von materiellen Theilchen, die durch Molekularkräfte zusammengehalten werden, sich nur gewisse Bewegungsweisen fortpflanzen, und daß im Allgemeinen jede einzelne dieser Bewegungsformen, so lange die Beschaffenheit des Mittels keine Aenderung erfährt, mit einer eigenen Geschwindigkeit gleichförmig fortschreitet. Diese Geschwindigkeit hat entweder nach allen Richtungen einerlei Größe, wie bei dem freien Aether oder auch bei dem im Inneren der unkrystallinischen Körper eingeschlossenen Aether; oder sie hängt von der jedesmaligen Richtung ihrer Bewegung ab, wie bei dem von den meisten Krystallen enthaltenen Aether. In jenem Falle hat das Mittel nach allen Richtungen dieselbe, in diesem aber eine von ihren Richtungen abhängige, verschiedene Elasticität. Zieht man von dem Punkte des Mittels, in welchem die ursprüngliche Erschütterung des Aethers vor sich gegangen ist, nach allen Richtungen gerade Linien, so liegen die Punkte dieser Linien, in welchen die Erschütterung des Mittels in demselben Augenblicke anlangt, in einer krummen Fläche, welche die Wellenfläche genannt wird. Diese breitet sich fortwährend aus, sich selbst stets ähnlich bleibend.

Die Schwingungen, denen ein Aethertheilchen ausgesetzt ist, können in zwei Klassen getheilt werden. Sie sind nämlich longitudinal, wenn die Schwingungen der Theilchen längs der

Richtungen vor sich gehen, in welcher sich die ganze Welle fortpflanzt, oder sie sind transversal, wenn sie in einer auf der Fortpflanzungsrichtung der Welle senkrechten Ebene liegen, und in dieser Ebene beliebige Bahnen beschreiben. Jene bestehen in abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen des Aethers, während diese mit keiner merklichen Aenderung dieser Dichte verbunden sind. Die transversalen Schwingungen reichen hin, alle bisher bekannten optischen Erscheinungen zu erklären; die longitudinalen aber sind entweder in vielen Fällen gar nicht vorhanden, oder sie sind wenigstens mit keiner sichtbaren Wirkung des Lichtes verbunden.

Vorzüglich ist bei der Untersuchung dieser Bewegungen die Zusammensetzung und Zerlegung der Schwingungen der Aethertheilchen zu beachten. Aus der Form der Grundgleichungen ergibt sich nämlich die Folgerung, daß wenn zwei oder mehrere Bewegungsarten bis zu einem Aethertheilchen fortgepflanzt werden, dieses gerade diejenige Bewegung annimmt, welche aus der Zusammensetzung der einzelnen Bewegungen hervorgeht, so wie umgekehrt, jede Schwingungsweise eines solchen Theilchens als das Resultat des Zusammenbestehens von allen denjenigen betrachtet werden kann, in welche die Bewegung des Theilchens zerlegbar ist, und die, einzeln genommen, in dem Aether hätten fortgepflanzt werden können [11]). Dadurch reduziren sich die ohne diesen Umstand

---

11) Man denke sich, um dieses deutlicher darzustellen, eine gerade Linie AB, die in dem Punkte C in zwei gleiche Theile getheilt ist. Man beschreibe mit dem der Hälfte dieser Linie gleichen Durchmesser einen Halbkreis unter AC und einen andern über CB; nehme von dem Punkte C zu beiden Seiten auf der Linie AB die gleichen Distanzen CP in der Richtung von C gegen B, und Cp in der Richtung von C gegen A, und errichte endlich in diesen beiden Punkten P und p auf die Linie AB Lothe, welche die Peripherie der erwähnten Halbkreise in den Punkten M und m schneiden

Dies vorausgesetzt soll nun, während sich die ganze Aetherwelle in der Richtung der verlängerten geraden Linie AB von A gegen B fortpflanzt, das Aethertheilchen entweder in der Richtung derselben Geraden AB, oder in der Richtung der krummen Linie AmCMB von dem Punkte A bis zu dem Punkte B vor- und rückwärts bewegen, so wird es in dem ersten Falle longitudinale, und in dem zweiten transversale Schwingungen um den Ruhe- oder Gleichgewichtspunkt äußerst verwickelten, analytischen Untersuchungen auf die Betrachtung dieser einfachen Vibrationen, ganz auf dieselbe Weise, wie

---

C machen. Wenn es z. B. nach seinem Ausgange von dem Punkte C, in der Richtung von C nach B, in dem Punkte P oder M ankömmt, so wird es hier durch die Einwirkung der benachbarten Theilchen eine gewisse Verzögerung erfahren, die um so größer sein wird, je weiter der Punkt P oder M von dem Gleichgewichtspunke C absteht, und wenn das Theilchen endlich in B ankömmt, wird es seine frühere von A nach B gerichtete Geschwindigkeit, durch jene Einwirkung der ihm entgegenstehenden Aethertheilchen, gänzlich verloren haben. In diesem Augenblicke wird es aber auch durch dieselbe Kraft wieder gegen C zurückgetrieben, und seine rückgängige Bewegung wird immer mehr beschleunigt werden, bis es wieder in dem Punkte C ankommt, wo seine Geschwindigkeit am größten, die auf die wirkende beschleunigende Kraft der andern Theilchen aber gleich Null ist. Zufolge seiner Trägheit setzt nun das Theilchen seine Bewegung durch Cp oder durch Cm gegen den Punkt A hin fort, und zwar mit einer verzögerten Geschwindigkeit bis endlich das Theilchen in A seine Geschwindigkeit ganz verloren hat, und so dann wieder von A gegen C hin wieder eine nach demselben Gesetze, wie bei dem Gange von B gegen C, beschleunigte Bewegung annimmt. — Da $CP = Cp$ oder $CM = Cm$ ist, so hat das Aethertheilchen in den Punkten P und p, oder in den Punkten M und m stets dieselbe Geschwindigkeit, nur ist die Richtung derselben entgegengesetzt, wenn das Theilchen auf seinem Wege von A nach B, oder rückwärts von B nach A begriffen ist. Man nennt den Punkt P oder M, in welchem das Theilchen sich zu einem gegebenen Augenblick in seiner Bahn befindet, die Phase der Schwingung. Wenn das Theilchen auf seinem Rückgang durch BA in dem Punkte P dieselbe Geschwindigkeit aber in entgegengesetzter Richtung von der hat, die es auf seinem Hingange durch AB in dem Punkte p hatte, so sagt man, das Theilchen sei in den Punkten P und p in entgegengesetzten Phasen. Die Zeit, die das Theilchen braucht, um durch die ganze Wellenlänge AB, von A nach B oder von B nach A, zu kommen, heißt die Schwingungsdauer, und der größte Abstand CA oder CB des Theilchens von seiner Gleichgewichtslage wird die Schwingungsweite oder die Amplitude der Schwingung genannt. Ist λ die Wellenlänge, ϑ die Schwingungsdauer und v die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes in der Richtung des Lichtstrahls, so besteht zwischen diesen Größen immer die Gleichung $\lambda = v . \vartheta$.

Nennen wir nun $x = CP$ den Abstand eines Aethertheilchens von seiner Gleichgewichtslage am Ende der Zeit t, ferner a die Amplitude sich in der Mechanik die Bewegungen in krummen Linien auf zwei oder auf drei einfache geradlinige Bewegungen zurückführen lassen.

---

und ϑ die Schwingungsdauer, so hat man zwischen diesen Größen die einfache Gleichung

$$x = a \operatorname{Sin} (mt + b)$$

für die geradlinige Schwingung des Aethertheilchens, wo der Kürze wegen $m = \frac{2\pi}{\vartheta}$ gesetzt wurde, und wo π die bekannte Ludolph'sche Zahl, und b die sogenannte Epoche oder den Werth des Winkels $(mt + b)$ für $t = o$ bezeichnet. Eben so erhält man auch, wenn man die vorhergehende Gleichung differentiirt, für die Geschwindigkeit y des Aethertheilchens in jedem Punkte seiner Bahn.

$$y = am \operatorname{Cos} (mt + b).$$

Nehmen wir nun für eine andere Vibration, welcher dieselbe Schwingungsdauer, aber eine andere Amplitude a' und Epoche b' zukömmt, die analoge Gleichung

$$x' = a' \operatorname{Sin} (mt + b')$$

und nimmt man an, daß ein Aethertheilchen diesen beiden Schwingungen zugleich unterliege, so wird man für die Summe $x + x'$ derselben, wie man leicht sieht, wieder einen Ausdruck

$$x + x' \text{ oder } X = A \operatorname{Sin} (mt + B)$$

erhalten, wenn man nur die beiden Größen A und B so annimmt, daß sie den beiden Gleichungen

$$A \operatorname{Sin} B = a \operatorname{Sin} b + a' \operatorname{Sin} b'$$
$$A \operatorname{Cos} B = a \operatorname{Cos} b + a' \operatorname{Cos} b'$$

entsprechen, aus welchen man sofort folgende Werthe von A und B ableiten kann.

$$A^2 = a^2 + a'^2 + 2aa' \operatorname{Cos} (b - b')$$
$$\operatorname{tang} B = \frac{a \operatorname{Sin} b + a' \operatorname{Sin} b'}{a \operatorname{Cos} b + a' \operatorname{Cos} b'}.$$

Man sieht daraus, daß die Amplitude A der neuen, aus jenen beiden zusammengesetzten Schwingungen durch die Diagonale des Parallelograms, dessen Seiten a und a' sind, vorgestellt werden kann, wenn man die Winkel, welche die Seiten a, a' und A mit einer willkührlichen geraden Linie bilden, in derselben Ordnung durch b, b' und B bezeichnet.

Nach dem Vorhergehenden ist also die Fortpflanzungsrichtung der schwingenden Bewegung des Aethers gleichbedeu-

---

Nimmt man für einen besondern Fall die Amplituden a und a' der beiden ersten Vibrationen unter sich gleich an, so gehen die zwei letzten Gleichungen in die folgenden einfachern über

$$A = 2a \operatorname{Cos} \tfrac{1}{2} (b - b')$$
$$B = \tfrac{1}{2} (b + b')$$

Ist daher für die natürlichen Zahlen $n = 0 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3 \ldots$ die Differenz $b' - b$ der beiden Epochen ein ungerades Vielfache von π oder ist

$$b' = b - (2n + 1) \pi$$

so erhält man $A = 0$, oder in allen diesen Fällen hat keine Bewegung statt, und die beiden primitiven Vibrationen zerstören sich gegenseitig, worauf die Interferenz des Lichtes gegründet ist. Daß ähnliche Zusammensetzungen auch für die zweite der oben angeführten Gleichungen gelten, durch welche die Geschwindigkeit y des Aethertheilchens ausgedrückt wird, und daß das hier gezeigte Verfahren auch auf mehr als zwei Vibrationen fortgesetzt werden kann, ist für sich klar. M. s. Gehler's phys. Wörterbuch, zweite Aufl. Artikel: Undulation.

Einfacher werden diese Ausdrücke, wenn man die beiden Epochen b und b', also auch B gleich Null setzt. Man hat dann, wenn man die Phasenzeiten t und t' verschieden setzt,

$$x = a \operatorname{Sin} mt \quad \text{und} \quad x' = a' \operatorname{Sin} mt'.$$

Nimmt man die Amplituden a und a' dieser beiden Vibrationen gleich groß, so hat man, wie zuvor, für die Amplitude A der aus ihnen zusammengesetzten Vibration

$$A^2 = a^2 (\operatorname{Sin}^2 mt + \operatorname{Sin}^2 mt^1).$$

Setzt man aber $t' = t + \frac{1}{4} \vartheta$, so ist $\operatorname{Sin} mt'$ gleich $\operatorname{Sin} \frac{2\pi}{\vartheta} (t + \frac{1}{4}\vartheta)$ oder gleich $\operatorname{Cos} mt$, und daher

$$A = a$$

oder A ist für diesen Fall eine konstante Größe. Ist also ein Aethertheilchen gleichzeitig zwei geradlinigen Schwingungen von derselben Dauer und Amplitude unterworfen, deren Phasenzeiten aber um ein Viertel der Schwingungsdauer verschieden sind, und deren Richtungen einen rechten Winkel bilden, so ist die resultirende Schwingung eine kreisförmige, oder die Schwingungen des Theilchens gehen in der Peripherie eines Kreises vor sich, dessen Halbmesser die gemeinschaftliche tend mit dem, was man früher einen Lichtstrahl genannt hat. Die Intensität des Lichts aber setzt man, den Erfahrungen gemäß, dem Quadrate der Amplitude proportional. Homogenes Licht wird in der Undulationstheorie dasjenige genannt, das durch einfache Schwingungen hervorgebracht wird. Die Farbe des Lichts aber hängt von der Schwingungsdauer ab, und die Aetherschwingungen, in welchen das Licht besteht, sind alle transversal, d. h. senkrecht gegen die Richtungen der Strahlen. Gemeines (unpolarisirtes) Licht endlich ist jenes, bei dessen Fortpflanzung die Aethertheilchen ganz unregelmäßige, nicht mit einander übereinstimmende Bahnen beschreiben. Es kann als eine rasche Aufeinanderfolge von Zusammensetzungen geradliniger Schwingungen, die in allen möglichen Richtungen statthaben, angesehen werden. Aus dem Vorhergehenden folgt, daß solches gemeines Licht nur im freien Aether oder in unkrystallinischen Medien fortgepflanzt werden kann, während die meisten Krystalle nur polarisirtes Licht fortzupflanzen vermögen, also auch unpolarisirtes in sie eindringendes Licht in polarisirte Strahlen zerlegen. L.

Amplitude a ist. Beträgt der Unterschied der beiden Componenten mehr oder weniger als ein Viertel der Schwingungsdauer, oder sind die Amplituden derselben ungleich, so entsteht eine elliptische Schwingung. (Baumg. Naturl. S. 387). L.

Physische Optik

Zehntes Kapitel.

Einleitung zur Epoche von Young und Frenel.

Durch den Ausdruck „physische Optik“ verstehen wir, wie bereits gesagt, die Theorie, welche die optischen Erscheinungen auf mechanische Prinzipien zurückführt. Eine solche Erklärung dieser Phänomene konnte, wie es in der Natur der Sache liegt, nicht gegeben werden, so lange die wahren Prinzipien der Mechanik selbst noch nicht vollständig bekannt waren, so daß also die ersten Versuche, eine physische Optik zu erhalten, erst mit Descartes, dem eigentlichen Begründer der neueren wissenschaftlichen Mechanik beginnen.

Die Hypothese, die Descartes seiner Lehre vom Lichte zu Grunde legte, ließ dasselbe aus sehr kleinen Elementen bestehen, die von den leuchtenden Körpern ausgesendet werden sollen. Er gibt diesen Elementen die Gestalt von kleinen Kugeln, und sucht daraus unmittelbar die Gesetze der Reflexion in der Brechung des Lichtes abzuleiten [1]). Um aber auch zugleich die Farben, die man bei der Brechung des Lichtes erblickt, zu erklären, gibt er seinen kleinen Kugeln eine alternirende drehende Bewegung [2]). — Diese erste Form der sogenannten Emissionstheorie war, wie die meisten physischen Spekulationen dieses Autors, übereilt und willkürlich, aber sie verbreitete sich gleich den übrigen Cartesianischen Doktrinen, sehr schnell, in Folge der Anhänglichkeit, wie es scheint, welche die Menschen für alle

1) Descartes, Dioptrica. Cap. II. 4.
2) Descartes, Meteor. Cap. VIII. 6.

Dogmen, die leichtverständlich und prunkend zugleich sind, zu haben pflegen.

Bald darauf erschien jedoch auch die Nebenbuhlerin dieser Lehre, die Undulationstheorie. Hooke erwähnte ihrer zuerst in seiner Mikrographie (i. J. 1664) bei Gelegenheit seiner schon oben angeführten Farben der dünnen Plättchen. Er sagt in dieser Schrift [3]), daß das Licht „in einer schnellen und kurzen vibrirenden Bewegung“ bestehe, und daß es in einem homogenen Medium fortgepflanzt werde, „indem jede Pulsation oder Vibra„tion des leuchtenden Körpers in diesem Medium eine sphärische „Oberfläche erzeuge, die immer wächst und größer wird, ganz „auf dieselbe Weise (obschon ungleich schneller) wie die ringför„migen Wellen auf der Oberfläche des Wassers immer größere „Kreise um einen Punkt in ihrem Innern beschreiben [4]). Er sucht dies auch auf eine Erklärung der Refraktion anzuwenden, indem er annimmt, daß die Strahlen in einem dichtern Mittel sich leichter bewegen, und daß dadurch jene Pulsschläge des Mediums eine schiefe Richtung erhalten. Diese Erklärung ist, wie man sieht, lange nicht so befriedigend und in sich selbst begründet, als die, welche fünfzehn Jahre später Huyghens auf dieselbe Hypothese der Undulation gebaut hat. Indeß hat Hooke das Verdienst, daß er mit seiner Lehre auch das Prinzip der Interferenz, obschon auf eine etwas verworrene Weise, verbunden hat, in der Anwendung nämlich, die er von seiner Hypothese auf die Erklärung der Farben dünner Platten gemacht hat. Er nimmt nämlich an [5]), daß das Licht von diesen Platten auf ihrer obersten Fläche reflektirt wird, und „daß durch zwei „Brechungen und durch eine Reflexion von der unteren Fläche „dieser Platten gewissermaßen ein schwächerer Strahl fortgepflanzt „wird, der hinter jenem ersten, von der obern Fläche reflektirten, „hergeht. Da nun, fährt er fort, die beiden Flächen des Plätt„chens einander so nahe stehen, daß das Auge sie nicht mehr „von einander unterscheiden kann, so bringt dieser zusammen„gesetzte oder verdoppelte Pulsschlag des Mediums auf unserer

---

3) Hooke, Micrographie, S. 56.

4) Micrographie, S. 57.

5) Microgr. S. 66.

„Retina die Sensation der gelben Farbe hervor." — Sein Grund der Entstehung von dieser besondern Farbe unter diesen Umständen hängt mit seinen Ansichten über die Pulse zusammen, die jeder einzelnen Farbe angehören sollen. Denn eben so findet er auch, aus denselben Gründen, daß, wenn die Dicke des Plättchens eine andere ist, die rothe oder die grüne Farbe zum Vorschein komme. Immerhin ist dies eine sehr merkwürdige Anticipation von der in unseren Tagen als wahr erkannten Erklärung jener Farben, und man darf ohne Anstand hinzusetzen, daß Hooke, wenn er nur die Dicke dieser Plättchen hätte mit Genauigkeit messen können, die wahre Lehre von der Interferenz des Lichtes wesentlich gefördert haben würde.

Allein der Mann, der allgemein und mit Recht als der eigentliche Urheber der Undulationstheorie angesehen wird, ist H u y g h e n s. Sein Traité de la lumière, der die Entwicklung dieser seiner Theorie enthält, wurde schon in dem Jahre 1678 verfaßt, aber erst 1690 öffentlich bekannt gemacht. In diesem Werke stellt er, wie Hooke gethan hat, den Satz auf, daß das Licht in Undulationen bestehe, und sich, nahe wie der Schall in der Luft, sphärisch ausbreite. Er bezieht sich dabei auf die Beobachtungen der Jupiterssatelliten von Römer, um dadurch zu zeigen sowohl, daß diese Ausbreitung eine gewisse Zeit erfordere, als auch, daß sie mit einer ungemein großen Schnelligkeit vor sich gehe. Um dem Leser die Wirkung einer solchen Undulation zu erläutern, nimmt er an, daß jeder Punkt einer Lichtwelle seine Bewegung nach allen Richtungen ausbreite. Er zieht daraus den Schluß (der so lange Zeit als der eigentliche Angelpunkt in dem Kampfe zwischen diesen beiden Theorien betrachtet wurde), daß das Licht, wenn es durch eine Oeffnung geht, sich nicht außer dem geradlinigen Raum verbreite, „denn," sagt er [6]), „obschon die p a r t i a l e n Wellen, die von den einzel„nen Punkten der Oeffnung kommen, sich außer dem geradlinigen „Raum (oder nach allen Richtungen) verbreiten, so können doch „diese Wellen nirgends als in der Fronte der Oeffnung z u s a m„m e n k o m m e n oder sich begegnen." Mit Recht sieht er selbst diese Bemerkung als äußerst wichtig an. „Dies war, „fährt er

6) Huyghens, Traité de la Lum. S. 209.

fort, „denen unbekannt, welche die Wellen des Lichts zuerst be„trachtet haben, wie Hooke in seiner Mikrographie, und Par„dies [7]). Der letzte suchte in einer Schrift, von welcher er nur „einen Theil verfaßt, die er aber nicht ganz vollendet hat, durch „diese Wellen die Wirkung der Brechung und der Reflexion des „Lichts zu beweisen. Allein die Hauptsache, die eben in der so „eben gemachten Bemerkung besteht, fehlte ganz und gar in seinen Beweisen.“

Mit Hülfe dieser seiner Ansicht des Gegenstandes war Huyghens in den Stand gesetzt, von den Gesetzen der Refraktion und Reflexion des Lichtes eine richtige und vollkommen genügende Erklärung zu geben, so wie er auch seine Theorie auf die doppelte Refraktion des isländischen Krystalls, nach dem bereits oben Erwähnten, mit großem Scharfsinn und mit dem glücklichsten Erfolge angewendet hat. Er nahm an, daß sich in diesem Krystall, außer den sphärischen Wellen, auch noch andere von einer sphäroidischen Gestalt befinden, so daß die beiden Axen des Sphäroids symmetrisch zu den Seiten des Rhomboeders liegen. Er fand [8]), daß die Lage des gebrochenen Strahls, wie er durch

---

7) Pardies (Ign. Gaston), geb. 1636 zu Pau, trat in den Jesuitenorden, und beschäftigte sich vorzüglich mit Mathematik und Philosophie. Als ein heimlicher Anhänger des Descartes mußte er manche Kämpfe mit den damals noch herrschenden Aristotelikern bestehen. Als Professor der Mathematik am Collegium Louis-le-Grand zu Paris erntete er großen Beifall. Unter seinen vielen gelehrten Freunden und Korrespondenten zählte er auch Newton, der viel auf ihn zu halten schien. Seine vorzüglichsten Schriften sind: Horologium thaumanticum duplex, Par. 1662, oder Anleitung, alle Arten Sonnenuhren selbst auf krummen Flächen zu verzeichnen. Dissertatio de motu et natura cometarum. Bordeaux 1665; Elémens de Géométrie. Ibid. 1771, zu seiner Zeit sehr geschätzt; La Statique ou la science des forces mouvantes. Ib. 1673. Die Sammlung seiner mathem. Abhandlungen wurde i. J. 1701 von seinen Verwandten, und sein Himmelsatlas 1674 von Fontenev herausgegeben. Der letzte wurde bis zur Erscheinung der Flamsteed'schen Karten für den besten Atlas gehalten. In den Philos. Transact. von 1672 und 73 findet man seine Memoiren über die Newton'sche Theorie des Lichts. Durch einen Besuch der kranken Gefangenen in Bicetre zu Paris wurde er angesteckt und starb 1673 im Alter von 37 Jahren. Sein Eloge findet sich in den Mémoires de Trévoux, April, 1726. L.

8) Traité de lumière, S. 237.

solche sphäroidische Undulationen bestimmt wird, eine schiefe Refraktion erzeugt, die, in Beziehung auf ihre Gesetze, ganz mit der in jenem Krystall beobachteten Refraktion übereinstimmt, eine Uebereinstimmung, die späterhin von seinen Nachfolgern, wie wir bereits gesagt haben, auf das Vollständigste bestätigt worden ist.

Da nun Huyghens die Undulationstheorie des Lichtes schon in einer so frühen Periode und mit so viel Bestimmtheit auseinandergesetzt und sie zugleich mit so großer Geschicklichkeit angewendet hat, so wird man fragen, warum wir ihn nicht auch als den wahren Schöpfer dieser Theorie, warum wir ihn nicht auch als den Mann betrachten, der die eigentliche Epoche in der Geschichte der Wissenschaft konstituirt? — Darauf mag als Antwort dienen, daß Huyghens allerdings sehr starke Vermuthungen zu Gunsten der Undulationstheorie angezeigt und aufgestellt hat, daß aber diese Theorie selbst erst in einer viel spätern Zeit in ihr eigentliches Leben getreten ist, erst damals nämlich, als die farbigen Schattensäume, gehörig verstanden, jene Wellen gleichsam sichtbar machten, und als dieselbe Hypothese, die den Erscheinungen der doppelten Brechung so gut entsprechend gefunden wurde, nun auch als diejenige anerkannt werden mußte, durch welche allein sich die wunderbaren Phänomene der Polarisation des Lichtes deutlich und genügend darstellen lassen. Von diesem Augenblicke an nahm die neue Theorie des Lichtes erst ihre mächtig gebietende, nicht weiter mehr zurückzuweisende Stellung an, und diejenigen Männer, welchen sie diese hohe Stellung verdankt, diese sind daher auch als die eigentlichen Glanzpunkte jener Geschichte zu betrachten, ohne jedoch den Verdiensten und dem außerordentlichen Talente Huyghens dadurch entgegen treten zu wollen, der ohne Zweifel, in der Geschichte des Vorspiels zu jener großen Entdeckung, den ersten Standpunkt einnimmt.

Uebrigens ist der weitere Verlauf der Wissenschaft, von Huyghens Zeit bis auf unsere Tage, ein unglücklicher zu nennen. Zwar fehlte es ihr nicht an Vertheidigern und Anhängern, aber diese waren alle keine eigentlichen Beobachter, und auch nicht einer von ihnen fand es der Mühe werth, auf jene merkwürdigen gefärbten Säume, die Grimaldi so lange zuvor bemerkt hatte, seine Aufmerksamkeit zu richten. Dazu kam noch, daß der eigentliche Heros jener Zeit, daß Newton eine ganz andere Hypothese aufgestellt hatte, eine Hypothese, der er, durch das Gewicht seines eigenen hohen Ansehens, vollen Eingang bei seinen zahlreichen Schülern und Nachfolgern verschafft hatte, die es für ihre Pflicht achteten, die Nebenbuhlerin der von ihnen adoptirten Lehre beinahe ein Jahrhundert durch in ihren unverdienten Fesseln zu halten.

Newton schien anfangs nicht ungeneigt, einen Aether als Medium anzunehmen, in welchem die Undulationen des Lichtes vor sich gehen sollen. Als Hooke Newton's prismatischer Analyse der Farben des Lichtes seine Einwürfe entgegensetzte, die auf seine hypothetische Annahme über diese Undulation gebaut waren, entgegnete ihm Newton [9]), „daß Hooke's Hypothese eine „viel größere Verwandtschaft mit seiner eigenen Voraussetzung „habe, als jener zugeben zu wollen scheine, da diese Vibrationen „des Aethers in beiden Hypothesen gleich nützlich und nothwendig seien.“ Dies sagte Newton im Jahre 1672, und wir könnten leicht noch andere Aeßerungen derselben Art aus Newton's Schriften von einer viel spätern Zeit anführen. In der That scheint Newton zuletzt die Existenz eines solchen Aethers als sehr annehmbar, und die Vibration desselben als sehr wichtig zur Erklärung der optischen Erscheinungen angesehen zu haben. Allein er hatte einmal die Emissionshypothese in sein System eingeführt, und er hatte diese Hypothese mit Hülfe seiner mathematischen Analysis in allen ihren Verzweigungen verfolgt, während er alles, was jenen Aether betraf, nur als Gegenstand von vagen Vermuthungen und Zweifeln zur Seite liegen ließ, einzig mit der weiteren Ausbildung der von ihm adoptirten Emissionstheorie beschäftigt.

Die vorzüglichsten Sätze der „Prinzipien“ über die Theorie der Optik sind in der vierzehnten Sektion des ersten Buchs [10]) enthalten, wo das Gesetz von dem konstanten Verhältniß der beiden Sinus bei der Brechung des Lichts aus der Annahme bewiesen wird, daß die Anziehung, die das Licht von den Körpern erleidet, erst in den kleinsten Distanzen von diesen Körpern

---

9) Philos Transact, VII. 5087.

10) Newton, Princip. Propos. 94 und ff.

wirksam wird; und dann in dem Satz der achten Sektion des zweiten Buchs [11]), in welchem er bewiesen haben will, daß die in einer Flüssigkeit fortgesetzte Bewegung divergiren muß, wenn sie durch eine Oeffnung geht. Der erste dieser Sätze zeigt, daß das Gesetz der Brechung des Lichts, (die auf die Wahl zwischen jenen beiden Hypothesen einen sehr mächtigen Einfluß ausübt, während das Gesetz der Reflexion in beiden gleich zulässig erscheint), durch die Emissionstheorie unmittelbar und genügend erklärt werden könne; der zweite Satz aber soll die Unzuläßlichkeit der Nebenbuhlerin dieser Theorie, der Undulationshypothese, beweisen. Was nun den ersten Punkt betrifft, nämlich die aus der erwähnten Annahme folgende Erklärung der Refraktion in der Emanationslehre, so ist der Schluß vollkommen befriedigend. Aber dafür ist seine Folgerung in dem zweiten Falle, in Beziehung auf die Fortpflanzung der Wellen, gewiß nur unbestimmt und nicht scharf genug, und man hätte wohl mit Recht von Newton etwas Besseres erwarten können, besonders da Huyghens es bereits unternommen hatte, den ganz entgegengesetzten Satz zu beweisen. Wenn man aber auch voraussetzen wollte, daß beide Theorien in Beziehung auf die geradlinige Bewegung des Lichtes, und auf die Brechung und Reflexion desselben, von gleichem Werthe wären, so würde es doch noch vor allem darauf ankommen, durch welche von jenen beiden Hypothesen jene Farben der dünnen Plättchen am besten dargestellt werden? Wie aber werden diese von Newton erklärt? — Wieder durch eine neue, ganz besondere Hypothese, durch seine Anwandlungen des leichten und schweren Durchgangs des Lichts! — Allein diese Hypothese, wenn sie auch jene isolirte Erscheinung richtig darstellen mag, bleibt doch allen andern Erscheinungen der Optik ganz fremd. Aber selbst davon abgesehen, wenn man nun zu den sonderbaren Phänomenen des isländischen Krystalls übergeht, wie sucht Newton diese zu erklären? — Abermals durch eine neue, diesem Falle wieder speciell angeeignete Hypothese: durch die verschiedenen Seiten, welche jeder Lichtstrahl haben soll! So finden wir überall in der Emanationstheorie keine mit dem Ganzen zusammenhängende Erklärung,

---

11) Newton, Princip. Prop. 12.

kein alle Erscheinungen umfassendes Prinzip, keine allgemeine Antwort auf jede einzelne Frage, die man dieser Theorie zur Lösung aufstellen mag. Man könnte einwenden, daß dasselbe, damals wenigstens, auch für die Undulationstheorie der Fall gewesen ist, und man muß gestehen, daß zu jener Zeit das Uebergewicht derselben, das jetzt keinem weiteren Zweifel mehr unterliegt, noch nicht so offenbar, wie jetzt, gewesen ist, da Hooke, wie wir gesehen haben, jene Farben der dünnen Plättchen durch seine Theorie auch nicht vollständig erklären konnte, obschon er bereits einen Schimmer von der wahren Erklärung derselben gehabt zu haben scheint.

In seinen späteren Jahren scheint Newton allerdings der Undulationstheorie sehr abgeneigt gewesen zu sein. „Sind nicht," sagt er in der achtundzwanzigsten Quästion seiner Optik, „sind „nicht alle Hypothesen irrig, in welchen man das Licht als in „dem Drucke oder in der Bewegung, die durch ein flüssiges „Mittel fortgepflanzt wird, bestehend annimmt?" — Die Ursache, die ihn zu dieser Ansicht verführte, scheint nur die schon oben erwähnte gewesen zu sein: daß die Wellen, wenn sie durch eine kleine Oeffnung gehen, nach allen Richtungen verstreut werden müßten. Auch scheint er die Ansicht fest gehalten zu haben, daß die verschiedenen Erscheinungen des Lichts „nicht sowohl „aus neuen Modifikationen desselben, als vielmehr aus ursprüng„lichen und unveränderlichen Eigenschaften desselben entspringen." (Quaest. XXVII.).

Aber selbst jetzt noch, bei diesem Stande seiner Ansichten, schien er weit entfernt, den künstlichen Mechanismus jener vibratorischen Bewegung gänzlich und in allen Fällen zu verlassen. Er ist selbst nicht ungeneigt, dieses Kunstgerüste zur Erklärung seiner „Anwandlungen" in Bewegung zu setzen. So sagt er in seiner siebenzehnten Frage: „Wenn ein Lichtstrahl auf die Ober„fläche eines durchsichtigen Körpers fällt, und daselbst gebrochen „oder zurückgeworfen wird, mögen dabei nicht Wellen oder zit„ternde Bewegungen in dem brechenden oder reflektirenden „Medium an dem Einfallspunkte des Strahls erzeugt werden? „— mögen diese Vibrationen nicht vielleicht die Lichtstrahlen „einholen, und indem sie dieselben nur allmählig einholen, auch „ebendadurch in jene Anwandlungen versetzen, von denen wir oben gesprochen haben?" — Mehrere andere Fragen seiner

Optik führen auf dieselbe Vermuthung, daß er die Annahme eines vibrirenden Aethers für nothwendig gehalten habe. Auch ließe sich wohl fragen, ob man irgend einen guten Grund für die Existenz eines solchen Aethers, als eines Theils des Mechanismus des Lichts angeben kann, ohne nicht zugleich denselben Aether auch vielleicht als das Ganze dieses Mechanismus zu betrachten, besonders wenn man im Stande ist, zu zeigen, daß man sonst nichts mehr bedarf, um alle Phänomene des Lichts hervorzubringen oder zu erklären.

Indeß wurde die Emissionstheorie von allen Schülern und Nachfolgern Newton's in ihrem strengsten Sinne und allgemein angenommen. Schon der Umstand, daß in Newton's Prinzipien einige Sätze enthalten waren, die dieser Hypothese entsprachen, war für viele dieser Leute Grund genug, die ganze darauf gebaute Lehre ohne Anstand anzunehmen, um so mehr, da sie den Vortheil einer leichtern Verständlichkeit für sich hatte. Denn obschon die Bildung und Fortpflanzung einer Welle, für einen Mathematiker wenigstens, nicht so schwer zu begreifen sein mag, so ist die Bewegung eines einfachen Punktes doch noch viel leichter zu übersehen.

Von der andern Seite wurde die Undulationstheorie von keinem geringeren Manne, als Euler, festgehalten, und der Kampf zwischen den beiden um den Vorrang streitenden Partheien wurde nicht selten mit vielem Ernste geführt. Die Argumente für und gegen wurden bald sehr bekannt. Da man sich zu jener Zeit größtentheils nur mit der Erklärung der alten Erscheinungen, durch die eine oder die andere jener zwei Hypothesen, begnügte, ohne neue aufzusuchen, so suchte Euler die Anhänger der Emission mit den Einwürfen zu drängen, daß die immerwährende Ausstrahlung des Lichts die Masse der Sonne vermindern müßte; daß die Lichtströme, die das Weltall nach allen Seiten durchkreuzen, die freie Bewegung der Planeten und Kometen hindert; daß diese Lichtstrahlen sich selbst unter einander stören und aufhalten; daß die Transmission des Lichts durch diaphane Körper in dem Emissionssystem unerklärbar ist u. dergl. Allen diesen Einwürfen aber glaubte man durch die ganz außerordentliche Kleinheit und Geschwindigkeit der Lichttheilchen begegnen zu können. — Von der anderen Seite wurde wieder gegen die Wellentheorie das Lieblingsargument Newton's vorgebracht, daß das Licht, wenn es durch eine Oeffnung geht, sich gleich dem Schalle nach allen Seiten ausbreiten und also auch hinter einem Schirm gesehen werden müßte, wie der Ton einer hinter diesem Schirm bewegten Glocke ebenfalls überall gehört wird. Es ist sonderbar, daß Euler auf diese Einwendung nicht die Antwort gab, die nach dem Obigen schon lange vor ihm Huygens gegeben hatte. Die Ursache davon lag wohl darin, daß Euler den hier wesentlichen Unterschied zwischen den Schall- und Lichtwellen nicht deutlich aufgefaßt hatte, daß nämlich eine gewöhnliche kleine Oeffnung als unendlich groß gegen die Länge einer Lichtwelle anzusehen ist, während sie vielleicht einer Schallwelle schon ganz gleich kommt [12]). Die unmittelbare Folge dieses

---

12) Der schon sehr tiefe Ton (das sogenannte große C), den eine beiderseits offene Orgelpfeife von 8 Par. Fuß Länge gibt, macht 64 Schwingungen in einer Zeitsekunde. Wenn nun die Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Schalls während einer Zeitsekunde 1024 Fuß beträgt, so ist die Länge jener Tonwelle

$$\frac{1024}{64} \text{ oder } 16 \text{ Fuß.}$$

Der höchste Ton aber, den unser Ohr noch vernehmen kann, macht 16000 Schwingungen in einer Sekunde, und die Länge dieser Tonwelle beträgt daher

$$\frac{1024.(144)}{16000} \text{ oder nahe } 9 \text{ Duodec. Linien eines Fußes.}$$

Ganz anders verhält sich dies für das Licht, wo die Wellenlänge für jede Farbe verschieden, und für alle ungemein klein ist. Nach Fraunhofer's Messungen des prismatischen Spectrums beträgt diese Wellenlänge in Theilen eines Pariser Zolls

des rothen Lichts	0.000024
„ orangen „	0.000022
„ gelben „	0.000019
„ grünen „	0.000018
„ blauen „	0.000016
„ violetten „	0.000015

Diese ungemeine Kleinheit der Lichtwellen im Vergleiche mit der ungeheuern Fortpflanzungsgeschwindigkeit (von 40000 Meilen, jede zu 4000 Toisen, in einer Zeitsekunde) läßt auf eine außerordentliche Kleinheit der Schwingungsdauer, also auch auf eine außerordentliche

Unterschiedes ist, daß das Licht durch eine solche Oeffnung von z. B. dem vierten Theil eines Zolls im Durchmesser in gerader Linie durchströmt, während der Schall durch die Wände dieser Oeffnung nach allen Richtungen zerstreut wird. Euler, der diesen Unterschied der Licht- und Schallwellen nicht kannte, stützte seine Einwendungen vorzüglich auf den allerdings nicht unwesentlichen Umstand, daß die Körper, die man zu diesen Versuchen gewöhnlich als Schirme anwendet, für den Schall durchdringlich, für das Licht aber undurchdringliche oder sogenannte opake Körper seien. Er bemerkte überdies, daß der Ton nicht allein durch die Oeffnung komme, da man ihn auch dann noch hört, wenn diese Oeffnung verstopft wird.

Dies waren die vorzüglichsten Angriffs- und Vertheidigungspunkte, die man in jenem Streite geltend zu machen suchte, der nahe durch das ganze letzte Jahrhundert ohne bedeutenden Erfolg für eine der beiden Partheien fortgesetzt worden ist. Man brachte immer nur dieselben Einwürfe und dieselben Widerlegungen auf die Bühne, nicht unähnlich jenen unfruchtbaren Disputationen der scholastischen Philosophen im Mittelalter.

Da sonach der Kampf zu beiden Seiten mit gleichen Kräften geführt wurde, und da das große Ansehen Newton's noch immer überwog, so wurde die Emissionstheorie desselben beinahe allgemein angenommen. Ja sie wurde noch mehr durch die besondere Wendung befestigt, welche die wissenschaftliche Thätigkeit der letzten Hälfte des achtzehnten Jahrhunderts angenommen hatte. Ohne daß nämlich unsere Kenntniß der eigentlichen optischen Gesetze in dieser Zeit irgend einen reellen Zuwachs erhalten hätte, wurden doch die chemischen Eigenschaften des

---

Anzahl der Schwingungen in einer Zeitsekunde schließen. Diese Anzahl beträgt nämlich für die rothen Strahlen

$$\frac{40000 \times 4000 \times 6 \times 12}{0.000024} \text{ oder 480 Billionen,}$$

und für die violetten

$$\frac{40000 \times 4000 \times 6 \times 12}{0.000015} \text{ oder 768 Billionen,}$$

also im Mittel 624 Billionen Schwingungen in jeder Zeitsekunde. L.

Lichtes von verschiedenen Männern [13]) eifrig untersucht. Sie fanden, daß sie die Resultate, zu welchen sie auf diesem Wege gelangten, in Uebereinstimmung mit den herrschenden chemischen Ansichten, ganz bequem mit der Voraussetzung der Materialität des Lichtes vereinigen könnten. Allein es ist wohl für sich klar, daß alle Schlüsse, die auf so unbestimmte und zweifelhafte Beobachtungen, wie dieser Theil der Chemie darbietet, gebaut werden, nicht mit jenen stetigen und geregelten, rein induktiven Fortschritten verglichen werden können, die sich auf bestimmte Verhältnisse des Raumes und der Zahlen gründen, und denen allein die mechanischen Wissenschaften ihr Wachsthum und ihr wahres Gedeihen verdanken. Es wird daher angemessen sein, alle diese chemischen Spekulationen, als nicht hieher gehörend, zur Seite zu legen, und diese Blätter der Geschichte der Optik ganz zu überschlagen, um sogleich zu anderen, von den so eben erwähnten ganz verschiedenen Ereignissen überzugehen.

Eilftes Kapitel.

Epoche Young's und Fresnel's.

Erster Abschnitt.

Einleitung.

Der Mann, dessen Name in Beziehung auf seine Leistungen zur Wiedererweckung und definitiven Aufstellung der Undulationstheorie des Lichts, die vorzüglichste Stelle in der Geschichte der physischen Optik einnehmen soll, ist Thomas Young [1]). Er

---

13) Wie von Scheele, Selle, Lavoisier, Deluc, Richter, Leonhardi, Gren, Girtanner, Link, Hagen, Voigt, de la Metherie, Scherer, Dize, Brugnatelli u. a. Man sehe Fischer's Gesch. VII. S. 20.

1) Young (Thomas), geb. 13. Junius 1773 zu Milverton in der Grafschaft Somerset. Seine Aeltern waren Quäker. Schon als Kind zeichnete er sich durch ein seltenes Gedächtniß aus. In seinem achten Jahre machte er die Bekanntschaft eines Feldmessers, seines Nachbars,

wurde 1773 zu Milverton in Somersetshire geboren, wo seine Aeltern als Quäker lebten. Nachdem er sich schon in seiner

---

und diese weckte sein Talent für Beobachtung und Mathematik. Von seinem 9ten bis 14ten Jahre erlernte er in der Schule zu Compton die lateinische, griechische, hebräische und arabische Sprache, nebst der französischen und italienischen, und trieb zugleich sehr eifrig die Botanik. In seinem 14ten Jahre drohte eine Lungenkrankheit seinem Leben ein kurzes Ziel zu setzen. In demselben Jahre wurde er Erzieher (Tutor) der zwei jungen Barclay von Youngsbury. Seine erste größere Beschäftigung war eine Sammlung der verschiedenen Systeme der griechischen Philosophen, die aber nie herausgegeben wurde. Auf einer Reise mit seinen Zöglingen nach London lernte er Higgins kennen, der ihn mit der Chemie bekannt machte. Auch wollte ihm Burke, Windham und der Herzog von Richmond, die seine Kenntnisse und Talente schätzten, eine sehr vortheilhafte politische Laufbahn eröffnen, aber Young zog, im Gefühle seiner Kraft und seiner inneren Bestimmung, die mühevolle Bahn der Wissenschaft den goldenen Ketten des öffentlichen Lebens vor. Er widmete sich der Arzneikunde in der Hoffnung, durch sie die nöthige Unabhängigkeit zu erhalten. Im Jahre 1793 übergab er der k. Akademie zu London seine Schrift „über die Konstruktion des Auges,“ die in den Philos. Transact. aufgenommen wurde. Er fand Widerspruch an Ramsden und Everard Home, auch gab der zwanzigjährige Jüngling den berühmten Männern sofort bescheiden nach, trat aber, sieben Jahre später, nach vermehrter Kraft und Kenntniß mit seiner früheren Behauptung wieder auf, und fand keinen Widerspruch mehr. Nachdem er seine medizinischen Studien, die er in London angefangen, in Edinburg 1794 geendet hatte, ging er nach Göttingen, wo er 1796 promovirte und zugleich mit der deutschen Sprache und Literatur sich näher bekannt machte. Nach England zurückgekehrt, ward er Fellow zu Cambridge. Bald darauf durch eine bedeutende Erbschaft unabhängig gemacht, ließ er sich zu London als Arzt nieder, und übernahm zugleich die Professur der Naturwissenschaften an der Royal institution, die er aber schon 1804 wieder aufgab, um ganz der praktischen Arzneikunde und seinen Lieblingsstudien zu leben. Seit dieser Zeit gab er zahlreiche Schriften über die verschiedensten Gegenstände, besonders über Physik und Mathematik, heraus. Die meisten seiner kleinen Schriften wurden anonym herausgegeben, weil man in England nicht gern sieht, daß Aerzte sich viel mit andern Gegenständen, außer ihrer Kunst, beschäftigen. Uebrigens nahm er unter den praktischen Aerzten Londons keine höhere Stufe ein, da er für zu gelehrt und in der Wahl seiner Mittel am Krankenbette für schüchtern und schwankend gehalten wurde. In diese Zeit fällt seine

Jugend durch Talent und Thätigkeit ausgezeichnet hatte, ließ er sich 1801 zu London als Arzt nieder, ohne dabei seine frühern

---

sehr geschätzte Schrift: Syllabus (Auszug oder Verzeichniß) of a course of natural and experimental philosophy, Lond. 1802, worin er unter anderm eine mathematische Erklärung von den wichtigsten Phänomenen des Sehens gab, und zugleich, im Allgemeinen wenigstens, das Gesetz von der Interferenz des Lichtes aufstellte. Sein vorzüglichstes Werk im Gebiete der Naturwissenschaften aber ist: A Course of lectures on natural philosophy and the mechanical arts, Lond. 1807. II. Vol. in 4. Als Arago mit Gay-Lussac im Jahr 1816 unseren Young in London besuchte, erzählten ihm Jene von dem äußerst wichtigen Memoir, das Fresnel (siehe dessen Biographie) im Jahr 1815 über die Diffraktion des Lichts dem Institut von Frankreich vorgelegt hatte, und sie waren nicht wenig erstaunt, zu hören, daß Young diese Entdeckung schon neun Jahre früher gemacht haben wollte. Während der darüber entstandenen Diskussionen entfernte sich Young's Frau, die bisher dem Gespräche meistens schweigend beigewohnt hatte, und kam bald darauf mit einem großen Quartbande zurück. Es war der erste Band des letztgenannten Werkes. Sie legte es auf den Tisch, schlug, ohne ein Wort zu sagen, die Seite 787 auf und zeigte vor den Gästen mit dem Finger auf die Figur, in welcher die krummen Lichtstreifen der Diffraktion des Lichtes auf das Deutlichste ausgedrückt und nach ihrer wahren Theorie erklärt waren. – Im Jahr 1818 wurde er zum Sekretär des Längenbüreau's und der k. Akademie der Wissenschaften ernannt, welche Stelle er bis an sein Ende beibehielt. Er verließ nun die praktische Arzneikunde, um sich den vielfachen Geschäften seines Amtes ganz zu überlassen. Zu diesen gehörte auch die Herausgabe des Nautical-Almanac, die er von 1819 bis 29 besorgte. Seit dieser Zeit erschienen von seiner Hand in beinahe jedem Bande des Journals of the R. Institution mehrere Aufsätze über wichtige Probleme der Nautik, so wie seine Elementary illustrations of the celestial mechanics of Laplace (Lond. 1821) und mehrere andere Werke, die wohl zeigten, daß er seine Stelle nicht als eine Sinekur betrachtete. Demungeachtet verursachte ihm besonders die Herausgabe des Naut. Almanac so viele Unannehmlichkeiten, daß durch sie sehr wahrscheinlich selbst sein frühes Ende herbeigeführt wurde. Bisher wurde dieses Buch blos als ein für die Marine bestimmtes Werk betrachtet, aber nun wollte eine gewisse Parthei auch eine vollständige astronomische Ephemeride darin enthalten haben. Das Längenbüreau widerstand diesem Wunsche, und nun erhob sich ein heftiger Streit, an dem alle Journale und Zeitungen Theil nahmen. Die Anhänger der alten Einrichtung wurden als stumpfsinnige Bäotier, der Nautical-Almanac selbst als ein Schandfleck der Nation allgemeinen Studien aufzugeben. Seine optische Theorie gewann längere Zeit durch nur wenig Anhänger. Einige Jahre später hatte August Fresnel, ein ausgezeichneter französischer Ingenieur und Geometer, ähnliche Ansichten gewonnen, deren Richtigkeit er zu beweisen, und deren Folgen er in einer Reihe von Auf-

---

verschrieen, und so oft ein Druckfehler, der bei einem Werke von so viel Zahlen beinahe unvermeidlich war, entdeckt wurde, erhob Whig und Tory ein entsetzliches Geschrei über den unausweichlichen Untergang der ganzen englischen Marine. Obschon Young, gleich den meisten seiner gelehrten Landsleute, an Federkriege gewöhnt war, wie er denn auch wegen seiner optischen Entdeckungen einen harten Kampf mit einem der gewandtesten Gegner, Brougham, durchführte, so wendete er sich endlich doch, dem tollen Geschrei auszuweichen, einem seiner frühern Lieblingsgeschäfte, der Entzifferung der ägyptischen Hieroglyphen, zu, von denen wir weiter unten (zu Ende des 12ten Kapitels) in einer eigenen Note sprechen werden. — Aber seine zu sehr angegriffenen Kräfte begannen im Anfange des Jahres 1828 zu sinken. Seine Gesundheit wieder herzustellen, begab er sich im Sommer dieses Jahres nach Genf. Neue Anstrengungen und Unannehmlichkeiten, denen er sich bei seiner Rückkehr nach England unterziehen mußte, erschöpften ihn noch mehr, und er starb am 10. Mai 1829 im 56ten Jahre seines Lebens. Seine Leiche wurde in dem Dorfe Farnborough, wo seine Familiengruft ist, beigesetzt. Durch Erfindungskraft und vielseitige Gelehrsamkeit, so wie durch beinahe unermüdliche Thätigkeit, selbst unter den Ersten seiner Landsleute ausgezeichnet, waren ihm auch noch viele andere Fertigkeiten des Geistes und des Körpers in hohem Grade zu Theil geworden. Er war ein gründlicher Kenner der Musik und spielte beinahe alle Instrumente mit Fertigkeit; er war ein ausgezeichneter Maler, ein sehr geübter Reiter, der selbst mit Franconi und andern Kunstreitern glückliche Wetten eingehen konnte, und er war zugleich einer der feinsten Gesellschafter, ein vollendeter Weltmann, der ungeachtet seiner vielen Arbeiten und Leistungen die glänzendsten Zirkel der Hauptstadt täglich zu besuchen und in ihnen mit Leichtigkeit sich zu bewegen pflegte. Biographische Notizen über ihn findet man in der, nicht in den Buchhandel gekommenen Schrift: Memoirs of the life of Thomas Young, Lond. 1831. Ein vollständiges Verzeichniß seiner Schriften enthält das Quarterly journal of science, literature and arts, 1829, H. 11. In den Quarterly review findet man auch viele interessante Aufsätze von seiner Hand, z. B. über Göthe's Farbenlehre, und seine gelehrte Rezension über „Adelung's Mithridates," durch welche er wahrscheinlich zuerst auf seine Untersuchungen der Hieroglyphen geführt worden ist. L.

sätzen, beinahe ganz unabhängig von denen seines Nebenbuhlers, zu entwickeln suchte. Erst als der Ruf der neuen Lehre von den Ufern Frankreichs wieder nach England zurückerschallte, wurde die Aufmerksamkeit der Bewohner des letzten Landes auch auf den ersten Verkündiger derselben gelenkt.

Die Theorie der Undulation kann, gleich jener der allgemeinen Gravitation, in verschiedene Stufen ihres Wachsthumes eingetheilt werden. In beiden Wissenschaften wurden alle wesentlichen Fortschritte von denselben Männern gemacht, jedoch mit folgendem Unterschiede. — Alle einzelnen Theile des Gesetzes der allgemeinen Schwere entstanden gleichsam durch einen einzigen Aufschwung der Begeisterung ihres Urhebers, und sie wurden auch alle zu gleicher Zeit bekannt gemacht. In der Theorie des Lichts hingegen wurden die einzelnen großen Schritte, so wie die Bekanntmachung derselben, in verschiedenen Zeiten, und nicht ohne Unterbrechungen, ausgeführt. Hier sehen wir diese Lehre anfangs in einer noch engbegrenzten Gestalt; wir bemerken ihren Wachsthum zuerst nur in einzelnen Theilen, und wir müssen abwarten, bis die Schöpfer der neuen Wissenschaft die ihnen entgegenstehenden Hindernisse überwunden haben, um endlich, nach manchem harten Kampfe, jene an dem gewünschten Ziele und die Wissenschaft selbst auf derjenigen Höhe zu erblicken, wo sie sich nun ihres Prinzips der Einheit und ihrer weitesten Aussicht in das ihr zugewiesene, unermeßliche Gebiet erfreut. Diese Männer erscheinen uns als unsers Gleichen, dem Irrthum und dem Zweifel unterworfen, während dort, in der Geschichte der physischen Astronomie, der unsterbliche Schöpfer derselben, gleich dem unwiderstehlichen und beinahe übernatürlichen Helden irgend eines philosophischen Epos, urplötzlich in seiner ganzen Größe vor unsern erstaunten Augen sich erhebt.

Die Haupttheile der Geschichte, in welcher wir die nun folgenden großen Fortschritte der physischen Optik vortragen wollen, sind folgende:

A. Die Erklärung der periodischen Farben dünnerer und dickerer Platten, der Schattensäume, der gefurchten Flächen und anderer ähnlicher Erscheinungen, durch die Lehre von der Interferenz der Lichtwellen.

B. Die Erklärung der doppelten Brechung durch die Fortpflanzung der Undulation in einem Medium, dessen optische Elasticität nach verschiedenen Richtungen verschieden ist.

C. Die Erklärung der Polarisation des Lichtes, als Resultat von transversalen Schwingungen, und die nothwendige Verbindung der Polarisation mit der doppelten Brechung nach mechanischen Prinzipien.

D. Die Erklärung der Erscheinungen der Dipolarisation mittels der Interferenz des nach der doppelten Brechung aufgelösten Theils der Vibration.

Wir wollen die Geschichte dieser vier Entdeckungen in einer gewissen Ausdehnung von einander abgesondert geben, um dadurch die innere Kraft ihrer Wahrheit, wie dieselbe aus ihrer gegenseitigen Verbindung entspringt, desto anschaulicher zu machen.

Zweiter Abschnitt.

Erklärung der periodischen Farben dünner Plättchen und der farbigen Schattensäume [2]).

Die Erklärung der periodischen Farben dünner Plättchen durch die Interferenz des Lichtes war der erste Schritt, den Young zur Bestätigung der Undulationstheorie gemacht hat. In seiner Schrift „über Schall und Licht" [3]) scheint er sich bereits ganz der Huyghens'schen Theorie zugeneigt zu haben, nicht eben durch die Anführung neuer Thatsachen oder Rechnungen zu Gunsten dieser Theorie, aber doch durch seine Bemerkungen über die großen Schwierigkeiten, die sich der Newton'schen Theorie entgegenstellen. Aber in einer andern, zwei Jahre später von ihm erschienenen Schrift [4]) drückt er sich bereits sehr bestimmt für die neue Lehre mit den folgenden Worten aus: „Meine weitere Untersuchung der Farben dieser Plättchen hat „die Vorliebe, die ich bereits früher für die Undulationstheorie

---

2) Zur Erläuterung s. m. Baumgartner's Naturlehre S. 357, 364, 390 und 397.

3) Diese Schrift ist datirt: Emanuel College, Cambridge, 8. Jul. 1799, und sie wurde im nächsten Januar in der k. Akademie in London vorgelesen.

4) Diese Schrift wurde der k. Akademie am 12. November 1801 vorgelesen.

„des Lichtes hegte, in eine sehr tiefe Ueberzeugung von ihrer „Wahrheit und von ihrer kräftigen Wirksamkeit verwandelt, eine „Ueberzeugung, die seitdem durch meine Analyse der Farben „mehrerer feingestreiften Körper ungemein bestätigt worden ist." — In dieser zweiten Schrift drückt er das allgemeine Prinzip der Interferenz in der Gestalt einer Proposition auf folgende Weise aus (Prop. VIII): „Wenn zwei Vibrationen, aus ver„schiedenen Quellen entsprungen, entweder ganz genau oder doch „sehr nahe in ihrer Richtung zusammenfallen, so ist die aus „ihrer Verbindung hervorgehende Wirkung eine Kombination der „jeder einzelnen Vibration zukommenden Bewegungen." Mit Hülfe dieser Proposition erklärt er dann die Farben, die man in Coventry's Mikrometer bemerkt, in welchem Instrumente Linien auf Glas in der Distanz von $1/_{500}$ Zoll aufgetragen sind. Die Interferenz der Wellen des von den zwei Seiten dieser feinen Linien reflektirten Lichtes brachten die erwähnten periodischen Farben hervor. Eben so erklärt er auch die Farben dünner Plättchen durch die Interferenz des Lichts, das von den beiden Oberflächen dieser Plättchen reflektirt wird. Wir haben bereits oben gesehen, daß Hooke lange vorher schon dieselbe Meinung gehegt hat. Auch sagt Young zum Schlusse seines Aufsatzes: „Erst „nachdem ich mich selbst in Beziehung auf alle diese Erscheinungen „vollkommen zufrieden gestellt hatte, fand ich in Hooke's Mikro„graphie eine Stelle, die mich schon früher auf diese Erklärung „hätte führen können." Auch aus Newton's Schriften führt Young mehrere Stellen an, in welchen die Existenz eines Aethers vorausgesetzt wird. Newton schien, wie wir bereits oben erwähnten, selbst die Nothwendigkeit des Aethers zur Erklärung eben der hier in Rede stehenden Erscheinungen anzuerkennen, aber er wollte denselben nur als Hülfsmittel oder in Verbindung mit der von ihm festgehaltenen Emission eines materiellen Lichtes angewendet sehen. — Im Julius 1802 erklärte Young aus demselben Prinzip der Interferenz einige Beobachtungen der unbestimmten Vision und andere ähnliche Erscheinungen. Noch bestimmter aber drückt er sich in dem folgenden Jahre 1803 aus, wo er sagt [5]): „Indem ich einige Versuche über die farbigen

---

5) M. s. Philos. Transact. 1803. (Gelesen am 24. Nov.)

„Säume der Schatten machte, fand ich einen so einfachen und „demonstrativen Beleg von dem bereits früher von mir aufge„stellten allgemeinen Gesetz der Interferenz zweier Lichttheile, „daß ich es für angemessen halte, der k. Societät eine kurze „Darstellung derjenigen Thatsachen vorzulegen, die mir in so „hohem Grade entscheidend vorkommen.“ — Die zwei zuletzt erwähnten Schriften mußten in der That jeden wissenschaftlichen Mann von der Wahrheit der neuen Lehre überzeugen, da die Anzahl und die Genauigkeit der darin angeführten Beobachtungen und Erläuterungen wahrhaft groß und bedeutend zu nennen ist. Sie beziehen sich nämlich auf die Farben, die ein feingestreifter Körper, oder die der Thau zwischen zwei Glaslinsen ganz der Theorie gemäß erzeugte; ferner auf verschiedene Versuche, wo zwischen zwei Glaslinsen nebst dem Wasser auch andere Flüssigkeiten gebracht werden; auf dieselben Versuche mit verschieden gegen einander geneigten Linsen, und auch auf die farbigen Säume und Bänder in den Schatten der Körper, die schon so lange zuvor von Grimaldi bemerkt worden sind, die aber weder er, noch Maraldi, noch selbst Newton berechnen oder auf irgend eine allgemeine Vorschrift zurückführen konnte. Mit Recht setzt Young hinzu, „daß „man, was man auch von der Theorie selbst sagen mag, doch „gewiß durch sie allein ein einfaches und allgemeines Gesetz für „für alle diese Erscheinungen erhalten hat.“ Zum Schlusse seiner Abhandlung berechnet er noch die Länge einer Undulation aus seinen Messungen der Schattensäume, wie er auch früher mit den Farben der dünnen Plättchen gethan hatte, und er findet eine sehr nahe Uebereinstimmung der Resultate seiner Rechnungen mit den verschiedenen von ihm angestellten Beobachtungen.

Eine Schwierigkeit aber, und eine Ungenauigkeit, die unserem Young in jener ersten Zeit begegnete, muß hier noch bemerkt werden. Die Schwierigkeit bestand darin, daß er die Voraussetzung für nothwendig hielt, daß das Licht, wenn es von einem dünneren Medium reflektirt wird, um eine halbe Undulation in seiner Bewegung verzögert werde. Diese Annahme wurde, obschon man sie später noch oft als einen Beweis gegen die Theorie brauchen wollte, vollkommen gerechtfertigt, als einmal die mechanischen Prinzipien des Gegenstandes sich vollkommen entfaltet hatten, und Young sah gleich anfangs die Nothwendigkeit derselben klar ein. In dieser Ueberzeugung sagt er:

„Ich wagte es früher, vorauszusagen, daß, wenn die Reflexionen von „derselben Art sind, die auf den Oberflächen einer dünnen Platte „statthaben, deren Dichte ein Mittel zwischen den Dichten der die „Platte umgebenden Medien ist, daß dann der Centralpunkt weiß sein „wird, und ich hatte jetzt die Freude, dies vollkommen bestätigt „zu finden, indem ich einen Tropfen von Sassafras-Oel zwischen „ein Prisma von Flintglas und eine Linse von Kronglas brachte." — Die erwähnte Ungenauigkeit seiner Berechnung aber bestand darin, daß er den äußern Saum des Schattens durch die Interferenz eines von der Seite des Schirms reflektirten Strahls mit einem andern Lichtstrahl entstehen ließ, der frei von dem Schirm zu jenem tritt, da er doch alle Theile der Lichtwellen untereinander sich hätte verstärken oder interferiren lassen sollen. Allerdings war die mathematische Behandlung des Gegenstandes, unter dieser letzten Voraussetzung, nicht eben leicht zu nennen. Aber Young zeigte sich in der Auflösung der Probleme, die sich ihm bei seinen Untersuchungen darboten, als ein Mann von bedeutendem mathematischem Talente, obschon seine Methoden nicht jene analytische Eleganz besaßen, die um diese Zeit in Frankreich bereits sehr allgemein zu werden begann. Es scheint jedoch, daß er das Problem von jenen farbigen Säumen, wie es aus der Undulationstheorie folgt, unter den wahren Bedingungen desselben, nie aufgelöst habe, obschon er späterhin seine Begriffe von der Natur der Interferenz zu erweitern und zu berichtigen eifrig gesucht hat. Auch mag man noch hinzufügen, daß der numerische Irrthum in den Folgen seiner mangelhaften Hypothese nicht der Art ist, daß dadurch die Bestätigung der Undulationstheorie selbst gefährdet werden konnte.

Obschon die neue Lehre auf diese Weise durch Beobachtung und Rechnung kräftig unterstützt und empfohlen wurde, so nahm man sie doch in der wissenschaftlichen Welt nicht eben sehr günstig auf. Wir werden uns dies vielleicht zum Theil erklären, wenn wir in dem nächsten Kapitel von ihrem Eingange bei denjenigen sprechen werden, die man damals als die obersten Richter in der Wissenschaft betrachtete. Ihr erster Gründer ging indeß seine eigenen Wege fort, indem er einige andere Theile der Optik zu verbessern sich bemühte. Sein früherer, ganz außerordentlicher Erfolg aber, mit dem er jene äußerst verwickelten Erscheinungen so glücklich zu entwickeln wußte, scheint die Aufmerksamkeit und die Bewunderung, die er doch so sehr verdiente, nicht eher auf sich gezogen zu haben, bis im Oktober 1815 Fresnel's Memoir „über die Diffraktion des Lichts“ dem Institute von Frankreich vorgelegt wurde.

Ueber dieses Memoir wurden Arago und Poinsot zu Kommissären ernannt, um einen Bericht darüber abzustatten. Der erste warf sich sofort mit dem ihm eigenthümlichen Eifer und Verstand auf diesen Gegenstand. Er untersuchte und verifizirte selbst die von Fresnel angekündigten Gesetze, die, wie er hinzusetzte, in der Geschichte der Wissenschaft Epoche machen würden. Dann durchlief er, in seinem Rapport an das Institut, in kurzen Zügen, was bisher in dieser Sache geleistet worden war, und zögerte nicht, die hohe Stelle anzuerkennen, die Young dabei eingenommen hatte. „Grimaldi, Newton und Maraldi,“ sagt er [6]), „hatten diese Erscheinungen beobachtet, aber sie waren „vergebens bemüht, sie auf Gesetze, oder auf ihre Ursachen zurückzu„führen, und dies war der Zustand unserer Kenntniß dieses ver„wickelten Gegenstandes, als Thomas Young jenen sehr merk„würdigen Versuch anstellte, der in den Philos. Transactions „für das Jahr 1803 beschrieben wird,“ — daß man nämlich, um alle jene farbigen Streifen in dem Schatten auszulöschen, nur den Lichtstrahl aufzuhalten braucht, der den Rand des Schirms streift oder gestreift hat. Dieser Bemerkung fügte Arago noch die wichtige Beobachtung bei, daß dasselbe Verlöschen jener Streifen auch dann noch statthat, wenn man die Strahlen mit einer durchsichtigen Platte aufhält, den Fall ausgenommen, wo diese Platte sehr dünn ist, wo dann jene Streifen nur verstellt, in ihrer Lage verschoben, aber nicht mehr ganz ausgelöscht werden. „Fresnel,“ setzt er hinzu, „dem ich jene Wirkung der „dickeren Glasplatten erzählte, errieth sogleich den Erfolg, den „ähnliche, aber sehr dünne Plättchen bei diesem Versuche haben „würden.“ — Uebrigens erklärte Fresnel [7]) selbst, daß er, zu jener Zeit, mit Young's vorläufigen Arbeiten noch nicht bekannt gewesen sei. Nachdem er nahe dieselbe Erklärung jener farbigen Säume gegeben hatte, die Young im Jahr 1801 gefunden hatte, setzte er hinzu: „Die Begegnung, die wirkliche Kreuzung der

---

6) Annales de Chimie, 1815. Febr.

7) Ibid., Vol. 17. S. 402.

„Strahlen ist es also, welche jene Streifen hervorbringt. Diese „Folgerung aber, die so zu sagen nur die Uebersetzung jener Erscheinung in die Sprache der Optik ist, scheint mir mit der „Hypothese der Emission des Lichts in geradem Widerspruche zu „stehen, und im Gegentheile die Wahrheit des andern Systems „zu bestätigen, nach welchem das Licht nur in den Vibrationen „eines besondern flüssigen Mediums besteht."

Auf diese Weise wurde also die Undulationstheorie und das Prinzip der Interferenz, so weit nämlich dieses Prinzip von jener Theorie abhängt, zum zweitenmale von Fresnel in Frankreich aufgestellt, vierzehn Jahre nachdem es von Young in England entdeckt, nach allen seinen Seiten bewiesen und wiederholt öffentlich bekannt worden war.

Fresnel nimmt in dem erwähnten Memoir nahe denselben Gang, den Young bei seinen Untersuchungen genommen hatte, indem er die Interferenz des direkten Lichts mit dem von dem Rande des Schirms reflektirten Lichte als die Ursache jener äußeren farbigen Streifen betrachtet, und er bemerkt dabei, daß bei diesen Reflexionen eine halbe Undulation nothwendig verloren gehen müsse. Einige wenige Jahre später aber betrachtet er die Fortpflanzung dieser Vibrationen auf eine mehr angemessene und allgemeinere Weise, wodurch er zugleich die Auflösung jener Schwierigkeit (von dem Verlust der halben Welle) erhielt. Sein vollständigeres Memoir „über die Diffraktion" wurde dem Institut von Frankreich am 29. Julius 1818 übergeben, und erhielt auch den ihm zuerkannten Preis im Jahr 1819 [8]). Die Hinderungen aber, die damals in der Veröffentlichung der Memoiren der Pariser Akademie eingetreten waren, ließen diese Schrift erst in dem Jahr 1826 erscheinen [9]), als die Undulationstheorie bereits allgemein bekannt und keinem weitern Zweifel mehr in der wissenschaftlichen Welt unterworfen war. In diesem Memoir bemerkt Fresnel, daß man, um richtige und vollständige Resultate der Rechnung zu erreichen, die Wirkung eines j e d e n E l e m e n t s einer Lichtwelle auf einen entfernten Punkt in Betrachtung ziehen müsse, um die Totalwirkung aller auf diesen Punkt gerichteter Wellen, so groß auch die Anzahl derselben sein mag, zu erhalten.

---

8) Annales de Chimie, May 1818.

9) Mémoires de l'Institut, für d. J. 1821 und 1822.

Zu diesem Zwecke aber wird bekanntlich die Integralrechnung erfordert. Obschon nun die Integralien, die hier auftreten, von einer ganz neuen und schwer zu behandelnden Art sind, so war Fresnel doch glücklich genug, sie für alle die Fälle zu finden, zu denen er durch seine Experimente geführt wurde. Seine Tafel der Vergleichung zwischen der Theorie und der Beobachtung [10]) ist durch ihre nahe Uebereinstimmung der beiderseitigen Resultate sehr merkwürdig, da die dabei aufgefundenen Differenzen in den Entfernungen jener farbigen Streifen im Allgemeinen weniger, als den hundertsten Theil des Ganzen, betragen. Mit Recht setzt er daher hinzu, „daß eine noch größere Uebereinstimmung „zwischen der Rechnung und der Beobachtung nicht zu erwarten „sei. Wenn man," fährt er fort, „diese kleinen Differenzen „mit der Ausdehnung der gemessenen Streifen vergleicht, „und die großen Veränderungen bemerkt, welchen die Di- „stanz des beobachteten Objekts von dem Lichtpunkte und von „dem Schirm, während der Beobachtungen, ausgesetzt ist, so „kann man wohl nicht anders, als das Integral, durch welches „wir zu diesem Resultate geführt worden sind, für den wah- „ren und getreuen Ausdruck des hier gesuchten Naturgesetzes „halten."

Wenn irgend eine mathematische Theorie mit solchem Erfolge auf so viele unter einander ganz verschiedene Fälle angewendet wird, so muß sie wohl die Aufmerksamkeit und das Interesse der gesammten wissenschaftlichen Welt erregen. Auch fand, seit dieser Zeit, die Undulationstheorie der Interferenz einen immer weitern Eingang und eine bessere Aufnahme, so wie auch die Schwierigkeiten, welche die mathematischen Entwicklungen dieses Gegenstandes darboten, von immer mehreren Seiten angegriffen und bearbeitet worden sind.

Unter den frühern Anwendungen der Undulationslehre auf die Interferenz des Lichtes müssen auch die von Fraunhofer, eines berühmten mathematischen Optikers in München, erwähnt werden. Er stellte eine große Menge von Versuchen über die Schatten an, die bei dem Durchgange des Lichts durch enge Oeffnungen entstehen. Diese Beobachtungen wurden von ihm

---

10) Mémoires de l'Institut, für d. J. 1821 und 1822, S. 420—424.

in einer eigenen Schrift: „Neue Modifikationen des Lichts, in Schumacher's astronomischen Abhandlungen im Jahr 1823" bekannt gemacht. Der größte Theil dieses Aufsatzes beschäftigt sich mit den Gesetzen der von ihm beobachteten, oft sehr schönen und komplizirten Erscheinungen. Am Schlusse seiner Schrift macht er die Bemerkung: „Es ist merkwürdig, daß die Gesetze des ge„genseitigen Einflusses und der Interferenz (oder, wie er sagt, „der Diffraktion) der Lichtstrahlen aus den Prinzipien der Wel„lentheorie abgeleitet werden kann. Wenn man für jeden be„sondern Fall die Bedingungen kennt, so kann man, mit Hülfe „einer äußerst einfachen Gleichung, die Ausdehnung einer Lichtwelle „für jede verschiedene Farbe bestimmen, und in allen diesen Fällen „stimmt die Rechnung mit den Beobachtungen vollkommen überein." Diese Erwähnung „einer äußerst einfachen Gleichung" scheint zu sagen, daß er nur noch Young's und Fresnel's frühere Berechnung der Interferenz gebraucht habe, wo blos zwei einfache Lichtstrahlen gebraucht, nicht aber die Integralrechnung angewendet wurde. Aber sowohl wegen der spätern Zeit, in der diese Schrift erschien, als auch wegen dem Mangel aller mathematischen Ausführung der einzelnen Theile, blieb sie von weniger Einfluß auf die eigentliche Begründung der Wellentheorie des Lichtes, obschon sie als eine ganz vorzügliche Bestätigung derselben durch die Schärfe der angestellten Beobachtungen und durch die Schönheit und Mannigfaltigkeit der in ihr angeführten neuen Erscheinungen betrachtet werden kann.

Wir wollen nun zu der Betrachtung der anderen oben angeführten Theile der Undulationstheorie übergehen.

Dritter Abschnitt.

Erklärung der doppelten Brechung durch die Undulationstheorie.

Die so eben erzählte Anwendung der Undulationstheorie auf die Erscheinungen der Interferenz des Lichts fiel in die Periode, wo Young den Fresnel in seinen Untersuchungen zum Mitarbeiter erhalten hatte. Aber in der Zwischenzeit hatte Young die Optik auch in Beziehung auf andere Phänomene, und zwar vorzüglich in Beziehung auf die doppelte Brechung betrachtet.

In diesem Falle war jedoch Huyghens Konstruktion der Erscheinungen in dem isländischen Krystall, mittels einer ein gegebenes Sphäroid tangirenden Ebene [11]), ohne Zweifel schon so vollständig, und überdies durch Haüy's und Wollaston's [12]) Messungen so gut bestätiget, daß nur wenig mehr zu thun übrig blieb, und daß man blos noch Huyghens Erklärung mit den mechanischen Prinzipien jener Theorie zu verbinden, und dieses Gesetz auch auf alle andern verwandten Erscheinungen fortzuführen brauchte. Der ersten dieser Forderungen suchte Young zu genügen, indem er die Elasticität des Krystalls, von der die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Lichtwelle abhängt, verschieden annahm, je nachdem man in dem Krystalle nach der Richtung seiner Axe, oder in einer auf diese Axe senkrechten Ebene fortgeht. Aus dieser Differenz der beiden Wege wußte er sofort jene sphäroidischen Wellen abzuleiten. Seine Erklärung erschien in dem Novemberhefte des Quarterly Review von dem Jahr 1809 in Form einer Kritik eines ähnlichen Versuches von Laplace, der die doppelte Brechung der Krystalle durch seine Lieblingshypothese von eigenen Kräften, die nur in den kleinsten Distanzen an den Oberflächen der Körper wirken sollen, zu erklären suchte [13]). Die besondern Kräfte dieser Art, welche die

11) M. s. Baumgartner's Naturlehre, S. 324—327 und 390—398.

12) Wollaston (William Hyde), geb. 6. Aug. 1766, zeichnete sich schon während seiner Studien zu Cambridge durch seine Talente aus. Nachdem er mehrere Jahre als praktischer Arzt zu London nicht zur Aufnahme gelangen konnte, verließ er die Medizin, um sich ganz der Physik und Chemie zu widmen. Durch seine Entdeckung, Platin hämmerbar zu machen (m. s. Philos. Transact. 1829), erwarb er sich bald ein sehr bedeutendes Vermögen. Weiter verdanken wir ihm die Entdeckung zweier neuen Metalle, des Palladiums und Iridiums, Verbesserungen des Mikroscops und des galvanischen Apparats, der Camera lucida, des Goniometers für Krystallographen u. s. M. s. darüber die Philos. Transact. seit 1797; Thomson's Annals of philosophy; Gilbert's und Poggendorff's Annalen u. s. L.

13) Diese hypothetischen Kräfte waren es, durch welche die Anhänger der Emanation die gewöhnliche Brechung und die Reflexion des Lichtes auf folgende Weise zu erklären suchten.

Weil der auf einen Spiegel auffallende Strahl zuerst seine ganze Geschwindigkeit verliert und hierauf eine gleiche nach entgegengesetzter Richtung erhält, so muß, wie man sagte, von dem reflektirenden Körper eine Kraft ausgehen, die auf das Licht abstoßend wirkt. Die Wir-doppelte Brechung in den Krystallen hervorbringen, läßt Laplace unmittelbar aus den krystallographischen Axen dieser Körper

---

kung dieser Kraft kann nicht erst beginnen, wenn das Licht den Spiegel berührt, weil sonst die Erhöhungen und Vertiefungen, von denen kein Spiegel frei ist, das Licht nach allen Seiten reflektiren müßten. Diese Wirkung kann aber auch in keiner nur etwas bedeutenden Entfernung vom Spiegel beginnen, weil, den Beobachtungen gemäß, in diesen Entfernungen durchaus keine Veränderung des Lichtstrahls bemerkbar ist. Demnach müssen also diese Kräfte nur in den kleinsten Entfernungen von dem Körper auf das Licht als wirksam gedacht werden. — Wird nun ein auf den Spiegel unter einer schiefen Richtung einfallender Strahl in zwei andere aufgelöst, deren einer zum Spiegel parallel und der andere auf ihm normal ist, so wird nur die Geschwindigkeit des normalen Strahls durch die abstoßende Kraft des Spiegels vermindert, während die des parallelen Strahls ganz ungeändert bleibt. Aus dieser Ursache beschreibt der Strahl von dem Augenblicke an, wo er in die Wirkungssphäre des reflektirenden Körpers eintritt, eine krumme, gegen die Oberfläche dieses Körpers konvexe Bahn. Wenn aber bald darauf die ganze normale Geschwindigkeit des Strahls aufgehoben ist, so bewirkt dieselbe abstoßende Kraft des Mittels eine der normalen Geschwindigkeit des Lichts entgegengesetzte, und diese mit der übrig gebliebenen parallelen Geschwindigkeit zusammengesetzt, gibt eine der vorerwähnten gleiche krumme Bahn für das Licht, und am Punkte, wo dasselbe die Wirkungssphäre des Mittels wieder verläßt, fährt es nach der Tangente dieser Kurve fort und bildet so den reflektirten Strahl, der nach dieser Erklärung, wie man sieht, denselben Winkel mit dem Einfallslothe machen muß, den er vor seiner Ankunft an dem reflektirenden Mittel gemacht hat.

Die Refraktion des Lichts in durchsichtigen Körpern wird, in der Emanationstheorie, durch dieselben, in den kleinsten Distanzen wirkenden, aber anziehenden Kräfte erklärt, indem man es nicht eben widersprechend findet, daß dieselbe Kraft in einem Zustande anziehend, und in einem andern abstoßend wirke. Diese anziehende Kraft des brechenden Mittels also muß, sagt man, in einer auf die Oberfläche des Mittels normalen Richtung wirken, weil ein senkrecht einfallender Strahl bekanntlich gar nicht gebrochen wird. Zerlegt man nun wieder einen auf das Mittel schief einfallenden Strahl in eine normale und in eine parallele Richtung, so wird die normale Geschwindigkeit desselben durch die anziehende Kraft des Mittels beim Eintritte des Lichts verstärkt, die parallele aber bleibt ungeändert, und daher wird der gebrochene Strahl, und somit die resultirende dieser beiden Bewegungen im hervorgehen, und zwar so, daß die Geschwindigkeit des Lichts im Innern des Krystalls blos von der Lage des Lichtstrahls gegen

---

durchsichtigen Mittel, der Normale näher gebracht, als im leeren Raume, so daß also eine Brechung zum Einfallslothe hin erfolgt. Kommt aber das Licht nicht von dem leeren Raume, sondern von einem brechenden Mittel in ein anderes, so wird das Ergebniß der Brechung von dem Unterschiede der anziehenden Kräfte der beiden Mittel abhängen, und der gebrochene Strahl wird dem Einfallslothe, wie vorhin, genähert, oder auch von ihm entfernt werden können. — Auch die Dispersion der Farben bei der Brechung des Lichts hat man noch als eine natürliche Folge der Wirksamkeit jener Molekularkräfte angesehen, indem man annahm, daß diese Kräfte auf Lichttheilchen von verschiedenen Massen und Gestalten auch verschieden wirken, und eben dadurch eine verschiedene Ablenkung derselben hervorbringen.

Dies alles mochte nun immer noch annehmbar gefunden werden, so lange man keine bessern Erklärungen finden konnte, und so lange nicht Erscheinungen ganz anderer Art diese Erklärungen für ganz unhaltbar darstellten. Dies war aber der Fall mit den zahllosen und merkwürdigen Erscheinungen der Beugung oder der Interferenz des Lichtes, die sich, wie man bald sah, auf dem hier betretenen Weg durchaus nicht erklären ließen, und die, wie man auch die Sache wenden mochte, sich am Ende immer nur wieder als neue Beweisgründe gegen die Emanationshypothese darstellten. — Es sind nämlich die Beugungsphänomene blos von der mathematischen Begrenzung der Oeffnung im Schirm, oder des beugenden Drahts, keineswegs aber von der materiellen Beschaffenheit desselben abhängig. Allein nach dem Geiste der Emanationstheorie müßten die Phänomene der Beugung von einer Kraft abgeleitet werden, welche die Ränder der Oeffnung oder der beugende Draht auf das Licht ausübt. Mag man nun diese Kraft auf eine merkliche oder auf eine unmerkliche Entfernung wirken lassen, so geräth man immer in Widerspruch mit der Erfahrung. Erstreckt sich diese Kraft auf eine noch angebbare Entfernung, so muß sie von der Gestalt der Oeffnung und von der Beschaffenheit seiner Oberfläche abhängig sein, was aber nicht der Fall ist; ist aber diese Kraft nur in den kleinsten Entfernungen wirksam, so können nur die der Oeffnung oder dem Drahte nächsten Strahlen, nicht aber auch die davon weiter entfernten, gebeugt werden, was aber ebenfalls mit der Erfahrung im Widerspruche ist. Wie aber die Emanationshypothese die Beugung des Lichtes, selbst die einfachsten Fälle derselben, nicht zu erklären vermag, so kann sie auch über die gesammten merkwürdigen Erscheinungen der Interferenz und der Polarisation des Lichtes durchaus keine genügende Auskunft diese Axe abhängig sein soll. Allein Young zeigte, daß eben in der Aufstellung dieser Bedingung die eigentliche Schwierigkeit der Auflösung jenes Problems bestehe. Wie kann man sich brechende Kräfte denken, die ganz unabhängig von der Oberfläche der brechenden Medien seyn und blos durch eine gewisse Linie im Innern des Körpers regulirt werden sollen. Laplace war überdies gezwungen, für diese sonderbaren Kräfte ein noch sonderbareres Gesetz anzunehmen, das sich nicht leicht mit den bisher bekannten Prinzipien der Mechanik vereinigen ließ. Nach diesem Gesetze sollten sich nämlich jene Kräfte wie die Quadrate der Sinus derjenigen Winkel verhalten, die der Lichtstrahl mit der Axe des Krystalls bildet. Young scheint, in der erwähnten kritischen Beleuchtung dieses Gegenstandes, zu fühlen, daß der Undulationstheorie, und vielleicht auch ihm selbst, nicht die Gerechtigkeit widerfahren ist, die er von wissenschaftlichen Männern erwartet habe, und er beklagt sich über einen in der gebildeten Welt so hoch gestellten Mann, wie Laplace damals war, daß er seinen Einfluß anwende, um den Irrthum zu verbreiten, und daß er die ganz außerordentliche Bestätigung, welche Huyghens' Theorie in den neuesten Zeiten erhalten habe, geringschätzen oder auch ganz vernachlässigen könne.

Die Erweiterung dieser ersten Ansicht Young's auf die in verschiedenen Richtungen liegenden verschiedenen Elasticitäten der mehr als einaxigen Krystalle gab Gelegenheit zur Auflösung eines schweren und sehr verwickelten Problems. So einfach und leicht auch die allgemeine Darstellung dieses Gegenstandes, nach dem, was Young bereits gethan hatte, scheinen mochte, so gehörte doch zu ihrer Entwicklung und Anwendung eine sehr

---

geben, ohne beinahe für jede einzelne dieser Erscheinungen eine neue, gezwungene und ganz unwahrscheinliche Hülfshypothese aufzustellen. Aus dieser Nothwendigkeit, für jede neue Klasse von Phänomenen dem Lichtstoffe auch wieder eben so viele neue Qualitäten anzudichten, wird es auch begreiflich, warum die Emanationstheorie nie zur Entdeckung eines neuen Faktums, welches unmittelbar aus ihr selbst hervorgegangen wäre, Veranlassung gegeben hat, und warum man sie endlich als eine falsche Theorie verlassen mußte, so weit auch ihre frühere Herrschaft verbreitet, und so groß auch die Autoritäten gewesen sein mögen, welche sie in der Vorzeit auszubilden, oder noch gegenwärtig in Schutz zu nehmen suchen. (Baumg. Naturl. S. 376.) L.

allgemeine mathematische Behandlung der Sache, und auch Beobachtungen von ganz besonderer Schärfe [14]). Auch trat diese Entwicklung nicht eher ein, bis Fresnel, ein Zögling jener berühmten polytechnischen Schule in Paris, die einen Lagrange, Laplace, Monge und Lacroix zu ihren Lehrern zählte, die ganze Kraft der neuern Analysis auf dieses Problem anwendete, bis die Erscheinungen der Dipolarisation in den zweiaxigen Krystallen nach allen Seiten mit Sorgfalt beobachtet, und bis endlich die Theorie selbst, durch die kombinirte Erklärung der Polarisation mit der doppelten Brechung, einen mächtigen Aufschwung genommen hatte, zu welcher letzten wir nun, in dem nächstfolgenden Abschnitte, übergehen wollen.

Vierter Abschnitt.

Erklärung der Polarisation des Lichts durch die Undulationstheorie [15]).

Schon zu der Zeit, wo nur diejenige Polarisation des Lichts, die der isländische Spath hervorbringt, bekannt war, wurde bereits die Schwierigkeit, diese Erscheinung durch die Undulationstheorie zu erklären, von Young gefühlt und anerkannt. Die Entdeckung der Polarisation des Lichts durch Reflexion, die Malus im Jahr 1808 machte, vermehrte noch diese Schwierigkeit, und auch dies wurde von Young keineswegs verkannt. In seinem Berichte über diese Entdeckung sagt Young [16]), „daß sie „ihm als die wichtigste und interessanteste von allen erscheine, „die in Frankreich seit Huyghens über die Eigenschaften des „Lichts gemacht worden sind, und daß sie einer um so größern „Aufmerksamkeit würdig sei, da sie ganz vorzüglich geeignet ist, „über den eigentlichen Vorrang zwischen den beiden Theorien, „die man über das Licht aufgestellt hat, zu entscheiden.“ Er setzt dann die Hauptzüge dieser zwei Systeme auseinander, und räumt mit Recht, in Beziehung auf die Erklärung der Interferenz und der doppelten Brechung, der Undulationstheorie die

14) Ueber diesen Gegenstand und die hieher gehörende „Fresnel'sche Fläche“ sehe man Baumg. Naturlehre S. 331.

15) Zur Erläuterung s. m. Baumg. Naturlehre S. 333 und 405.

16) Quarterly Review, May 1810.

erste Stelle ein. Was aber, fährt er fort, die Verlegenheiten betrifft, in welche diese Theorie durch die Erscheinungen der Polarisation des Lichtes versetzt wird, so wollen wir vor Allem bedenken, daß der Weg, auf dem man zu wissenschaftlichen Entdeckungen gelangt, nur selten eben und ohne Hindernisse ist, und daß wir die Berichte von dem, was wir gefunden haben, der Nachwelt offen vorlegen sollen, auch dann, wenn sie uns selbst theilweise noch nicht ganz klar, oder in scheinbare Widersprüche verwickelt sein sollten, in der Hoffnung, daß Zeit und erweiterte Kenntniß diese Zweifel dereinst zerstreuen, und diese Dunkelheiten aufklären werden. Und in diesen Gesinnungen hielt er, nicht mit blindem Starrsinn, sondern mit männlicher Beharrlichkeit und mit unerschüttertem Muthe, fest an seinem Vertrauen zu der neuen Lehre. Damals, als diese neuen Hindernisse, die aus dem dunkeln Hintergrunde der Polarisation hervortraten, über unserem Horizonte sich erhoben, als man an der Besiegung derselben schon zu verzagen anfing, damals stand die neue Wissenschaft auf dem dunkelsten, schwierigsten Punkt ihres Weges, und zu derselben Zeit stand auch Young ganz allein auf dem Felde.

Mehrere Jahre, scheint es, stand er da, und wartete vergebens auf die Morgenröthe der Erkenntniß. In dieser Zwischenzeit aber hatte er die Genugthuung, zu sehen, daß er durch seine neue Lehre wenigstens die Dipolarisation des Lichtes erklären könne, daß Fresnel seine frühern Entdeckungen über die Interferenz auf eigenem Wege wiedergefunden, und daß auch Arago dieselben ohne Anstand angenommen hatte. Bald darauf wurde er in eine freundschaftliche Verbindung mit Arago [17]) gezogen, der ihn im Jahr

---

17) Arago (Dominic François), geb. zu Estayel bei Perpignan am 28. Febr. 1786. Schon in seinem achtzehnten Jahre wurde er Professor in der polytechnischen Schule zu Paris, und in dem folgenden wurde er Sekretär des Bureau des longitudes. Er setzte in Gesellschaft mit Biot die von Delambre und Méchain über Frankreich geführte Meridianvermessung bis zu der spanischen Insel Formentera fort, wo er 1806, bei dem Einrücken eines französischen Heeres, von den spanischen Behörden gefangen gesetzt wurde. Als er endlich von seiner Gefangenschaft zur See nach Frankreich zurückkehren wollte, wurde er von einem Freibeuter nach Algier gebracht, wo er erst 1809, durch Verwendung des

1816 in London besuchte. Am 12. Januar des folgenden Jahres 1817 schrieb Young an Arago unter andern optischen Nachrichten, daß er auch über die Art nachgedacht habe, durch die Undulationstheorie eine leidliche Erklärung der Polarisation des Lichtes zu geben. Dann spricht er „von der Möglich„keit einer transversalen Vibration, die in der Richtung „des Radius fortgepflanzt wird, während die Bewegungen der „kleinsten Theilchen in einer bestimmten konstanten Richtung zu „diesem Radius liegen, und dies, setzt er hinzu, dies ist die „Polarisation."

Aus seiner weiteren Erläuterung dieser Ansicht scheint zu folgen, daß er die Bewegungen der kleinsten Theilchen in einer zu dem Lichtstrahl schiefen Richtung angenommen habe, nicht senkrecht darauf, wie die Theorie dies später ausgebildet hat. Demungeachtet lag hierin allein, nämlich in der transversalen Natur der Vibrationen, die Bedingung einer wahren Erklärung der Polarisation. Nur mit Hülfe dieses Begriffes konnte es möglich werden, einzusehen, wie die Lichtstrahlen verschiedene Seiten haben sollten, da die Richtung, in welcher die Vibration zu den Strahlen transversal ist, leicht auch durch besondere Eigenheiten ausgezeichnet sein konnte. Nachdem aber der Begriff einmal aufgefaßt war, konnte es für Männer, wie Young und Fresnel, verhältnißmäßig nur leicht sein, ihn weiter auszubilden und so lange zu modificiren, bis er seine wahre und bestimmte Gestalt gewann.

Wie schwierig es gewesen sein mag, den Begriff einer trans-

---

französischen Konsuls, die Freiheit wieder erhielt. Die erwähnte Fortsetzung jener Meridianvermessung oder der Base du système métrique, von Delambre, gab er mit Biot unter dem Titel: Recueil d'observations en Espagne, heraus. Seit dem Jahre 1816 wendete er sich mehr den physischen Wissenschaften zu, besonders der Theorie des Lichtes und des Galvanismus, in welchen beiden wir ihm viele der interessantesten Entdeckungen verdanken. Seine Aufsätze über Astronomie und Physik in der Annuaire présenté au Roi zeichnen sich durch Scharfsinn und durch lebhafte Klarheit des populären Vortrags aus. Seit dem Jahre 1830 hat er auch, als Mitglied der Deputirtenkammer zur linken Seite gehörend, an den öffentlichen politischen Angelegenheiten den thätigsten Antheil genommen. L.

versalen Vibration rein aufzufassen, läßt sich schon daraus abnehmen, daß selbst die ausgezeichnetsten Männer so lange Anstand nahmen, ihn zu ergreifen. „Als im Jahre 1816 Arago und ich, sagte Fresnel i. J. 1816, „die Bemerkung machten, daß zwei „unter rechten Winkeln polarisirte Strahlen durch ihre Wieder„vereinigung immer wieder dieselbe Quantität von Licht geben, „so wollte ich dies durch die Voraussetzung erklären, daß die Vi„brationen transversal sind, und daß sie unter rechten Winkeln „gegen einander stehen, wenn die Strahlen unter rechten Win„keln polarisirt sind. Eine solche Hypothese aber war mit den „bisher angenommenen Ideen über die Natur der Vibrationen „eines elastischen Mediums so wenig übereinstimmend, daß ich „anstand, sie anzunehmen, bis ich sie mit den übrigen Begriffen „der Mechanik in nähere Uebereinstimmung bringen konnte. „Young aber, kühner in seinen Conceptionen und weniger ver„trauend auf blose geometrische Ansichten, machte diese Idee vor „mir bekannt, obschon er sie vielleicht erst nach mir gedacht hatte.“ Arago aber pflegte später zu sagen [18]), daß, als er mit Fresnel durch ihre gemeinschaftlichen Beobachtungen zu diesem Resultate geführt wurde [19]), er für sich offen erklärte, daß er nicht den Muth habe, diese Ansicht auch sogleich öffentlich zu machen. Diesem gemäß wurde auch der zweite Theil des hier in Rede stehenden Memoirs nur unter Fresnel's Namen allein herausgegeben, was um so merkwürdiger ist, da sich dies alles zu einer Zeit ereignete, wo Arago schon im Besitz des Briefes von Young war, in welchem dieser dieselbe Ansicht vorgetragen hatte.

Young's erste öffentliche Mittheilung über die Lehre von den transversalen Vibrationen wurde bei Gelegenheit seiner Erklärung der Dipolarisation gegeben, von welcher wir in dem nächstfolgenden Abschnitte sprechen werden. Allein der wahre und schätzbarste Werth dieser Conception, dieses großen Fort-

---

18) Ich nehme mir die Freiheit, dies aus seinem persönlichen Gespräche anzuführen.

19) Daß nämlich entgegengesetzt polarisirtes Licht keiner Interferenz unterliegt, und daß diese transversalen Vibrationen die einzig mögliche Uebersetzung jenes Faktums in die Sprache der Undulationstheorie ist.

schritts der Undulationstheorie, bestand in der innigen Verbindung, die dadurch zwischen der Polarisation und der doppelten Brechung des Lichtes hergestellt wurde. Sie enthielt nämlich auch zugleich eine Erklärung der Polarisation, sobald nur einmal die Bedingungen aufgefunden waren, durch welche die Richtung der transversalen Vibrationen bestimmt werden kann. Die Analysis dieser Bedingungen war größtentheils Fresnel's Werk, eine Arbeit voll tiefen Scharfsinns und hohen mathematischen Talents.

Seitdem man die doppelte Brechung der einaxigen Krystalle, nach Huyghens, durch sphäroidische Wellen erklären konnte [20]), war es vielleicht nicht mehr schwer, die Vermuthung aufzustellen, daß die Vibrationen der zweiaxigen Krystalle in ellipsoidischen Wellen vor sich gehen, wo nämlich statt jenem Sphäroid mit zwei Axen ein anderes mit drei verschiedenen Axen zu Grunde gelegt werden muß. Auch konnte man, statt jenen zwei in verschiedenen Richtungen liegenden Elasticitäten der einaxigen Krystalle, für die zweiaxigen drei solcher Elasticitätsreihen annehmen, deren Richtungen unter einander senkrecht stehen. Diese Art von Generalisation war gewiß für Mathematiker nichts Außerordentliches. Aber wie sollte man alle diese verschiedenen Elasticitäten zu gleicher Zeit in's Spiel bringen, um die von jeder derselben beherrschten Lichtwellen zu erklären? Und wie sollte man, auf dem Wege der Rechnung, die verschiedenen Polarisationen erklären, die jede dieser isolirten Wellen mit sich führt? — Das waren allerdings sehr schwere Fragen, zu deren Beantwortung die bisher bekannte mathematische Analysis kein Mittel darbot.

Hier war es also, wo die Idee der transversalen Vibrationen, gleich einem Lichtstrahl in der dunklen Nacht, mit eins die Möglichkeit einer inneren mechanischen Verbindung aller dieser Phänomene sichtbar machte. Wenn transversale Vibrationen, nachdem sie durch ein gleichförmiges Medium gegangen sind, in ein ungleichförmiges aber doch so organisirtes Medium eintreten, daß die Elasticität desselben für verschiedene Richtungen ebenfalls verschieden ist, welches wird dann der Verlauf der

---

20) M. s. Baumg. Naturl. S. 325.

Welle in dem zweiten Medium sein? Werden die Wirkungen dieser Wellen mit den Erscheinungen des doppeltgebrochenen Lichts in den zweiaxigen Krystallen übereinstimmen? — Dies war ein Problem, das die Mathematiker durch seine Allgemeinheit und durch die Schwierigkeiten, mit welchen es umgeben war, fesseln mußte, ein in hohem Grade interessantes Problem, da von seiner Lösung das Schicksal einer ganzen großen Theorie abhing.

Die Lösung desselben, die ohne Zweifel nur einem hohen mathematischen Talente möglich war, wurde von Fresnel im November 1821 dem Institute von Frankreich vorgelegt, und in den folgenden Jahren noch durch zwei andere Abhandlungen desselben Verfassers weiter fortgeführt. — Der Inhalt dieser Memoiren ist in hohem Grade merkwürdig. — Die von einem entfernten Mittelpunkte kommenden und auf eines der eben erwähnten Medien fallenden Lichtwellen werden, wie aus mechanischen Prinzipien gezeigt wird, in diesem Medium auf eine Weise fortgepflanzt, die von allem, was man bisher darüber vorausgesetzt hat, gänzlich verschieden ist. Die Oberfläche der Welle [21]) ist eine sehr verwickelte, aber symmetrische Fläche, die sich, für einaxige Krystalle, in eine Sphäre und in ein Sphäroid auflösen läßt, die aber, im Allgemeinen, eine kontinuirliche doppelte Enveloppe des Centralpunkts, zu dem sie gehört, bildet, die sich selbst schneidet und auch wieder in sich selbst zurückkehrt [22]). Durch diese Fläche werden die Richtungen der Lichtstrahlen für zweiaxige Krystalle ganz eben so bestimmt, wie sie Huyghens bei einaxigen Krystallen durch die Kugel und durch das Sphäroid bestimmte, und das Resultat ist, daß in den zweiaxigen Kristallen beide Strahlen eine ungewöhnliche Brechung, und zwar nach bestimmten Gesetzen, erleiden. Dieselbe Construktion gibt auch zugleich die Lagen der Polarisationsebenen der beiden Strahlen, wo unter Polarisationsebene in diesem Falle diejenige verstanden wird, die senkrecht auf der Richtung der transversalen Vibration steht. Zugleich zeigte es sich auch, daß die durch diese Theorie

---

21) D. h. die Fläche, welche alle von einem Mittelpunkte ausgehenden Vibrationen begrenzt.

22) Vergl. Baumg. Naturlehre, S. 331.

Fresnel's bestimmten polarisirten Strahlen nicht ganz genau in den Ebenen liegen, die Biot früher auf experimentellem Wege gefunden hatte; sie wichen aber doch nur so wenig von ihnen ab, daß man nicht weiter zweifeln konnte, daß Fresnel's theoretischer Ausdruck vor jenem empirischen Gesetze den Vorzug verdiene.

Die Theorie Fresnel's erhielt noch eine weitere Bestätigung durch einen besondern Versuch mit Topas, einem zweiaxigen Krystall, von welchem man bisher geglaubt hatte, daß er, gleich den einaxigen Krystallen, den einen seiner beiden Strahlen auf die gewöhnliche, und den andern auf die ungewöhnliche Art breche. Er bricht aber beide Strahlen auf die ungewöhnliche Art, aber man hatte dies früher nicht bemerkt, weil in der That die Brechung des einen dieser Strahlen nur sehr wenig von der gewöhnlichen abweicht [23]). Auf diese Weise wurde also durch diese herrliche Theorie eine der sorgfältigsten früheren Beobachtungen der Optik nicht nur vollständig erklärt, sondern auch zugleich in ihrem Hauptpunkte korrigirt, und so konnte es nicht fehlen, daß die neue Lehre, gleich bei ihrer Erscheinung, den Mathematikern mit unwiderstehlicher Gewalt sich gleichsam aufdrang, da die Erklärung von zwei scheinbar so verschiedenen Erscheinungen, der Polarisation und der doppelten Brechung, durch dieselbe allgemeine und in allen ihren Theilen symmetrischen Theorie, nur aus der inneren Wahrheit dieser Theorie selbst hervorgehen konnte.

„Lange zuvor," sagt Fresnel [24]), „ehe ich diese Theorie „entworfen hatte, war ich schon bei dem blosen Anblick des „Gegenstandes bei mir überzeugt, daß es unmöglich sein wird, „die wahre Erklärung der doppelten Brechung zu finden, wenn „ich nicht zugleich die Erscheinung der Polarisation dadurch dar„stellen kann, die mit jener immer Hand in Hand geht. Nach„dem ich daher einmal diejenige Vibrationsart gefunden hatte, „die der Polarisation entspricht, so suchte ich dieselbe auch so„gleich auf die doppelte Brechung anzuwenden."

Kaum aber hatte sich Fresnel in den Besitz des Prinzips

---

23) Annales de Chimie. XXVIII. S. 264.

24) Sur la double Refraction. Mém. de l'Instit. 1826, S. 174.

der Polarisation gesetzt, als er dasselbe auch auf alle andere Phänomene des polarisirten Lichtes mit einer Schnelligkeit und mit einem Scharfsinn anzuwenden wußte, die uns mächtig an den Geist mahnt, in welchem Newton alle die Folgen des Prinzips der allgemeinen Gravitation entwickelt hatte. Zwar mußte Fresnel, bei der Ausführung dieses seines Werkes, sich manche mitunter willkührliche Voraussetzungen erlauben, die, selbst jetzt noch, eine große Verschiedenheit zwischen der Theorie der Schwere und der des Lichtes konstituiren. Aber die Art, auf welche die meisten dieser Voraussetzungen auf das Vollkommenste bestätigt wurden, fordert uns zugleich auf, die glückliche Kühnheit dieses seltenen Talentes offen zu bewundern.

Am schwersten zu behandeln schien besonders die Polarisation durch Reflexion. Aber mit Hülfe von mancherlei Kunstgriffen und Conjekturen wurde auch sie endlich gebrochen und überwältigt. Fresnel begann seine Arbeit mit dem einfachsten Fall, wenn das polarisirte Licht in der Reflexionsebene zurückgeworfen wird, und er löste diesen Fall mit Hülfe des bekannten Gesetzes von dem Stoße elastischer Körper. Dann nahm er die auf die vorige Richtung senkrechte Reflexion des polarisirten Lichtes vor, und erhielt auch hier die gesuchten Ausdrücke, indem er den allgemeinen mechanischen Prinzipien noch die empirische Annahme hinzufügte, daß die Communikation der parallel zu der brechenden Fläche aufgelösten Bewegung nach den Gesetzen der elastischen Körper statthabe. Die erhaltenen Resultate der Rechnung konnten mit denen der Beobachtungen unmittelbar verglichen werden, und diese Vergleichung, die Arago besorgte, bestätigte vollkommen die Richtigkeit der Theorie. Sie stimmten noch überdies sehr gut mit dem von Brewster entdeckten Gesetze für die Polarisationswinkel [25]) überein, was nur als ein Beweis mehr für die Wahrheit der Theorie betrachtet werden konnte. Ein anderer Kunstgriff, den Fresnel und Arago anwendeten, um die Wirkung der Reflexion auf ge-

---

25) Der Polarisationswinkel ist nach dem Vorhergehenden derjenige, unter den ein Strahl einfallen muß, wenn er durch Reflexion vollkommen polarisirt werden muß, und die trigonometrische Tangente desselben ist, wie Brewster gefunden hat, immer dem Brechungsexponenten des Mediums gleich.

wöhnliches Licht zu erforschen, bestand darin, daß sie solche Strahlen zu ihren Versuchen wählten, die in Ebenen von 45 Graden zu der Reflexionsebene lagen, weil bei solchen Strahlen die Quantität des entgegengesetzt polarisirten Lichtes gleich groß ist, wie bei dem gewöhnlichen Lichte [26]), während die relative Quantität des entgegengesetzt polarisirten Lichtes in dem reflektirten Strahl durch die neue Polarisationsebene angezeigt wird, so daß demnach diese relativen Quantitäten auch für den Fall des gemeinen Lichtes bekannt gegeben werden. Auch die auf diesem Wege erhaltenen Resultate wurden bewährt gefunden, so daß auf diese Weise alles, was in Fresnel's Rechnungen noch Willkührliches oder Gewagtes erscheinen mochte, durch die Anwendung derselben auf Beobachtungen und Experimente vollkommen bestätigt erschien.

Fresnel machte diese Untersuchungen im Jahre 1821 bekannt [27]). In den nun folgenden Jahren suchte er die Anwendung der von ihm gefundenen Ausdrücke auch auf diejenigen Fälle, besonders bei den Reflexionen des Lichts im Innern der Körper, anzuwenden, in welchem sie ihre Bedeutung ganz zu verlieren scheinen, oder, in der Sprache der Mathematiker zu reden, in welcher diese Formeln imaginär werden. Den nicht mathematischen Lesern mag es sonderbar scheinen, aber es ist demungeachtet nicht weniger gewiß, daß in vielen Fällen, wo eine die Auflösung eines Problems enthaltene Formel auf ganz unmögliche oder praktisch unausführbare Ausdrücke führt, dieselben doch auf eine Weise ausgelegt werden können und müssen, daß sie eine, oft von dem Frager selbst nicht einmal geahnete Auflösung des Problems enthalten. Eine solche Auslegung versuchte nun auch Fresnel für den hier erwähnten Fall [28]), und das Resultat, zu dem er dadurch gelangte, war, daß die Reflexion des Lichtes durch ein Glasparallelepiped von besonderer Form [29]) eine ganz andere, von dem bisher betrachteten verschie-

---

26) Entgegengesetzt polarisirtes Licht heißt, nach dem Vorhergehenden, dasjenige, dessen Strahlen in zwei auf einander senkrecht stehenden Ebenen polarisirt sind.

27) M. s. Annales de Chimie, Vol. XVII.

28) Bulletin des sciences. Febr. 1823.

29) M. s. über dieses sogenannte Fresnel'sche Parallelepiped Baumg. Naturl., S. 344.

dene, nämlich die sogenannte cirkulare Polarisation erzeugt. Die vollständige Bestätigung dieses sonderbaren und unerwarteten Resultates durch Experimente war wieder eine Gelegenheit zu neuen, herrlichen Triumphen, welche die Geschichte dieser Theorie seit dem Beginn von Fresnel's Arbeiten schon so oft ausgezeichnet haben.

Die diesen Untersuchungen folgenden Leistungen werden angemessener dem nächstkünftigen Kapitel aufbewahrt bleiben, in welchem wir von den mannigfaltigen Bestätigungen sprechen wollen, die diese Theorie bisher erhalten hat. Zuerst aber müssen wir noch von einer andern Klasse zahlreicher und vielseitiger Erscheinungen sprechen, an welchen die beiden um den Vorrang buhlenden Theorien anfangs ihre Kräfte versuchten, bis endlich die Undulationslehre auch hier ihre Herrschaft für immer begründete.

Fünfter Abschnitt.

Erklärung der Dipolarisation durch die Undulationstheorie.

Als Arago im Jahr 1811 die Farben entdeckte, die durch polarisirtes Licht in dünnen Krystallplättchen erzeugt werden [30]), war es wohl zu erwarten, daß man auch bald Versuche machen würde, diese Erscheinungen auf theoretischem Wege zu erklären. Biot, durch den Erfolg des Malus in der Entdeckung der Gesetze der doppelten Brechung ermuthigt, und Young, auf die Kraft seiner eigenen Theorie vertrauend, waren die ersten, die dieses neue Feld betraten. Die Darstellung von Biot ist, obwohl sie am Ende durch die seines Nebenbuhlers zur Seite gestellt wurde, immerhin einer Erwähnung in der Geschichte der Optik nicht unwerth. Sie gründet sich auf die von ihm sogenannte bewegliche Polarisation. Er nahm an, daß wenn die Lichttheilchen durch dünne Krystallplättchen gehen, die Polarisationsebene in eine Oscillation geräth, durch welche dieselbe um einen gewissen Winkel vor- und rückwärts geführt wird, nämlich um das Doppelte von demjenigen Winkel, der zwischen der primitiven Lage der Polarisationsebene und zwischen dem Hauptschnitt des Krystalls

---

30) M. s. oben den Eingang zu dem neunten Kap. dieses Buchs.

enthalten ist. Die Intervalle dieser Oscillationen nimmt er für verschiedene Farben verschieden an, gleich den Newton'schen Anwandlungen des Lichts, nach dessen Muster überhaupt seine Theorie offenbar entworfen ist [31]). In der That hängen die bei den Phänomenen der Dipolarisation periodisch hervortretenden Farben offenbar von der Länge des Weges ab, den das Licht durch den Krystall nimmt. Eine Theorie dieser Art war allerdings einer solchen Behandlung fähig, und wurde auch von Biot so modificirt, daß sie die Hauptzüge der damals bekannten Erscheinungen der Dipolarisation im Allgemeinen richtig darstellte. Allein gar manche von seinen Voraussetzungen sind nur auf spezielle Umstände in den Experimenten gebaut, ohne zu den reellen Bedingungen der Natur zu gehören; auch fehlte es nicht in dieser Theorie an mehreren Unzulänglichkeiten, und ihr Hauptfehler endlich war, daß sie auf einer ganz willkührlichen und mit allen andern optischen Erscheinungen unzusammenhängenden Hypothese erbaut wurde.

Young's Erklärung dieser prachtvollen Phänomene erschien 1814 in den Quaterly Review. Nachdem er hier der Entdeckungen von Arago, Brewster und Biot Erwähnung gethan, fährt er so fort: „Wir zweifeln nicht, daß die Ueberraschung dieser „Herren eben so groß sein wird, als unsere eigene Genugthuung, „wenn sie hier mit mir finden werden, daß auch diese, so wie alle „anderen mit periodischen Farben begleiteten Erscheinungen, voll„kommen auf die Gesetze der Interferenz, die in diesem meinem „Vaterlande aufgestellt worden sind, zurückgeführt werden können," wobei er sich auf seine früheren Behauptungen über den Urheber dieser Entdeckungen bezieht. Diesen Aeußerungen folgt dann seine Erklärung des Phänomens durch die Interferenz des gewöhnlich und des ungewöhnlich gebrochenen Strahls. „Doch muß man, „wie Arago [32]) in seinem Berichte von dieser Entdeckung mit „Recht bemerkt, hinzusetzen, daß Young nicht gesagt hat, „weder unter welchen Verhältnissen die Interferenz der Strahlen „eintreten kann, noch auch, warum wir diese Farben nur dann

---

31) M. s. Arago's und Biot's Aufsätze in den Mém. de l'Instit. für 1811, 1812, 1817 und 1819. Der ganze Band für 1812 ist von Biot's Memoir angefüllt.

32) Encycl. Britan. Suppl. Artic. Polarization.

„sehen, wenn die Krystallplättchen dem schon vorläufig polarisir„ten Lichte ausgesetzt werden." — Die genaue Erklärung dieser Erscheinungen hängt von den Gesetzen der Interferenz des polarisirten Lichtes ab, und diese wurde von Arago und Fresnel im Jahr 1816 gegeben. Beide haben durch direkte Versuche bewiesen, daß, wenn polarisirtes Licht ganz so, wie das gemeine, zur Erzeugung der farbigen Schattensäume behandelt wird, daß dann die aus einem gemeinschaftlichen Punkt kommenden und in unter sich parallelen Ebenen polarisirten Lichtstrahlen einander vollständig interferiren, während die in entgegengesetzten Ebenen polarisirten Strahlen sich gegenseitig durchaus gar nicht interferiren [33]). Indem nun Fresnel von diesen Grundsätzen ausging, erklärte er alle Umstände, welche die Farben dieser krystallinischen Plättchen zu begleiten pflegen, umständlich und höchst genau; er zeigte die Nothwendigkeit der Polarisation der Strahlen in parallelen Ebenen; er wies die dipolarisirende Einwirkung des Krystalls nach, und er lehrte uns auch das Geschäft der analysirenden Platte kennen, durch welche gewisse Theile von jedem der zwei Strahlen in dem Krystall dahin gebracht werden, daß sie interferiren und dadurch jene Farben hervorbringen. Und dies alles that er, wie er sagt [34]), ohne zu wissen, bis Arago es ihm erzählte, daß Young ihm hierin in gewisser Beziehung schon zuvorgekommen ist.

Wenn wir die Geschichte der Emanationstheorie des Lichtes näher betrachten, so kann man die charakteristischen Züge einer irrigen und falschen Doktrin nicht weiter verkennen. Eine solche Lehre mag immerhin mehrere von den Erscheinungen, die ihr zuerst begegnen, in einem gewissen Grade erklären, aber jede neue Klasse von Phänomenen, die sich auf ihrem Wege zeigen, fordert gewöhnlich auch wieder eine neue Hypothese zu ihrer speziellen Erklärung, wieder ein neues Rad, das in die meistens ohnehin schon überladene Maschine eingesetzt werden muß; und wie sich die Beobachtungen und Thatsachen mit der Zeit vermehren, häufen sich auch diese Einsätze und Nothbehelfe, die unter sich selbst in keinem eigentlichen inneren Zusammenhange

33) Annales de Chimie, Vol. X.

34) Annales de Chimie, Vol. XVII. S. 402.

stehen, und unter deren Last endlich das ganze, vielleicht sehr künstlich erbaute, aber schlecht unterstützte und nur theilweise, ohne Rücksicht auf das Ganze angelegte Gerüste völlig zusammenstürzt. Dies war das Schicksal der epicyklischen Theorie in der Astronomie, und dies war auch das der Emanationstheorie des Lichtes. Als die letzte in ihrer noch ganz einfachen Gestalt auftrat, erklärte sie die Erscheinungen der Reflexion und Refraktion des Lichtes auf eine allerdings befriedigende Weise. Allein schon die von Hooke zuerst bemerkten Farben der dünnen Plättchen machten die Beifügung einer neuen Hypothese nothwendig, denn diese Farben konnten nur durch besondere „Anwandlungen“ des Lichtes erklärt werden. Die von Grimaldi beobachteten farbigen Schattensäume und alle übrigen Erscheinungen der Interferenz des Lichtes führten wieder zur Aufstellung neuer und verwickelter „Gesetze über die Anziehung und Abstoßung“ der einzelnen Elemente, denen das Licht unterliegen sollte; die doppelte Brechung des Lichtes in den Krystallen rief wieder andere „Hülfs-Kräfte“ hervor, die wunderlicher Weise aus den krystallinischen Axen dieser Körper entspringen sollten; die Polarisation des Lichtes zwang zu der Annahme, daß jeder Lichtstrahl mehrere „wesentlich verschiedene Seiten“ habe und die Dipolarisation des Lichtes endlich, oder die prachtvollen Farben krystallinischer Plättchen im polarisirten Lichte leiteten zu der sonderbaren, verwickelten und mit allen anderen unzusammenhängenden Hypothese von der „beweglichen Polarisation.“ Und nachdem man alle diese Nothbehelfe willig sich hatte gefallen lassen, zeigten sich wieder neue Lücken, die ausgefüllt, und neue Bedürfnisse, die ebenfalls befriedigt werden sollten. Nichts erblickte man da von jenen unerwarteten Erfolgen, von jenem glücklichen Zusammentreffen der Ideen, von jener gegenseitigen Beleuchtung und Unterstützung der Phänomene, die, anfangs einander scheinbar fremd, sich bald demselben Prinzip unterordnen und aus einer und derselben Quelle fließen; und von keiner einzigen jener Hypothesen konnte gerühmt werden, daß sie, wie dies wohl z. B. mit der allgemeinen Attraktion der Fall war, durch ihre Folgerungen zu der Entdeckung anderer, neuer, und besonders solcher Erscheinungen geführt hätte, deren man ohne diesen Leitfaden, an der Hand bloser Empirie, nicht leicht hätte habhaft werden können. Der Architekt stellte, nicht ohne Kunst, man muß es gestehen, und mit noch mehr Künstelei, sein großes weitläufiges Gebäude hin, aber die einzelnen Theile desselben paßten nicht an einander, und sie blieben nur stehen, so lang sie von dem Baumeister selbst, nicht aber von der innern Kraft des Ganzen zusammengehalten wurden. — An allen diesen aber wird Niemand den Charakter einer wahren, in sich selbst begründeten und mit den Erscheinungen der Natur übereinstimmenden Theorie erkennen.

In der Undulationstheorie im Gegentheile strebt alles zur Einheit und Einfachheit hin. Die Brechung und die Zurückwerfung des Lichtes wird durch die „Wellenbewegung“ desselben vollkommen erklärt; die Farben der dünnen Plättchen folgen unmittelbar aus den verschiedenen „Längen dieser Wellen,“ und alle Phänomene der „Interferenz“ fließen sämmtlich aus derselben Quelle. Die Polarisation hielt uns einige Augenblicke, aber nicht lange, auf unserem Wege auf. Noch ist nämlich, nebst der Größe der Welle, durch welche die Interferenz erklärt wurde, die „Richtung“ derselben übrig, und durch sie wird auch die Polarisation des Lichtes vollständig dargestellt; ja dieselbe Erklärung gibt uns auch zugleich die der doppelten Brechung, die mit der Polarisation immer zugleich auftritt, und die auch in der That mit ihr aus derselben Quelle entspringt. Bald aber stellen sich neue Erscheinungen unseren erstaunten Blicken dar, die immer zahlreicher, verwickelter, wunderbarer werden. — Gleichviel, die Theorie genügte ihnen allen! Ohne weiter eine andere Hypothese, wie ihre frühere Nebenbuhlerin, zu Hülfe zu rufen, weiß sie durch ihren eigenen Reichthum allen Bedürfnissen zu genügen, durch ihre eigene innere Kraft alle Erscheinungen zu erklären, und jedes Hinderniß, das sich ihr entgegenstellt, siegreich zu bekämpfen. Sie ordnet, vereinfacht, und erläutert die verwickeltsten Fälle; verbessert und berichtigt frühere Beobachtungen und Gesetze; sagt sogar neue voraus und schließt sie vor unseren Augen auf; sie wird selbst der Führer ihres ersten Lehrers, der Beobachtung, und sie dringt endlich, mit der Fackel der Analysis und der Mechanik in der Hand, durch das Aeußere der Körper, durch Farbe und Gestalt derselben, bis zu ihrem inneren Gewebe, bis zu dem verschlossenen Wohnsitze jener geheimnißvollen Kräfte vor, durch deren Spiel alle jene wundervollen Erscheinungen des Lichtes hervorgebracht werden.

Diese Betrachtungen führen uns aber bereits nahe an die

Grenze der „philosophischen Moral" dieser Geschichte, die, wie wir bereits oben gesagt haben, einem andern Werke vorbehalten bleiben muß. — Indem wir daher hier unseren Bericht über die Entdeckung und erste Verbreitung der Undulationstheorie schließen, wollen wir noch, in dem folgenden Kapitel, die weitere Entwicklung und Ausdehnung derselben in Kürze betrachten.

Zwölftes Kapitel.

Folgen der Epoche von Young und Fresnel. Aufnahme der Undulationstheorie.

Als Young im Jahre 1800 seine Ansicht von dem Prinzip der Interferenz als die wahre Theorie der optischen Erscheinngen vortrug, war sein Vaterland nicht eben in einem der Aufnahme dieser neuen Lehre sehr günstigen Verhältnisse. Die wissenschaftlichen Männer waren sämmtlich für die Emissionstheorie eingenommen, nicht allein wegen ihrem Nationalinteresse von Newton's Ruhm und ihrer wohl sehr natürlichen Hochachtung für einen so außerordentlichen Mann, sondern auch aus einer Art von Gefälligkeit gegen die großen Geometer in Frankreich, die in der Anwendung der Mathematik auf naturwissenschaftliche Gegenstände als die Meister der Engländer betrachtet, und die in diesen wie in allen anderen Dingen ebenfalls für Anhänger der Theorie Newton's gehalten wurden. Ueberhaupt hatte sich der Hang zu einer atomistischen Darstellung der Naturwissenschaften, die zu Newton's Zeiten aufzutreten begann, weit und kräftig verbreitet. Die damit zusammenhängende Hypothese der Emission des Lichtes war überdies so leicht zu begreifen, daß sie, durch Männer von so hohem Ansehen eingeführt, bald auch zur Menge vordrang und eine Art von Popularität erwarb, während im Gegentheile die Undulationstheorie, die sich offenbar lange nicht so leicht, selbst für die an Nachdenken gewohnten Menschen, verständlich machen ließ, vernachläßigt und beinahe vergessen zur Seite liegen blieb.

Aber auch mit allen diesen Rücksichten finden wir doch die Aufnahme, die Young's Theorie bei ihrer ersten Erscheinung zu

Theil wurde, ungünstiger noch, als man erwarten sollte. In England gab es zu jener Zeit keine Corporation von Männern, die durch ihre Kenntnisse oder durch ihre Stellung in der wissenschaftlichen Welt geeignet gewesen wären, in Fragen dieser Art als Richter aufzutreten, oder auch der öffentlichen Meinung Anstoß und Richtung zu geben. Die königliche Societät z. B. hatte schon seit langer Zeit, aus Grundsatz oder Gewohnheit, sich von Unternehmungen dieser Art fern gehalten. Nur die Verfasser der „Reviews" hatten, als ein geheimes und sich selbst konstituirendes Tribunal, eine Art von Autorität an sich gezogen. Unter diesen Zeitschriften war das für jene Zeiten bei weitem ausgezeichnetste das Edinburgh Review. Dieses zählte unter seinen Mitarbeitern Männer von vorzüglichen Kenntnissen und großen Talenten, die sich in ihren Aufsätzen eines kräftigen und scharfen Styles (zuweilen selbst auf eine unartige Weise) bedienten, und daher natürlich großen Einfluß übten. — Ueber abstrakte, nur wenigen zugängliche Gegenstände müssen die Meinungen und Ansichten, die in einer solchen Zeitschrift mitgetheilt werden, nur als die des individuellen Verfassers des Aufsatzes betrachtet werden. Die Beurtheilung einiger früheren optischen Schriften Young's wurde in jener Zeitschrift von Brougham [1])

---

1) Brougham (Henri, Baron), geb. 1779 in Edinburg, wo er unter dem Einflusse des großen Geschichtschreibers Robertson, des Oheims seiner Mutter, seine erste wissenschaftliche Bildung erhielt. In seinem fünfzehnten Jahre bezog er die Universität von Edinburg, und bald nachher schrieb er seinen Versuch über die Geschwindigkeit des Lichtes, der eine Stelle in den Phil. Transact. erhielt. Er widmete sich zu gleicher Zeit und mit gleichem Eifer der Mathematik, der Rechtswissenschaft und dem Studium der griechischen und römischen Klassiker, vorzüglich der Redner. Im Jahre 1804 trat er als Sachwalter vor den schottischen Gerichten auf, und wurde bald darauf einer der vorzüglichsten Mitarbeiter an dem berühmten Edinburgh review. Im Jahre 1810 kam er in das Parlament, wo er sich sofort mit der ihm eigenen Energie gegen den Sklavenhandel und für die Verbesserung der Volkserziehung in England erklärte. Im Jahre 1820 vertheidigte er die Königin Charlotte in ihrem berüchtigten Prozesse vor dem Parlamente. In demselben Jahre gründete er die erste Kleinkinderschule in London, so wie eine Bildungsanstalt für Handwerker (Mechanics institutions). Seine Ansichten über Volkserziehung machte er in der trefflichen Schrift:

übernommen, der, wie wir schon gesehen haben, über die Interferenz des Lichtes nach den von Newton aufgestellten Ansichten der Inflexion seine Beobachtungen angestellt hatte. Brougham, der damals erst vierundzwanzig Jahre zählte, war allerdings zu jener Zeit noch jung genug, um sich von dem Schein einer richterlichen Autorität in wissenschaftlichen Angelegenheiten, als wohl bestallter, anonymer Mitarbeiter einer solchen Zeitschrift, etwas berauschen zu lassen, da er selbst in späteren Jahren noch zuweilen als ein Mann betrachtet wurde, der sich strengen und sarkastischen Ausdrücken gern hinzugeben pflegt. Im Januar 1803 erschien Brougham's Kritik [2]) über Young's Schrift „Ueber die Theorie des Lichts und der Farben," in welcher der letzte seine Ansicht von den Wellen und den Interferenzgesetzen des Lichtes vorträgt. Diese Kritik war ein ununterbrochener Strom von Tadel und Vorwürfen. „Diese Schrift," sagt der Journalist, „enthält nichts, das den Namen von Experiment oder Entdeckung verdiente." Er wirft dem Verfasser „gefährliche Erschlaffungen aller Prinzipien einer physischen Logik" vor. „Wir wünschen," sagt er, „die Naturforscher zu den strengen Untersuchungsmethoden zurückzuführen," für welche er diejenigen ausgibt, denen Baco, Newton und andere gefolgt sind. Endlich wird von Young's Hypothese als von einem blosen Werke der Phantasie gesprochen, „und wir können," setzt er hinzu, „unseren Bericht „nicht schließen, ohne die Aufmerksamkeit der königlichen Societät darauf zu lenken, die in den letzten Zeiten so viele flüchtige „und inhaltsleere Aufsätze in ihre Memoiren aufgenommen

---

Practical observations upon the education of the people (Lond. 1825) bekannt, von der in kurzer Zeit 50000 Exemplare unter das Publikum kamen. Eben so war er einer der ersten und eifrigsten Begründer der neuen Volksschriften (Pennymagazins u. s.) und selbst der neuen Londner Universität. Im Jahre 1830 wurde er zum Landkanzler von England erhoben, wo er sofort eine Menge von Mißbräuchen abschaffte und zugleich einen rühmlichen Beweis seiner Uneigennützigkeit ablegte, indem durch seine neuen Einrichtungen sein eigenes Diensteinkommen um jährliche 7000 Pf. Sterling vermindert wurde. In seinen Schriften und noch mehr in seinen öffentlichen Reden zeichnete er sich durch Geistesreichthum und treffenden, oft schneidenden Witz aus. L.

2) Edinburgh Review, Vol. I. S. 450.

hat," welche Gewohnheit er sie dann zu ändern drängt. — Dieselbe Abneigung gegen die Undulationstheorie erscheint später wieder in einer andern Kritik desselben Mannes bei Gelegenheit von Wollaston's Messung der Brechungen des Lichtes in dem isländischen Krystall. „Wir sind recht unzufrieden, sagt er, zu „sehen, daß ein so genauer und scharfsinniger Experimentator die seltsame Undulationstheorie angenommen hat." Der Journalist zeigt im Verfolg seiner Kritik nur seine Unkenntniß und Vorurtheile, und Young schrieb eine Erwiderung, die recht geschickt verfaßt war, aber, nur in Nebenblättern mitgetheilt, wenig bekannt wurde. Es ist übrigens nicht zu zweifeln, daß die Edinburgh Review ihre beabsichtigte Wirkung, die Undulationstheorie in noch größeren Verruf zu bringen, bei dem Publikum erreicht habe.

Doch muß auch bemerkt werden, daß Young's Weise, seine Meinungen vorzutragen, nicht eben sehr geeignet war, ihr die Gunst der Leser zu gewinnen. Seine mathematischen Darstellungen waren schon ganz außer dem Bereich der gemeinen Leser, aber sie konnten durch ihren Mangel an System und Symmetrie in seinen symbolischen Rechnungen, auch für die eigentlichen Mathematiker nichts Anziehendes haben. Er beurtheilte selbst einmal ganz richtig seinen Styl, indem er von einem andern seiner Werke spricht [3]): „Meine mathematischen Schlüsse, „sagt er, „wurden wegen dem Mangel der symbolischen Zeichen selbst „von mittelmäßigen Mathematikern nicht verstanden. Aus „Abneigung gegen die Affektation der algebraischen Formeln, „die ich von mehreren ausländischen Schriftstellern oft sehr ge„mißbraucht sah, wurde ich gewissermaßen wieder zu der um„gekehrten Affektation einer gewissen Einfachheit verleitet, die aber „einem wissenschaftlichen Leser eben so unangemessen ist, wie jene."

Young scheint sein eigenes Unvermögen gekannt zu haben, die Gunst oder auch nur die Aufmerksamkeit des Publikums auf seine Entdeckungen zu ziehen. Im Jahre 1802 schrieb Davy an einen seiner Freunde: „Haben Sie die Theorie meines Kolle„gen, des Dr. Young, über die Undulationen des Aethers schon „gesehen, in welchem das Licht bestehen soll? Es ist wohl nicht

---

3) M. s. Life of Young, S. 54.

„zu erwarten, daß diese Hypothese je populär werden wird, nach „allem dem, was bereits Newton über sie gesagt hat. Indeß „würde es ihn sehr freuen, wenn sie ihm einige Bemerkungen „über seine Theorie mittheilen wollten, sie mögen nun für „oder gegen sie ausfallen." Young fühlte ohne Zweifel Vertrauen auf seine Kraft, solche Einwürfe, wenn sie nur einmal gemacht würden, zu widerlegen, und er wartete nur auf die Gelegenheit zu einem solchen öffentlichen Streite.

Brewster [4]), der um dieselbe Zeit unsere optischen Kenntnisse mit einer ganzen Reihe von neuen Erscheinungen und Gesetzen bereicherte, theilte doch mit den übrigen die allgemeine Abneigung gegen die Undulationstheorie, so zwar, daß er sich, selbst dreißig Jahre später noch, nur schwer von dieser Abneigung losmachen konnte. — Wollaston aber war ein Mann, der, nach seiner Art, lange Zeit durch sich mit den blosen Phänomenen und ihren Gesetzen begnügte, ohne sich um die Ursachen derselben zu kümmern, und es scheint nicht, daß er über den eigentlichen Werth der beiden Theorien je mit sich selbst einig geworden ist. — Auch der jüngere Herschel hegte anfangs das allgemeine mathematische Vorurtheil für die Emissionslehre. Auch dann noch, als er selbst die Gesetze der Dipolarisation durchdacht und mit seinen eigenen Entdeckungen bereichert hatte, suchte er sie in die Sprache der Emanationstheorie durch Hülfe der „beweglichen Polarisation" zu übersetzen. Im Jahre 1819 noch bezogen sich seine Arbeiten auf diese Theorie, die er immer mehr zu verbessern sich bemühte. „Jetzt ist sie," sagte er, „von allen ihren „früheren Hindernissen befreit und berechtigt, an der Seite der „Anwandlungen" als ein einfaches und allgemeines physisches

---

4) Brewster (David, Baronet), geb. 1785, einer der gelehrtesten, thätigsten und zugleich reichsten Physiker Englands, hat sich besonders um die Lehre von der Polarisation des Lichtes sehr verdient gemacht. Seine meistens trefflichen Abhandlungen über diese und andere optische Gegenstände findet man in den Edinburgh Transactions und in den Edinb. philosophical journal. Sein Traitise of optics (London 1832), seine Letters of natural magic (Lond. 1831) und seine Biographie Newton's (Lond. 1832, deutsch von Goldberg 1834) sind sehr geschätzt. Seine vielseitige Bildung befähigte ihn, die Herausgabe der Edinb. Encyclopaedia zu übernehmen und glücklich durchzuführen. L.

Gesetz aufzutreten," ein allerdings richtiger Ausspruch, der aber in unseren Tagen nicht mehr so viel Lob in sich enthält, als er damals enthalten sollte. In einer noch späteren Zeit bemerkte er, daß die Emissionstheorie, wenn sie nur eben so eifrig, wie ihre Nebenbuhlerin, gepflegt und ausgebildet worden wäre, vielleicht eben so weit vorgeschritten sein würde: eine Meinung, die, nach den Leistungen der beiden Theorien über die Interferenz, unhaltbar, und nach Fresnel's schönen Erklärungen der Polarisation und der doppelten Brechung ganz übertrieben und unzulässig erscheinen mußte. Selbst im Jahre 1827 gibt er noch, in seinem für die Encyclopaedia Metropolitana verfaßten Treatise of Light, in einem eigenen Abschnitte die Berechnungen nach Newton's Systeme, und scheint den Kampf zwischen beiden Theorien als noch immer nicht geschlossen zu betrachten. Doch spricht er hier bereits mit Anerkennung von den großen Vortheilen der neueren Lehre. Denn in der Einleitung zu derselben drückt er sich so aus: „Die blos hingeworfenen und nicht weiter „verfolgten Spekulationen Newton's, so wie auch die Ansichten „Hooke's von der Undulationstheorie, so klar und deutlich sie „auch von jenen Männern aufgestellt wurden, können doch nicht „in Anspruch kommen, ja sie verdienen kaum einer Erwähnung „gegen die schöne, einfache und umfassende Theorie Young's, „gegen eine Theorie, die, wenn sie auch nicht in der Natur „selbst gegründet sein sollte, doch gewiß eine der glücklichsten „Erfindungen ist, die der menschliche Geist ausgedacht hat, um „eine Masse von Erscheinungen, die auf den ersten Blick un„vereinbar und in direkten Widersprüchen unter einander zu „stehen scheinen, unter einem einzigen gemeinsamen Gesichtspunkt „zu vereinigen. In der That besteht diese neue Theorie, in allen „ihren Theilen und Anwendungen, nur in einer ununterbro„chenen Kette von den glücklichsten Erfolgen, so daß man bei„nahe verleitet wird, zu sagen, daß sie, wenn sie auch nicht „wahr sein sollte, doch, es zu sein, in hohem Grade verdiene."

In Frankreich war Young's Lehre nur wenig beachtet und, Arago etwa ausgenommen, beinahe unbekannt, bis sie von Fresnel [5]) wieder aufgeweckt wurde. Und obschon Fresnel's

5) Fresnel (Augustin Johann), geb. 10. Mai 1788 zu Broglie im Eure-Departement. Sein Vater, Jakob Fresnel, war Architekt und

Schutzrede für die neue Theorie nicht so rauh aufgenommen wurde, wie dies mit Young in England der Fall war, so erfuhr

---

Unternehmer öffentlicher Arbeiten. Im Jahre 1794 zog er sich mit seiner Familie, den Stürmen der Revolution auszuweichen, auf sein kleines Landgut bei Caen zurück, wo er die sieben nächstfolgenden Jahre ganz der Erziehung seiner Kinder widmete. Augustin's Fortschritte wurden durch Jugendkrankheiten sehr gehindert: er konnte in seinem achten Jahre noch kaum lesen und die Erlernung der lateinischen Sprache fiel ihm sehr schwer. Er begriff die ihm vorgetragenen Lehren nur mit Mühe, und auch sein Gedächtniß schien sehr schwach zu sein. So unzufrieden die Lehrer mit ihm waren, so zeigte er doch seinen Gespielen einen erfindungsreichen Untersuchungsgeist, daher er auch unter ihnen, vielleicht nur scherzweise, das Genie genannt wurde. In seinem dreizehnten Jahre bezog er die Centralschule zu Caen, wo er von Quesnot Mathematik, und von Larivière Logik und Philosophie kennen lernte. Im sechszehnten Jahre kam er in die polytechnische Schule zu Paris, wo er, seiner immerwährenden Kränklichkeiten ungeachtet, den ersten Rang unter seinen Mitschülern zu behaupten wußte. Nachdem er diese Anstalt verlassen hatte, wurde er Ingenieur in der Vendée, wo er sich durch seine Talente und seinen Eifer allgemeine Achtung erwarb, und wo er bis zu dem Jahre 1815 glücklich und zufrieden lebte. Die Wiederkehr der Bourbone und ihre oktroyirte Charte als die Morgenröthe des neuen Glücks seines Vaterlandes betrachtend, nahm er Dienste in der königlichen Armee gegen den aus Elba zurückkehrenden Usurpator. Seine schwächliche Gesundheit ließ ihn schon in wenigen Wochen hinter der Armee zurückbleiben, wo er den Mißhandlungen des immer mit dem Sieger haltenden Pöbels ausgesetzt wurde. Dies änderte seine Ansichten. Weder den Menschen, noch dem Glücke seines Vaterlandes weiter vertrauend, zog er sich in die Normandie zurück, um dort in der Einsamkeit ganz den Wissenschaften zu leben, besonders der Optik, die ihn schon früher in freien Stunden angenehm beschäftigt hatte. Die Erscheinungen der Diffraktion des Lichtes, die er auf eine genügendere Weise zu erklären suchte, wendeten ihn der Undulationstheorie zu, die er, sobald er ihren innern Reichthum einmal erkannt hatte, immer mehr auszubilden sich bestrebte, wobei ihm die einige Jahre früher angestellten ähnlichen Versuche Young's in England ganz unbekannt waren. Seine erste Schrift über die Diffraktion legte er am 23. Oktober 1815 in dem Institut von Frankreich nieder. Im folgenden Jahre erschien sie in den Annales de physique et de chimie. Dadurch wurde die Akademie von Paris veranlaßt, diesen Gegenstand i. J. 1817 zu einer ihrer Preisfragen zu erheben, und Fresnel's neue doch auch sie nicht geringen Widerstand besonders von den älteren Mathematikern, daher sie auch ihren Weg zu dem Ver-

---

Arbeit über denselben wurde von der Akademie gekrönt. Seitdem verband er sich in inniger Freundschaft mit Arago, und beide verfolgten nun gemeinschaftlich denselben Zweck. Fresnel erhielt seine Ingenieur-Stelle wieder, und wurde in das Departement Mayenne abgeschickt. Hier wurde er von ihm ganz unangemessenen Arbeiten und von Verdrüßlichkeiten aller Art gedrückt, bis endlich sein Vorsteher, der Generaldirektor der Brücken, Straßen und Minen, Becquey, der sein Talent und seine wahre Bestimmung erkannte, ihm in Paris eine andere Stellung anwies, wo er, bei kleineren ämtlichen Arbeiten, vorzüglich seiner Wissenschaft leben konnte. Von dieser Zeit, dem Jahre 1818 an, beginnt seine eigentliche scientifische Thätigkeit. Seine vorzüglichsten Entdeckungen auf dem Gebiete der Optik sind oben angegeben worden, daher sie hier übergangen werden können. Auch der Opposition, welche diese Entdeckungen gefunden haben, ist bereits Erwähnung geschehen. Zuerst erhob sich der Streit zwischen ihm und Poisson, der in den Annales de physique et de chimie von dem Jahre 1823 öffentlich bekannt gemacht wurde. Laplace blieb bis an sein Ende ein erklärter Gegner der Undulationstheorie, vorzüglich, wie er selbst sagte, aus dem Grunde, weil sie sich nicht zur analytischen Behandlung eignen will: Comme si la nature, entgegnete Fresnel, eût pu être arretée par des difficultés de ce genre! Demungeachtet wurde er in dem Jahre 1823 zum Mitglied von der Akademie zu Paris, und zwei Jahre später auch von der Akademie zu London gewählt. — Der bereits erwähnte Becquey hatte ihn schon im Jahr 1819 aufgefordert, der neu errichteten Kommission der Leuchtthürme beizutreten. Er gab diesen wichtigen Beleuchtungs-Apparaten eine neue vorzügliche Gestalt, indem er den bisher gebrauchten parabolischen Reverberen ein System von beweglichen Glaslinsen substituirte. Sein erster größerer Apparat dieser Art wurde 1823 auf den Pharus von Cordouan, an der Mündung der Garonne, aufgestellt, wo die unerwartete Wirkung desselben allgemeine Bewunderung erregte. Seitdem sind die vorzüglichsten Häfen Frankreichs und selbst Englands mit dieser Maschine versehen. Im Jahr 1824 wurde er Sekretär der Leuchtthürme-Kommission und Inspektor aller dazu gehörenden Gebäude an den Küsten Frankreichs, so wie er auch in demselben Jahre zum Mitglied der Ehrenlegion ernannt wurde. Schon drei Jahre früher hatte er die ehrenvolle und einträgliche Stelle eines Examinators der Physik und Geometrie an der polytechnischen Schule erhalten. Seine vielen angestrengten Arbeiten hatten ihm i. J. 1823 einen Blutsturz zugezogen, der ein Brustleiden zur Folge hatte, ständniß und zu der Anerkennung der Männer der Wissenschaft nur sehr schwer und langsam zurücklegen konnte. Arago würde vielleicht die Idee von den transversalen Vibrationen, die Fresnel, sein Mitarbeiter an dem großen Werke, vorgeschlagen hatte, sogleich angenommen haben, wenn er nicht Mitglied des k. Instituts von Frankreich gewesen wäre, wo er, als solches, bei den häufigen Discussionen über die neue Lehre, immer den ersten Stoß seiner Gegner auszuhalten hatte. Diese Lehre wurde aber von Laplace und den anderen Anführern des Instituts so heftig verfolgt, daß sie die Argumente, die man zu ihren Gunsten vorbrachte, nicht einmal ruhig anhören konnten. Ich weiß nicht, wie weit Einflüsse dieser Art thätig gewesen sind, um die Bekanntmachung der Memoiren Fresnel's immer weiter hinauszuschieben. Nach dem oben Gesagten hatte er die Conception der transversalen Vibrationen, diesen Schlüssel zur wahren Verständniß der Polarisation, schon in dem Jahre 1816 aufgefaßt. In dem Jahre 1817 und 1818 las er im Institute andere Memoiren, wo er die sehr verwickelten Erscheinungen des Quarz durch die von ihm aufgestellte „cirkuläre Polarisation" analysirte und erklärte. Allein dieses Memoir wurde nicht gedruckt und kein Auszug von demselben wurde in den wissenschaftlichen Zeitschriften gegeben, bis er im Jahr 1822 seine früheren Ansichten durch weitere, neue Versuche bestätigt hatte [6]). Sein anderer, höchst merkwürdiger Aufsatz, in welchem er das schwere und

---

das nur mit seinem Tode endete. Er starb am 14. Julius 1827 in den Armen seiner Mutter. Arago hielt die Standrede an dem Grabe seines Freundes. — Seine Schriften sind nicht gesammelt, sondern in den Memoiren der Akademie und anderen wissenschaftlichen Journalen zerstreut. Ueber die doppelte Brechung, die Diffraktion, Interferenz und Polarisation des Lichtes sehe man in den Annales de physique et de chimie, die Jahre 1816, 17, 18, 19, 21, 22, 23 und 1825; in dem Bulletin de la société philomatique die Jahre 1822, 23 und 24; das Supplément à la traduction de la chimie par Thompson durch Riffault, und die Mémoires de l'Acad. des sciences, Vol. V et VII. Sein Memoir über die Leuchtthürme wurde 1822 wieder eigens abgedruckt. Mehrere seiner hinterlassenen Papiere soll Arago in Pariser Zeitschriften herausgegeben haben. L.

6) M. s. Herschel, Treatise of light, S. 539.

wichtige Problem von dem Zusammenhange der doppelten Refraktion und der Krystallisation auflöste, war schon i. J. 1821 geschrieben, wurde aber erst 1827 bekannt gemacht. Fresnel scheint, um dieselbe Zeit, andere, ihm offnere Wege zur Bekanntmachung seiner großen Entdeckungen gesucht zu haben. So gab er i. J. 1822 in den Annalen der Chemie und Physik [7]) seine Erläuterung der Refraktion nach dem Prinzip der Undulationstheorie, indem er dabei bemerkte, daß er dies deswegen thue, weil diese ganze Theorie noch so wenig bekannt ist. In dem folgenden Jahre erschien in derselben Zeitschrift auch seine Erklärung der Reflexion. Sein Memoir über diesen Gegenstand [8]) wurde in der Akademie der Wissenschaften zu Paris im Jahre 1823 gelesen. Allein die Originalhandschrift dieses Aufsatzes wurde verlegt, und sogar eine Zeit durch für ganz verloren gehalten. Später fand man sie unter den Papieren von Fourier auf, und nun wurde sie endlich in dem eilften Bande der Memoiren der P. Akademie abgedruckt [9]). Mehrere andere seiner Ideen, deren er, als von ihm bereits früher der Akademie mitgetheilt, erwähnt, sind nie erschienen [10]).

Demungeachtet wurden Fresnel's Arbeiten und Verdienste gleich anfangs von mehreren seiner ausgezeichnetsten Landsleute gehörig anerkannt. Sein Memoir über die Diffraktion des Lichtes wurde, wie bereits erwähnt, im Jahre 1819 gekrönt, und i. J. 1822 wurde seine Schrift über die doppelte Refraktion durch eine Kommission, die aus Arago, Ampère und Fourier bestand, ausgezeichnet. In der Berichterstattung dieser Kommission [11]) wird von Fresnel's Theorie gesagt, daß sie durch die schärfsten und feinsten Beobachtungen bestätigt werde. „Was „aber,“ setzen die Berichterstatter hinzu, „was die theoretischen „Ideen des Verfassers über die besondere Gattung von Undu-

---

7) Vol. XXI. S. 235.

8) Mémoire sur la loi des modifications, que la reflexion imprime à la lumière polarisée.

9) M. s. Lloyd, Report on Optics, S. 363, das vierte Report of Brit. Association.

10) Ebendort, S. 316, Anmerkung.

11) M. s. Annales de Chimie, Vol. XX. S. 343.

„lationen betrifft, in welchen nach ihm das Licht bestehen soll, „so könnten sie darüber gegenwärtig noch kein entscheidendes „Urtheil fällen; sie dürften aber auch ohne Ungerechtigkeit die „Bekanntmachung eines Werkes nicht länger aufschieben, dessen „Schwierigkeiten schon durch die vergeblichen Versuche der ge„schicktesten Physiker bewiesen sind, und in welchem das Talent „der Beobachtung und das Genie des Erfinders in gleich hohem „Grade vereinigt gefunden worden.“

In der Zwischenzeit aber erhob sich unter den Gelehrten Frankreichs ein neuer Streit zwischen den Anhängern der Undulationstheorie und jener der beweglichen Polarisation, welche letzte Biot auf die Bühne gebracht hatte, in der Absicht, dadurch die Farbenerscheinungen der Dipolarisation (oder die Phänomene des polarisirten Lichtes in dünnen Krystallplättchen) zu erklären. Dieser Streit wurde, man kann es jetzt wohl sagen, mit ganz unnöthiger Bitterkeit geführt. Es ist klar, daß beide Theorien in einigen Hauptpunkten zusammen treffen, da die Intervalle der Interferenz in der einen Theorie durch die Intervalle der Oscillationen der Polarisationsebenen in der andern Theorie ebenfalls dargestellt werden können. Aber diese letzten Intervalle, auf die Biot seine Erklärung baute, sind nur willkührliche und isolirte Hypothesen, die für diese speziellen Erscheinungen zu Hülfe gerufen werden, während im Gegentheile die Intervalle der Interferenz, in Fresnel's Theorie, als wesentliche und integrirende Theile dieser Theorie selbst auftreten. Biot scheint auch in der That der Vereinigung, dem Frieden mit Fresnel, nicht abgeneigt gewesen zu sein, denn er gestand seinem Gegner zu [12]), „daß die Undulationstheorie diesen Gegenstand von einem „höheren Standpunkte ansehe und weiter führe, als seine eigene „Lehre.“ Auch konnte Biot nicht wohl von Arago's Ansicht, in dessen Bericht über diesen Gegenstand, sich entfernen, daß nämlich Fresnel's Theorie die Oscillationen der beweglichen Polarisation erst unter einander verbunden (noué) habe. Allein Fresnel, dessen Theorie gleichsam ganz aus einem Stücke gegossen war, konnte keinen einzelnen Theil derselben aufgeben, obschon auch er wieder die Nützlichkeit der Biot'schen Formeln zugestand.

---

12) M. s. Annales de Chimie, Vol. XVII. S. 251.

Diese Formeln aber und Biot's ganze Darstellung der Sache paßte besser zu den bisherigen Ansichten der vorzüglichsten Pariser Mathematiker. Zum Beweise der Gunst, mit der sie von denselben aufgenommen wurden, mögen die langen Abhandlungen Biot's dienen, die einen so großen Theil der Memoiren der Pariser Akademie von den Jahren 1811, 1812, 1817 und 1818 einnehmen. Der Band von 1812 ist ganz mit Biot's Schrift über die bewegliche Polarisation angefüllt. Auch hatte diese seine Lehre den Vortheil, daß sie schon sehr früh, i. J. 1816 in Biot's Traité de Physique in didaktischer Form erschien, in einem Werke, das man als die vollständigste Anleitung zu einer allgemeinen Physik betrachten konnte, die bisher erschienen war. In dieser und in mehreren andern seiner Schriften behandelt Biot die Erscheinungen des Lichtes so ganz und gar in der Sprache seiner eigenen Hypothese, daß es schwer wird, sie wieder in die Sprache der andern Hypothese zu übersetzen.

In der Folge jedoch stellte sich Arago an die Spitze von Biot's Gegnern. In seinem Berichte über Fresnel's Memoir von den Farben krystallinischer Platten, setzt Arago die Schwäche der Biot'schen Hypothese mit solcher Strenge auseinander, daß dadurch diese zwei ausgezeichneten Physiker einander völlig entfremdet worden sind. — Ohne uns bei den Nebenumständen dieser Controverse aufzuhalten, begnügen wir uns mit der Bemerkung, daß dies der letzte Kampf unter den ausgezeichneten Mathematikern für die beiden Theorien gewesen ist. Nach der erwähnten entscheidenden Schlacht zwischen Biot und Arago verlor die Theorie der beweglichen Polarisation ihren Halt, und seitdem verbreitete sich auch die Undulationstheorie schnell über ganz Europa, und zwar vorzüglich durch die Publikationen in den Annalen der Chemie und Physik, die besonders von Arago geleitet wurden.

Wahrscheinlich war es in Folge des erwähnten Aufschubs in der Bekanntmachung von Fresnel's Memoiren, daß die k. Akademie zu Petersburg im Dezember 1826 die Preisfrage aufstellte: „Die Undulationstheorie von allen den Einwürfen zu „befreien, die, wie es scheint, mit Recht gegen dieselbe aufgestellt „worden sind, und zugleich diese Theorie auf die Polarisation „und doppelte Brechung des Lichtes anzuwenden.“ In dem Programm zu dieser Aufforderung der Petersburger Akademie werden Fresnel's Arbeiten über diesen Gegenstand nicht angeführt, obschon seines Memoirs über die Diffraktion erwähnt wird. Jene waren also wohl der russischen Akademie damals noch nicht bekannt.

Young wurde immer als ein Mann von sehr ausgedehnten Kenntnissen und von wunderbarer Mannigfaltigkeit der geistigen Gaben betrachtet. Allein während seinem Leben konnte er die hohe Stelle unter den großen Entdeckern, die ihm die Nachwelt ohne Zweifel einräumen wird, nicht wohl selbst behaupten. Im Jahr 1802 wurde er zum Fremden-Sekretär der k. Societät in London ernannt, und er behielt auch diese Stelle bis an seinen Tod. Im Jahre 1827 wurde er in die Zahl der acht auswärtigen Mitglieder des Instituts von Frankreich aufgenommen, eine der größten Auszeichnungen, die ein wissenschaftlicher Mann erhalten kann. — Seine übrigen Lebensschicksale waren gemischter Art. Sein Amt als Physiker beschäftigte ihn hinlänglich, ohne eben sehr lohnend zu sein; in seinen Vorlesungen an der Royal Institution war er zu gelehrt, um gemeinverständlich zu sein, und sein Geschäft als Oberaufseher des Nautical almanac nöthigte ihn zu vielen kleinlichen Arbeiten und setzte ihn manchen muthwilligen Angriffen der Zeitungsblätter und Flugschriften aus. Zugleich spielte er eine der Hauptrollen in der Entdeckung des so lange gesuchten Schlüssels zur Erklärung der ägyptischen Hieroglyphen [13]). Auf diese Weise verdankte sein Zeitalter

---

13) Die endliche Erklärung der ägyptischen Hieroglyphen gehört zu den schönsten Entdeckungen unseres Jahrhunderts. — Die gewöhnlichste frühere Meinung war, daß diese alte Schreibart eine eigentlich symbolische oder eine Bilderschrift sei, da die große Anzahl Zeichen, Vögel, Schlangen, Löwen, Pflanzen u. drgl. doch nicht lauter verschiedene Buchstaben sein konnten. Diese Meinung wurde besonders von Horapollon oder Horus Apollo eingeführt, dessen Werk, in griechischer Sprache, in die ersten Jahrhunderte unserer Zeitrechnung fällt. (Neueste Ausgabe von Leemans, Amsterd. 1834.) Er theilt uns die Bedeutung einiger dieser Symbole mit. So soll der Sperber die Seele, der Ibis das Herz, die Ameise die Weisheit, eine Schlinge die Liebe u. s. bezeichnen. Diesem folgte zuerst Athanasius Kircher (geb. 1601, gest. 1680), einer der größten Vielwisser seiner Zeit, wie seine Ars magna lucis et umbrae in zwei, Musurgia universalis in zwei, Oedipus aegyptiacus in vier, Mundus subterraneus in zwei, sein China illustrata, seine Polygra-

größtentheils ihm zwei seiner größten Entdeckungen, die eine in der Wissenschaft der Optik und die andere auf dem Felde

---

phia und sein Latium in einem Foliobaud bezeugen. Dieser las aus den ägyptischen Hieroglyphen eine eigene von ihm ersonnene Dämonologie heraus. Pluche im Gegentheil (m. s. dessen Histoire du ciel) fand in ihnen nur meteorologische Kalenderbemerkungen; der Verfasser des Werks De l'étude des hieroglyphes (Par. 1812) wollte in ihnen die Psalmen David's entdeckt haben u. drgl. So blieb die Sache, bis im Jahr 1799 Broussard, ein französischer Offizier von der ägyptischen Expedition unter Bonaparte, in den Ruinen von Rosette eine Steinplatte mit drei verschiedenen Inschriften fand. Die eine derselben, in griechischer Sprache, sagte aus, daß die Inschrift auf diesem Denkmale in drei Sprachen gegeben werden sollte. Broussard überließ die Platte dem Institut von Cairo, und von da kam sie, als die Franzosen Aegypten räumen mußten, in das Londner Museum. Mehrere Abbildungen derselben gelangten auch nach Paris, wo sich zuerst i. J. 1802 Sylvester de Sacy damit beschäftigte. Er fand, daß die zweite jener zwei Inschriften sich in einer unserer Buchstabenschrift ähnlichen Schreibart befand, was dann von dem gelehrten Schweden Akerblad weiter ausgebildet wurde. Mit der dritten jedoch, der eigentlich hieroglyphischen Inschrift, befaßten sich diese beiden Männer nicht. Uebrigens sagte die Inschrift aus, daß dem Könige Ptolemäus Epiphanes im neunten Jahre seiner Regierung (also nahe 200 Jahre vor Chr. G.) von der ägyptischen Priesterschaft gewisse Ehrenbezeigungen bewilligt worden seien. — Thomas Young (siehe oben Anfang des eilften Kapitels) fing i. J. 1814 an, sich mit diesem Gegenstande zu beschäftigen (in dem Museum criticum 1815 Nro. 6 und 1816 Nro. 7 und Encyclopaedia britannica, Artikel Egypt.), wo er eine bisher noch nicht übertroffene muthmaßliche Uebersetzung der zweiten Inschrift gab, die er als eine Buchstabenschrift der alten ägyptischen Landessprache, die der heutigen koptischen sehr ähnlich ist, erkannte. Er fand überdies, daß in der dritten oder hieroglyphischen Schrift die in kreisförmigen Curven eingefaßten Zeichen der Eigennamen (Ptolemäus, Alexander rc.) der griechischen Inschrift entsprechen, und ebenfalls eigentliche Buchstaben sind, eine Bemerkung, die schon 1766 auch von De Guignes gemacht worden ist. — Viel weiter noch wurde seit dem Jahr 1819 der Gegenstand gebracht durch den beharrlichen Scharfsinn Champollions, Professors der Geschichte zu Grenoble. M. s. seine Lettres à Mr. Dacier, Paris 1822, und sein Précis du système hieroglyphique, Par. 1824, zweite Aufl. 1828. Er fand, daß jene eingefaßten Zeichen der Hieroglyphensprache die Bilder derjenigen Gegenstände sind, deren Namen in der ägyptischen Landessprache mit denselben Buchstaben der Literatur. Er starb im Jahr 1829, nachdem er kaum das 56ste Jahr seines Lebens vollendet hatte. — Fresnel wurde den

---

anfängt, daß also z. B. in der deutschen Sprache der Löwe den Buchstaben L, der Frosch den Buchstaben F u. s. bezeichnen würde. Das ganz von Champollion aufgestellte System ist höchst einfach, in allen seinen Theilen homogen, und läßt keinen weitern Zweifel über die Richtigkeit desselben zu, was sich von den früheren, übrigens sehr scharfsinnigen Versuchen Young's nicht immer sagen läßt. Mit Champollions Alphabet kann man nicht nur jenes Monument, sondern auch, wie er selbst dargethan hat, noch viele andere vollständig lesen, wie z. B. die Aufschrift auf dem Obelisk zu Philä, auf dem Tempel von Karnak, auf dem Thierkreis von Denderah u. s. Weitere Erläuterungen dieses Gegenstandes s. m. in Kosegarten's Commentatio de prisca Aegyptiorum literatura, Weim. 1828, und Fritsch's Uebersicht der wichtigsten Versuche zur Entzifferung der Hieroglyphen, Leipz. 1828. — Es ist mir unbekannt, ob die zahlreichen hinterlassenen Schriften Champollions seit seinem Tode herausgegeben worden sind. Er wurde 1826 zum Direktor des ägyptischen Museums in Paris ernannt, worauf er 1828 auf öffentliche Kosten eine wissenschaftliche Reise nach Aegypten unternahm. Mit vielen Facsimiles der dort gefundenen alten Inschriften nach Paris zurückgekehrt, starb er daselbst am 4. März 1832 an der Cholera. Seine mehr als 2000 Folioseiten hinterlassenen Manuscripte, so wie sein grammatisches und lexikographisches Werk über die Hieroglyphen, sollten eben von ihm dem Drucke übergeben werden, als er der Wissenschaft durch einen viel zu frühen Tod plötzlich entrissen wurde. Auch Young's Egyptian dictionary erschien erst (Lond. 1831) zwei Jahre nach seinem Tode.

Bekanntlich ist auch die Schreibart der Chinesen ebenfalls eine hieroglyphische oder symbolische, indem sie nämlich durch ihre Schriftzeichen (nicht Töne oder Artikulationen des Tons, wie wir in allen unseren phonetischen Sprachen), sondern Ideen ausdrücken. Obschon aber jene symbolische Schreibart die frühere, die Kindheit der Kunst zu sein scheint, so hat sie doch einen, und zwar einen sehr wesentlichen Vorzug vor allen phonetischen oder alphabetischen Schreibarten, indem sie viel allgemeiner und zugleich für verschiedene Nationen gemeinverständlich ist. Das Wort Baum z. B. hat in der chinesischen Sprache ein Zeichen, welches dasselbe bleibt, wenn auch die Sprache der Chinesen sich mit der Zeit gänzlich ändern sollte. Dies wird uns nicht weiter auffallen, wenn wir bedenken, daß unsere Ziffer ganz ähnliche Zeichen sind, die Jedermann in Deutschland, Frankreich, Spanien u. s. gleich bei ihrem Anblick versteht. Zwei senkrecht übereinander gestellte, sich in einem Punkte

Wissenschaften durch einen noch früheren Tod entrissen, da er im Jahr 1827 im 39sten Jahre seines Lebens aus unserer Mitte schied.

Es wird wohl nicht nöthig sein, zu sagen, daß alle beide dieser großen Naturforscher die hervorstehenden Charakterzüge des Entdeckers in hohem Grade besaßen: Klarheit der Ansicht,

---

berührende Kreise drücken, so sind wir in ganz Europa übereingekommen, den Begriff der achtmal genommenen Einheit, drücken die Zahl acht aus. Dieses Zeichen liest der Franzose huit, der Engländer eight, der Spanier ocho, der Russe wossum, u. s., aber dieser verschiedenen Töne ungeachtet, drücken durch dieses Zeichen alle ohne Unterschied denselben Begriff aus. Dasselbe gilt auch von den zusammengesetzten Zahlen. Wenn also die ideographischen Zeichen der Chinesen eben so allgemein unter uns angenommen wären, wie die arabischen Ziffern, so würde jeder, in seiner eigenen Landessprache, alle die Werke lesen können, die ihm in jener allgemeinen Sprache vorgelegt werden, ohne auch nur ein Wort, einen Laut von der eigentlichen Volkssprache jenes Landes zu verstehen, in welcher das Buch geschrieben worden ist. Wenn eine solche Sprache mit ihren vielen ideographischen Zeichen schwerer zu erlernen sein mag, als irgend eine unserer phonetischen Buchstabensprachen, so wird sie doch wieder viel leichter zu fassen und zu behalten sein, als so viele alte und neue europäische Sprachen, mit deren Erlernung wir alle den größten Theil der goldenen Jugendjahre vergeuden, die wir reelleren Kenntnissen widmen könnten, da doch die Sprachen an sich nur als Mittel zu Kenntnissen betrachtet werden können. Auch ist es sehr unrichtig, was man so oft behauptet hat, daß schon das ganze Leben eines gelehrten Chinesen erfordert werde, um nur lesen zu lernen. Abel Remusaet, vielleicht der größte Linguist unserer Zeit, hat durch sein eigenes und durch das Beispiel seiner vielen Schüler gezeigt, daß das Chinesische gleich jeder andern Sprache leicht und gut erlernt werden kann. Eben so unrichtig endlich ist die Meinung, daß eine solche Schreibart sich nur zu dem Ausdrucke der einfachsten und gewöhnlichsten Begriffe eigne. Der bekannte chinesische Roman Yu-kiao-li (die beiden Muhmen) zeigt, daß sich die feinsten, komplicirtesten Ideen und die subtilsten Abstraktionen in jener Schreibart ausdrücken lassen. Nur für Eigennamen ist sie, wie für sich klar, nicht geeignet, daher auch diese von den Chinesen durch phonetische (unseren Buchstaben oder Lautzeichen ähnliche) Symbole ausgedrückt werden, ganz eben so, wie in den hieroglyphischen Inschriften der alten Aegyptier die oben erwähnten, durch krumme Linien eingefaßten phonetischen Zeichen der eigenen Namen. L.

Reichthum der Erfindung und innigen Drang zur Erkenntniß der Wahrheit. Nicht ohne tiefen Antheil liest man die folgende Stelle eines Briefes Fresnel's an Young [14]) vom November 1824 „Schon seit lange fühle ich jene reizbare Eitelkeit, die „das Volk Ruhmsucht nennt, ganz in mir abgestorben. Ich „arbeite viel weniger, um den Beifall des Publikums zu er„haschen, als um meine eigene innere Zustimmung zu erhalten, „welche letzte mir immer die süßeste Belohnung aller meiner „Mühen gewesen ist. Gewiß nur zu oft vielleicht vermisse ich „jenen Sporn der Ehrsucht, der mich bewegen soll, meine Unter„suchungen auch in den Stunden der Unlust und der Entmuthi„gung fortzusetzen. Aber alle Lobsprüche, die ich von Arago, „Laplace oder Biot erhalte, geben mir doch nie eine so innige „Freude, wie die Entdeckung einer neuen Wahrheit oder die „Bestätigung meiner Rechnungen durch irgend eine glücklich „gelungene Beobachtung."

Obschon Young und Fresnel Jahre durch die Zeitgenossen vieler von denen gewesen sind, die jetzt noch leben, so müssen wir doch uns selbst, ihnen gegenüber, in dem Verhältniß von Nachfolgern betrachten. Die Epoche der Induktion in der Optik ist vorübergegangen, und uns blieb nur die Bestätigung und die weitere Anwendung der von jenen großen Männern aufgestellten Theorie.

Dreizehntes Kapitel.

Bestätigung und Erweiterung der Undulationstheorie.

Die Undulationstheorie wurde durch ihre zwei berühmten Begründer, Young und Fresnel, in ihren Hauptzügen auf eine Weise entwickelt, daß die Kennzeichen ihrer inneren Wahrheit

---

14) Ich gebe dies und einige andere Auszüge aus der bisher noch nicht bekannt gemachten Korrespondenz zwischen Young und Fresnel durch die gefällige Freundschaft des Professors Peacock von dem Trinity College in Cambridge, der so eben ein „Leben des Dr. Young" zum Drucke vorbereitet.

nicht leicht mehr übersehen werden konnten. Demungeachtet gab es auch für sie, wie für alle anderen große Theorien, eine Zeit, wo es sich vorzüglich darum handelte, Hindernisse wegzuräumen, Einwürfen zu begegnen, und den Geist der Leser mit den neuen Ideen vertraut zu machen, und wo sich daher auch erwarten ließ, dieselbe Theorie auf andere Gegenstände ausgedehnt zu sehen, die anfangs noch ganz außer ihrem Gebiete zu liegen schienen. — Diese Zeit ist aber die, in der wir selbst jetzt leben, und wir sollten es vielleicht vermeiden, von unseren eigenen Zeitgenossen zu sprechen. Aber es scheint uns ungerecht, die vorzüglichsten, dieser Periode eigenthümlichen Ereignisse, die sich bisher zugetragen haben, ganz mit Stillschweigen zu übergehen. Wir wollen ihrer daher hier in Kürze erwähnen. — In der Undulationstheorie, wie in der allgemeinen Gravitation, wurde bei weitem der größte Theil dieser Bestätigungen durch die beiden Urheber dieser Entdeckung, besonders durch Fresnel selbst, ausgeführt. In der That, wenn man bedenkt, was dieser Mann unternommen und ausgeführt hat, um sein hohes Ziel zu erreichen, so wird man dadurch lebhaft an Newton erinnert, so wunderbar erscheint uns der Scharfsinn und die Erfindungskraft, mit welcher jener seine Beobachtungen auszuwählen und anzuordnen, und sie der mathematischen Analyse zu unterwerfen verstand.

I. Doppelte Brechung des gepreßten Glases.

Eine dieser Konfirmationen der Undulationstheorie gab die Entdeckung der doppelten Brechung im gepreßten Glase. Zwar hatte schon Brewster bemerkt, daß das Glas, wenn es einem gewissen Drucke ausgesetzt wird, Farben erzeugt, ähnlich denen, die doppeltbrechende Krystallplättchen hervorbringen. Aber Fresnel zeigte später [1], daß selbst sehr geschickte Beobachter jene Versuche Brewster's noch nicht als einen hinlänglichen Beweis für die Bifurkation des Lichtes im Glase gelten lassen wollten. Auch findet man, setzt er hinzu, in der Hypothese der beweglichen Polarisation keinen offenbaren Zusammenhang zwischen diesen Farbenerscheinungen am Glase und der doppelten Brechung,

1) Annales de Chimie, 1822, Vol. XX. S. 377.

während im Gegentheile aus Young's Theorie, nach welcher die Farben aus zwei den Krystall mit verschiedenen Geschwindigkeiten durchlaufenden Strahlen entstehen, beinahe nothwendig folge, daß auch die Wege der beiden Strahlen unter einander verschieden sein müssen. „Obschon ich also," sagt er weiter, „diese Ansicht schon längst zu der meinigen gemacht hatte, so schien sie „mir doch keineswegs noch so vollständig bewiesen, als daß ich diese „neue Bestätigung derselben hätte vernachlässigen können." Er ging daher im Jahr 1815 daran, sich von der Existenz der Sache durch die gewöhnlichen Erscheinungen der Diffraktion zu überzeugen. — Der Versuch ließ keine weitern Zweifel zurück, aber noch immer schien es ihm wünschenswerth, sich durch die That selbst von der Gegenwart der zwei Bilder im gepreßten Glase zu versichern. Durch eine höchst sinnreiche Kombination gelang es ihm, diese Wirkung der doppelten Brechung, die selbst bei einem sehr stark gepreßten Glase noch sehr schwach ist, vielfach zu vergrößern, und auf diese Weise endlich die zwei gesuchten Bilder in der That und deutlich zu sehen. Dadurch war aber die Abhängigkeit der dipolarisirenden Struktur des Körpers von der Doppelbrechbarkeit seiner Elemente dargethan, und dieser Zusammenhang, wie er von der allgemeinen Theorie an die Hand gegeben und von der Beobachtung bestätiget war, mußte als ein neuer und sehr schätzbarer Beweis für die Wahrheit des Prinzips der Interferenz betrachtet werden.

II. Cirkulare Polarisation.

Von da wendete sich Fresnel zu einer andern Art von Untersuchungen, die zwar mit den vorhergehenden in Verbindung, aber in einer so versteckten Verbindung standen, daß nur sein scharfer und klarer Sinn den geheimnißvollen Zusammenhang errathen konnte.

Schon seit der Entdeckung der dipolarisirten Farben durch Arago und Biot hatte man die optischen Erscheinungen am Quarz als ganz besondere, diesem Mineral eigenthümliche Eigenschaften erkannt. Am Schlusse der so eben erwähnten Abhandlung [2]) sagt Fresnel: „Sobald es meine gegenwärtigen Beschäftigungen

---

2) Annales de Chimie, 1822, Vol. XX. S. 382.

„erlauben, will ich eine der oben beschriebenen ähnliche Säule „von Prismen anwenden, um dadurch die doppelte Brechung „der Strahlen näher kennen zu lernen, die durch den Krystall „des Quarz nach der Richtung seiner Axe gehen,“ worauf er dann ohne Anstand es wagt, vorauszusagen, welcher Art die von ihm erwarteten Erscheinungen sein werden. In dem Bulletin des Sciences [3]) für Dezember 1822 wird berichtet, daß seine Erwartungen von dem darüber angestellten Experimente vollkommen bestätigt worden sind.

Diese Phänomene sind aber diejenigen, die man seitdem die „cirkulare Polarisation“ genannt hat, ein Ausdruck, der auch in jener Schrift zuerst gebraucht worden ist. Sie sind sehr merkwürdig, sowohl wegen ihrer Aehnlichkeit mit denen des geradlinig polarisirten Lichtes, als auch wegen der auffallenden Verschiedenheiten, die zwischen diesen beiden Phänomenen statthaben. Noch merkwürdiger aber, als sie selbst, ist die Art, auf welche man zu der Vorhersage dieser Erscheinungen geführt worden ist. Die unmittelbare Beobachtung hatte ihm gezeigt, daß zwei verschieden polarisirte Strahlen, wenn sie an der innern Fläche des Glases vollständig zurückgeworfen werden, verschiedene Retardationen ihrer Schwingungen erleiden. Er wendete darauf sofort diejenigen Formeln an, die er früher schon für die polarisirende Wirkung der Reflexion in diesem Falle erhalten hatte. Allein diese Formeln wurden für den in Rede stehenden Fall imaginär. „Da aber,“ sagt er [4]), „algebraische Ausdrücke „selbst dann, wenn sie imaginär werden, noch immer eine gewisse „Bedeutung haben können, so suchte ich mir auf die wahrscheinlichste Weise zu erklären, was hier durch die imaginäre Gestalt „jener Formeln angezeigt werden könnte,“ und so gelangte er zu dem Gesetze der Schwingungsdifferenz der beiden Strahlen. Dadurch wurde er in den Stand gesetzt, vorauszusagen, daß ein polarisirter Strahl durch zwei innere Reflexionen in einem Rhombus oder in einem Parallelepiped von Glas von einer bestimmten Form und Lage, eine cirkulare Vibration seiner Theilchen annehmen wird, und daß, wie er weiter daraus schloß, ein solcher Zustand des Strahls ganz eigenthümliche Eigenschaften zeigen müsse,

3) Annales de Chimie, S. 191.

4) Bulletin des sciences, 1823, S. 33.

die zum Theil mit denen des polarisirten Lichtes übereinstimmen, zum Theil wieder von denselben verschieden sind. Und auch diese ganz außerordentliche Vorhersage wurde später vollkommen bestätigt gefunden, so daß selbst die genauesten und vorsichtigsten Naturforscher diesen auffallenden und kühnen Schritt des Entdeckers gerechtfertigt finden, und ihm beitreten mußten. „Da ich „die mathematische Sicherheit der Natur der cirkularen Polarisation „nicht schätzen kann," sagt Airy [5]), „so will ich wenigstens die „experimentelle Sicherheit anführen, auf die gestützt ich jene an„nehme." — Seitdem aber hat Fresnel's Conception von der cirkularen Polarisation allgemeinen Eingang gefunden.

Dadurch wurde nun Fresnel in den Stand gesetzt, die erwähnten Erscheinungen an dem Quarz vollkommen zu erklären, indem er annahm, daß zwei cirkularpolarisirte Strahlen mit verschiedenen Geschwindigkeiten nach der Richtung der Axe dieses Krystalls fortgehen, womit dann auch jene oben erwähnten, sonderbaren Farben, die sich bald nach der rechten, bald nach der linken Hand in einem Kreise folgen, ihre Erläuterung erhalten.

Wurde aber diese Hypothese der zwei cirkularpolarisirten, längs der Axe des Krystalls fortlaufenden Strahlen, blos in der Absicht angenommen, um dadurch jene isolirte Erscheinung am Quarz zu erklären? — Fresnel's Scharfsinn setzte ihn in den Stand, diesen Mangel seiner Theorie gänzlich zu beseitigen. Wenn in der That zwei solche Strahlen existirten, so mußten sie durch denselben Kunstgriff sichtlich getrennt werden [6]), den er schon für seine Versuche mit gepreßtem Glase gebraucht hatte, nämlich durch eine Säule von gehörig achromatisirten Prismen. In der That erhielt er auch auf diesem Wege eine vollkommen deutliche Trennung der beiden Strahlen, und dasselbe Resultat wurde seitdem auch von Andern, z. B. von Airy [7]), gefunden. In allen Beziehungen fand man die Strahlen identisch mit denjenigen cirkularpolarisirten Strahlen, die in dem „Parallelepiped von Fresnel" durch die innern Reflexionen erzeugt werden. Diese Gattung von doppelter Brechung gab zugleich eine hypothetische Erläuterung derjenigen Gesetze, die Biot für die Erscheinungen

5) Cambridge Transactions, Vol. IV, S. 81, für das Jahr 1831.

6) Bulletin des Sciences, 1822, S. 193.

7) Cambridge Transactions, Vol. IV, S. 80.

dieser Klasse aufgestellt hatte. Dahin gehört z. B. die Vorschrift [8]), daß die Abweichung der Polarisationsebene von dem austretenden Strahl sich verkehrt wie das Quadrat der Wellenlänge für jede Art von Strahlen verhält. Auf diese Weise wurden demnach alle jene Erscheinungen, die durch einen längs der Axe des Quarz hingehenden Lichtstrahl erzeugt werden, mit der Undulationstheorie in vollständige Uebereinstimmung gebracht.

III. Elliptische Polarisation im Quarz.

Wir gelangen nun zu einem von den wenigen Zusätzen, die Fresnel's Theorie von Andern beigefügt werden mußten. Fresnel hatte die Farben der längs der Axe des Quarz fortlaufenden Strahlen vollständig erklärt, so wie auch den Farbenwechsel des Mittelpunkts des Bildes, das entsteht, wenn polarisirtes Licht durch transversale Plättchen dieses Krystalls geht. Allein dieser Mittelpunkt ist von andern mannigfaltig gefärbten Ringen umgeben. Wie soll man aber die Theorie bis auf diese letzten ausdehnen?

Diese Erweiterung der Undulationstheorie hat Airy sehr glücklich ausgeführt [9]). Seine Hypothese besteht aber im Folgenden. — So wie die längs der Axe im Quarz fortlaufenden Strahlen cirkulär polarisirt werden, so werden auch die in einer schiefen Richtung gegen diese Axe durchgehenden Strahlen elliptisch polarisirt, so zwar, daß diese Ellipticität von jener Schiefe, auf eine bisher noch unbekannte Weise, abhängig ist, und daß jeder Strahl durch die doppelte Brechung in zwei andere elliptisch polarisirte Strahlen, der eine nach der rechten, der andere nach der linken Seite, zerlegt wird. Mit Hülfe dieser Voraussetzung war Airy im Stande, nicht nur die gewöhnlichen einfachen Erscheinungen einzelner Quarzplättchen, sondern auch andere, sehr komplizirte Phänomene zu erklären, die aus der Superposition von zwei solchen Plättchen entstehen, und die auf den ersten Anblick aller Versuche, sie auf Regel und Ordnung zurückzuführen, zu spotten scheinen, wie z. B. verschiedene Spi-

---

8) Bulletin des Sciences, 1822, S. 197.

9) Cambridge Transactions, Vol. IV, S. 83 u. f.

ralen, oder quadratähnliche oder an vier Stellen unterbrochene Curven u. dgl. „Ich kann mir nicht leicht vorstellen," sagt er [10]), „daß irgend eine andere Voraussetzung jene Erscheinungen mit „derselben äußersten Genauigkeit darstellen sollte. Mir fällt „nicht sowohl die richtige Erklärung der beständigen Erweiterung „jener Farbenkreise, und die allgemeine Darstellung der Gestalt „jener Spiralen auf, als vielmehr die übereinstimmende Erläute- „rung jeder kleinen Abweichung von der symmetrischen Form „dieser Bilder, wenn z. B. Kreise in Quadrate übergehen wollen, „oder wenn sich die Kreuze gegen die Polarisationsebene neigen. „Ich glaube daher auch, daß Jeder, der diesen meinen Weg der „Untersuchung verfolgen und meine Art von Experimenten nach- „ahmen will, von derselben vollkommenen Uebereinstimmung „überrascht werden wird."

IV. Differentialgleichungen der elliptischen Polarisation.

Obschon die cirkulare und die elliptische Polarisation, nach dem Vorhergehenden, klar aufgefaßt worden, und obschon die Existenz derselben, wie es scheint, durch die Erscheinungen selbst vollkommen bestätiget ist, so hält es doch ungemein schwer, sich die angemessene Anordnung der Theilchen eines Körpers zu denken, die solche Bewegungen derselben, auf mechanischem Wege, hervorbringen sollen. Diese Schwierigkeit ist um so größer, da mehrere flüssige und auch einige gasförmige Körper dem Lichte ebenfalls eine cirkulare Polarisation geben, wo es dann noch schwerer wird, die bestimmte Anordnung der Theilchen dieser Körper zu finden, welche solche Resultate hervorbringen. Auch scheint bisher noch Niemand eine annehmbare Hypothese für Untersuchungen dieser Art aufgestellt zu haben. — Etwas indeß ist doch auch hier geschehen. Professor M'Cullagh in Dublin hat gefunden, daß man durch eine leichte Modifikation derjenigen analytischen Formeln, die man für die gewöhnliche Fortpflanzung des Lichts aufgestellt hat, andere Ausdrücke erhalten kann, die auf solche Bewegungen führen, wie sie bei der cirkularen und elliptischen Polarisation statthaben. Obschon wir die eigent-

---

10) Cambridge Transactions, Vol. IV, S. 122.

lich mechanische Bedeutung dieser so erweiterten Ausdrücke der analytischen Sprache noch nicht anzugeben im Stande sind, so ist es doch immer merkwürdig, daß durch diese Erweiterung zwei scheinbar ganz verschiedene Klassen von Erscheinungen in Verbindung gebracht und durch einen gemeinschaftlichen mathematischen Ausdruck erklärt werden, ein Umstand, der auf jeden Fall dieser Hypothese zu einer günstigen Aufnahme den Weg zu bahnen geeignet ist.

M'Cullagh's Annahme besteht darin, daß er jeder der zwei bekannten Differentialgleichungen der zweiten Ordnung für die Bewegung des Lichts noch ein einfaches und symmetrisches Glied hinzusetzt, das Differentialien der dritten Ordnung enthält. Dadurch erhält er einen neuen Coefficienten dieser Gleichungen, durch dessen Größe er zwei Dinge bestimmen kann, nämlich erstens den Drehungsbetrag eines längs der Axe fortlaufenden Skrahls, wie ihn Biot beobachtet und gemessen hat, und zweitens auch die Ellipticität der Polarisation eines zur Axe schief fortgehenden Strahls, nach der Theorie und den Messungen, die Airy von dieser Ellipticität aufgestellt hat. Die Uebereinstimmung dieser zwei Reihen von Messungen [11]), die auf diese Weise unter einen einzigen Gesichtspunkt gebracht sind, spricht allerdings sehr für die neue Hypothese. Es ist überdies selbst wahrscheinlich, daß die Bestätigung dieser Hypothese auch eine, wenn gleich in dunkler Orakelform ausgedrückte Bestätigung der Undulationstheorie selbst mit sich führt, was auch wohl der Hauptzweck dieser sonderbaren Spekulation gewesen ist.

V. Elliptische Polarisation der Metalle.

Der Unterschied des von den Metallen und von durchsichtigen Körpern reflektirten Lichtes war den Physikern schon früh bekannt. Brewster, der erst kürzlich diesen Gegenstand sehr umständlich untersuchte [12]), hat die auf diese Weise erzeugten Modifikationen des Lichts die „elliptische Polarisation“ desselben genannt. Er scheint diesen Ausdruck, wie man sagt [13]), in der

---

11) Royal Ir. Transactions, 1836.
12) Philos. Transact. 1830.
13) Lloyd, Report. on Optics, S. 372. (Brit. Association.)

Absicht gewählt zu haben, um dadurch so viel als möglich alle Beziehung auf Theorie zu vermeiden. Indeß gehören die von ihm gefundenen Gesetze zu dem elliptischpolarisirten Licht, dieses Wort in dem Sinne genommen, den Fresnel zuerst eingeführt hat. Die Identität des durch Reflexion von Metallen erzeugten Lichtes mit dem elliptischpolarisirten Lichte der Undulationstheorie ist durch die Bemerkung Airy's über allen Zweifel erhoben worden, daß nämlich die Ringe der einaxigen Krystalle, die durch Fresnel's elliptischpolarisirtes Licht hervorgebracht werden, ganz genau dieselben mit jenen sind, die Brewster durch die Reflexion des Lichts von Metallen erzeugt.

VI. Newton's Ringe im polarisirten Lichte.

Andere Modifikationen der Erscheinungen, welche dünne Platten im polarisirten Lichte hervorbringen, gewährten zugleich auch andere neue Bestätigungen der Undulationstheorie. Sie waren zum Theil um so merkwürdiger, da man sie, blos durch Anwendung des richtigen Begriffs der Vibration, gleichsam voraussagen, und dann durch die Versuche wieder vollkommen bestätigen konnte. So wurde Airy blos durch Schlüsse auf die Thatsache geleitet, daß, wenn Newton's Ringe zwischen einer Glaslinse und einer Metallplatte durch polarisirtes Licht erzeugt werden, der Centralpunkt des Bildes über dem Polarisationswinkel schwarz ist, und daß er unter demselben sogleich weiß wird. „Ich anticipirte dies," setzt er hinzu [14]), „blos aus Fresnel's „Formeln." Eben so sagte er voraus, daß, wenn diese Ringe zwischen zwei Substanzen von sehr verschiedener Brechungskraft erzeugt werden, jener Mittelpunkt bei der Vergrößerung des Polarisationswinkels zweimal von der weißen zur schwarzen Farbe und umgekehrt übergehen müsse, eine Voraussage, die vollkommen bestätigt wurde, als man für die stärker brechenden Körper den Diamant nahm [15]).

VII. Konische Refraktion.

Auf dieselbe Weise fand auch Professor Hamilton in Dublin, daß es, zufolge der Lehre Fresnel's von der doppelten Brechung,

---

14) In einem Brief an mich vom 23. Mai 1831.

15) M. s. Cambridge Transact. Vol. II, S. 409.

eine gewisse Stellung des Krystalls gebe, in welcher ein einzelner Lichtstrahl so gebrochen wird, daß er die Gestalt eines konischen Pinsels annimmt. Die Richtung des gebrochenen Strahls wird nämlich durch eine die Wellenfläche berührende Ebene bestimmt, und nach der gegebenen Vorschrift soll der Strahl von dem Mittelpunkte der Fläche zu dem Berührungspunkt derselben gehen. Obschon nun diese Berührung im Allgemeinen nur einen einzigen Punkt gibt, so ereignet es sich doch zuweilen wegen der eigenthümlichen Krümmung der Wellenfläche, die eine sogenannte geometrische Spitze hat, daß, für eine besondere Lage, die Fläche von jener Ebene in der ganzen Peripherie eines Kreises berührt werden kann. In diesem Falle also wird jene, die Lage des gebrochenen Strahles bestimmende Vorschrift diesen Strahl von dem Mittelpunkte der Fläche zu allen Punkten der Peripherie dieses Kreises führen und dadurch gleichsam einen Kegel beschreiben können. Dieses sonderbare und unerwartete Resultat, das Hamilton auf theoretischem Wege erhielt, wurde von seinem Freunde, dem Professor Lloyd, auch praktisch durch Experimente nachgewiesen. Bemerken wir noch, daß der Letztere dieses Licht in dem konischen Pinsel polarisirt, und zwar nach einem ganz ungewöhnlichen Gesetze polarisirt gefunden hat, das aber ebenfalls mit der Theorie vollkommen übereinstimmte.

VIII. Schattensäume.

Die Erscheinungen der Schattensäume bei einer oder mehreren schmalen Oeffnungen, über die früher Fraunhofer Beobachtungen angestellt hat, wurden später auf die mannigfaltigste Weise von Prof. Schwerd in Speier untersucht, und in einem eigenen Werke bekannt gemacht [16]). In dieser Schrift berechnete der Verfasser mit großem Eifer und vieler Geschicklichkeit die verschiedenen Integrale, die nach dem oben Gesagten hier zu entwickeln sind, und die Uebereinstimmung, die er zwischen diesen Integralen und den mannigfaltigen, schönen Resultaten seiner Beobachtungen findet, ist durchaus sehr genau. „Ich will,“ sagt

---

16) Die Beugungserscheinungen, aus dem Fundamentalgesetz der Undulationstheorie analytisch entwickelt und in Bildern dargestellt. Von F. M. Schwerd. Mannheim 1835.

er in der Vorrede, „durch diese Schrift zeigen, daß alle Inflexions-Phänomene, die durch kleine Oeffnungen von irgend einer „Form und Anordnung erhalten werden, nicht nur durch die „Undulationstheorie erklärt, sondern daß sie auch durch solche „analytische Ausdrücke dargestellt werden können, die zugleich „die Intensität des Lichtes in jedem einzelnen Punkte des Bildes „geben," und er setzt mit Recht hinzu, daß von der Undulationstheorie die Erscheinungen des Lichtes eben so vollständig, wie die Beobachtungen der Astronomen von der Gravitationstheorie dargestellt werden.

IX. Einwürfe gegen diese Theorie.

Wir haben bisher nur diejenigen Fälle angeführt, wo die Undulationslehre in der Erklärung der Erscheinungen entweder vollständig siegreich, oder doch mit diesen Erscheinungen und mit sich selbst in keinem weitern Widerspruche war. Allein man hat auch Einwürfe gegen sie vorgebracht, und einige Schwierigkeiten, die man erhob, wurden lange als bedenklich betrachtet. Besonders haben einige englische Experimentatoren, Potter, Barton und andere, Einwendungen gegen die Theorie selbst gemacht. Sie erschienen in wissenschaftlichen Zeitschriften, und wurden auch auf demselben Wege wieder beantwortet. Diese Einwendungen bezogen sich zum Theil auf die Messung der Intensität des Lichtes in den verschiedenen Punkten des Bildes, ein Umstand, der durch Experimente sehr schwer mit Genauigkeit zu erhalten ist; zum Theil bezogen sie sich aber auch auf Mißverständnisse der Theorie, und ich glaube, daß man von diesen Einwürfen gegenwärtig keinen mehr findet, auf dem ihre Urheber noch weiter bestehen wollen.

Noch können wir einer andern Schwierigkeit erwähnen, welche die Gegner der neuen Theorie selbst noch nach der vollständigen Aufstellung derselben vorzubringen pflegten, nämlich die Halbundulation, die Young und Fresnel für bestimmte Fälle, als von den Lichtstrahlen genommen oder verloren, anzunehmen nöthig fanden. Obschon beide, so wie auch ihre Nachfolger, den Mechanismus der Reflexion für alle näheren Umstände nicht mit hinlänglicher Schärfe auseinander setzten, so ließ sich doch aus Fresnel's Prinzipien selbst sehen, daß die Reflexionen des Lichtes von der äußern und innern Fläche eines Glases einander entgegengesetzt sein müssen, was sich durch den Gewinn oder Verlust einer halben Welle sofort ausdrücken ließ. Auf diese Weise wurde der anfangs blos auf empirischem Wege gemachte Versuch vollkommen gerechtfertigt.

X. Dispersion des Lichts.

Eine Schwierigkeit anderer Art aber brachte die Anhänger der neuen Lehre längere Zeit durch in eine ernstere Verlegenheit. Es schien nämlich ganz unmöglich, die prismatische Farbenzerstreuung durch diese Lehre gehörig darzustellen. Newton hatte gezeigt, daß jede Farbe ihre eigene Brechung habe, und daß die Größe dieser Brechung von der Geschwindigkeit abhängt, mit welcher die verschieden gefärbten Strahlen fortgepflanzt werden. Allein in der neuen Theorie ließ sich kein Grund auffinden, warum die Geschwindigkeit des Lichts für verschiedene Farben ebenfalls verschieden sein sollte. Denn nach den bisher aufgestellten mathematischen Analysen werden alle Vibrationen, ohne Rücksicht auf ihre Dauer, in der allein die Farben bestehen, mit derselben Geschwindigkeit fortgepflanzt. Auch ließ sich diese Veränderung nicht durch Analogie erklären. In der Luft z. B. gibt es keinen solchen Unterschied zwischen schnellen und langsamen Wellen, da die tiefsten und höchsten Glockentöne eines Geläutes, in jeder Distanz, in derselben Aufeinanderfolge gehört werden. Hier also war die Theorie noch zurück.

Allein dieser Mangel war ihr nicht gefährlich. Die neue Lehre konnte diese Dispersion anfangs nicht erklären, aber sie stand deßwegen nicht mit ihr im Widerspruche. Die bisherigen Annahmen, auf welchen man die Berechnungen gegründet hatte, waren, gleich der vorausgesetzten Analogie mit dem Schalle, in nicht geringem Grade willkührlich gewesen. Die Geschwindigkeit der Fortpflanzung konnte für verschiedene Gattungen der Undulation leicht ebenfalls verschieden sein, und zwar in Folge von mancherlei Ursachen, die doch auf das allgemeine Resultat der Theorie keinen weitern Einfluß äußern. Manche solcher hypothetischen Ursachen wurden von ausgezeichneten Analytikern zur Beseitigung dieses auffallenden Hindernisses vorgeschlagen. Ohne sie hier alle aufzuzählen, wird es genügen, diejenige anzuführen, welche sogleich die Aufmerksamkeit der ganzen mathematischen

Welt auf sich gezogen hatte. — Dies war aber die Hypothese der endlichen Intervalle, die zwischen den einzelnen Theilchen des Aethers bestehen sollen. Die Länge einer Lichtwelle ist, wie wir oben gesehen haben, ungemein klein, da ihr mittlerer Werth nur den $1/_{50000}$sten Theil eines Zolls beträgt. Allein bei den ersten theoretischen Untersuchungen der Undulationslehre war man von der Annahme ausgegangen, daß die Distanz jener Aethertheilchen (die durch ihre anziehende und abstoßende Kraft die Fortpflanzung der Lichtwellen erzeugen) noch unendlich kleiner sei, als jene Länge einer Lichtwelle, so daß man also diese Distanzen der Aethertheilchen in allen denjenigen Fällen vernachlässigen zu können glaubte, in welchen die Länge der Lichtwellen als eine das Resultat der Rechnung bestimmende Größe auftrat. Allein diese Annahme wurde ganz willkührlich gemacht. Man dachte damit die Sache einfacher zu machen, und schmeichelte sich noch, auf diese Weise dem contiguirlich flüssigen Aether näher gekommen zu sein, während er durch die Annahme von einzelnen, isolirten Aethertheilchen, wie man glaubte, nur höchst unvollkommen dargestellt werde.

Noch stand es daher den Mathematikern frei, von der entgegengesetzten Ansicht auszugehen, und zuzusehen, ob die Voraussetzung von der Isolation der Aethertheilchen, von der Existenz endlicher Intervalle zwischen denselben, als eine bessere Basis ihrer Brechungen, oder als eine angemessene physische Hypothese zuläßig ist. Dies einmal gethan, blieb sofort nur noch übrig, zu untersuchen, ob auch dann noch die Geschwindigkeit des Lichts für verschiedene Wellenlängen, d. h. für verschiedene Farben, auch in der That veränderlich ist.

Cauchy unternahm es, die Bewegung einer solchen Sammlung von isolirten Theilchen, die ein elastisches Medium bilden, nach den allgemeinsten Prinzipien zu berechnen, und er gelangte zu Resultaten, welche die erwähnte neue Erweiterung der früheren, vorläufigen Hypothese in sich enthielten. Professor Powell in Oxford suchte die Resultate dieser theoretischen Untersuchungen Cauchy's numerisch zu entwickeln, und sie mit den Beobachtungen zu vergleichen. Aus Cauchy's Prinzipien ging hervor, daß eine Veränderung der Wellenlänge auch die Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Lichtes ändert, vorausgesetzt, daß das Intervall zwischen den Aethertheilchen noch ein merkliches Verhältniß zu der Wellenlänge hat [17]). Auch erhielt Powell aus den allgemeinen analytischen Ausdrücken eine Formel, durch die das Verhältniß zwischen dem Brechungsindex des Strahls und der Wellenlänge (oder der Farbe des Strahls) ausgedrückt wird [18]). Seine weitere Aufgabe war es dann, dies Verhältniß auch auf experimentellem Wege zu suchen, und er fand eine sehr nahe Uebereinstimmung zwischen den Zahlen der Theorie und denjenigen, die früher schon Fraunhofer für zehn verschiedene Media (Flüssigkeiten und verschiedene Glasarten) aufgestellt hat [19]). Diesen fügte er später [20]) zehn andere Fälle bei, die Rudberg an Krystallen beobachtet hatte. Auch Kelland in Cambridge berechnete die Resultate derselben Hypothese (der endlichen Intervalle der Aethertheilchen) auf eine von Powell etwas verschiedene Art [21]). Er erhielt zwar nicht genau dieselben Ausdrücke, wie Powell, aber auch seine Resultate stimmten mit denen von Fraunhofer wohl überein.

Bemerken wir noch, daß dieser von Fraunhofer beobachtete und in jenen Rechnungen angewendete Brechungsindex nicht derjenige ist, der den verschiedenen prismatischen Farben entspricht, der nur schwer mit Genauigkeit zu messen ist, sondern vielmehr der, welcher den bekannten schwarzen Linien angehört, die Fraunhofer in dem prismatischen Sonnenbilde gefunden und mit den Buchstaben B, C, D, E, F, G und H bezeichnet hat, und die sich mit großer Schärfe messen lassen. Die Uebereinstimmung zwischen den theoretischen und beobachteten Zahlen ist in allen den oben erwähnten Vergleichungen in der That sehr merkwürdig. Dennoch aber müssen wir jetzt noch Anstand nehmen, über diese „Hypothese der endlichen Intervalle," so weit sie durch diese Rechnungen erwiesen sein soll, einen Ausspruch zu thun. Denn obschon die Resultate derselben mit den Beobachtungen so nahe übereinstimmen, so ist dadurch noch nicht erwiesen, daß derselbe Zweck nicht auch durch eine andere Hypothese erreicht werden kann. Aus der Natur der Sache geht hervor, daß in der Auf-

---

17) Philos. Magazine, Vol. VI, S. 266.

18) Ibid. Vol. VII, S. 266.

19) Philos. Transact. 1835, S. 249.

20) Ibid. 1836, S. 17.

21) Cambridge Transact. Vol. VI, S. 153.

einanderfolge der Farben des Spectrums eine gewisse Gradation, ein kontinuirlicher Gang statt haben muß, und daß daher jede Hypothese, durch welche die allgemeine Erscheinung der ganzen Dispersion dargestellt wird, wahrscheinlich auch den Betrag der zwischenliegenden Dispersionen darstellen wird, da die letzten gleichsam nur durch Interpolation zwischen jenen Extremen erhalten werden. Immer aber zeigt das Resultat dieser hypothetischen Berechnung mit genügender Beruhigung, daß in der Thatsache der Dispersion selbst nichts liegt, was der Undulationstheorie überhaupt je gefährlich werden kann.

XI. Beschluß.

Noch gibt es verschiedene andere, tiefer liegende Punkte dieser Theorie, die aber jetzt noch zu wenig aufgehellt sind, um hier schon die historische Darstellung der Diskussionen aufzunehmen, zu welchen sie Gelegenheit gegeben haben [22]. So wurde z. B. einige Zeit durch angenommen, daß die Vibrationen des polarisirten Lichtes auf der Polarisationsebene senkrecht stehen. Allein diese Annahme war kein wesentlicher Theil der Theorie, da alle bisher beobachteten Erscheinungen uns eben so gut erlauben, die Vibrationen in der Polarisationsebene selbst vorauszusetzen. Die Hauptforderung besteht nur darin, daß das in unter einander senkrechten Ebenen polarisirte Licht auch seine Vibrationen in rechten Winkeln macht. Demnach blieb auch diese Frage durch längere Zeit von Young und Fresnel unentschieden, und erst in den letzten Tagen sind mehrere Geometer der Meinung beigetreten, daß der Aether in der Polarisationsebene selbst seine Vibrationen ausführt. Die Theorie der transversalen Vibration steht gleich fest, welche von diesen beiden Annahmen auch am Ende bestätigt werden mag.

Dasselbe wird man auch von den Hypothesen sagen können, welche seit Young und Fresnel die Anhänger der neuen Lehre über die mechanische Konstitution des Aethers und über die Kräfte aufgestellt haben, durch welche die transversalen Vibrationen hervorgebracht werden sollen. Es war wohl nicht zu verwundern,

---

22) Man sehe darüber Professor Lloyd's Report on physical optics.

daß sich über Fragen solcher Art verschiedene Meinungen erhoben haben, da man früher die transversalen Vibrationen noch nicht zum Gegenstande mathematischer Berechnungen gemacht hatte, und da die Kräfte, durch welche solche Vibrationen erzeugt werden, offenbar auf eine ganz andere Art wirken müssen, als diejenigen Kräfte, die man bisher in der Natur allein betrachtet hatte. Ohne indeß in diese Diskussionen hier weiter einzugehen, läßt sich, in Folge aller bisher verfolgten mathematischen Untersuchungen, ohne Anstand sagen, daß in dem Begriffe der transversalen Vibration selbst nichts liegt, was mit den Prinzipien der Mechanik oder was mit den besten allgemeinen Ansichten unvereinbar wäre, die man über die Kräfte aufstellen kann, durch welche das Universum zusammengehalten wird.

Gern füge ich noch wenige Worte, wie sie mir der Zweck dieser Schrift erlaubt, über diejenigen Punkte der Undulationstheorie hinzu, die unter den Anführern der Wissenschaft selbst noch Gegenstände der weitern Berathung sein werden. In Beziehung auf diese Untersuchungen ist vor allem eine innige Kenntniß der Mathematik und der Physik erforderlich, auch nur um die Fortschritte, die täglich gemacht werden, verstehen, und noch viel mehr, um sie gehörig beurtheilen zu können. — Beschließen wir daher diese kurze historische Uebersicht der Geschichte der Optik mit der Andeutung der hohen und vielversprechenden Aussicht, welche dieser große Zweig der allgemeinen Naturwissenschaft seinen künftigen Bearbeitern gewähren muß. Doch wird nur tiefes Nachdenken und großes mathematisches Talent irgend einen Mann befähigen, sich mit diesem Gegenstande zu befassen, um dadurch die Grenzen unserer bisher erworbenen Erkenntniß zu erweitern. Schon sieht man aber eine nicht unbeträchtliche Anzahl junger, talentvoller Männer an dem Horizont der wissenschaftlichen Welt sich erheben, ausgerüstet mit dem zu solchen Unternehmungen geeigneten Geist und Eifer. Diese haben ihre Bekanntschaft mit der Wissenschaft erst nach der Zeit gemacht, wo ihre Aufnahme noch zweifelhaft, wo ihr Recht noch nicht anerkannt war, und sie erfreuen sich daher, ohne Kampf mit ihren Nachbarn und mit ihrer eigenen frühern Ueberzeugung, jener Selbstständigkeit und jener Bestimmtheit der Ansichten, die nur schwer von denjenigen errungen werden kann, die in der Zeit der Entstehung der Wissenschaft gelebt und an allen Zweifeln und Hindernissen, die sich ihrer Erhebung entgegensetzten, Theil genommen haben. In den Händen jener von dem Schicksale begünstigten Männer wird, so hoffen wir, die analytische Mechanik des Lichtes dieselben Verbesserungen und Erweiterungen erhalten, wie sie die analytische Mechanik unseres Sonnensystems von den Nachfolgern Newton's, von Euler, Clairaut, d'Alembert, Laplace und Lagrange erhalten hat. Schon haben sich mehrere dieser jüngeren, rüstigen Krieger auf dem Kampfplatze gezeigt. In Frankreich hat Ampère und Poisson und vorzüglich Cauchy, in den neuesten Zeiten auch Lainé dieses Feld betreten [23]); in Belgien hat Quetelet seine ganze Aufmerksamkeit dahin gewendet, und in England haben sich W. Hamilton, Professor Lloyd und M'Cullagh um die Fahne versammelt, die zuerst in diesem Lande von Young entfaltet worden ist. Powell in Oxford hat seine Untersuchungen mit unablässigem Eifer fortgeführt, und Airy in Cambridge, der, vor seiner Beförderung zum k. Astronomen in Greenwich, viel für die Befestigung und Verbreitung der neuen Lehre geleistet hat, genießt jetzt die Freude, seine Arbeiten von Andern übernommen und bis in die neuesten Zeiten mit glücklichem Erfolge fortgesetzt zu sehen, da Kelland und Smith, Airy's frühere Schüler, bereits mehrere schätzbare Schriften über die Undulationstheorie bekannt gemacht haben [24]).

Noch sei es uns erlaubt, die durch eben diese Männer veranlaßte Bemerkung hinzuzufügen, daß der Fortgang der Wissenschaft durch diese Schaar von jungen, geistvollen Männern ungemein befördert wird, die, wie es auf unsern bessern Universitäten geschieht, zu dem Studium der höhern Mathematik geleitet und angespornt werden. Diese sind es, die bei dem Erscheinen einer erhabenen und schwer zu ergründenden Theorie bereit und

---

23) M. s. Lloyd's Report of physical optics, S. 392.

24) M. s. Kelland's Schrift: On the dispersion of light, in den Cambr. Transact. Vol. VI, S. 153, und Smith's Investigation of the equation to Fresnel's wafe surface. Ibid. S. 85. In demselben Bande der Cambr. Transact. ist auch Potter's mathematical considerations on the problem of the rainbow enthalten. Die beiden oben erwähnten Kelland und Smith haben auch in den Jahren 1834 und 1836 die höchsten Würden, welche die Universität von Cambridge ertheilen kann, erhalten.

gerüstet dastehen, die innere Wahrheit derselben zu untersuchen, ihre Prinzipien kräftig aufzufassen, sie mit den mächtigen Waffen der mathematischen Analysis zu verfolgen, und auf diese Weise große wissenschaftliche Entdeckungen, die in frühern Zeiten nur zu oft mit ihren Urhebern wieder zu Grunde gingen, zu dem Schatze unserer dauernden Erkenntnisse zu legen, und sie als ein sicheres Erbe der Nachwelt zu hinterlassen.

Der mit der Geschichte der neueren Optik bekannte Leser wird bemerken, daß wir manche andere merkwürdige Entdeckung mit Stillschweigen übergangen haben, wie z. B. die von Lobeck, Biot, Brewster u. a. gefundenen Erscheinungen, welche das einer hohen Temperatur oder einem großen Drucke ausgesetzte Glas zeigt, oder manche andere ähnliche, interessante Eigenschaften verschiedener Mineralien. Auch haben wir der Phänomene und der Gesetze der Absorbtion des Lichtes keine Erwähnung gethan, die bisher ganz ohne alle Verbindung mit der Theorie gestanden ist. Wir haben uns aber darin nicht wesentlich von unserem Zwecke entfernt, da unsere Absicht nur ist, die Fortschritte der Optik als einer eigentlichen Wissenschaft zu verzeichnen, und dieses haben wir, so weit es unsere Kräfte erlaubten, auch in der That gethan.

Wir bemühten uns, zu zeigen, daß der eigentliche Charakter dieses Fortschritts in der Geschichte beider Wissenschaften, der physischen Astronomie und der physischen Optik, im Grunde derselbe ist. In beiden finden wir verschiedene Gesetze der Erscheinungen, von scharfsinnigen und erfindungsreichen Männern entdeckt und gesammelt; in beiden begegnen wir vorläufigen Versuchen, die der wahren Theorie immer näher treten, aber meistens eine gewisse Zeit durch unvollkommen, unentwickelt und unbestätigt bleiben; in beiden treffen wir die Epoche oder die Zeit, wo die wahre Theorie durch irgend einen hervorragenden philosophischen Geist scharf und klar aufgefaßt und vollständig entwickelt wird, und in beiden endlich sehen wir auch jene nachfolgende Periode von weitern Fortschritten der Wissenschaft, deren Anfang gewöhnlich von dem Kampfe mit bisher gehegten Vorurtheilen, mit Widersprüchen der Alten und mit Hindernissen aller Art bezeichnet ist, während der eigentliche Ausgang derselben den vollen Sieg, den eigentlichen Triumphzug der Wahrheit darstellt, gefolgt von dem jungen, kräftigen Geschlechte, das mit der Wissenschaft selbst herangewachsen ist und ihr daher, ohne Widerstreit mit sich selbst und seinen Umgebungen, frei huldigen und alle seine geistige Kraft zum Opfer bringen kann.

Es ist wohl dem Geschäfte eines Geschichtschreibers nicht angemessen, einen Vergleich zwischen den am meisten hervorragenden Männern zu geben, die in jenen beiden Wissenschaften aufgetreten sind. Wenn wir einen solchen Versuch wagen wollten, so würden wir Hooke und Huyghens dem Copernicus zur Seite stellen, weil jene in der Optik, wie dieser in der Astronomie, die wahre Lehre zuerst verkündigt, aber ihre Entwicklung und Bestätigung der Nachwelt überlassen haben; Malus und Brewster aber möchten dem Tycho und Kepler entsprechen, da jene, wie diese, gleich geschäftig in der Sammlung von Beobachtungen, gleich erfindungsreich und glücklich in der Entdeckung der Naturgesetze waren; Young und Fresnel endlich zusammengenommen würden wir den Newton der optischen Wissenschaften nennen.

Zehntes Buch.

Geschichte der Thermotik und Atmologie.

Et primum faciunt ignem se vortere in auras
Aëris; hinc imbrem gigni terramque creari
Ex imbri: retroque a terra cuncta revorti,
Humorem primum, post aëra deinde calorem;
Nec cessare haec inter se mutare, meare,
De coelo ad terram, de terra ad sidera mundi.

Lucret. I. 783.

Erst lassen sie im luftigen Hauch das Feuer sich wandeln,
Daraus sich Regen erzeugen, aus Regen aber die Erde:
Lassen dann wieder zurück von der Erde sich Jegliches wenden;
Wasser zuerst, dann Luft, zuletzt das Feuer entstehen,
Also im ewigen Wechsel, vom Himmel zur Erde, von dieser
Wieder empor zu den Gestirnen der Welt. — —

Nach Knebel's Uebersetzung.

Einleitung.

Von der Thermotik und Atmologie.

Unter der Benennung Thermotik werden hier alle die Wärme betreffenden Lehren begriffen, die bisher auf einzelnen wissenschaftlichen Unterlagen errichtet worden sind. Unsere Uebersicht dieses Zweiges der menschlichen Erkenntniß wird kürzer und nicht so umständlich sein, wie die der bisher behandelten Gegenstände, da unsere Kenntniß von jenen viel unbestimmter und selbst ungewisser sind, und da sie auch bisher nur geringe Fortschritte zu einer eigentlichen wissenschaftlichen Theorie gemacht haben. Demungeachtet ist die Darstellung dieses Gegenstandes zu wichtig und lehrreich, als daß sie hier ganz mit Stillschweigen übergangen werden könnte.

Auch die Thermotik läßt sich, wie alle anderen Naturwissenschaften, in eine formelle und in eine physische Thermotik eintheilen, von denen jene die blosen Gesetze der Erscheinungen, diese aber die Ursachen dieser Gesetze enthält. Diese letzte aber können wir auf jene Weise, wie dies für die Astronomie und Optik geschehen ist, nicht darstellen, da bisher noch keine allgemeine Wärmelehre aufgetreten ist, welche uns Mittel und Wege an die Hand gibt, die Verhältnisse und Umstände der Erscheinungen der Konduktion, der Radiation, der Expansion, und die dadurch bewirkten Veränderungen der festen, flüssigen und luftförmigen Körper durch Rechnung zu bestimmen. Doch hat man, über jedes dieser Phänomene, bereits allgemeine Ansichten aufgestellt und auch angenommen, wodurch sie, einzelne wenigstens, erläutert oder erklärt werden, und in einigen besonderen Fällen hat man auch diese Ansichten in ein genaues, mathematisches Gewand zu kleiden und sie auf diese Weise zum Gegenstand eigentlicher Berechnungen zu machen gesucht.

Diese Phänomene nun werden, wenigstens jedes für sich, unsere besondere Aufmerksamkeit in Anspruch nehmen, wenn gleich ihre Allgemeinheit noch beschränkt ist, indem die darüber aufgestellten Prinzipien zwar noch nicht alle Klassen der hieher gehörenden Erscheinungen unter einem gemeinschaftlichen Gesichtspunkt darstellen, aber doch mehrere der bisher darüber beobachteten Gesetze zu einem untergeordneten Ganzen verbinden. Man kann sie füglich unter den Aufschriften der Lehre von der Konduktion oder Wärmeleitung; von der Radiation oder Wärmestrahlung, von der specifischen und endlich von der latenten Wärme der Körper zusammenfassen. Diese und einige andere ähnliche bilden die sogenannte eigentliche Thermotik.

Allein außer diesen Sammlungen von Prinzipien, welche die Wärme an sich selbst betreffen, haben die Relationen, welche die Wärme mit der Feuchtigkeit eingeht, noch zu einer anderen Sammlung von Naturgesetzen und Prinzipien Gelegenheit gegeben, die wir hier in Verbindung mit der Thermotik betrachten und unter der Benennung der Atmologie (von dem griechischen Worte *ατμος*, Dampf) begreifen wollen. Die Griechen haben nämlich die unsere Erde umgebende Luft Atmosphäre genannt, weil sie dieselbe als eine Sammlung von Wasserdünsten ansahen. Auch sind in der That die allgemeinsten und wichtigsten Erscheinungen in dieser die Erde umgebenden Luft diejenigen, bei denen das Wasser in seinen drei Gestalten, als fester, flüssiger und dampfförmiger Körper, die Hauptrolle spielt. Man hat Veränderungen, wie sie in unserer Atmosphäre vorgehen, in ihrer kollektiven Gestalt, bisher zuweilen auch mit dem Namen der Meteorologie bezeichnet; allein die nähere Kenntniß dieser Veränderungen ist in der That aus vielen anderen zusammengesetzt, die verschiedenen Wissenschaften angehören; für unseren Zweck aber wird es angemessener sein, diejenigen Theile der Meteorologie, die im Zusammenhange mit dem Gesetze des Wasserdampfes stehen, abgesondert zu betrachten, und diese sind es daher, die wir unter der Benennung der Atmologie begreifen.

Die Instrumente, die man zur Messung der Feuchtigkeit der Luft, d. h. zur Messung des in der Luft enthaltenen Dampfes vorgeschlagen hat, werden bekanntlich Hygrometer genannt, so wie man die verschiedenen Lehren, von welchen diese Instrumente abhängen oder zu welchen sie geführt haben, Hygrometrie zu heißen pflegt. Allein dieser Ausdruck wurde nicht ganz in dem ausgedehnten Sinne gebraucht, den wir hier mit dem Worte Atmologie verbinden.

Indem wir uns nun zu der Geschichte der Thermotik wenden, wollen wir zuerst den Fortgang der früheren Ansichten und Meinungen über Konduktion, Radiation und ähnliche Erscheinungen vortragen, und dann erst von den neueren Verbesserungen und Erweiterungen sprechen, durch welche diese Ansichten ihrer gewünschten theoretischen Allgemeinheit allmählig näher gebracht worden sind.

Thermotik.

Erstes Kapitel.

Die Lehren von der Konduktion und der Radiation der Wärme.

Erster Abschnitt.

Konduktion der Wärme.

Unter **Konduktion** (Leitung) **der Wärme** wird die Fortpflanzung derselben in dem Inneren eines Körpers, oder auch die Fortpflanzung der Wärme von einem Körper zu einem andern, mit jenem in Berührung stehenden, verstanden, wenn z. B. das eine Ende einer Eisenstange im Feuer auch das andere Ende erhitzt, oder wenn dieses andere Ende die Hand erwärmt, von der es gehalten wird. **Radiation** (Strahlung) der Wärme aber heißt der Uebergang der Wärme von der Oberfläche eines Körpers zu andern, mit jenem nicht in Berührung stehenden Körpern. In beiden Fällen wird offenbar die Wirkung der Erwärmung des kühleren Körpers desto größer sein, je wärmer der andere gegen diesen ist, d. h. es wird in diesem Falle eine größere Mittheilung der Wärme stattfinden. Die einfachste Vorschrift, die man für diese Mittheilung aufstellen kann, ist die, daß die so in einer gegebenen Zeit mitgetheilte Wärme sich wie der Ueberschuß der Wärme der beiden Körper oder der beiden Theile eines Körpers verhält. Wir können keine Beobachtung, die mit dieser Annahme in Widerspruch wäre. Auch hat sie schon Newton als das wahre Gesetz für die Radiation aufgestellt, und andere haben sie auch auf die Konduktion ausgedehnt. Diese Annahme wurde bald nach Newton näherungsweise, später aber genau bestätigt, so weit sie nämlich die Radiation betrifft. In ihrer Anwendung auf die Konduktion aber wird sie noch heut zu Tage, zur Grundlage der darüber angestellten Berechnungen gemacht. Bemerken wir dabei, daß dies bereits den Besitz eines Wärmemaaßes voraussetzt, das mit jenem Gesetze übereinstimmt. In der That wurde auch, wie wir später sehen werden, die thermometrische Skale der Wärme, als dieses Wärmemaaß, in Beziehung auf Newton's Radiationsgesetz konstruirt, so daß also auch dieses Gesetz mit jener Skale in unmittelbarem Zusammenhange stehen muß.

In allen den Fällen, wo die Theile eines Körpers ungleich warm sind, wird auch die Temperatur desselben von einem Theile desselben zu den andern sich kontinuirlich ändern. So wird z. B. eine lange Eisenstange, deren ein Ende immer rothglühend erhalten wird, eine stufenweise Abnahme der Temperatur gegen das andere Ende hin zeigen, und das Gesetz dieser Abnahme wird sich durch die Ordination einer Curve, die der Stange entlang hinzieht, darstellen lassen. Die weiteren Folgerungen des aufgestellten Gesetzes können dann mit Hülfe der Differentialrechnung mathematisch ausgedrückt werden, so wie endlich die Untersuchung, ob das Gesetz selbst richtig oder unrichtig ist, nach den bekannten Vorschriften aller induktiven Wissenschaften, durch die Vergleichung dieser theoretischen Ausdrücke mit den unmittelbaren Beobachtungen erhalten wird.

Diese Vergleichung hätte, wie man sieht, sogleich angestellt werden sollen. Allein dies geschah nicht, vielleicht weil die theoretische Entwicklung der hieher gehörenden Ausdrücke einige Schwierigkeiten verursachte. Selbst in dem so eben erwähnten sehr einfachen Falle, einer dünnen Stange mit konstanter Temperatur eines ihrer Endpunkte, mußten schon die sogenannten partiellen Differentialien zu Hülfe gerufen werden, da man es hier bereits mit drei veränderlichen Größen zu thun hatte, mit der Temperatur, mit den einzelnen Theilen der Stange, und mit der Zeit oder dem Augenblicke, für welchen man die Temperatur dieser Theile bestimmen wollte. Auch fand Biot, als er sich zuerst i. J. 1804 mit diesem Gegenstande beschäftigte, noch ein anderes Hinderniß zu überwinden [1]. „Es zeigt sich

[1] M. s. Biot, Traité de physique, Vol. IV. S. 669.

hier," sagt Laplace [2]) i. J. 1809, „eine bisher noch nicht auf„gelöste Schwierigkeit: die von einem Punkte der Stange in „einem gegebenen Augenblick erhaltenen und mitgetheilten Wärme„mengen müssen nämlich unendlich kleine Größen derselben Ord„nung sein, wie die Unterschiede der Temperatur zweier nächsten „Schichten des Körpers, so daß also der Exceß der von einer „Schichte erhaltenen Wärme über die von ihr mitgetheilte, eine „unendlich kleine Größe der zweiten Ordnung sein wird, und „daß daher auch die Anhäufung derselben in einer gegebenen „Zeit noch keine endliche Größe betragen kann." Mir scheint, daß diese Schwierigkeit blos aus einer willkührlichen und unnöthigen Annahme über das Verhältniß der kleinsten Theilchen der Körper hervorgeht. Laplace suchte sie durch weitere Schlüsse zu lösen, die jedoch auf dieselbe Annahme gebaut sind, aus welchen sie hervorgegangen ist. Fourier [3]) aber, der ausgezeichnetste

---

2) Mém. de l'Instit. für d. J. 1809, S. 332.

3) Fourier (Joseph), geb. zu Auxerre i. J. 1768, der Sohn eines Schneiders dieser Stadt, wo er auch seinen ersten Unterricht in der Benediktinerschule erhielt. Er wollte selbst in diesen Orden treten, und hatte bereits sein Noviziat geendet, als die Revolution ausbrach. Er hatte sich früh schon mit Geschichte und Philosophie, besonders aber mit Mathematik beschäftigt, in welchen Gegenständen er auch, in der erwähnten Schule, noch i. J. 1789 als Professor Unterricht gab. Schon 1787 hatte er an die Pariser Akademie ein Memoir über die Auflösung der Gleichungen geschickt, das bereits die Keime seiner künftigen Entdeckungen über diesen Gegenstand enthielt. Da er lebhaften Antheil an den Ereignissen der Revolution nahm, so hatte er auch mit mehreren großen Gefahren zu kämpfen, aus denen er nur durch glückliche Zufälle gerettet wurde. Im Jahre 1794 wurde er Subprofessor der polytechnischen Schule in Paris, wo er bis 1798 blieb. In dem folgenden Jahre machte er, auf Monge's Zureden, die Expedition nach Aegypten mit, wo er Sekretär des Instituts von Cairo war, und sonst auch zu politischen Geschäften von Napoleon öfter verwendet wurde. Nach seiner Zurückkunft wurde er von dem ersten Konsul zum Präfekt des Departements Isere im südöstlichen Frankreich gemacht, wo er bis 1815 blieb. Bei Napoleons Zurückkunft von Elba ließ F. eine Proklamation gegen ihn in seinem Departement verbreiten. Die ganze Strafe, mit der ihn Napoleon belegte, war seine Versetzung als Präfekt in das Departement der Rhone. Doch legte er diese neue Stelle am 1. Mai 1815

Beförderer der rein analytischen Theorie der Konduktion, ging einen ganz andern Weg, auf welchem er dieser Schwierigkeit nicht begegnet. Auch gesteht Laplace in der eben erwähnten Schrift[4]), daß Fourier bereits die wahren Fundamentalgleichungen auf seinem eigenen Wege erhalten habe.

Das Uebrige der Geschichte der Konduktion ist größtentheils Fourier's Werk. Nachdem einmal die allgemeine Aufmerksamkeit auf diesen Gegenstand geleitet war, machte das Institut von Frankreich im Januar 1810 die mathematische Theorie des Gesetzes der Fortpflanzung der Wärme und die Vergleichung dieser Theorie mit den Beobachtungen zu ihrer Preisfrage Fourier's Memoir, eine Fortsetzung seiner schon i. J. 1807 vorgelegten Schrift, wurde im September 1811 der Akademie übergeben, und der Preis dafür (3000 Franken) wurde ihm im Jahr 1812 zuerkannt. Aber in Folge der politischen Wirren,

---

wieder nieder, da er Carnot's Befehl, die Anhänger des Bourbons gefangen zu nehmen, nicht nachkommen wollte. Fourier war zu Paris, als die Nachrichten von der Schlacht von Waterloo daselbst ankamen. Er blieb hier längere Zeit unbeachtet und beinahe mittellos, bis er von seinem früheren Schüler Chabrol eine Aufseherstelle in einem statistischen Bureau erhielt. Im Jahre 1816 wurde er zum Mitglied des Instituts erwählt, aber Ludwig der achtzehnte verweigerte diese Wahl, bis er erst nach einem Jahre zu deren Genehmigung bewogen wurde. Bei Delambre's Tod wurde er zum Sekretär des Instituts erwählt, so wie er auch die Stelle des Laplace als Präsident der polytechnischen Schule erhielt. Er starb zu Paris im Mai 1830. Seine zwei Hauptwerke sind: Théorie de la chaleur, Paris 1822, und Analyse des équations déterminées, Paris 1831, welche letzte Schrift nach seinem Tode von Navier herausgegeben wurde. Seine übrigen trefflichen Schriften findet man in den Mém. de l'Acad. de Paris, in den Annales de Physique und in den Recherches statistiques de la ville de Paris. Die Théorie de la chaleur hat die Gesetze der Fortpflanzung der Wärme im Innern der Körper zum Zwecke, und man findet in diesem Werke eine erweiterte Integration der partiellen Differentialgleichungen, die Auflösung der Gleichungen mit unendlich vielen Gliedern, Ausdrücke der Funktionen durch sogenannte bestimmte Integralien u. f. Die Analyse des équations gibt eine neue Auflösung, die Wurzeln numerischer Gleichungen zu bestimmen, und man erwartet noch den zweiten Theil dieses von dem Herausgeber Navier versprochenen Werkes. L.

4) Ibid. S. 538.

die damals in Frankreich herrschten, oder vielleicht auch aus anderen Gründen, wurden diese wichtigen Abhandlungen erst i. J. 1824 gedruckt. Auszüge davon aber wurden bereits 1808 in den Bulletin des Sciences, und 1816 in den Annales de Chimie, gegeben, so wie denn auch Poisson und Cauchy das Manuscript selbst schon früher eingesehen hatten.

Es kann nicht meine Absicht sein, hier einen Bericht von den analytischen Verfahren zu geben, durch welche Fourier zu seinen Resultaten gelangt ist [5]). Die Kunst und Geschicklichkeit, die der Verfasser in diesen Abhandlungen entwickelt, haben sie zu dem Gegenstande der gerechten Bewunderung der Mathematiker gemacht. Uebrigens bestehen sie gänzlich nur in den Deduktionen des bereits erwähnten Grundprinzips, das die Quantität der von einem warmen zu einem kältern Punkte geleiteten Wärme dem Ueberschusse der Wärme beider Punkte proportional ist, modificirt durch die Konduktivität (Leitungsfähigkeit) eines jeden besondern Körpers. Die daraus hervorgehenden Gleichungen haben nahe dieselbe Gestalt, wie diejenigen, die man für die allgemeinsten Probleme der Hydrodynamik aufgestellt hat. Außer dieser Auflösung von Fourier haben auch Laplace, Poisson und Cauchy ihr großes analytisches Talent in der Behandlung dieser Formeln versucht. Wir werden später von der Vergleichung dieser theoretischen Resultate mit denen der Beobachtungen sprechen, und bei dieser Gelegenheit auch einiger Folgen erwähnen, zu welchen diese Vergleichung Gelegenheit gegeben hat. Allein ehe wir dies thun, müssen wir zuerst noch die Radiation der Wärme betrachten.

Zweiter Abschnitt.

Radiation der Wärme.

Jeder heiße Körper, wie z. B. eine Masse glühenden Eisens, schickt Wärme in seine Umgebung aus, wie wir schon durch unser Gefühl bemerken, wenn wir uns einem solchen Körper nähern, und wie denn auch alle warmen Körper auf diesem

---

5) Ich habe einen solchen Bericht gegeben in dem Report of the British association for 1835.

Wege endlich ganz auskühlen. Der erste Schritt zur wissenschaftlichen Erkenntniß dieser Erscheinung wurde in Newton's Prinzipien gemacht. „Es war die Bestimmung dieses großen Werkes," sagt Fourier, „die Ursachen der vorzüglichsten Erscheinungen in der Natur zu geben oder doch anzudeuten." Newton nahm, wie gesagt, an, daß die Auskühlung eines Körpers, d. h. die Mittheilung seiner Wärme an die ihn umgebenden Körper, seiner Wärme selbst proportional sei, und auf dieser Annahme beruhte auch die Verifikation seiner Wärmeskale. Eine einfache Folge aus dieser Annahme ist, daß die Temperatur eines Körpers im geometrischen Verhältniß abnimmt, wenn die Zeiten der Verkühlung im arithmetischen Verhältniß zunehmen. Kraft und nach ihm Richman suchten dieses Gesetz durch direkte Beobachtungen über das Verkühlen von mit warmem Wasser gefüllten Gefäßen zu prüfen. Aus diesen Beobachtungen, die später auch von mehreren andern wiederholt wurden, folgt, daß für Temperaturdifferenzen, die 50° Centigr. nicht übersteigen, durch die erwähnte geometrische Progression die Verkühlung der Körper mit erträglicher, aber keineswegs mit vollkommener Genauigkeit dargestellt wird.

Auch dieses Prinzip der Wärmestrahlung mußte, wie jenes der Wärmeleitung, auf mathematischem Wege verfolgt werden. Es mußte aber auch dasselbe gleich anfangs eine Verbesserung erhalten, denn es war klar, daß der Grad der Abkühlung nicht von der absoluten Temperatur des Körpers, sondern von dem Ueberschusse seiner Temperatur über die der umgebenden Körper abhängt. Die Physiker bemühten sich, diesen Prozeß der Abkühlung der Körper auf mannigfaltige Art zu erklären oder zu erläutern. So machte Lambert [5]) in seiner Schrift über die

---

6) Lambert (Joh. Heinr.), geb. 26. Aug. 1728 zu Mühlhausen im Sundgau, der Sohn eines armen Schneiders, zu dessen Handwerke er auch bestimmt wurde. Seine zierliche Handschrift aber erwarb ihm die Stelle eines Schreibers und Buchhalters bei einem Eisenwerk. Im Jahr 1746 kam er als Sekretär zu Iselin nach Basel, und von da als Hauslehrer zu dem Präsidenten Salis. Mit seinen Zöglingen machte er 1756—58 wissenschaftliche Reisen nach Holland, Frankreich und Italien, und ließ sich dann in Augsburg nieder, wo er 1759 seine „Photometrie" herausgab. Im Jahre 1764 ging er nach Berlin, wo

Kraft der Wärme (von d. J. 1755) den Versuch, die Radiation mit dem Ausströmen einer Flüssigkeit von einem Gefäße in ein anderes, blos durch den Ueberschuß des Druckes, zu vergleichen, woraus er dann auf mathematischem Wege die Gesetze dieser Erscheinung ableitet. Aber weitere Erfahrungen über diesen Gegenstand führten bald zu anderen Ansichten desselben. Man fand, daß die Wärme durch die Radiation in gerader Linie, gleich dem Lichte, fortgepflanzt wird, daß sie, wie das Licht, durch Spiegel reflektirt und dadurch in einen Fokus von intensiver Wirkung vereinigt werden kann u. dgl. Solche Ansichten waren offenbar viel geeigneter, die Erscheinungen der Radiation mit Genauigkeit zu bestimmen. Doch zeigte sich bald auch ein anderes Phänomen, das, anfangs wenigstens, wieder neue Hindernisse zu erzeugen schien. Man fand nämlich, daß nicht blos die Wärme, sondern daß auch die Kälte einer solchen Reflexion fähig sei. Wenn durch einen Hohlspiegel die Wirkung einer Masse von Eis auf das Thermometer koncentrirt wird, so sah man das Thermometer fallen. Sollte man nun die Kälte eben so, wie früher die Wärme, für eine reelle Substanz halten?

Die Antwort auf diese und ähnliche Fragen wurde zuerst von Prevost [7]), Professor zu Genf, gegeben, dessen Theorie der Radia-

---

ihn Friedrich II. zum Oberbaurath und zum Mitglied der Berliner Akademie ernannte, und wo er auch am 25. Sept. 1777 starb. Er galt für einen der ersten Mathematiker und Philosophen seiner Zeit. Seine übrigen vorzüglichsten Schriften sind: „Neues Organon oder Gedanken über die Erforschung des Wahren," Leipzig 1764, II Bde. Anlage zur Architektonik des Einfachen und Ersten in der philos. und mathem. Erkenntniß, Riga 1771, II Bde. Kosmologische Briefe über die Einrichtung des Weltbaues, Augsburg 1761. Eine Biographie von ihm gab Daniel Huber, Basel 1809. L.

7) Prevost (Isaak Benedikt), geb. 7. Aug. 1755 zu Genf von armen Aeltern. Nach einer sehr mittelmäßigen Erziehung widmete er sich anfangs der Kupferstecherkunst, und später dem Handel. Auch diesen wieder verlassend übernahm er die Erziehung der Söhne Delmas von Montauban, wo er sich den Wissenschaften, besonders der Physik und Mathematik widmete, in welchen sich bald auszuzeichnen ihm besonders der nahe wohnende geschickte Astronom Duc Lachapelle Gelegenheit gab. Im Jahr 1810 wurde er Professor der protest. Theologie

tion um d. J. 1790 erschien. Nach ihm strömt der Wärmestoff (Calorique) immerwährend von der Oberfläche aller Körper in geraden Richtungen aus, und zwar desto mehr, je heißer diese Körper sind. Daraus folgt ein beständiger Wechsel und Uebergang der Wärme zwischen benachbarten Körpern, und jeder derselben wird wärmer oder kälter, je nachdem er von seiner Umgebung mehr Wärmestoff erhält, als er selbst aussendet, und umgekehrt. Auch wird ein Körper von einem ihm nahen kältern abgekühlt, weil jener seine geradlinigen Wärmestrahlen in größerer Menge zu diesem sendet, als er von dem kälteren Körper auf demselben Wege erhält. — Diese Wechseltheorie schien einfach und genügend, und wurde daher auch bald allgemein angenommen. Allein wir müssen sie doch mehr als eine einfache Art des Ausdruckes für die Abhängigkeit der Wärmemittheilung von dem Ueberschuß der Wärme, denn als ein bestimmtes Gesetz betrachten, auf welches man die Erklärung dieser Erscheinung mit Klarheit und Sicherheit erbauen kann.

Leslie und andere haben eine Menge von merkwürdigen Untersuchungen über die Wirkung verschiedener erwärmender und erwärmter Körper angestellt. Ohne dabei zu verweilen, will ich nur bemerken, daß man den relativen Betrag der das Licht ausstrahlenden und dasselbe in sich aufnehmenden Oberflächen der Körper für jeden derselben durch bestimmte Zahlen auszudrücken pflegt. Wir werden weiter unten von diesen Zahlen bei Gelegenheit unserer Betrachtung der äußeren Leitbarkeit (Konduktivität) sprechen, im Gegensatze von der inneren Leitbarkeit, die sich auf die Fortpflanzung der Wärme in dem Inneren der Körper bezieht. Fourier im Gegentheile bediente sich der Ausdrücke Konduktibilität und Konducibilität, die mir ganz unangemessen scheinen, da man doch nicht die Körper in Beziehung auf ihre Wärme konduktibel oder konducibel nennen

---

zu Montauban, wo er auch 18. Juni 1819 starb. Man hat von ihm nur ein größeres Werk: Sur la cause de la carie ou du charbon des blées, Par. 1807, aber dafür viele Aufsätze in den Memoiren verschiedener Akademieen, in den Annales de chimie 1797, 1802, 1819; in der Biblioth. britannique 1801, 1815. Weitere Nachrichten findet man in Notice de la vie et des écrits de Prevost, Génève 1820.

kann. Ich habe daher den Ausdruck etwas geändert und die Körper in dieser Beziehung konduktiv oder leitbar genannt.

Dritter Abschnitt.

Verifikation der Lehre von der Konduktion und Radiation der Wärme.

Die innere und äußere Leitbarkeit (Konduktivität) der Körper kann also durch Zahlen ausgedrückt werden, und diese Zahlen werden als die Elemente oder als die Koeffizienten der mathematischen Berechnungen betrachtet, die man auf die Lehre von der Konduktion und Radiation der Wärme gegründet hat. Diese Koeffizienten werden für jeden besondern Fall durch die geeigneten Versuche bestimmt, und wenn der Beobachter diese Zahlen sowohl, als auch die mathematische Auflösung seines Problems einmal gefunden hat, so kann er auch die Richtigkeit der von ihm zu Grunde gelegten Prinzipien durch die Vergleichung der Theorie mit der Beobachtung einer scharfen Prüfung unterwerfen. Dies hat z. B. Biot [8]) für das Gesetz der Konduktion in dem einfachen Fall eines Metallstabes gethan, der an seinem einen Ende erhitzt wird, und die Uebereinstimmung der Theorie mit den Experimenten konnte als genügend angesehen werden. Schwerer aber war es, in den mehr zusammengesetzten Fällen, die Fourier betrachtet hatte, dieselbe Vergleichung mit hinlänglicher Schärfe anzustellen. Einige andere merkwürdige Relationen jedoch, die er in den verschiedenen Temperaturen metallener Ringe auf theoretischem Wege entdeckte, haben uns ein gutes Criterium von dem Werthe seiner Berechnungen und zugleich eine Bestätigung ihrer Genauigkeit gegeben [9]).

Man kann demnach annehmen, daß die Theorie der Konduktion und Radiation der Wärme mit genügender Sicherheit aufgestellt ist, so daß man die Anwendung derselben auf mehrere merkwürdige Fälle mit Recht in die Geschichte dieser Wissenschaft aufnehmen darf. Wir wollen sie sogleich näher betrachten.

---

8) Biot, Traité de physique, Vol. IV. S. 671.

9) M. s. Mém. de l'Instit. 1819, S. 192, herausgekommen im Jahr 1824.

Vierter Abschnitt.

Geologische und kosmologische Anwendung der Thermotik.

Bei weitem die meisten Anwendungen dieser Lehren hat man auf unserer Erde und auf die Klimate derselben gemacht, so weit diese letzten durch die Modifikationen der Temperatur bestimmt werden; und auf demselben Wege suchte man sich auch zu anderen verwandten Gegenständen des Weltalls zu erheben. Wenn wir Mittel besäßen, diese terrestrischen und kosmischen Phänomene in hinlänglicher Ausdehnung zu beobachten, so würde man ohne Zweifel sehr schätzenswerthe Thatsachen haben, auf dem eine Theorie wohl mit Sicherheit errichtet werden könnte; sie würden dann nicht blos äußere Zusätze, sondern wahre integrirende Theile unserer allgemeinen Wärmelehre bilden. Dann würde man nämlich die Gesetze von der Fortpflanzung der Wärme, die wir bisher nur aus unseren Versuchen mit verhältnißmäßig sehr kleinen Körpern gefunden haben, auch auf die analogen Erscheinungen im Weltall ausdehnen können, ganz so, wie man die Gesetze der Bewegung auch auf die Bewegung der himmlischen Körper angewendet hat. — Allein uns fehlen beinahe alle Kenntnisse von den Verhältnissen, welche die anderen Körper unseres Sonnensystems gegen die Wärme beobachten, und selbst von unserer Erde sind uns diese Verhältnisse nur in Beziehung auf ihre Oberfläche bekannt geworden. Was wir daher von der Rolle wissen, welche die Wärme im Innern der Erde sowohl, als auch unter den Körpern des Himmels, zu spielen hat, wird größtentheils, nicht eine Erweiterung, eine Generalisation unserer beschränkten Beobachtungen, sondern nur eine Deduktion aus den von uns aufgestellten theoretischen Prinzipien sein können. Aber auch dann noch müssen diese Erkenntnisse, mögen sie nun unmittelbar aus unseren Beobachtungen oder aus unseren Theorien entspringen, der Natur der Sache nach für uns sehr wichtig und von großem Interesse sein.

Hieher gehört nun vorzüglich die Wirkung der Sonnenhitze auf die Erde, die Gesetze der Klimate auf der Oberfläche der Erde, die Wärmeverhältnisse des Inneren der Erde, und endlich die des himmlischen Raumes, in welchem sich die Planeten bewegen.

I. Einfluß der Sonnenhitze auf die Erde.

Daß die Sonnenwärme auf verschiedene Weise, je nach der Beschaffenheit der Tages- und Jahreszeiten unter die Oberfläche der Erde dringt, ist eine längst und allgemein bekannte Sache. Die Art aber, wie dies geschieht, wird man entweder durch unmittelbare Beobachtungen oder durch Schlüsse ableiten können. Beide Wege wurden zu diesem Zwecke versucht [10]).

Saussure [11]) ließ zu dieser Absicht i. J. 1785 Löcher in die Erde graben, und fand, daß die jährliche Variation der Temperatur in der Tiefe von nahe einunddreißig Fuß unter der Oberfläche der Erde nur mehr den zwölften Theil von der auf jener Oberfläche beträgt. — Leslie befolgte ein besseres Verfahren, indem er die Kugel seines Thermometers tief in die Erde vergrub, während die Röhre desselben noch über die Oberfläche derselben hervorragte. Auf diese Weise beobachtete er zu Abbotshall in Fifeshire in den Jahren 1815—17 die Temperatur der

---

10) M. s. Leslie, Artikel Climate, in deren Supplem. zu der Encyclop. Brit. 179.

11) Saussure (Horaz Benedikt), geb. 17. Febr. 1740 zu Genf, wurde schon in seinem 22. Jahre Professor der Philosophie in seiner Vaterstadt. Sein näherer Umgang mit Bonnet und Haller bestimmten ihn für die Naturwissenschaften, und zwar vorzüglich für die Gebirgslehre und die Geologie überhaupt, und endlich für die Meteorologie, die er der erste im großen wissenschaftlichen Style behandelte. Ihm verdankt man wesentliche Verbesserungen der meteorologischen Instrumente, des Thermometers, Hygrometers, des Eudio-, Elektro-, Anemo-Meters u. s. Die von ihm gesammelten Erfahrungen und darauf gebauten Schlüsse sichern ihm den Rang unter den ersten Naturforschern. Seine vorzüglichsten Werke sind: Hygrométrie 1783; Voyages dans les Alpes, 1779—96. III. Vol. nebst mehreren Aufsätzen in dem Journal de physique, VII; im Journal de Génève von 1774; in der Bibl. britannique, Vol. I, II et III. Auch ist er der erste, der am 21. Juli 1788 den Mont-Blanc, und 1789 den Monte Rosa bestiegen hat. Nach wiederholten Schlaganfällen, die ihn die vier letzten Jahre an das Krankenbette fesselten, starb er am 22. Januar 1799. L.

Erde in der Tiefe von 1, 2, 4 und 8 Fuß. Das Resultat dieser Beobachtungen war, daß die äußersten jährlichen Variationen der Temperatur desto mehr abnehmen, je tiefer wir unter die Oberfläche der Erde herabsteigen. In der Tiefe von einem Fuß betrug die jährliche Aenderung der Temperatur 25 Grade Fahrenheit und so fort, wie folgende kleine Tafel zeigt.

Tiefe	Jährliche Aenderung.	
1 Fuß . . .	25° Fahrenh.	11.°1 Réaum.
2 „ . . .	20 „	8.9 „
4 „ . . .	15 „	6.7 „
8 „ . . .	9½ „	4.2 „

Auch die Epoche der größten Wärme des Jahrs rückt immer später zurück, je tiefer man geht. In der Tiefe von einem Fuß fiel die größte oder kleinste Wärme drei Wochen nach dem Sommer- oder Wintersolstitium; für zwei Fuß vier bis fünf Wochen; für vier Fuß schon zwei Monate, und für acht Fuß endlich volle drei Monate. Dabei war die mittlere Temperatur aller seiner Thermometer immer nahe dieselbe. Aehnliche Resultate erhielt auch Ott zu Zürich i. J. 1762 und Herrenschneider zu Straßburg i. J. 1821—23 [12]).

Diese Resultate sind auch bereits durch Fourier's Theorie der Konduktion erklärt. Er hat gezeigt [13]), daß, wenn eine periodische Wärme auf die Oberfläche einer Kugel einwirkt, gewisse Wärmewechsel regelmäßig in das Innere der Kugel vordringen, und daß die Amplitude dieser Abwechslungen in einer geometrischen Progression abnimmt, wenn man nach einer arithmetische Progression in das Innere der Kugel eintritt. Diese Schlüsse lassen sich sofort auf die Wirkung der Tags- und Jahreszeiten bei der Temperatur der Erde anwenden, und sie zeigen uns, daß die von Leslie gemachten Beobachtungen als Beispiele für die analogen allgemeinen Erscheinungen bei der Erde dienen können, wie sie dann auch vollkommen mit den Prinzipien übereinstimmen, auf welchen Fourier's Theorie erbaut ist.

12) M. s. Pouillet's Météorologie, Vol. II. S. 643.

13) Mém. de l'Instit. für das Jahr 1821 (herausgekommen 1826), S. 162.

II. Klimate.

Durch das Wort **Klima** (κλιμα, Neigung) bezeichneten die Alten die Lage der Erdaxe gegen die Ekliptik, aus der bekanntlich die Verschiedenheit der Tageslängen für verschiedene geographische Breiten entsteht. Dieser Unterschied der Tageslänge ist auch mit einem Unterschiede der thermometrischen Verhältnisse verbunden, indem die dem Aequator näheren Orte der Oberfläche der Erde auch zugleich eine höhere Temperatur besitzen, als die näher bei den beiden Polen liegenden Orte. — Es war wohl eine sehr natürliche Frage, nach welchem Gesetze diese Wärmeänderung vor sich gehe.

Allein die Antwort auf diese Frage setzte die bereits erworbene Kenntniß anderer Wahrheiten voraus und war überhaupt mit mancherlei Hindernissen umgeben. Auf welche Weise soll man die Temperatur irgend eines Ortes mit Genauigkeit bestimmen? — Offenbar durch die sogenannte **mittlere** Temperatur desselben: aber wie gelangt man zu derselben? Ohne Zweifel sind dazu vielfache Beobachtungen, genaue Instrumente und umsichtige Methoden nothwendig. — Erste Annäherungen an diese Kenntniß der mittleren Temperatur eines Ortes lassen sich allerdings ohne Schwierigkeit erhalten, z. B. durch die Beobachtung der Temperatur von tiefen Quellen, die wahrscheinlich mit der Temperatur des Bodens in derjenigen Tiefe gleich ist, zu welcher die jährlichen Wärmeänderungen nicht mehr gelangen können. Auf diesem Wege fand T. Mayer, daß die mittlere Temperatur jedes Ortes sehr nahe dem Quadrate des Cosinus seiner geographischen Breite proportional ist. Allein dieses Gesetz bedarf, wie man später gefunden hat, beträchtliche Verbesserungen, und es scheint, daß die mittlere Temperatur eines Ortes nicht allein von der Breite, sondern auch noch von der Vertheilung des Landes und Wassers und noch von manchen andern Bedingungen abhängig ist. Humboldt [14]) hat diese Abweichungen von jenem Gesetze durch seine Charte der Isothermen bezeichnet, und Brewster bemühte sich, dieselben durch die Annahme von

---

14) M. s. British Associat. 1833, und Forbes, Report on Meteorology, S. 215.

zwei Polen der größten Kälte auf ein bestimmtes Gesetz zurückzuführen.

Der analytische Ausdruck, den Fourier [15]) für die Vertheilung der Wärme in einer homogenen Kugel findet, kann mit Mayer's empirischer Formel nicht unmittelbar verglichen werden, da jener Ausdruck auf der bestimmten Voraussetzung beruht, daß der Aequator der Erde stets dieselbe Temperatur beibehält. Demungeachtet stimmen sie beide im Allgemeinen überein. Denn nach jener Theorie hat auch in diesem Falle eine Abnahme der Temperatur von dem Aequator zu den Polen hin statt; die Wärme pflanzt sich von dem Aequator und den ihm nahe liegenden Gegenden zu den Polen hin fort und verbreitet sich dann von diesen Polen durch Radiation in den sie umgebenden Raum. Und eben so wird also auch bei unserer Erde die Sonnenwärme in den tropischen Gegenden in sie eindringen, und dann von da einen steten Abfluß gegen die Pole hin erhalten, und von diesen endlich, indem sie die Erde ganz verläßt, durch Radiation in den Himmelsraum übergehen.

Das Klima eines Ortes wird aber, außer der durch die solide Erdmasse bewirkten Konduktion und Radiation der Wärme, noch durch manche andere theoretische Einflüsse bedingt. Die Atmosphäre zum Beispiele wirkt, wie wir alle wissen, sehr bedeutend auf die terrestrische Temperatur ein, aber wir sind noch nicht dahin gekommen, diese Wirkungen durch Rechnung zu bestimmen [16]), und es ist für sich klar, daß diese Wirkungen nicht blos von der Fähigkeit der Luft, die Wärme durchzulassen, sondern noch von vielen anderen Eigenschaften derselben abhängen, so daß wir, für jetzt wenigstens, gezwungen sind, diesen Gegenstand ganz fahren zu lassen.

III. Temperatur des Innern der Erde.

Die Frage von der Temperatur des Innern der Erde hat immer großes Interesse erregt, da sie mit einem andern wichtigen Zweig der Naturwissenschaften in innigem Zusammenhange

---

15) In den Mém. de l'Instit. Vol. V. S. 173.

16) M. s. Fourier, in den Mém. de l'Instit. Vol. VII. S. 584.

steht. Die verschiedenen Thatsachen, die man für den flüssigen Zustand der centralen Theile der Erde anführen wollte, gehören zwar im Allgemeinen in die Geologie, aber sie dürfen auch hier schon in Betrachtung gezogen werden, da sie ihre eigentliche Beleuchtung von jenen theoretischen Untersuchungen, ohne welche sie nicht gehörig beurtheilt werden können, erhalten müssen.

Die Hauptfrage ist eigentlich die: — Wenn die Erde eine ihr eigenthümliche, ursprüngliche Hitze, unabhängig von dem Einfluß der Sonne, hatte, welche Wirkungen mußte diese Hitze hervorbringen, und wie weit berechtigen uns unsere Beobachtungen über die Temperatur der Oberfläche der Erde zu einer solchen Voraussetzung? So wurde z. B. behauptet, daß in den Minen und in gewissen Höhlen die Temperatur des Bodens mit der Tiefe desselben wachse, und zwar im Verhältniß von nahe hundert Pariser Fuß auf einen Grad des Reaum. Thermometers. Was soll man daraus schließen?

Die Antwort auf diese Frage hat Fourier und Laplace gegeben. Jener hat bereits das Problem der Abkühlung einer großen Kugel in den Jahren 1807, 1809 und wiederholt 1811 betrachtet. Allein diese Abhandlungen Fourier's lagen manche Jahre ungedruckt in den Archiven des französischen Instituts. Als aber im Jahr 1820 häufige Beobachtungen wieder die Aufmerksamkeit auf diesen Gegenstand zurückgeführt hatten, gab Fourier[17]) eine summarische Uebersicht der von ihm erhaltenen, auf diesen Gegenstand sich beziehenden Resultate. Sein Schluß war, daß eine solche Zunahme der Temperatur nur der Rest einer ursprünglichen inneren Hitze der Erde sein kann; daß die der Erde von der Sonne mitgetheilte Wärme, in ihrem letzten und bleibenden Zustande, in derselben Tiefe unter der Oberfläche der Erde überall dieselbe sein wird, wenn man nämlich von den oben erwähnten Oscillationen der Wärme auf dieser Oberfläche abstrahirt, und daß endlich diese von der Sonne kommende Erwärmung der Erde, ehe sie in dem Inneren derselben ihre Grenze erreicht, von der Oberfläche zum Mittelpunkte der Erde abnehmen, nicht aber wachsen muß. Auch ging aus diesen Rechnungen Fourier's hervor, daß jener Rest der ursprünglichen

17) M. s. Bulletin des Sciences, 1820, S. 58.

Hitze im Inneren der Erde sehr wohl mit der Abwesenheit aller merkbaren Spuren derselben auf der Oberfläche der Erde bestehen kann, und daß dieselbe Ursache, welche die Temperatur der Erde in ihrem Inneren um einen Grad für hundert Fuß wachsen macht, die Oberfläche derselben noch nicht um den vierten Theil eines Grades wärmer macht, als sie ohne diese Ursache sein würde. Auch wurde Fourier zu einigen, obschon nur sehr unbestimmten Folgerungen über die offenbar sehr lange Zeit geführt, welche die Erde gebraucht haben mag, um von ihrer ursprünglichen Inkandescenz bis zu ihrem gegenwärtigen Zustande auszukühlen, so wie auch über die noch in der Zukunft zu erwartende Abnahme ihrer Temperatur, die, wie er zeigt, ganz unmerklich sein wird. Alle Erscheinungen der Weltgeschichte seit dem Ursprunge des Menschengeschlechtes scheinen uns zu zeigen, daß während dieser Periode keine bemerkbare Aenderung der Temperatur auf der Oberfläche der Erde aus dieser allmähligen Abkühlung ihres Innern entstanden ist. Laplace [18]) hat auch den Einfluß berechnet, den irgend eine Verminderung des Halbmessers der Erdkugel durch diese Auskühlung derselben auf die Länge des Tages haben würde. Er zeigte auf mathematischem Wege, daß diese Länge des Tages seit der Zeit Hipparch's (d. h. seit dem Jahre 150 vor Ch. G.) nicht um den zweihundertsten Theil einer Sekunde kleiner geworden ist, eine Folgerung, die mit jener von Fourier sehr wohl übereinstimmt. In Beziehung auf diese äußerst geringe Aenderung der Temperatur der Erde läßt sich nicht bezweifeln, daß alle diese merkwürdigen Resultate auf eine sehr befriedigende Weise aus jener beobachteten Zunahme der Erdwärme in größeren Tiefen abgeleitet worden sind; daß sonach die Prinzipien dieser wissenschaftlichen Spekulation auf längst vergangene Zustände der Erde sich erstrecken, und daß sie uns über Ereignisse in sehr entfernten Zeiten Kunde geben, die, ohne diese Mittel, ganz außer unserem Bereiche liegen würden.

IV. Temperatur des Weltraums.

Ganz auf dieselbe Weise wurde auch diese Spekulation zu Hülfe gerufen, um uns über die Eigenthümlichkeiten des Welt-

18) M. s. Connaiss. des tems für d. J. 1823.

raumes zu belehren, die allen unseren Beobachtungen gänzlich unzugänglich geblieben wären. Fourier's Theorie der Wärme führt uns zu Schlüssen über die Temperatur jener weiten Räume, welche die Erde umgeben, und in welchen die Planeten unseres Sonnensystems sich bewegen. In einem i. J. 1827 bekannt gemachten Memoir [19]) behauptet Fourier, daß diese planetarischen Räume, seinen Prinzipien zufolge, nicht absolut kalt wären, sondern daß sie eine „eigenthümliche Wärme“ besitzen, die unabhängig von dem Einfluß der Sonne ist. Wenn sie diese Wärme nicht besäßen, so würde, sagt er, die Kälte unserer Polargegenden viel intensiver sein, als sie in der That ist, und auch die von dem Einfluß der Sonne entspringende Abwechslung der Wärme und Kälte auf der Oberfläche der Erde würde viel stärker sein und viel schneller eintreten, als wir dies jetzt bemerken. Den Grund dieser Wärme des Weltraumes findet er in der Radiation des Lichtes der zahllosen Sterne, die durch das ganze Weltall zerstreut sind.

„Daß dies alles sich in der That so verhalte,“ sagt Fourier [20]), „schließen wir vorzüglich aus unserer mathematischen „Discussion dieses Gegenstandes.“ Mir ist nicht bekannt, ob seine Berechnungen darüber irgendwo bekannt gemacht worden sind. Aber es verdient doch bemerkt zu werden, daß Svanberg [21]) zu derselben Ansicht von dieser Temperatur des Planetenraums (nämlich 45 Grade R. unter Null), wie Fourier, und jener auf einem ganz anderen Wege geführt worden ist, indem er nämlich das Verhältniß unserer Atmosphäre zur Wärme überhaupt untersuchte.

Indem so die Rede auf diese Gegenstände gefallen ist, bin ich vielleicht verleitet worden, dem Leser sehr unvollständige und selbst zweifelhafte Anwendungen der mathematischen Theorie der Konduktion und der Radiation mitzutheilen. Immerhin können sie uns zeigen, daß die Thermotik eine Wissenschaft ist, die, gleich der Mechanik, aus Experimenten entstanden ist, die wir nur an verhältnißmäßig kleinen, unseren Kräften noch zu-

19) Mém. de l'Instit. Vol. VII. S. 580.

20) Ibid. S. 581.

21) M. s. Berzelius, Jahresbericht, XI. S. 50.

gänglichen Körpern angestellt haben, und die demungeachtet die Auflösung der größten geologischen und kosmischen Probleme als ihren Hauptzweck betrachten. — Gehen wir jetzt wieder zu unseren eigentlichen thermotischen Untersuchungen zurück.

Fünfter Abschnitt.

Correktion des Newton'schen Gesetzes der Radiation.

Nach Newton's oben erwähntem Gesetze ist die von einem Körper mitgetheilte Wärme der Ueberschüsse seiner Temperatur proportional. Wir haben bereits früher (im Eingange des Absch. I, Kap. I) gesagt, daß dieses Gesetz von Newton's Nachfolgern zuerst annähernd richtig gefunden und später verbessert worden ist. Diese Verbesserung war das Resultat der Untersuchungen, die Dulong und Petit[22]) im Jahr 1817 über diesen

22) Petit (Alexis Therese), geb. 1791 zu Vesoul, machte seine ersten Studien in der Centralschule zu Besançon, wo er sich vorzüglich mit den alten Sprachen und der Mathematik beschäftigte. Nachdem er in Paris die freundliche Unterstützung und Belehrung Hachette's genossen hatte, wurde er, in seinem sechszehnten Jahre, in die polytechnische Schule aufgenommen. In wenig Jahren erhob er sich in dieser Schule zum Repetitor, und wurde zugleich zum Professor an dem Lyceum (College Bourbon) ernannt. Im Jahre 1812 wurde er auch Professor der Physik an der polytechnischen Schule. Der Gram über den Verlust seiner jungen Frau zog ihm eine Brustkrankheit zu, an der er am 21. Juni 1820 im 29. Jahre seines Alters starb. Diese kurze Lebenszeit reichte hin, sich in der Geschichte der Physik einen dauernden Namen zu erhalten. Wir haben von ihm ein mit Arago, seinem Schwager, herausgegebenes Memoir (Annales de physique 1814) über die Aenderungen, welche die Wärme in der das Licht brechenden Kraft der Körper erzeugt und einen Aufsatz Ibid. 1818) über die Anwendung des Prinzips der lebendigen Kraft bei der Berechnung der Maschinen. In demselben Jahre 1818 übergab er der Par. Akademie die Resultate der Arbeiten, die er gemeinschaftlich mit Dulong über die Theorie der Wärme angestellt hatte. Dieses von der Akademie gekrönte Memoir wurde in dem Journal de l'école polytechnique und in den Annales de physique bekannt gemacht. Ein ähnliches mit Dulong verfaßtes Memoir, über die spezifische Wärme der Körper, wurde dem Institut de France i. J. 1819 übergeben. Sein Eloge von Biot findet man in dem Vol. XVI der Annales de physique und in dem Vol. I des Annuaire nécrologique von Mahul. L.

Gegenstand angestellt haben. Die Art, auf welche sie zu dem wahren Gesetze dieser Erscheinung gelangt sind, ist ein sehr merkwürdiges Beispiel von einem mit unermüdlichem Eifer durchgeführten Experimente und zugleich von einer der scharfsinnigsten Induktionen. Ihre Beobachtungen wurden unter sehr hohen Graden der Temperatur (bis 240 Grade des hunderttheiligen Thermometers) angestellt, was auch nothwendig war, da die Abweichung des Newton'schen Gesetzes erst bei hoher Temperatur merklich wird. Die Einwirkung des umgebenden Mediums auf die ihrer Untersuchung unterworfenen Körper entfernten sie dadurch, daß sie ihre Experimente im leeren Raume anstellten. Ueberdies wußten sie die Bedingungen und Vergleichungen dieser Experimente mit sehr umsichtiger Sorgfalt auszuwählen, indem sie, so oft dies möglich war, nur eine der zu beachtenden Größen variiren ließen, während alle anderen konstant blieben. Durch dieses Verfahren gelangten sie endlich zu dem wahren Gesetze dieses Phänomens, „daß nämlich die Geschwindigkeit der Ab„kühlung für jeden konstanten Ueberschuß der Temperatur in „einer geometrischen Progression wächst, wenn die Temperatur „des umgebenden Mittels in einer arithmetischen Progression zunimmt," während nach Newton's früherer Behauptung diese Geschwindigkeit unter den erwähnten Umständen sich ganz und gar nicht ändern sollte. Läßt man aber diese Aenderung außer Betracht, so fand man, „daß die Geschwindigkeiten der Abküh„lung, (so weit dieselbe blos von dem Ueberschusse der Tempe„ratur des heißen Körpers kommt) wie die Glieder einer geo„metrischen Progression, durch eine konstante Zahl vermindert, „wachsen, während die Temperaturen des heißen Körpers wie „die Glieder einer arithmetischen Progression zunehmen." — Durch diese zwei Gesetze, in Verbindung mit dem jeder einzelnen Substanz entsprechenden Koeffizienten der Formel, werden die Bedingungen der Abkühlung aller Körper im leeren Raume vollständig bestimmt.

Von dieser Bestimmung ausgehend, schritten Dulong und Petit zu der Einwirkung des den heißen Körper umgebenden Mediums auf die Abkühlung desselben, indem sie dies mit Recht als eine noch übrig bleibende Erscheinung (residual phenomenon) betrachteten, das, abgesehen von der Abkühlung im leeren Raume, gleichsam für sich selbst besteht. Ohne ihnen hier in allen ihren Untersuchungen zu folgen, wollen wir nur kürzlich bemerken, daß sie durch ihre Experimente auf die folgenden Gesetze geführt worden sind. — „Die Geschwindigkeit „der Abkühlung eines Körpers, die von dem luftförmigen Mittel „kommt, von dem er umgeben ist, bleibt so lange unveränderlich, „als der Ueberschuß der Temperatur des Körpers derselbe bleibt, „obschon die absolute Temperatur desselben sich ändert.“ Eben so fanden sie, „daß die Auskühlungskraft aller Gase sich mit „der Elasticität derselben nach einem bestimmten Verhältniß ändert,“ und was dergleichen ähnliche Vorschriften mehr sind.

In Beziehung auf die von ihnen gebrauchte Induktion kann bemerkt werden, daß sie ihre Schlüsse auf Prevost's oben (Absch. 2) erwähntes Gesetz des „Wärmewechsels“ gegründet haben, und daß dem zufolge ihr zweites so eben angeführtes Gesetz, über die Abkühlungsgeschwindigkeit, eine rein mathematische Folgerung aus dem ersten gewesen ist. Auch muß hinzugesetzt werden, daß die von ihnen beobachteten Temperaturen mit Hülfe des Luftthermometers oder des sogenannten Differentialthermometers gemessen wurden, und daß, wenn sie ein anderes Instrument gebraucht hätten, die merkwürdige Einfachheit und Symmetrie ihrer Resultate nicht mehr stattgehabt hätte. Dies spricht sehr für die Annahme, daß diese Messung der Temperatur überhaupt die einfachste und natürlichste unter allen ist. Diese Ansicht wird auch durch andere Betrachtungen bestätigt, die aber, da sie sich auf die durch die Wärme erzeugte Ausdehnung der Körper beziehen, hier noch nicht näher angeführt werden können. Wir beschränken uns hier blos auf die Geschichte der eigentlich mathematischen Wärmetheorie, soweit dieselbe auf den Erscheinungen der Konduktion und Radiation beruht, da diese allein bisher auf allgemeine Prinzipien zurückgeführt worden ist.

Ehe wir aber diesen Gegenstand verlassen, wollen wir noch bemerken, daß diese Korrektion des Newton'schen Gesetzes einen wesentlichen Einfluß auf die mathematischen Berechnungen hat, die von Fourier, Laplace und Poisson auf dieses Gesetz gebaut worden sind. Doch werden, wie es scheint, die charakteristischen Züge dieser durch die Theorie erhaltenen Resultate im Allgemeinen ungeändert bleiben. Libri, ein italienischer Mathematiker, hat eines dieser Probleme, das des metallenen Rings, nach Dulong und Petit's Gesetze wieder vorgenommen, und nahe dieselben Resultate gefunden [23])

Sechster Abschnitt.

Andere Gesetze der Radiation.

Die übrigen Erscheinungen der Radiation, ihre Abhängigkeit von der Oberfläche der radiirenden Körper, ihre Einwirkung auf Schirme verschiedener Art, die zwischen dem radiirenden Körper und dem Thermometer gestellt werden, und mehrere andere ähnliche Untersuchungen wurden von verschiedenen Physikern angestellt. Ich kann hier weder diese Beobachtungen, noch die verschiedenen Resultate alle aufzählen, die man daraus für die leuchtende und nicht leuchtende Wärme, für durchsichtige und opake Körper abgeleitet hat. Doch wollen wir einiger derselben in Kürze gedenken.

I. Zuerst scheint die Kraft der Körper, Wärme auszustrahlen und in sich aufzunehmen, wesentlich von der Farbe ihrer Oberfläche abzuhängen. Wenn man die Oberfläche einer mit heißem Wasser gefüllten Büchse schwarz färbt, so strahlt sie mehr Wärme aus und wird auch durch andere wärmere Körper mehr erwärmt.

II. Wie zweitens die radiirende Kraft eines Körpers wächst, vermindert sich auch in demselben Maaße die reflektirende Kraft desselben und umgekehrt. Ein glänzend polirtes metallenes Gefäß reflektirt die Wärme stärker, sendet aber auch dafür desto weniger Wärme aus, aus welchem Grunde dann auch eine heiße, in dem Gefäße enthaltene Flüssigkeit länger heiß bleibt, als in einem unpolirten Gefäße.

III. Endlich wird die Wärme von jedem Punkte eines heißen Körpers nach allen Richtungen ausgesendet, aber nicht nach allen mit derselben Intensität. Diese Intensität der Wärmestrahlen verhält sich nämlich, wie der Sinus des Winkels, der den Strahl mit der Oberfläche bildet.

---

23) M. s. Mém. de l'Instit. de France für d. J. 1825 und Mém de Mathém. et Phys. 1829.

Das letzte dieser drei Gesetze wurde ganz, die beiden ersten wenigstens größtentheils von Leslie[24]) gefunden, dessen Werk[25]) eine große Anzahl von interessanten und treffenden Beobachtungen und Resultaten enthält. Diese Gesetze deuten auf eine sehr merkwürdige Weise auf eine über ihnen zu erbauende Theorie, und wir wollen nun sehen, was bisher in dieser Beziehung gethan worden ist, indem wir uns aber dabei, wie gesagt, blos auf die Erscheinungen der Konduktion und der Radiation beschränken.

Siebenter Abschnitt.

Fourier's Theorie der Radiation.

Nachdem die oben erwähnten Gesetze einmal aufgestellt waren, mußte man auch die physischen Ursachen derselben auf-

---

24) Leslie (Sir John), geb. 1766 in Schottland, war anfangs bestimmt, den Betrieb eines kleinen Pachtgutes und einer Mühle fortzuführen, wovon seine Aeltern lebten. Aber schon in seinem eilften Jahre empfahl er sich durch sein Talent für Geometrie den Professoren Robinson, Playfair und Stewart, durch die er auf die Universität von St. Andrews gebracht wurde. Er vollendete seine Studien in Edinburg und beschäftigte sich dann in London mit schriftstellerischen Arbeiten. Hier erschien zuerst seine Uebersetzung von „Buffon's Naturgeschichte der Vögel, IX Bde. Lond. 1793. Später bereiste er Nordamerika und in Begleitung von T. Wedgewood's einen großen Theil von Europa. Im Jahr 1804 wurde er Professor der Mathematik, und 1819 an Playfair's Stelle Professor der Physik. Er starb am 10. Nov. 1832 auf seinem Landsitze Coates in der Grafschaft Fife. Sein Ansehen unter den Physikern Englands gründet sich vorzüglich auf das von ihm erfundene Differentialthermometer, auf seine Verbesserungen des Hygro- und Photometers, und auf sein Verfahren, das specifische Gewicht gepulverter Körper zu bestimmen, und das Wasser mit Hülfe der Luftpumpe zum Frieren zu bringen. Wir besitzen von ihm: Elements of geometry, Edinb. 1811; Account of experiments on air, head and moisture, Edinb. 3817 (deutsch von Brandes, Leipz. 1823); und sein Discourse on the history of mathem. and phys. science in der Encyclopaedia britannica. L.

25) Experimental inquiry into te Nature and propagation of heat. Lond. 1804.

suchen, nicht nur, um diese Gesetze für sich selbst darzustellen, sondern auch um dadurch den allgemeinen Grund einer wissenschaftlichen Thermotik zu legen. Hieher gehörte z. B. die Erscheinung, nach welcher die in einem bestimmten Raum eingeschlossenen Körper mit der Zeit alle die Temperatur dieses Raumes einnehmen. Fourier's Erklärung dieser Klasse von Erfahrungen muß als eine sehr glückliche und erfolgreiche betrachtet werden, denn sie zeigt uns, daß dieselbe Hypothese, zu der man durch die einfachsten und allgemeinsten Beobachtungen geführt wird, auch zugleich die verwickeltsten und verborgensten Erscheinungen genügend darstellt. Die Voraussetzung, durch welche Fourier die letztgenannte Erscheinung, von derselben Temperatur der eingeschlossenen Körper, erklärt, gibt uns zugleich Rechenschaft von der oben erwähnten Eigenschaft, nach welcher die Intensität des radiirenden Strahls sich wie der Sinus seines Winkels mit der radiirenden Fläche verhält.

Diese Voraussetzung besteht nämlich darin, daß die Radiation nicht allein von der Oberfläche des erwärmenden Körpers, sondern von allen inneren Theilchen desselben, bis zu einer gewissen übrigens geringen Tiefe unter dieser Oberfläche, kommt. Man sieht leicht [26]), daß, unter dieser Voraussetzung, ein von einem solchen innern Theilchen schief ausgeschickter Strahl weniger Intensität haben wird, als ein auf die Oberfläche des Körpers senkrecht ausgehender, weil der erste durch die über ihm liegenden Schichte einen längeren Weg im Inneren des Körpers machen muß, als der zweite, und Fourier zeigt, daß, welches auch das Gesetz der diese Wärme aufhaltenden Kraft sein mag, das Resultat doch immer die radiirende Intensität dem Sinus jenes Winkels proportional machen wird.

Dasselbe Gesetz ist aber, wie gesagt, auch nothwendig, um allen benachbarten Körpern allmählig dieselbe Temperatur zu ertheilen, um z. B. einem kleinen, in dem Inneren einer Kugelschaale eingeschlossenen Körper die Wärme dieser Schaale zu geben. Hätte jenes Gesetz des Sinus nicht statt, so würde die Endtemperatur jenes Körpers von seinem Orte in der Kugelschaale abhängen [27]) und in einer solchen Schaale von Eis würden wir

26) M. s. Mém. de l'Instit. 1821, S. 204.
27) M. s. Annales de Chimie, Vol. IV. 1817. S. 129.

gewisse Punkte antreffen, wo die Temperatur des kochenden Wassers, und andere, wo die des schmelzenden Eisens herrschen müßte. Dies mag uns auf den ersten Blick sonderbar und unwahrscheinlich vorkommen, aber man kann auf eine sehr einfache Art zeigen, daß es nur eine nothwendige Folge des einmal angenommenen Prinzips ist [28]). Dieser Schluß läßt sich auf eine sehr befriedigende Weise durch eine analytische Formel ausdrücken, und er zeigt, daß das von Leslie aufgestellte und von Fourier in seinen Rechnungen angewendete Sinusgesetz streng und mathematisch genau ist, wodurch daher des Letztern Theorie von der „Extra-Radiation der kleinsten Theile der Körper“ einen hohen Grad von innerer Konsistenz erhält.

---

28) Der folgende Beweis wird den Zusammenhang des erwähnten Sinusgesetzes mit dem Prinzip der endlichen Gleichheit der Temperatur der benachbarten Körper darthun. — Das Gleichgewicht und die Identität der Temperatur zwischen der Kugelschaale und dem in ihr eingeschlossenen Körper kann im Ganzen nur dann statthaben, wenn es zwischen jedem Theilchenpaare der zwei Oberflächen, des Körpers und der Schaale, statthat, d. h. jeder Theil der einen Fläche muß, bei seinem Austausche mit jedem Theil der anderen Fläche, dieselbe Quantität von Wärme geben und empfangen. Nun ist aber die Quantität der ausgewechselten Wärme, so weit sie von der diese Wärme empfangenden Fläche abhängt, nach geometrischen Grundsätzen dem Sinus der Schiefe dieser Fläche proportional; und da in diesem Austausche jeder Punkt als der empfangende betrachtet werden soll, so muß auch die Quantität des Austausches dem Sinus der beiden Neigungen, der gebenden und der empfangenden Fläche, proportional sein.

Auch wird dieser Schluß nicht durch die Betrachtung aufgehoben, daß nicht alle Wärmestrahlen, die auf eine Fläche fallen, absorbirt sondern daß auch mehrere derselben reflektirt werden. Denn vermöge dem andern erwähnten Gesetze wissen wir, daß bei jeder Fläche in demselben Maaße, in welchem sie die Wärmeaufnahme verliert, auch ihre Wärmeausstrahlung vermindert wird, so daß also jeder Theil der Oberfläche durch die Absorbtion seiner eigenen Radiation so viel gewinnt, als er durch die Nichtabsorbtion der auf ihn fallenden Wärme verliert, und daß daher das Resultat jenes Schlusses immer dasselbe bleibt.

Achter Abschnitt.

Entdeckung der Polarisation der Wärme.

Die Entdeckung der in den letzten Abschnitten dieses Kapitels erwähnten Gesetze, so wie die Erklärung derselben durch die Theorie der Konduktion und Radiation, führte die Physiker auf die Idee eines materiellen Wärmestoffes (Caloricum), der aus dem Körper emaniren und von ihnen auf andere übergehen sollte. Diese Ansicht wurde selbst noch in den letzten Jahren als die einfachste und wahrscheinlichste festgehalten. In den neuesten Zeiten aber wurden einige Entdeckungen gemacht, die jenen alten Glauben sehr zu erschüttern und die Emissionstheorie der Wärme eben so unhaltbar zu machen scheinen, wie dies auch mit dem Lichte der Fall gewesen ist.

Da man nämlich fand, daß die Wärmestrahlen ganz eben so, wie die Lichtstrahlen, polarisirt werden, so konnte man die Ansicht von einer materiellen Emission des Wärmestoffes nicht weiter beibehalten, ohne zugleich die kleinsten Theilchen desselben mit eigenen Polen zu versehen. Allein auch diese Hypothese konnte, bei den neueren Physikern, wohl nur schwer eine günstige Aufnahme erwarten, da schon ihr böses Schicksal in der Optik davon abmahnte, und da auch die unbezweifelbare innige Verbindung der Wärme mit dem Lichte die Annahme sehr unwahrscheinlich machte, daß für diese beiden großen Klassen von Erscheinungen die Polarisation durch zwei ganz verschiedene Maschinerien, bei dem Lichte durch Undulation und bei der Wärme durch Emission, bewirkt werden soll.

Ohne aber hier weiter bei dem Einflusse zu verweilen, welche die Entdeckung der Polarisation der Wärme auf die Ausbildung einer wissenschaftlichen Thermotik äußern mußte, wollen wir vielmehr diese wichtige Entdeckung selbst näher angeben.

Die Analogie zwischen Licht und Wärme ist so groß, daß man, sobald einmal die Polarisation des Lichtes gefunden war, gleichsam von selbst auf die Vermuthung geführt werden mußte, ob die Wärme nicht auch ähnliche Erscheinungen darbiete. Doch führten diese Versuche anfänglich zu keinem entscheidenden Resultate, zum Theil, weil es schwer war, beträchtliche Einwirkungen der Wärme für sich selbst und vom Lichte getrennt zu erhalten, und weil es den Physikern auch an einem hinlänglich empfindlichen thermometrischen Apparate mangelte. Zuerst nahm Berard den Gegenstand i. J. 1813 auf. Er bediente sich des von Malus früher gebrauchten Apparats, und glaubte damit gefunden zu haben, daß die Oberfläche des Glases die Wärme ganz auf dieselbe Art und unter denselben Umständen, wie das Licht, reflektirt [29]). Als aber im Jahr 1830 Professor Powell in Oxford dieselben Versuche mit einem ähnlichen Apparat wiederholte, fand er [30]), daß zwar die Wärme, wenn sie vom Lichte begleitet wird, polarisirbar ist, daß aber die „einfach radiirende Wärme,“ wie er sie nennt, auch nicht den kleinsten Unterschied in den zwei rechtwinkligen Azimuten des zweiten Glases zeigt und daher auch keine Spur von eigentlicher Polarisation besitzt.

Auf diese Weise blieb, so lange die alten, bisher gewöhnlichen Thermometer gebraucht wurden, die Sache unentschieden. Allein bald darauf erfanden Melloni und Nobili einen anderen Apparat, der auf gewisse galvanische Erscheinungen gegründet ist, und den sie Thermomultiplicator genannt haben. Wir werden später wieder von diesem Instrumente sprechen, das für kleine Aenderungen der Temperatur viel empfindlicher ist, als alle bisher bekannten Arten von Thermometern. Sobald dieses Instrument bekannt geworden war, wurde es sofort (im Jahr 1834) von Professor Forbes in Edinburgh mit vielem Eifer benutzt, um damit, nebst mehreren anderen interessanten Gegenständen der Thermotik, auch die Polarisation der Wärme näher zu untersuchen. Statt sie durch Reflexion zu polarisiren, benutzte er die Turmalinplättchen, die früher schon so oft gebraucht wurden, um die Polarisation des Lichtes durch Refraktion zu untersuchen. Er fand [31]), daß der Turmalin einen Theil der auf ihn fallenden Wärme ohne allen Zweifel polarisirt, das heißt, daß der Theil der Wärme, der durch zwei solche, in parallele Lagen gestellte Kristallplättchen geht, aufgefangen wird, wenn sich die Axen dieser Kristalle kreuzen. Später bediente er

---

29) M. s. Annales de Chimie, März, 1813.

30) Edinburgh Journal of Science, 1830, Vol. II. S. 303.

31) Philos. Magaz. 1835, Vol. VI. S. 209 und Vol. VII. S. 349.

sich einer Schichte von mehreren Glimmerplättchen, die er unter den Polarisationswinkel aufstellte. Hier fand er mit seinem Apparate die Resultate noch viel deutlicher hervortreten, indem die Wirkung der Polarisation bei lichtloser Wärme, selbst bei noch unter dem Siedepunkt erwärmten Wasser offenbar war. Auch überzeugte er sich, daß der Glimmer (Mica), wenn polarisirte Wärme in einer bestimmten Richtung durch ihn geht, dieselbe Wirkung hervorbringt, die wir bei dem Lichte durch den Ausdruck der Depolarisation bezeichnet haben, und die sich hier durch eine theilweise Zerstörung derjenigen Differenzen ankündigte, welche die frühere Polarisation erzeugt hatte. Melloni bestätigte bald darauf diese wichtige Entdeckung. Man hatte zwar mehrere Versuche gemacht, für diese Erscheinungen andere Ursachen anzugeben, aber Forbes zeigte ohne Mühe, daß sie alle unzulässig sind. Auf diese Weise schien also die Eigenthümlichkeit der „Seiten," die man schon früher bei dem Lichte so sonderbar fand, auch für die Wärmestrahlen bewiesen zu sein.

Setzen wir noch hinzu, daß Melloni und Forbes auch die Refraktion der Wärmestrahlen nachgewiesen haben, so daß also mehrere von den Haupterscheinungen, auf denen die Theorie des Lichtes erbaut ist, auch jener der Wärme angehören.

Ehe wir aber diese Theorie der Wärme selbst näher betrachten, müssen wir, nebst der bisher besprochenen Konduktion und Radiation der Wärme, noch einigen anderen ihr angehörenden Erscheinungen unsere Aufmerksamkeit widmen.

Zweites Kapitel.

Veränderungen der Körper durch die Wärme.

Erster Abschnitt.

Gesetz der Ausdehnung der Luftarten. Dalton und Gay-Lussac.

Die Ausdehnung der Körper durch die Wärme wurde schon sehr früh und um so eifriger von den Physikern beobachtet, da man eben diese Ausdehnung als ein allgemeines Wärmemaaß gebrauchte. — Die Betrachtung anderer, durch die Wärme erzeugten Eigenschaften der Körper scheinen mehr der Philosophie der Wissenschaft anzugehören. Wir werden später von ihnen sprechen und dann zugleich der Schwierigkeiten erwähnen, die aus der Verschiedenheit der Ausdehnung mehrerer Körper durch höhere Temperatur hervorgehen, welche Verschiedenheit man den „thermometrischen Gang“ dieser Körper genannt hat. Man hat verschiedene Versuche gemacht, das Gesetz dieses Ganges zu finden. So meinte z. B. Dalton, daß Wasser und Quecksilber von dem Punkte ihrer größten Kontraktion sich wie das Quadrat der Temperatur ausdehne, wobei diese Temperatur so gemessen wurde, daß sie einem solchen Resultate entsprechen sollte. Allein keine von allen diesen Hypothesen führte zu einem wahren, allgemeinen Gesetze, ausgenommen diejenige, welche sich auf die Ausdehnung der Gase bezieht, die sich also auch zugleich über alle luftförmigen Flüssigkeiten erstreckt, daß sie sich nämlich für gleiche Inkremente der Temperatur um denselben Bruchtheil ihres eigenen Volums ausdehnen, und zwar um drei Achttheile dieses Volums für die beiden Temperaturen zwischen dem Gefrier- und Siedepunkt des Wassers. Dieses Gesetz entdeckte Dalton sowohl, als auch Gay-Lussac, jeder unabhängig von dem anderen [1]), daher es auch das „Dalton und Gay-Lussac'sche Gesetz“ genannt zu werden pflegt. Der Letztere sagt [2]): „Das Experiment, welches ich so eben beschrieben, „und welches ich mit großer Sorgfalt angestellt habe, beweist „offenbar, daß Oxygen, Hydrogen, Stickluft, Salpeter-, Ammoniak-, Salz-, Schwefel- und kohlensaure Gase sich bei gleichem „Zuwachs der Temperatur auch gleichförmig ausdehnen, so daß „also, wie er mit einer eigenen induktiven Verallgemeinerung „hinzusetzt, so daß also das Resultat der Ausdehnung nicht „von den physischen Eigenschaften dieser Körper abhängt, und, „wie ich daraus schließe, daß alle Gase durch die Wärme in gleichem Grade ausgedehnt werden.“ Dasselbe Gesetz wendet er dann auch auf die verschiedenen Dünste, auf den Aether u. s.

1) M. s. Manch. Mém. Vol. V. 1802 und Annal. de Chimie, 43. S. 137.

2) Ibid. S. 272.

an, und wir müssen diesen Ausspruch als einen der wichtigsten Grundsteine jeder wahren Wärmelehre betrachten.

Wir haben bereits gesehen, daß die Ansicht des Luftthermometers, als eines wahren Wärmemaaßes, im hohen Grade von der Symmetrie bestätigt wird, die man, bei der Anwendung desselben, in den Erscheinungen der Radiation gefunden hat. Hier aber sieht man zugleich, wie es scheint, daß dieses Resultat für alle Luftarten giltig sein soll. Dadurch erhält demnach dieses Maaß einen neuen, eben so einfachen als allgemeinen Charakter, der uns dasselbe mit hoher Wahrscheinlichkeit als das wahre Maaß der Wärme betrachten läßt. Noch weiter unterstützt wird diese Ansicht durch die Versuche, die man bereits gemacht hat, um diese Erscheinungen zu einer eigentlichen Theorie zusammenzustellen. — Ehe wir aber zu diesen Theorien übergehen, müssen wir noch vorerst von einigen anderen Doktrinen sprechen, die man hier eingeführt hat.

Zweiter Abschnitt.

Spezifische Temperatur und Aenderung des Zusammenhangs der Körper.

Während man ein bestimmtes Maaß für die Wärme der Körper aufsuchte, fand man, daß die Körper überhaupt eine sehr verschiedene Empfänglichkeit für die Wärme haben. Derselbe Wärmegrad nämlich, wie man ihn auch messen wollte, erhebt doch die Temperatur verschiedener Körper auf oft sehr verschiedene Wärmestufen. Dadurch wurde man auf den Begriff der „Wärmecapacität“ oder wie man es auch nannte, der „spezifischen Wärme“ geführt, die jedem Körper eigenthümlich sein sollte, und die für jeden derselben in der Wärmemenge besteht, die nöthig ist, um die Temperatur dieses Körpers um einen bestimmten Wärmegrad, z. B. um einen Grad des hunderttheiligen Thermometers, zu erhöhen [3]).

Auch wurde bald darauf gefunden, daß die spezifische Wärme desselben Körpers für verschiedene Temperaturen desselben veränderlich ist. Aus den Beobachtungen von Dulong und Petit

---

3) M. s. Crawfurd on Heat.

folgt, daß im Allgemeinen die spezifische Wärme der flüssigen und festen Körper desto größer wird, je höher die Temperatur derselben steigt.

Eine der wichtigsten Erfahrungen der Thermotik aber war die, daß bei der Kontraktion der Körper die Temperatur derselben erhöht wird. Dies wird besonders bei Gasen, z. B. bei unserer atmosphärischen Luft, beobachtet. Der Betrag dieser Temperaturserhöhung bei der Condensation, oder auch der Temperaturssenkung bei der Rarefaktion der Körper war ein wichtiges Datum, um dadurch die wahre Geschwindigkeit des Schalls in der Luft zu berechnen, wie wir bereits oben gesagt haben, und derselbe Umstand hat auch auf verschiedene Gegenstände der Meteorologie einen wesentlichen Einfluß. Der Koefficient, der in dem ersten Falle zu berechnen ist, hängt von einem doppelten Verhältniß der spezifischen Wärme der Luft ab, wenn nämlich erstens der Druck der Luft konstant ist, und wenn zweitens der diese Luft enthaltende Raum konstant bleibt.

Eine der wichtigsten Erscheinungen, in Beziehung auf die Veränderungen der Körper durch die Wärme, ist der Wechsel ihrer Gestalt zwischen dem festen, dem flüssigen und dem luftförmigen Zustande derselben. Da das Wort „Gestalt“ in so vielerlei Sinn gebraucht wird, so wollen wir hier, alle Zweideutigkeit zu vermeiden, das Wort „Konsistenz“ dafür brauchen, das man, wenn gleich vielleicht etwas uneigentlich, auch auf gasförmige Körper anwenden darf. Man wird diesen Wechsel der Konsistenz einen solutiven (auflösenden) nennen können, wenn feste Körper in tropfbare, oder diese in luftförmige übergehen, welche Aenderungen der Körper zu den Haupterscheinungen in allen thermotischen Theorien gezählt werden müssen. Aber die meisten der diesen Wechsel bestimmenden Gesetze sind uns leider noch unbekannt. Doch ist eines derselben, und zwar eines der wichtigsten, bereits aufgefunden worden, und von ihm wollen wir in dem nächsten Abschnitte sprechen.

Dritter Abschnitt.

Die Lehre von der latenten Wärme.

Bei dem Uebergange eines festen Körpers in den flüssigen, oder eines flüssigen Körpers in den luftförmigen Zustand wird dem Körper eine Wärme mitgetheilt, die nicht durch das Thermometer angezeigt wird, oder, mit den vorhergehenden Worten zu reden, bei dem solutiven Wechsel der Konsistenz der Körper hat eine Absorbtion der Wärme statt, und diese letzte wird latent. Deluc beobachtete dies zuerst in dem Jahre 1755[4]), und nahe um dieselbe Zeit auch Dr. Black[5]) in Edinburg, der

---

4) M. s. Crawfurd on Heat. S. 71.

5) Black (Joseph), wurde 1728 an den Ufern der Garonne bei Bordeaux von schottischen Aeltern geboren. In seinem zwölften Jahre wurde er von seinem Vater, der in Bordeaux wohnhaft war, nach Belfast und sechs Jahre später auf die Universität von Glasgow geschickt, um dort auf englische Weise erzogen zu werden. In der letzten Stadt hörte er die Vorlesungen über Chemie von Dr. Cullens, durch die er dieser Wissenschaft gewonnen wurde. Uebrigens widmete er sich der Medizin, deren Studien er 1750 zu Edinburg vollendete. Der sich zu jener Zeit erhebende Streit über die Zertheilung des Blasensteins durch Kalkwasser und andere lithotriptische Substanzen theilte die Aerzte und Chemiker seines Landes in zwei Partheien. Alle diese Substanzen, wohin besonders auch der sogenannte Lapis infernalis (Silberätzstein oder Höllenstein) gehörte, schienen ihre ätzende Kraft dem Kalke, und dieser wieder die seine dem Feuer zu verdanken. Die auffallende Eigenschaft des Kalkes, durch Anfeuchtung mit Wasser sehr heiß zu werden, hatte die Aufmerksamkeit aller Chemiker auf sich gezogen. Sie schrieben diese Kraft des Kalkes dem Wärmestoffe zu, welchen der Kalk in großer Menge enthalten und durch Anfeuchtung den Alkalien und anderen Körpern mittheilen soll, wodurch dann diese letzten so ätzend werden. Auch Black war anfangs der Meinung, daß die Alkalien ihre Causticität, wie man jene ätzende Eigenschaft nannte, von dem Kalk, der Kalk aber die seine von dem Feuer oder von dem Wärmestoffe erhalte. Aber er scheint schon sehr früh auf die wahre Ansicht dieses Gegenstandes seiner Untersuchungen geführt worden zu sein. Er fand nämlich in den Alkalien und Kalkerden das Dasein einer eigenen luftförmigen Flüssigkeit, die er fixe Luft (kohlensaures oder kohlenstoffsaures Gas) nannte, durch deren Gegenwart die Aetzkraft der Alkalien und Kalkerden gemildert werden. Er deutete diese Entdeckung schon in seiner Inaugu-

von Deluc's Beobachtungen keine Kenntniß hatte, und diese Entdeckung schon 1757 in seinen Chemical lectures vorgetragen

---

rationsschrift „De acido a cibis orto et de magnesia, Edinb. 1754 an, und entwickelte sie noch mehr in dem nächstfolgenden Jahre in der Schrift: Experiments on magnesia, quicklime and other alkaline substances. Diese Entdeckung ist gleichsam der Eingang zu jenen andern verwandten, welche die Namen Cavendish, Priestley, Lavoisier u. f. unsterblich gemacht und welche der Chemie eine neue Gestalt gegeben haben. Es konnte ihm und seiner neuen Lehre an Gegnern nicht fehlen, unter denen sich besonders ein Dr. Meyer aus Osnabrück mit einem voluminösen Werke, das ganz gegen die neue Theorie geschrieben war, bemerkbar machen wollte. Im Jahr 1756 wurde Black Professor der Chemie und Anatomie in Glasgow, und 1766 erhielt er dieselbe Stelle an der Universität in Edinburg. In der Zwischenzeit von 1759 bis 1763 reiften in ihm seine schon früher gehegten Ansichten über die latente Wärme. Boerhave hatte einer Beobachtung Fahrenheits erwähnt, nach welcher das Wasser beträchtlich kälter werden soll, als der schmelzende Schnee, ohne zu gefrieren, und nach welcher es im Augenblick des Gefrierens plötzlich mehrere Grade der in ihm enthaltenen Wärme fahren lassen soll. Black zog daraus die anfangs noch unbestimmte Vermuthung, daß die Wärme, die das Eis durch seine Verwandlung in Wasser erhält, nicht verloren gehe, sondern in dem Wasser enthalten bleibe. Endlich stellte er den eigentlichen Begriff der „latenten Wärme," wie er sie selbst der erste nannte, in Folge sehr einfacher Experimente, bestimmt und deutlich auf. Er drückt sich darüber in seinen Lectures on chemistry, Vol. I. S. 119, auf folgende Weise aus: „Das schmelzende „Eis nimmt sehr viel Wärme in sich auf, aber alle diese Wärme hat „nur die Wirkung, das Eis in Wasser zu verwandeln, und dieses Wasser „ist um nichts wärmer, als früher das Eis gewesen ist. Es wird also „eine Menge Wärme oder Wärmestoff, der in das schmelzende Eis „übergeht, blos dazu verwendet, das Eis flüssig zu machen, ohne die „Wärme desselben in einem bemerkbaren Grad zu erhöhen: diese Wärme „scheint demnach von dem Wasser absorbirt oder in ihm so versteckt zu „sein, daß das Thermometer uns keine Anzeige davon geben kann." Aus seinen Experimenten, die er l. c. Seite 123 angeführt, folgt, daß ein Stück Eis, das er in einem erwärmten Zimmer allmählig schmelzen ließ, blos durch diesen Akt des Schmelzens so viel Wärme in sich aufnahm, ohne dadurch selbst für das Thermometer wärmer zu werden, daß eine gleiche Masse Wassers, durch dieselbe Temperatur des geheitzten Zimmers, in derselben Zeit, die jenes Eis zum schmelzen brauchte, um volle 62 Grade des Reaum. Thermometers wärmer geworden sein hatte. Auch Wilcke machte dieselben Bemerkungen in den Memoiren der Schwedischen Akademie bekannt [6]).

Daß der Schnee eine beträchtliche Menge von Wärme bedarf, um geschmolzen, und das Wasser, um in Dampf verwandelt zu werden, und daß in beiden Fällen diese Wärme durch das Thermometer nicht angezeigt wird, dies zu bemerken, war wohl nicht eben schwer. Allein die Absonderung dieser Erscheinungen von allen äußeren Nebenbedingungen, das Zusammenstellen der analogen Fälle und die Entdeckung des allgemeinen Gesetzes, durch welches alle diese Fälle in Verbindung gebracht werden, dies war das Werk einer sehr einsichtsvollen Induktion, die mit Recht als eines der merkwürdigsten Ereignisse in der gesammten neueren Geschichte der Physik betrachtet wird. Der größte Theil des Verdienstes um diese Entdeckung aber scheint dem erwähnten Black zu gehören.

Die Folgen dieses Prinzips sind sehr wichtig, da auf demselben die ganze Lehre von der Verdünstung (Evaporation) beruht, und da auch ausserdem die Theorie der latenten Wärme

---

würde. Eben so zeigt er S. 157, daß bei dem Akt des kochenden Wassers die von dem Wasser absorbirte Hitze nicht die dasselbe umgebenden Körper erwärme, sondern blos zur Bildung des Wasserdampfes verwendet werde, daß also, setzt er hinzu, „auch hier wieder eine ver„borgene durch das Thermometer nicht angezeigte Wärme thätig sei, „die wir daher latente Wärme nennen wollen.“ Bemerken wir noch, daß durch diese Entdeckung Black's, der berühmte Watt, wie derselbe selbst gesteht, auf seine großen Verbesserungen der Dampfmaschine geleitet worden ist, und daß endlich Black es vorzüglich ist, der das Studium der Chemie in England so allgemein gemacht hat. Seine oben erwähnten Lectures on chemistry gab Robinson nach B. Handschrift in zwei Bänden (Edinb. 1803 4.) mit einer Biographie desselben heraus. Die Philos. Transact. für 1775 ertheilten einen Aufsatz von ihm, in welchem er zeigt, daß frisch gekochtes Wasser eher friert, als nicht gekochtes. Der zweite Band der Transact. of the R. society of Edinb. enthält seine Analyse der Geyser- und Rikumsquellen in Island. Er starb am 26. November 1799 im Alter von 71 Jahren. Die Universität von Edinburg betrachtete ihn als eine ihrer ersten Zierden, wo die Anzahl seiner Schüler und Anhänger während den letzten drei Decennien seines Lebens mit jedem Jahre sich vermehrte. L.

6) Acta Suecica, 1772, S. 97.

mehrere andere Anwendungen erhalten hat. — Aber die Relationen zwischen Luft und Dampf sind so wichtig, und sie haben auch schon zu so vielen Untersuchungen Anlaß gegeben, daß es angemessen sein wird, bei ihnen etwas länger zu verweilen. Man kann, wie bereits gesagt, den Theil der Wissenschaft, in welchem diese Relationen betrachtet werden, durch die Benennung Atmologie bezeichnen, und ihr wollen wir auch die beiden folgenden und letzten Kapitel dieses Buches widmen.

Atmologie.

Drittes Kapitel.

Relation zwischen Luft und Dampf.

Erster Abschnitt.

Einleitung zu Dalton's Theorie der Evaporation.

Wolken, Rauch und ähnliche Erscheinungen mögen auf den Begriff des Dampfes geführt haben. Dieser Dampf wurde anfangs, z. B. durch Baco [1]), als identisch mit der Luft betrachtet. Man bemerkte leicht, daß Wasser durch Hitze in Dampf verwandelt wird. Man glaubte früher, daß das unter dem Namen Aeolipil [2]) bekannte Instrument, aus dem durch eine kochende Flüssigkeit eine heftige Dampfausströmung hervorgebracht wird, eigentliche Luft erzeuge; aber Wolf hat der erste gezeigt, daß die Flüssigkeit nicht in Luft verwandelt werde, indem er Wein- mit Kampfergeist anwendete und den so gebildeten Dampf wieder kondensirte. Es wird unnöthig sein, die unbestimmten Hypothesen von Descartes, Dechales, Borelli [3]) und andern hier umständlich anzuführen. Der letzte wollte das Auf-

---

1) Baco's Hist. Nat. Cent. I. S. 27.

2) Aeolipila oder Windkugel, die gewöhnlich mit wohlriechendem Wasser gefüllt und auf Kohlen gelegt wird, um damit die Zimmer zu räuchern. L.

3) Man kann sie in Fischer's Geschichte der Physik, Vol. II. S. 175 nachsehen.

steigen des Dampfes durch die Voraussetzung erklären, daß derselbe ein Gemisch von Wasser und Feuer sei, und daß, da das Feuer viel leichter als die Luft ist, auch jene Mischung sehr leicht sein müsse. Boyle bemühte sich, zu zeigen, daß die Dämpfe nicht immer im leeren Raume schwimmen, und er verglich die Mischung von Dampf und Luft mit der von Salz und Wasser. Auch fand er bereits, daß der Druck der atmosphärischen Luft auf die Hitze des kochenden Wassers Einfluß habe, was eine für jene Zeit sehr wichtige Entdeckung war. Boyle bewies dies mit Hülfe der Luftpumpe, und er sowohl als seine Freunde waren nicht wenig überrascht, als sie fanden, daß das Wasser, wenn die darüber stehende Luft weggenommen wurde, schon bei einer sehr geringen Temperatur in ein heftiges Kochen gerieth. Auch Huyghens erwähnt eines ähnlichen Experiments, das Papin [4]) i. J. 1673 angestellt hat.

Das Aufsteigen des Dampfes wurde allmählig, wie sich unsere physischen Kenntnisse änderten, auf verschiedene Weisen erklärt. Mit Bestimmtheit fing man an, diesen Gegenstand zu der Zeit zu betrachten, als die Hydrostatik schon manche ihrer Erscheinungen genügend erklärt hatte, und demgemäß wurden auch mehrere Versuche gemacht, jenes Phänomen auf hydrostatische Prinzipien zurückzuführen. Eine sich gleichsam von selbst

---

4) Papin (Denis), widmete sich zuerst der Medizin und war praktischer Arzt zu Paris. Die Bekanntschaft mit Huyghens wendete ihn der Physik zu, in welcher er bald einer der ausgezeichneten seiner Zeit wurde. In England verband er sich mit Boyle zu gemeinschaftlichen Versuchen über die Natur der Luft und wurde Mitglied der k. Gesellschaft der Wissenschaften zu London. Seine einzelnen Aufsätze findet man zerstreut in den Philos. Transactions, in dem Journal des savans, und den Actis eruditor. Lips. Von seinen größten Schriften sind die vorzüglichsten: La manière d'amollir les os et de faire cuire toutes sortes de viandes en fort peu de temps. Paris 1682 et Amsterd. 1688. (M. s. in den verschiedenen Encyklopädien das Wort Digestor oder Papin's Topf.) Recueil de diverses pièces touchant quelques nouvelles machines, Cassel 1695, ein noch heute sehr interessantes Werk; Ars nova ad aquam ignis adminiculo efficacissime elevandam, Leipzig 1707, in welchem Werke die ersten Elemente zur Konstruktion unserer heutigen Dampfmaschinen enthalten sind. L.

darbietende Hypothese, die man zu diesen Zwecken anwendete, bestand in der Voraussetzung, daß das Wasser, wenn es durch die Hitze in Dampf verwandelt wird, in kleine, hohle Kügelchen zertheilt werde, die zwischen ihren dünnen Häutchen Luft oder Wärmestoff enthalten sollten. Auf diese Weise wollte Halley die Evaporation der Flüssigkeiten erklären, und Leibnitz berechnete sogar die Dimensionen dieser Kügelchen. Derham [5]) brachte es dahin, wie er glaubte, diese kleine Kugeln mit dem Mikroskop zu sehen, und auch Wolf [6]) wußte viel über diesen Gegen-

---

5) Derham (William), geb. 1657 zu Stowton bei Worcester, betrat 1675 das Trinity Kollege zu Oxford und erhielt, nach Vollendung seiner Studien, die einträgliche Pfarrei und das Rektoramt von Upminster in Essex, wo er auch bis an das Ende seines Lebens 1735 mit Vorliebe blieb, weil ihm diese Nähe von London die Gesellschaft der ausgezeichneten Gelehrten dieser Hauptstadt und den Gebrauch ihrer wissenschaftlichen Hülfsmittel erleichterte. Er beschäftigte sich vorzüglich mit Physik, Mechanik und Astronomie, und mit Glück, wie seine Werke und seine zahlreichen Abhandlungen in den Philosoph. Transactions. zeigen. Seine erste Schrift „der kunstreiche Uhrmacher" wurde sehr beifällig aufgenommen, und erlebte in wenig Jahren vier Auflagen. Nicht minder beliebt wurde seine Physiko-Theologie, seine Astro-Theologie und andere ähnliche Schriften. Ihm verdankt man auch die Publikation der physischen Experimente des Dr. Hook, so wie die der Manuscripte des Naturforschers Ray. Seine Miscellanea curiosa, 3 Vol. in 8., sind noch jetzt sehr geschätzt. Seine meist physikalischen Aufsätze findet man in dem 20sten bis 39sten Band der Philos. Transactions. L.

6) Wolf (Christian, Freiherr von), geb. 1679 zu Breslau, studirte anfangs Theologie zu Jena, widmete sich aber später ganz der Mathematik und Philosophie, worin seine Vorlesungen zu Leipzig (seit 1703) großen Beifall erhielten. Bei dem Einbruch der Schweden (1706) ging er, auf Leibnitz Empfehlung, als Professor der Mathematik und Physik nach Halle, wo er durch seine systematische Lehrmethode und durch mehrere mathematische Schriften, die sich besonders durch Klarheit und Deutlichkeit des Vortrags auszeichneten, seinen Ruhm begründete. In theologische Streitigkeiten besonders mit dem bigotten Joachim Lange verwickelt, ward er 1723 von König Fried. Wilhelm I. seiner Stelle entsetzt und unter Androhung des Stranges im Weigerungsfalle, des Landes verwiesen. Wolf zog sich nach der Universität Marburg in Hessen zurück, wo er günstig aufgenommen wurde. Im Jahre 1740 wurde er von Friedrich dem II. als Professor, Geheimerath und Kanzler der Univer-

stand zu messen und zu rechnen. Das große Vertrauen dieser Männer zu einer so lahmen Theorie bleibt immer merkwürdig. Wenn sich Wasser in hohle Kugeln auflösen muß, um als Dampf in die Höhe zu steigen, so bedürfen wir, zur Bildung dieser Kugeln, wieder neue Naturgesetze, die von den Anhängern jener Lehre nicht angegeben wurden, und die gewiß noch viel verwickelter sein mußten, als die hydrostatischen Gesetze, durch welche hohle Kugeln zum Schwimmen gebracht werden.

Auch Newton's Meinung war kaum befriedigender. Er erklärte[7]) die Evaporation durch die abstoßende Kraft der Wärme. Nach ihm sind die Theilchen, aus denen der Dampf besteht, ungemein klein, so daß sie durch jene Kraft sehr stark afficirt, und dadurch viel leichter werden, als die Luft unserer Atmosphäre.

Auch Muschenbroek [8]) blieb noch zur Erklärung der Evapo-

---

sität wieder nach Halle zurückberufen. Seine Philosophie war längere Zeit in Deutschland die herrschende, und er erwarb sich auch um die Verbreitung der Mathematik und um die Verbesserung der deutschen Sprache sehr wesentliche Verdienste. Seine hinterlassenen Schriften sind sehr zahlreich. L.

7) Newton, Optik, Quaest. 31.

8) Muschenbroek (Peter), geb. 1692 zu Leyden, wo er auch studirte und 1715 Doktor der Medizin wurde. Im Jahre 1719 ging er als Professor der Medizin nach Duisburg. Später 1723 wurde er Professor der Mathematik und Physik in Utrecht, und endlich 1739 auf der Universität von Leyden, wo er auch 1761 starb. Er war einer der ausgezeichnetsten Physiker seiner Zeit, der in Verbindung mit seinem Freunde, s'Gravesande, die neuere Experimentalphysik und die Newton'sche Lehre in Holland einführen und die Hypothesen des Cartesius verdrängen half. Mehrere sehr ehrenvolle Berufungen nach den Universitäten von Kopenhagen, Göttingen, Berlin und Madrid, meistens von den Königen dieser Länder selbst angetragen, schlug er aus, um dem Vaterlande seine Dienste ganz widmen zu können. Er ist der Erfinder des nachher von Lambert verbesserten Pyrometers, und ihm verdankt man auch die ersten wissenschaftlichen Beobachtungen über den Magnet, die dem Daniel Bernoulli die nöthigen Data zu seiner Theorie des Magnets lieferten. Ueber die spezifischen Gewichte der Körper, über die Reibung und die Steifigkeit der Seile, den Widerstand der Stäbe von Holz und Metall u. drgl. lieferte er die ersten genauen und zahlreichen Experimente. Die erste trigonometrische Vermessung der Erde durch

poration bei diesen hohlen Kügelchen stehen, obschon er offenbar nicht recht zufrieden damit war, und mit Recht besorgte, daß der Druck der Luft das feine, gebrechliche Gewebe dieser Bläschen zerstören müsse. Er nahm deshalb eine Rotation dieser Kügelchen zu Hülfe, (wie auch früher schon Descartes gethan hatte), und auch damit noch nicht zufrieden, stellte er noch einen elektrischen Einfluß im Hintergrunde seiner Hypothese als Reserve auf. Damals war nämlich die Elektricität in der Mode, wie früher die Hydrostatik, und so wurden sie auch beide, so oft die Noth gebot, zu Hülfe gerufen. Auch Desaguliers bediente sich dieses Agens zur Erklärung des Aufsteigens der Dämpfe, indem er zwischen der Elektricität und der Wärme eine Art von Sexualverbindung aufstellen wollte, in welcher das männliche Feuer (die Wärme) den einen, und das weibliche Feuer (die Elektricität) den andern Theil der Rolle bei der Erzeugung der Dämpfe übernehmen sollte. — Alle diese Spekulationen sind, wie man sieht, ohne Werth und Verdienst.

Zu derselben Zeit aber wurde die Aufmerksamkeit der Naturforscher auf die großen Fortschritte gerichtet, welche die Chemie so eben auf ihrem eigenen Gebiete gemacht hatte. Ihr verdanken wir auch in der That einen großen Theil unserer wahren Erkenntniß des hier in Rede stehenden Gegenstandes. Bouillet eröffnete gleichsam die Bahn, als er im Jahr 1742 die Behauptung aufstellte, daß in dem Dampfe die kleinsten Theilchen des Wassers sich zwischen die der Luft eindrängen. Die Akademie der Wissenschaften zu Bordeaux machte die Erklärung des Aufsteigens der Dämpfe i. J. 1743 zum Gegenstand ihrer Preisfrage. Der Preis wurde von dieser Akademie auf eine, in Beziehung auf

---

Snellius, die derselbe in seinem Eratosthenes Batavus bekannt gemacht hatte, wiederholte M. und machte die verbesserten Resultate in einer besondern Schrift bekannt. Die vorzüglichsten seiner Werke sind: Tentamina experimentorum naturalium, Leyd. 1731; Elementa physicae, Leyd. 1741; Compendium physices experimentalis, ibid. 1762; Introductio in philosophiam naturalem, ibid. 1762, II. Vol. in IVto. Noch haben wir von ihm eine lateinische Uebersetzung des Saggi di naturali experienze fatte nell' Academia del Cimento, die wegen den vielen und trefflichen Anmerkungen des Uebersetzers noch jetzt schätzbar ist. Er starb am 19. Sept. 1761. L.

die Wahl zwischen zwei Theorien, in der That sehr unpartheiische Weise ertheilt, indem sie eben diese Wahl ganz unentschieden ließ. Jener Preis wurde nämlich zwischen zwei Personen getheilt, zwischen Kratzenstein, der jene hohle Kugeln in Schutz genommen und die Dicke ihrer Haut zu den $\frac{1}{50000}$ sten Theil eines Zolls berechnet hatte, und zwischen Hamberger, der das Aufsteigen des Dampfes in einer Adhäsion der Wassertheilchen an den Elementen der Luft und des Feuers gefunden zu haben glaubte. Der letztere bildete späterhin seine Idee noch mehr aus und machte sie dann i. J. 1750 in seinen „Elementen der Physik" bekannt. In diesem Werke gab er die Erklärung der Evaporation mit Hülfe einer von ihm erfundenen Phrase, die seitdem allgemeine Aufnahme unter den Physikern gefunden hat. Er nannte nämlich die Evaporation die Auflösung (Solution) des Wassers in der Luft, wobei er dieselbe allen anderen bekannten chemischen Auflösungen analog voraussetzte.

Diese „Theorie der Auflösung" wurde besonders von Leroi[9]) in Schutz genommen und weiter entwickelt. Die Form, welche sie unter seiner Hand annahm, wurde beinahe allgemein, selbst bis auf unsere Zeiten, angenommen, und sie hat selbst in der Sprechart des Volkes ihre Spuren zurückgelassen. Leroi nahm an, daß die Luft, gleich anderen auflösenden Substanzen, gesättigt (saturirt) werde, und daß das Wasser in der Luft, wenn die letzte ihren Sättigungspunkt einmal erreicht hat, eine sichtbare Gestalt annehme. Dieser Sättigungspunkt hing, so setzte man voraus, blos von der Einwirkung der Wärme und des Windes ab.

Diese Lehre war allerdings nicht ohne Verdienste, da sie viele, früher ganz zerstreute Erscheinungen unter einen gemeinschaftlichen Gesichtspunkt brachte, und da durch sie eine große Anzahl von Experimenten, die Leroi angestellt hatte, genügend erklärt wurden. Durch sie wurde z. B. die Durchsichtigkeit des Dampfes dargestellt, (denn vollkommene Auflösungen sind diaphan); so wie der Niederschlag des Wassers aus dem Dampfe bei der Erkühlung des letzteren; das Verschwinden aller sicht-

9) Mém. de l'Acad. de Paris, 1750.

baren Feuchtigkeit bei der Wiedererwärmung desselben; die vermehrte Verdünstung durch Regen und Wind, und andere ähnliche Erscheinungen. Soweit war also die Einführung des neuen Begriffs einer chemischen Auflösung des Wassers in der Luft scheinbar sehr glücklich. Allein diese Erklärung hatte auch ihre Mängel, und diese waren für sie selbst sehr unheilvoll: man konnte nämlich durch diese Theorie alle diejenigen Phänomene ganz und gar nicht erklären, die dann eintreten, wenn die Luft bei dem Prozeß der Verdünstung ausgeschlossen wird.

Zu derselben Zeit wurde in Schweden [10]) derselbe Gegenstand auf eine andere und bessere Weise verfolgt. Wallerius Ericsen [11]) hatte durch verschiedene Experimente die wichtige Thatsache über allen Zweifel erhoben, daß das Wasser auch im leeren Raume verdunstet. Die von ihm darüber angestellten Versuche sind klar und genügend, und er zog daraus den Schluß, daß die bisher gewöhnliche Erklärung der Evaporation, durch Auflösung des Wassers in der Luft, falsch ist. Seine Beweise sind auf eine sehr verständige Weise geführt. Er untersucht die Frage, ob Wasser in Luft verwandelt werden könne, und ob daher die Atmosphäre in einer blosen Sammlung von Dünsten bestehe. Die Frage wird, aus guten Gründen, verneint, und daraus der Schluß für die Existenz einer „beständig elastischen,

---

10) M. s. Fischer, Geschichte der Physik, Vol. V, S. 63.

11) Wallerius, geb. 11. Juli 1709 in Südermanland, widmete sich früh schon der Mineralogie, kam 1732 als Adjunkt der medizinischen Fakultät auf die Universität von Lunden, und 1740 auf die von Stockholm, und wurde 1750 Professor der Chemie und Metallurgie in Upsala. Im Jahre 1766 zog er sich von den öffentlichen Geschäften zurück, um ganz sich und seiner Wissenschaft zu leben. Er starb 16. Nov. 1785 als einer der ausgezeichnetsten Naturforscher Schwedens. Er führte eine bessere Classifikation in die Mineralogie ein, und machte mehrere sehr glückliche Anwendungen der Chemie auf die Agrikultur. Auch in der Geologie wollte er, vorzüglich durch das von ihm eingeführte Centralfeuer der Erde, ein neues System begründen. Allein so bedeutend auch seine Vorarbeiten in diesen beiden Wissenschaften, der Mineralogie und der Geologie, für seine Zeit sein mögen, der wahre Begründer von jener ist Hauy, und von dieser Pallas, Saussure und Werner. Die zahlreichen Schriften des Wallerius kann man in der Biographie universelle (Paris 1827) Vol. 50, Art. Wallerius, nachsehen. L.

und vom Dampfe ganz verschiedenen" Luft gezogen. Auch behauptet er, daß hier zwei Ursachen thätig sind, von denen die eine das Aufsteigen des Dampfes, und die andere das Schweben oder Erhalten desselben in der Luft bewirkt. Die erste dieser Ursachen, die auch im leeren Raume thätig ist, erklärte er durch die gegenseitige Abstoßung der Dampftheilchen, und da diese Kraft von der Mitwirkung aller anderen Körper unabhängig ist, so erscheint jene von ihm gebrauchte Induktion sehr annehmbar. Wenn aber dann die Dämpfe sich bereits in die Luft erhoben haben, so kann ohne Anstand zugegeben werden, das sie durch Strömungen der Atmosphäre entweder noch höher steigen oder auch seitwärts getrieben werden, bis sie in eine Luftregion von derselben Dichte, wie sie selbst, gelangen, und dann im Gleichgewichte schweben bleiben oder auch frei hin und wieder treiben.

Die nächstfolgende Generation der Physiker theilte sich zwischen diesen beiden einander gegenüberstehenden Theorien der Evaporation, deren die eine die chemische Auflösung, und die andere die für sich bestehenden, unabhängigen Dünste zu ihrem Prinzip erhoben hatte. Saussure stand an der Spitze der ersten, der Solutionisten, obschon mit einigen von ihm eingeführten Modifikationen, und Deluc führte gleichsam die andere Parthei an. Der letztere verwarf alle Solution und erklärte die Dünste als eine Kombination der Wassertheilchen mit dem Feuer, durch welche sie leichter, als die Luft, gemacht werden sollen. Nach seiner Ansicht ist immer und überall Feuer genug da, diese Kombination zu erzeugen, so daß demnach die Evaporation unter allen Temperaturen vor sich gehen kann.

Diese Art, die unabhängigen Dünste als eine Kombination des Wassers mit dem Feuer zu betrachten, leitete die Aufmerksamkeit der Anhänger dieser Theorie auf die thermometrischen Veränderungen, die bei der Bildung und bei der Kondensation der Dünste einzutreten pflegen. Diese Veränderungen sind wichtig, und die Gesetze derselben sehr merkwürdig. Sie gehören zu der Lehre von der „latenten Wärme," von der wir so eben gesprochen haben, aber sie sind nicht durchaus nothwendig zur Erkenntniß der Art, wie die Dünste in der Luft bestehen.

Deluc's [12]) Ansichten leiteten ihn auch [13]) zu einer näheren Betrachtung des Druckes, welchen diese Dämpfe ausüben. Er

---

12) Deluc (Jean André), geb. zu Genf 1727. Sein Vater, ein Uhrmacher, hatte sich als religiöser und politischer Schriftsteller bekannt gemacht. Der Sohn nahm bald an den politischen Kämpfen seiner Vaterstadt Theil, wobei er sich an die Volkspartei wendete, von der er auch 1768 als Deputirter an den Herzog von Choiseul geschickt wurde. Nach seiner Rückkehr 1770 wurde er zum Mitglied des großen Raths erwählt. Doch verließ er Genf bald darauf sammt seinem Bruder Wilhelm, und beide widmeten sich fortan ganz der Geologie, zu welchem Zwecke sie die Schweiz und mehrere europäische Küstenländer durchwanderten. So entstand sein erstes Werk: „Lettres physiques et morales sur l'histoire de la terre et de l'homme, Haag 1778." Diese Briefe waren der Königin Caroline, Gemahlin George's III. gewidmet, die ihn zu ihrem Vorleser ernannt hatte. Sie beziehen sich blos auf seine in der Schweiz gemachten Untersuchungen. Spätere Reisen in Deutschland, Holland u. s. gaben die Mittel zur Fortsetzung dieses Werkes in fünf starken Bänden. Das Resultat, zu dem er auf diesem Wege kam, war, daß das gegenwärtige Kontinent der Erde durch eine große und plötzliche Revolution, vor höchstens vier oder fünftausend Jahren, trocken gelegt wurde, und daß durch dasselbe Ereigniß die früher bewohnten Gegenden der Erde von der See verschlungen wurden. Derselben Ansicht sind auch Saussure, Dolomieu und Cuvier beigetreten. Nach Deluc wurden die Materialien, welche jetzt unsere Berge bilden, zuerst in horizontalen und kontinuirlichen Schichten niedergelegt, und ihr gegenwärtiger gebrochener und verschobener Zustand ist die Wirkung einer folgenden Katastrophe, die aber lange vor jener, durch welche unser jetziges Kontinent trocken gelegt wurde, sich ereignet haben muß. Seine vorzüglichsten Werke sind, außer dem bereits genannten: Lettres géologiques sur l'histoire de la terre, 1798; Traité élémentaire de géologie 1808, die auch englisch (Lond. 1809) herauskam; Geological travels in the North of Europe and in England, 3 Vol. London 1810. Außer der Geologie beschäftigte er sich auch eifrig mit der Meteorologie und hierin leistete er den Wissenschaften vielleicht noch wesentlichere Dienste, als in der Geologie, besonders durch seine Untersuchungen über die Verfertigung und den Gebrauch der vorzüglichsten meteorologischen Instrumente. M. s. seine „Recherches sur les modifications de l'Atmosphère, 2 Vol. 4to, Genf 1772; Idées sur la météorologie 1786; Introduction à la physique terrestre par les fluides expansibles, 1803; Traité élémentaire sur le fluide Electro-Galvanique, 1804 u. s. Seine vielleicht zu weit getriebenen Bemühungen, das von ihm aufgestellte geologische System

erklärt die Verdichtung des Dampfes durch den Druck, indem er voraussetzt, daß der Druck die Dampftheilchen innerhalb des Raumes zusammendrängt, in welchem die von der Hitze kommende Abstoßungskraft aufhört. Auf demselben Wege erklärt er auch die bekannte Erscheinung, daß, obschon die Dünste durch einen äußeren Druck verdichtet werden, doch die Beimischung einer Wassermasse, die den Druck eben so viel vergrößert, nicht dieselbe Wirkung hervorbringt, woraus dann die Möglichkeit der Existenz der Dünste in der Luft abgeleitet wird. Diese Dünste haben kein bestimmtes Verhältniß zur Luft, aber bei derselben Temperatur haben wir immer denselben von ihnen kommenden Druck, sie mögen nun in der Luft schweben oder nicht. So wie die Temperatur wächst, werden auch die Dünste fähig, einen immer größeren Druck zu ertragen, und bei der Temperatur des kochenden Wassers halten sie dem Drucke der Atmosphäre das Gleichgewicht.

Deluc gab auch, gleich dem Wallerius, den Unterschied zwischen Luft und Dunst genau an: der letzte ist durch Kälte oder Druck einer Veränderung seiner Konsistenz fähig, die erste

---

mit der Mosaischen Schöpfungsgeschichte in Uebereinstimmung zu bringen, verwickelte ihn in viele Streitigkeiten mit anderen Schriftstellern, besonders mit Teller in Berlin. M. s. Deluc's Lettres sur le christianisme 1801; Correspondance entre le Dr. Tellier et Deluc 1803—4. Eben so gerieth er mit Professor Reimarus in Hamburg in Kampf: Annonce d'un Ouvrage de Mr. Reimarus sur la formation du Globe, Hannovre 1803. Als ein großer Bewunderer Baco's zeigt er sich in seinen Précis de la philosophie de Bacon, Paris 1802, II. Vol. Andere Aufsätze von ihm findet man in dem Journal de Sçavans. in den Transact. philos. und andern französischen, englischen und deutschen Zeitschriften. Im Jahre 1798 wurde er zum Professor der Philosophie und Geologie in Göttingen ernannt, lebte aber, ohne dahin zu kommen, bis 1802 in Berlin, dann in Hannover und Braunschweig, bis er 1806 nach der Schlacht von Jena nach England zurückkehrte, wo er den Rest seines Lebens meistens zu Windsor in Gesellschaft der k. Familie zubrachte. Er starb zu Windsor im November 1817 in seinem 91sten Jahre. L.

13) M. s. Fischer, Gesch. der Physik, Vol. VII. S. 453, und Nouvelles Idées sur la Météorologie, 1787.

aber nicht. Pictet [14]) machte im Jahr 1786 ein hygrometrisches Experiment, das ihm Deluc's Ansichten vollkommen zu bestätigen schien, und Deluc selbst machte seinen Abschluß des Gegenstandes i. J. 1792 in den Philos. Transactions bekannt. Pictet zeigte in seinem „Versuche über das Feuer" von dem Jahr 1791, „daß „die ganze Reihe der bisher beobachteten hygrometrischen Erschei„nungen ganz eben so gut, ja rascher noch, im leeren Raume, „als in der Luft vor sich geht, sobald nur dieselbe Menge von Feuchtigkeit da ist." — Dieser „Versuch" und Deluc's erwähnte Schrift gaben der alten Theorie von der Auflösung des Wassers in der Luft den Todesstoß. Doch fiel sie nicht, ohne zuerst einen harten Kampf mit ihren Gegnern zu bestehen. Die Solutionslehre wurde von der neuen Schule der französischen Chemiker in Schutz genommen, und mit den Ansichten, welche diese von der Wärme gefaßt hatten, in enge Verbindung gebracht. Aus diesem Grunde wurde sie auch so lange als die eigentlich herrschende Meinung betrachtet. Girtanner [15]) in seinen „Grundsätzen der „antiphlogistischen Chemie" kann als einer der ersten Vorkämpfer dieser Theorie angesehen werden. Hube aber, Professor der Physik in Warschau, war einer der eifrigsten Vertheidiger der Solutionstheorie, über die er auch mehrere Schriften herausge-

---

14) Pictet (Marcus August), geb. 1752 zu Genf, ward früh der Schüler und Freund Saussure's, den er auf mehreren Reisen begleitete, und dessen Stellen er 1786 als Professor der Philosophie und später als Präsident der Akademie zu Genf erhielt. Ganz den Wissenschaften lebend, nahm er an den politischen Unruhen seiner Vaterstadt nur so viel Theil, als er der alten und angesehenen Stellung seiner Familie wegen mußte. Seit 1796 gab er in Verbindung mit seinem Bruder Charles P. und mit Maurice die Bibliothèque britannique heraus, eine Genfer Zeitschrift, die seit 1816 den passenderen Namen Bibl. universelle annahm. Wir haben von ihm: Voyage en Angleterre, 1803, und mehrere einzelne meist treffliche Aufsätze über Physik, Astronomie und Mathematik. Er starb zu Genf am 18. April 1825. — Mit ihm ist nicht zu verwechseln der Astronom Jean Louis Pictet, geb. 1739, der 1768 mit Mallet nach Rußland ging, um daselbst den Durchgang der Venus i. J. 1769 zu beobachten. Mallet wurde nach Ponoï in Sibirien, und Pictet nach Umba geschickt. (M. s. Mém. de l'Acad. de Petersb. 1769). L.

15) M. s. Fischer, Geschichte der Physik, Vol. VII, S. 473.

geben hat. Der Zuwachs der Elasticität der Luft durch die hinzugetretenen Dünste scheint ihn indeß in einige Verlegenheit gebracht zu haben. Im Jahre 1801 trug Parrot eine andere Theorie vor, indem er behauptete, daß Deluc die Solutionstheorie selbst keineswegs, sondern nur einige überflüssige Zusätze, die Saussure zu dieser Theorie gemacht habe, angegriffen hätte.

Man sieht nicht recht, worin das Hinderniß bestand, welches sich der allgemeinen Aufnahme der Theorie der unabhängigen Dünste entgegensetzte, da dieselbe doch alle beobachteten Thatsachen auf eine sehr einfache Weise erklärte, und da die vermittelnde Beihülfe der Luft offenbar als ganz unnöthig erschien. Allein selbst in unseren Tagen ist die alte Lehre, von der Auflösung des Wassers in Luft, noch keineswegs völlig verdrängt. Gay-Lussac[16]) sprach noch im Jahre 1800 von der Wassermenge, die von der Luft „im aufgelösten Zustande" gehalten wird[17]), und die, wie er sagt, mit der Temperatur und der Dichtigkeit der Luft nach einem gewissen Gesetze sich ändert, das aber noch nicht

---

16) Gay-Lussac (Jos. Louis), geb. den 6. Dez. 1778 zu St. Leonard im Departement Obervienne, wurde 1816 Professor an der polytechnischen Schule und 1832 am naturhistorischen Museum zu Paris. Er machte sich zuerst durch seine Luftfahrten in Paris bekannt, indem er erst in Gesellschaft mit Biot 4000, und später allein bis 7000 Meter über die Erdoberfläche sich erhob. Berühmt wurde er durch seine vielen und wichtigen Entdeckungen in der Physik und Chemie, besonders durch seine Bestimmung der Ausdehnung der Gase und Dämpfe durch die Wärme, des specifischen Gewichts und der Wärmecapacität der Luftarten, und durch seine Untersuchungen der Metalle der Alkalien, den Blaustoff, Jod, Chlor u. s. Einen großen Theil seiner chemischen Versuche hat er in Verbindung mit Thenard angestellt und in den Recherches physico-chimiques (2 Bde. Par. 1811) bekannt gemacht. Seine übrigen Aufsätze findet man in den Annales de chimie, in den Annales de chimie et de physique, und in dem Bulletin de la société philomatique. Noch haben wir von ihm Mémoires sur l'analyse de l'air atmosphérique, Par. 1804. Cours de physique, recueilli et publié par Grosselin (Par. 1827) und Cours de chimie recueilli et revu par Gaultier, 2 Vol. Par. 1828. L.

17) M. s. Annales de chimie, Vol. 43.

gefunden sein soll. Professor Robison[18]) aber sagt[19]) in dem Artikel „Steam" der Encyclopaedia Britannica von demselben Jahre 1800: „Manche Physiker bilden sich ein, daß auf diesem „Wege (durch Elasticität allein) auch schon bei anderen Tempe-„raturen eine selbstständige Evaporation erzeugt werde. Allein „wir können dieser Meinung nicht beitreten, und müssen immer „noch der Ansicht treu bleiben, daß diese Art von Evaporation „durch die auflösende Kraft der Luft bewirkt werde." Er gibt dann folgenden Grund für diese seine Behauptung an. „Wenn „feuchte Luft," sagt er, „schnell getrocknet wird, so hat immer „ein Niederschlag von Wasser statt. Allein bei der neuen Theo-„rie sollte gerade das Gegentheil eintreten, weil das Bestreben „des Wassers, in elastischer Gestalt zu erscheinen, durch die Ent-„fernung des äußern Drucks befördert wird." — Eine andere Schwierigkeit, die sich der reinen Mischung der Dünste mit der Luft entgegensetzen sollte, war die, daß bei den so gemischten Körpern der schwerere den untern, und der leichtere den oberen Theil des Raumes, in dem sie enthalten sind, einnehmen müßte.

---

18) Robison (John), geb. 1739 zu Boghall in Schottland, widmete sich früh schon der Mathematik unter der Leitung des berühmten Simson. Im Jahr 1757 ging er als Erzieher der Kinder des Admirals Knowles nach Quebek, wo er sich vorzüglich viel nautische Kenntnisse erwarb, so daß die nautischen wie auch die meisten mathematischen und philosophischen Artikel der dritten Ausgabe der Encyclopaedia Britannica beinahe alle von ihm sind. Im Jahre 1762 machte er eine andere wissenschaftliche Seereise nach Jamaica, um Harrison's Seeuhren zu prüfen. 1767 wurde er Professor der Chemie zu Glasgow, und 1770 ging er mit dem Admiral Knowles nach Petersburg, um dort nach dem Wunsch der Kaiserin die russische Marine zu reorganisiren. Er wurde zum Generalinspektor des Kadetencorps in Petersburg ernannt, baute eine große Dampfmaschine in dem Hafen von Kronstadt, und ging endlich, der vielen Hindernisse müde, die man ihm in Rußland entgegensetzte, wieder in sein Vaterland als Professor der Philosophie in Edinburg zurück, wo er auch am 30sten Januar 1805 starb, nachdem er die letzten achtzehn Jahre seines Lebens beinahe immer mit Krankheiten gekämpft datte. Sein vorzüglichstes Werk ist: System of mechanical philosophy by I. Robison, with Notes by David Brewster, 1822, Vol. IV. Auch seine Ausgabe der Elemente der Chimie von Black (1803. Vol. II) wird als ein vorzügliches Werk geschätzt. L.

19) M. s. Robison's Works. II. 37.

Der erste dieser Einwürfe wurde durch die Betrachtung zurückgewiesen, daß bei der Verdünnung der Luft auch ihre specifische Wärme verändert, und dadurch ihre Temperatur unter die den Dünsten eigenthümliche reduzirt wird. Dem zweiten Einwurfe aber begegnete man durch Hinweisung auf Dalton's Gesetz von der Mischung der Luftarten. — Aber wir müssen die Aufstellung dieser Lehren in einem besonderen Abschnitte betrachten, da sie den eigentlichen Hauptschritt zur wahren Erkenntniß der Evaporation enthalten.

Zweiter Abschnitt.

Dalton's Theorie der Evaporation.

Ein Theil von den wahren Ursachen der Evaporation war, mit mehr oder weniger Klarheit, mehreren von den bisher erwähnten Physikern bekannt geworden. Sie hatten z. B. bemerkt, daß die in der Luft in einem unsichtbaren Zustande enthaltenen Dünste durch die Kälte zu Wasser verdichtet werden. Ebenso hatten sie gefunden, daß es für jeden Zustand der Atmosphäre eine gewisse Temperatur gebe, die unter jener der Atmosphäre ist, und bei welcher die Körper, wenn sie diese letzte Temperatur haben und der Atmosphäre blosgestellt werden, auf ihrer Oberfläche Wasser in feinen, dem Thau ähnlichen Tropfen absetzen, daher auch diese zweite, tiefere Temperatur der Thaupunkt genannt wurde. Auch hatten sie beobachtet, daß das Wasser, wo es auch existiren mag, sobald es tiefer unter die Temperatur, durch die es in Dunst verwandelt wird, gebracht wird, diese dunstförmige Gestalt wieder verläßt, daher auch jene Temperatur von ihnen die konstituirende genannt wurde. Diese und ähnliche Erscheinungen waren den spekulativen Meteorologen des letzten Jahrhunderts allerdings bekannt, und in England besonders wurde die allgemeine Aufmerksamkeit vorzüglich durch Well's Essay on Dew (Versuch über den Thau), London 1814, auf diesen Gegenstand gelenkt. Well's Lehre setzte mit vollkommener Klarheit auseinander, wie die durch die Rarefaktion der Luft erzeugte Kälte, wenn sie unter die konstituirende Temperatur der in ihr enthaltenen Dünste herabsteigt, den Thau erzeugt, und widerlegte zugleich dadurch, wie wir schon gesagt haben, einen jener alltäglichen Einwürfe, die man gegen die neue Lehre zu erheben gesucht hatte.

Den anderen jener zwei, zu Ende des vorigen Abschnittes erwähnten Einwürfe aber konnte erst Dalton vollständig entkräften. Als er seine Aufmerksamkeit diesem Gegenstande zugewendet hatte, bemerkte er bald die unüberwindlichen Schwierigkeiten, die sich der Lehre einer chemischen Mischung des Wassers mit der Luft entgegensetzten. In der That war auch diese Lehre nur eine blose Worterklärung, da sie, bei näherer Untersuchung, von gar keiner chemischen Analogie unterstützt erschien. Indem er darüber weiter nachdachte, gelangte er in Folge anderer, die Luftarten betreffenden Untersuchungen, zu der Ueberzeugung, „daß bei jeder Mischung der Dünste mit der Luft, „jeder dieser zwei Körper seinem eigenen, besonderen Gesetze des „Gleichgewichts folge, und daß die Elemente eines jeden dieser Kör- „per nur in Beziehung auf die Elemente seiner Art elastisch sind, „so daß man sich das Schweben und Fließen der Dünste zwischen „den Luftelementen gleich dem eines Wasserzuges zwischen Kie- „seln vorstellen muß, und daß der Widerstand, den die Luft der „Evaporation darbietet, nicht von ihrem Gewichte, sondern von „der Kraft der Trägheit ihrer kleinsten Theilchen entsteht[20]).“

Man wird finden, daß die Theorie der unabhängigen Dünste, auf diese Weise und unter diesen Bedingungen verstanden, alle hieher gehörenden Erscheinungen vollkommen darstellt, nämlich die allmählige Evaporation in der Luft, die plötzliche Verdunstung im luftleeren Raume, den Zuwachs der Elasticität der Luft durch die hinzugetretenen Dünste, die Verdichtung derselben und andere ähnliche Phänomene.

Dalton hatte verschiedene Versuche angestellt, sein Grundprinzip zu beweisen, daß nämlich zwei Gase, wenn sie zusammentreten, sich in und unter einander ergießen, und zwar nur allmählig, wenn die kommunicirende Oeffnung, durch welche sie in einander fließen, sehr klein ist[21]). Auch bemerkte er, daß alle von ihm gebrauchten Gase dieselbe auflösende Kraft haben, was nicht wohl statthaben konnte, wenn chemische Verwandtschaften

---

20) M. s. Manchester Memoirs, Vol. V. S. 581.

21) M. s. New system of chemical philosophy, Vol. I. S. 151.

mit im Spiele gewesen wären. Auch die Dichte der Luft hatte keinen Einfluß auf das von ihm aufgestellte Prinzip.

Nachdem Dalton alle diese Umstände in Betracht gezogen hatte, mußte er wohl die alte Lehre, von der Auflösung des Wassers in der Luft, gänzlich verlassen. „Im Herbste des Jahrs 1801," sagt er, „verfiel ich zuerst auf eine Idee, die mir völlig geeignet „schien, alle Erscheinungen des Dampfes zu erklären, und sie „gab mir Gelegenheit zu mannigfaltigen Experimenten." Diese endeten damit, daß jene erste Idee sich in seinem Geiste als eine neue, wohlbegründete Wahrheit feststellte. „Aber," setzt er hinzu, „meine Theorie wurde beinahe allgemein mißverstanden „und demgemäß auch verworfen."

Dalton suchte die Einwürfe, die man ihm machte, zu widerlegen. — Berthollet [22]) entgegnete ihm, daß man sich die Vereinigung der Elemente zweier verschiedener Substanzen, ohne Aenderung der Elasticität dieser Substanzen, nicht wohl denken könne. Darauf antwortete Dalton durch das Beispiel zweier Magnete, die einer den andern zurückstoßen und anziehen, aber auf andere Körper keine Wirkung äußern. — Einer der sonderbarsten und sinnreichsten Einwürfe ist der von Gough, der behauptete, daß, wenn jedes der beiden Gase blos in Beziehung auf sich selbst elastisch

---

22) Berthollet (Graf von), geb. den 9. Dez. 1748 zu Annecy in Savoyen, vollendete seine Studien zu Turin, wo er sich der Medizin widmete, und ging dann nach Paris, wo er sich an der Seite des berühmten Arztes Tronchin für die praktische Arzneikunde auszubilden suchte. Bald aber wurde er von Lavoisier mächtig angezogen, und wendete nun Talent und Fleiß ganz der Chemie zu. Im Jahre 1780 wurde er Mitglied der Akademie zu Paris, und 1790 erschien sein treffliches Werk Sur la Teinture, II Vol. Er ist der Erfinder des Bleichens durch Chlor. Fünfzig volle Jahre kultivirte er die Chemie mit dem glücklichsten Fortgang und bereicherte sie mit den mannigfaltigsten Entdeckungen. Er war einer der Lieblinge Napoleons, der ihn auch mit nach Aegypten nahm. Während dem Kaiserreiche wurde er Senator, Großoffizier der Ehrenlegion, Administrator der kaiserlichen Münze, aber seine alten schlichten Sitten blieben stets unverändert. Nach siebenzig heiter und glücklich verlebten Jahren starb ihm sein einziger Sohn auf eine grausenvolle Weise. Seitdem versank er in tiefe Trauer, aus der er sich nie wieder erhob. Er starb am 6. Nov. 1822 im Alter von 74 Jahren. L.

ist, wir auf jeden Schlag in der Luft vier Töne vernehmen müßten, nämlich erstens den Schall im Wasserdampf, zweitens den in dem Stickgas, drittens den im Oxygengas, und viertens endlich den in dem kohlensauren Gas. Dalton entgegnete ihm, daß die Zeitintervalle zwischen diesen Tönen sehr klein sind, und daß wir auch in der That in besondern Fällen zwei oder drei Töne zugleich hören.

Ueberhaupt behandelt Dalton in seinem eben erwähnten „Neuen Systeme der chemischen Physik" die Einwürfe seiner Gegner mit ausgezeichneter, unpartheiischer Offenheit. Er zeigt sich hier nicht ungeneigt, denjenigen Theil seiner Theorie, der die gegenseitige Anziehung der Elemente der zwei Gase verneint, gänzlich zu verlassen, und das Ineinanderfließen dieser Elemente der verschiedenen Größe derselben zuzuschreiben, die, wie er glaubt, dieselbe Wirkung hervorbringen wird [23]).

Der schätzbarste Theil dieser Theorie, dessen Werth auch für die Folgezeit dauernd ist, wird erhalten, wenn man alle unbewiesenen und zweifelhaften Zusätze, mit denen man sie auszustatten gesucht hat, zur Seite liegen läßt. Man wird bei näherer Betrachtung finden, daß in jeder unserer bisher aufgestellten Theorien alle jene vorgeblichen Meinungen, die sich auf die Größe, Gestalt und Distanz der Elemente der Körper, auf ihre gegenseitigen Attraktionen und Repulsionen und auf andere ähnliche Eigenschaften derselben beziehen, unsicher und selbst überflüssig sind. Wenn man also alle Hypothesen dieser Art ganz wegläßt, so scheinen mir die dann noch übrig bleibenden Induktionen folgende zu sein. — „Zwei in Kommunikation tretende Gase „werden, durch die Elasticität eines jeden derselben, entweder „langsam oder rasch in einander fließen, und die in einem be„stimmten mit Luft erfüllten Raume enthaltene Dunstmenge „bleibt immer dieselbe, welcher Art auch diese Luft, und welches „auch die Dichte derselben sein mag, ja selbst dann noch, wenn jener „Raum ganz luftleer ist." Diese Sätze lassen sich durch den Ausdruck zusammenfassen, daß die beiden Gase unter einander mechanisch gemischt werden, und man kann nicht anders, als Dalton beistimmen, wenn er sagt, daß dies der wahre Prüfstein

23) Dalton's New Syst. of chemical philosophy. S. 188.

der mechanischen und chemischen Theorie ist. Diese Lehre von der mechanischen Mischung der Gase scheint die Antwort auf alle Einwürfe zu enthalten, die Berthollet und andere gegen seine Lehre vorgebracht haben, wie auch Dalton gezeigt hat [24]), und wir können daher dieselbe allerdings als wohlbegründet annehmen.

Diese Theorie, verbunden mit dem oben erwähnten Prinzip der konstituirenden Temperatur der Dämpfe, ist auf eine große Anzahl von meteorologischen und anderen Erscheinungen anwendbar. Allein ehe wir von den Anwendungen der Theorie auf die Phänomene der Natur sprechen, wird es angemessen sein, derjenigen Untersuchungen zu erwähnen, die man, im großen Maaßstabe, über den Gebrauch des Dampfes in den Künsten durchgeführt hat, nämlich über die Verbindung der elastischen Kraft des Dampfes mit der konstituirenden Temperatur desselben.

Dritter Abschnitt.

Gesetze der elastischen Kraft der Dämpfe.

Die Ausdehnung des Wasserdampfes bei verschiedenen Temperaturen steht, wie die aller andern Dämpfe, unter dem Gesetze von Dalton und Gay-Lussac, von dem wir bereits oben gesprochen haben, und daraus wird dann die Elasticität dieses Dampfes, wenn seine weitere Ausdehnung im Raume gehindert wird, nach dem bekannten Gesetze von Boyle und Mariotte abgeleitet, nämlich nach der Vorschrift, daß der Druck aller luftförmigen Flüssigkeiten sich wie die Dichte derselben verhält. Allein dabei muß bemerkt werden, daß diese Regeln voraussetzen, daß der Dampf in keiner weiteren Berührung mehr mit dem Wasser selbst steht, aus dem er sich erzeugt hat, so daß demnach kein neuer Dampf zu dem bereits gebildeten hinzutreten kann. In den gewöhnlichen Fällen aber, die in den Künsten vorkommen, wird immer mehr Dampf entwickelt, je höher die Temperatur steigt, und es ist daher noch übrig, auch unter diesen Voraussetzungen die Kraft des Dampfes näher kennen zu lernen.

---

24) Dalton, New system of chemistry, Vol. 1. S. 160 u. f.

Während der letzten Periode, von der wir so eben gesprochen haben, wurde unsere Kenntniß von den Gesetzen des Wasserdampfes vorzüglich durch die stets und schnell steigende Wichtigkeit der sogenannten Dampfmaschinen befördert, in welchen jene Gesetze in einer rein praktischen Gestalt und in wahrhaft großem Style auftraten. Watt [25]), der Hauptverbesserer dieser Maschinen,

---

25) Watt (James), geb. den 19. Januar 1736 zu Greenock in Schottland, wo sein Vater sich mit dem Handel beschäftigte und eine Magistratsstelle hatte. In seinem achtzehnten Jahre ging er nach London zu einem Instrumentenmacher in die Lehre; da aber seine Gesundheit zu schwach war, zog er sich nach Glasgow zurück, wo er durch mehre Jahre kleinere physikalische Instrumente für die Universität verfertigte. und bei der Ausführung einiger Kanäle thätig war. Wichtiger war für ihn die nähere Bekanntschaft, die er an dieser Universität mit Adam Smith, Black und Robert Simson machte. Um diese Zeit i. J. 1764 wurde ihm aus dem physikalischen Kabinet der Universität ein Modell einer Dampfmaschine von Newkomen, das schon lange nicht mehr gehen wollte, zur Ausbesserung gebracht. Er stellte das Modell wieder her, und seitdem wendete er seine ganze Kraft auf die Verbesserung dieser Maschinen selbst, deren zweiter Schöpfer er gleichsam geworden ist. Er fand, daß bei den bisher gewöhnlichen Dampfmaschinen zu viel Feuerungsstoff verwendet werde, weil man die Dämpfe in dem Cylinder, in welchem sich der Stempel befindet, verdichtete, indem man diesen Cylinder durch dasselbe Wasser abkühlte, welches die Dämpfe kondensirte. Er ließ dafür die Dämpfe in ein besonderes Gefäß übergehen, um sie dort zu kondensiren, so daß der Cylinder nicht mehr durch kaltes Wasser abgekühlt zu werden brauchte, aus welcher Hauptverbesserung dann unter seiner Hand sofort viele andere kleinere hervorgingen. Boulton, ein reicher Fabrikant und Maschinenbaumeister zu Soho in Birgmingham zog Watt an sich und unterstützte ihn mit der nöthigen Summe zur Ausführung seiner Erfindungen. Dieser bedeutenden Verbesserungen ungeachtet waren doch seine neuen Maschinen blos zur Hebung des Wassers in Schachten u. f. anwendbar. Watt gab ihnen aber 1780 eine ganz neue Gestalt, indem er die wechselnde Bewegung derselben in eine drehende verwandelte, wodurch diese Maschinen auch zu Mühlwerken verwendbar wurden. Auch jetzt noch war die Stange des Stempels mit dem Hebel der Maschine nur durch eine Kette verbunden, welche die Stange wohl heraufziehen, aber nicht herabstoßen konnte. Durch eine neue, sehr sinnreiche Verbesserung Watt's bewegte sich das Ende des Hebel's in einem Kreise, obschon der Stempel in senkrechter Richtung auf und ab ging. Weitere gemeinfaßliche Nachrichten über

wurde auf diese Weise ein großer Beförderer unserer spekulativen Erkenntniß sowohl, als auch unserer praktischen Kraft. Viele von seinen Verbesserungen der Dampfmaschinen sind von den Gesetzen abhängig, die sich auf das Verhältniß der Wärmemenge zu der Erzeugung und Verdichtung des Dampfes beziehen, und die Beobachtungen, die ihn zu diesen Verbesserungen führten, gehören in das Gebiet der Lehre von der latenten Wärme. Zu diesem Zwecke wurden nun vor allem genaue Messungen der Dampfkraft für alle Grade der Temperatur mit Sorgfalt vorgenommen.

Watt wurde im Jahr 1759 durch Robison auf diese Maschinen aufmerksam gemacht, als jener sich mit der Verfertigung anderer Instrumente beschäftigte, und dieser auf der Universität zu Glasgow[26]) studirte. Im Jahre 1761 oder 1762 machte Watt einige Versuche über die Kraft des Dampfes mit dem Papin'schen Digestor[27]), und bei dieser Gelegenheit kon-

---

die hochwichtige Erfindung und Einrichtung der Dampfmaschinen findet man in Lardner's Werk: The steam engine familiarly explained and illustrated. VI. Ausg. Lond. 1836. Deutsch, Leipzig 1838. — Watt starb als Mitglied der k. Gesellschaft der Wissenschaften zu London und Paris am 25sten August 1819. L.

26) M. s. Robison's Werke. Vol. I'. S. 113.

27) Papin (Denis oder Dionysius), der mehrere von Boyle's Experimenten auch für sich angestellt hatte, machte die Entdeckung, daß das kochende Wasser, wenn der von ihm aufsteigende Dampf auf demselben zurückgehalten wird, viel heißer wird, als bei der gewöhnlichen Siedehitze, und auf diesem Wege fand er den nach ihm benannten Digestor. Er beschrieb denselben in seiner Schrift: La manière d'amollir les os etc. Man sehe Note 4, S. 537.

Papin war gegen 1650 zu Blois geboren. In Folge der Aufhebung des Edikts von Nantes verließ er Frankreich, und ging nach Holland, wo er ein Schüler des großen Huyghens wurde. Im Jahre 1688 wurde er Professor zu Marburg in Kurhessen, wo er 1710 starb. Sein Digestor (oder, wie er auch genannt wird, der Papinische Topf) ist ein cylindrisches, innen verzinntes Gefäß von Kupfer, mit einem sehr genau schließenden Deckel versehen, um die Dämpfe zurückzuhalten, die sich aus dem in dem Gefäße eingeschlossenen, kochenden Wasser entwickeln, und dadurch dem Wasser selbst eine viel höhere Temperatur zu ertheilen, so daß nun z. B. Knochen, Elfenbein und andere harte Körper in wenigen Minuten zu einer Gallerte in diesem Wasser, oder eigentlich struirte er sich eine Art von Modell zu einer Dampfmaschine, bereits wie es scheint, den Beruf in sich fühlend, der eigentliche Entwickler dieser bisher noch größtentheils unbekannten Kraft zu werden. Seine damaligen Kenntnisse hatte er größtentheils aus den Werken Desagulier's und Belidor's [28]) geschöpft, aber er vermehrte und verbesserte dieselben bald durch seine eigenen Versuche. In den Jahren 1764 und 1765 verfolgte er eine systematische Reihe von Experimenten, um die Kraft des Dampfes zu erforschen. Diese seine Untersuchungen bezogen sich aber nur auf die höheren Temperaturen über dem Siedepunkt des Wassers, indem er die für die tieferen Grade aus der vorausgesetzten Kontinuität des von ihm erhaltenen Gesetzes ableitete.

---

in diesem eben so heißen Dampfe, zusammengekocht werden. Das in freier Luft kochende Wasser kann nämlich einen bestimmten Wärmegrad (+ 80° Reaumur oder + 100° Centigrade) nicht übersteigen, weil jeder höhere Grad das Wasser in Dampf verwandelt, während der Wasserdampf, wenn man seiner Ausbreitung Schranken setzt, eine viel größere Hitze annimmt, und dann auch, wegen seiner großen Elasticität, viel leichter in die Zwischenräume der thierischen und vegetabilischen Körper eindringt. — Andere von Papin erfundene nützliche Maschinen, unter denen besonders eine, um Wasser auf eine beträchtliche Höhe zu heben, hat Bayle in seinen Nouvelles de la république des lettres (1685) beschrieben. In den Actis Eruditor, Lips. von 1688 und 1690 findet man einen Aufsatz Papin's über den Niederschlag der Dämpfe durch kaltes Wasser, um dadurch das Steigen und Fallen des Stempels in einer Röhre zu bewirken. L.

28) Belidor (Bernard Forest de), geb. 1697 in Catalonien, studirte mit Eifer die Mathematik und ward auf Empfehlung von Cassini und Lahire als Professor an der neu errichteten Artillerieschule zu Lafère angestellt. Im Jahre 1742 nahm er Kriegsdienste in der französischen Armee, wo er 1758 General und Direktor des Par. Arsenals wurde. Er starb am 8. Sept. 1761. Im Fache der Artillerie und der Wasserbaukunst ist er noch jetzt einer der geschätztesten Schriftsteller. Seine vorzüglichsten Werke sind: Architecture hydraulique, Par. 1737—51 in 4 Bänden; Le Bombardier français, Par. 1731. Traité de fortifications 2 Bde.; La science des Ingenieurs; Cours de mathématiques à l'usage de l'artillerie u. s. Seine zurückgelassenen Manuscripte über die Anlegung der Minen, über Festungsbau und Artilleriewissenschaften wurden gleich nach seinem Tode von der französischen Regierung mit Beschlag belegt und unterdrückt. L.

Auch sein Freund Robison beschäftigte sich bald darauf mit ähnlichen Versuchen, zu denen er durch die Lectüre der Schriften von Lord Charles Cavendish und von Nairne geführt wurde. Watt konstruirte [29]) eine Tafel der Elasticität des Wasserdampfes für die Temperatur von 32 bis 280 Fahrenheit (oder von 0° bis 110°.2 Reaumur). Was aber hier vorzüglich gewünscht wurde, war die Aufstellung eines Gesetzes für den Druck des Dampfes herab bis zu dem Gefrierpunkt des Wassers. Zeidler in Basel machte 1769, und dreizehen Jahre später Achard [30]) in Berlin Experimente zu diesem Zwecke. Der letzte untersuchte auch die Elasticität der Alkoholdämpfe. Im Jahre 1792 machte Betancourt seine Schrift über die Expansivkraft der Dämpfe bekannt, und die von ihm gelieferten Tafeln wurden längere Zeit durch für die genauesten gehalten. Prony [31]) stellte in seiner Architecture hydraulique (1796) eine mathematische Formel dafür

---

29) Diese Tafel wurde später in der Encyclopaedia Britannica in dem von Robison verfaßten Artikel „Steam“ bekannt gemacht.

30) Achard (Franz), geb. zu Genf i. J. 1708, Rath bei der höchsten Justizstelle zu Berlin, und Mitglied der k. Akademie daselbst. Er führte die Erfindung Marggrafs (von dem Jahr 1747), nämlich die der Zuckerbereitung aus Runkelrüben der erste im Großen aus. M. s. dessen „Europäische Zuckerfabrikation aus Runkelrüben. 3 Bde., Leipz. 1812. Auch verfaßte er mehrere Aufsätze über das Unendliche in der Mathematik, worin er Fontenelle's Meinung bekämpfte. Seine zerstreuten Schriften findet man größtentheils in den Mém. de l'Acad. de Berlin Er starb zu Berlin i. J. 1784. L.

31) Prony (Gasp. Baron von), geb. 1755 zu Chamelet im Rhonedepartement, Generalinspektor der Brücken und Wege und Direktor der Ecole des ponts et chaussées, hat sich um Mathematik, Mechanik und Hydraulik große Verdienste erworben. Seine vorzüglichsten Schriften sind: Mém. sur la poussée des voûtes, Par. 1783; Méthode pour construire les équations indéterminées, Par. 1790; Nouvelle architecture hydraulique, II Vol. ib. 1790—95; Mécanique philosophique, ib. 1800; Recherches sur les eaux courantes, ib. 1804; Cours de mécanique, ib. 1815, II Vol. Description hydrogr. des Marais Pontins, ib. 1823. In seiner Notice sur les grandes tables logar. et trigon. adoptées au système métrique décimal, Par. 1824, gibt er Nachricht über die unter seiner Leitung ausgearbeiteten 17 Foliobände starken log. Tafeln, die bis jetzt ungedruckt auf der Par. Sternwarte liegen, obschon England die Hälfte der Druckkosten zu tragen sich angeboten hat. L.

auf [32]), die auf Betancourt's Versuche gegründet war. Der letzte glaubte diese Versuche früher als alle anderen vorgenommen zu haben, und bemerkte erst nachher, daß ihm hierin Ziegler bereits zuvorgekommen war. Gren verglich Betancourt's und Deluc's Versuche mit seinen eigenen, und machte dabei die wichtige Entdeckung, daß für das frei kochende Wasser die Elasticität des Dampfes gleich jener der Atmosphäre ist. Schmidt in Giessen suchte den von Betancourt gebrauchten Apparat zu verbessern, und Biker in Rotterdam machte i. J. 1800 neue Versuche zu demselben Zwecke.

Im Jahre 1801 theilte Dalton seine Untersuchungen dieses Gegenstandes der gelehrten Societät von Manchester mit. Er bemerkte dabei mit Recht, daß zwar die Kenntniß der Dampfkräfte bei hohen Temperaturen, so lange der Dampf als ein mechanisches Agens betrachtet wird, sehr nützlich und selbst nothwendig sei, daß aber der Fortgang der Naturwissenschaften mehr und inniger von unserer Kenntniß dieser Kraft bei den tieferen Temperaturen abhänge. Er kam zu dem Resultate, daß die Reihe der elastischen Kräfte des Dampfes für gleichweit von einander abstehenden Temperaturen eine geometrische Progression bildet, deren Verhältniß aber beständig abnimmt. Auch Ure machte im Jahre 1818 seine Beobachtungen über diesen Gegenstand in den Philos. Transactions von London bekannt, und sie sind besonders wegen den hohen Temperaturen, unter welchen sie angestellt wurden, und wegen der Einfachheit seines Apparats sehr schätzbar. Das von ihm gefundene Gesetz näherte sich ebenfalls einer geometrischen Progression. Ure sagt, daß eine von Biot aufgestellte Formel einen Fehler von nahe 9 Zollen für 75 bei einer Temperatur von 266 Graden gebe, was sehr möglich ist, da, wenn die Formel selbst fehlerhaft ist, die geometrische Progression diesen Fehler besonders für die höheren Temperaturen sehr vergrößern muß. Endlich wurde die Elasticität des Wasserdampfes bei hohen Temperaturen auch noch von Southern zu Solo bei Birmingham, und von Sharpe zu Manchester untersucht. Dalton bemühte sich, aus diesen Experimenten von Sharpe gewisse allgemeine Gesetze abzuleiten, allein wir

---

32) Prony, Architecture hydraulique, Part. II. S. 163.

können dieselben nicht wohl als Erweiterungen der bisher aufgestellten wissenschaftlichen Erkenntniß betrachten[33]). Auch habe

---

33) Nach dem Vorhergehenden wird jedes Volum irgend einer Luftart, das man für die Temperatur 0° Cent. und für die Normalbarometerhöhe von 28 Par. Zoll als Einheit des Volums annimmt, durch die Wärme gleichförmig ausgedehnt, und zwar so, daß sein Volum bei der Temperatur von 100° Cent. gleich $1^3/_8 = 1.375$ beträgt. Ist also V das Volum einer Luftart für 0° Cent. und Barometer 28 P. Z., so ist das Volum V′ derselben für Therm. Centig. t und Barometer b P. Z. gleich

$$V' = \frac{28}{b}(1 + 0.00375t) \cdot V$$

und derselbe Ausdruck gilt auch, wenn V und V′ die Expansivkraft der gewählten Luftart unter den zwei erwähnten Verhältnissen bezeichnet.

Anders verhält sich dies bei den Dünsten z. B. bei dem Wasserdunste, der sich bei jeder Temperatur des Wassers, auch unter dem Gefrierpunkte desselben entwickelt, und dessen Dichte und Expansivkraft nur von der Temperatur abhängt, und sich nicht, wie bei den eigentlichen Luftarten, durch Verminderung des Volums vergrößern läßt. Wie man nämlich den Wasserdampf in einen kleinern Raum zusammenpreßt, geht ein Theil des Dampfes in tropfbares Wasser über, und der noch übrige Rest hat wieder seine vorige Dichte und Expansivkraft, so daß daher diese, für die eben herrschende Temperatur, ein Maximum ist. Dieses Maximum der Dichte und Expansivkraft wächst aber mit der Temperatur. — Werden Dämpfe, die nicht mit Wasser in Berührung stehen, erwärmt, so dehnen sie sich wie oben die Luftarten aus, nämlich für jeden Grad des Thermometers um 0.00375 ihres Volums bei 0° Centig, und ganz eben so nehmen sie auch an Expansivkraft zu; werden sie aber abgekühlt, so ziehen sie sich zusammen, bis ihre Expansivkraft das der herabgesetzten Temperatur entsprechende Maximum wieder erreicht hat. — Solche Dünste jedoch, die mit Wasser in Berührung stehen, verhalten sich wohl beim Abkühlen eben so, wie in dem vorhergehenden Falle, beim Erwärmen aber werden nicht blos die schon vorhandenen Dünste noch expansibler, sondern es entstehen auch neue und zwar so lange, bis das Maximum der Expansivkraft erreicht ist. Unter diesem Maximum befolgen dann die Dünste das oben erwähnte Mariottische Gesetz, indem nämlich dann die Expansivkraft oder die Dichte des Dampfes dem Drucke desselben proportional ist. Die folgende Tafel gibt das erwähnte Maximum der Spannkraft und die Dichte der Wasserdämpfe, wie sie aus Dalton's Versuchen nach ich die vorhergehende Erzählung aller dieser Versuche mehr in Beziehung auf ihre Wichtigkeit für die ausübende Kunst, als

---

einer Formel von Biot abgeleitet wurden. Die erste Kolumne der Temperatur bezieht sich auf das hunderttheilige Thermometer, und die letzte gibt die Dichte des Wasserdampfes, wenn die Dichte des Wassers bei 0° Centig. gleich der Einheit gesetzt wird; die Expansivkraft endlich ist in Millimetern angegeben.

Temperatur	Expansivkraft	Dichte.	Temperatur	Expansivkraft	Dichte.	Temperatur	Expansivkraft	Dichte.
— 20°	1.33	0.0000015	20°	17.31	0.0000172	60	144.66	0.0001260
— 15	1.88	21	25	23.09	225	65	182.71	1567
— 10	2.63	29	30	30.64	294	70	229.07	1935
— 5	3.66	40	35	40.40	381	75	285.07	2379
0	5.06	54	40	53.00	492	80	352.08	2889
5	6.95	73	45	68.75	627	85	431.71	3492
10	9.47	97	50	88.74	797	90	525.28	4189
15	12.84	0.0000130	55	113.71	0.0001005	95	634.27	4989
						100	760.00	0.0005895

Die letzte Zahl von 760 Millimeter oder 0.76 Meter (gleich der mittleren Barometerhöhe am Meere) entspricht dem Druck von nahe 1 Kilogramme (oder von 1.7857 Pfund des Wiener Handelsgewichts) auf die Fläche eines Quadratcentimeters (oder auf die Fläche von 0.1364 Par. Quadr. Zoll oder von 0.1441 Wiener Quadr. Zoll), oder dem Druck von nahe 12.4 Pf. Wien. Gewicht auf einen Wiener Quadratzoll. Man pflegt diesen den mittlern Druck unserer Atmosphäre gleichen Druck auch selbst eine Atmosphäre zu nennen. Drückt man also die Expansivkraft der Wasserdünste in solchen Atmosphären aus, so gibt die Fortsetzung jener Tafel

Temperatur	100°	125	150	175	200	225	250
Expansivkraft in Atmosphäre	1	2.28	4.61	8.56	15.02	24.38	38.27 u. f.

Das Vorhergehende gilt blos von dem Wasserdunste. Anders verhalten sich die Dünste anderer Körper, wie z. B. die aus der Schwefelsäure entstandenen Dünste, welche bei 10° Centig. noch nicht den fünften Theil der entsprechenden Expansivkraft des Wasserdruckes haben.

Für die verschiedenen Luftarten endlich gibt die folgende Tafel die Dichte und Expansivkraft derselben im Verhältniß zu der atmosphärischen Luft, wo die zweite Zahl der Tafel, wie man sieht, die reciproke der ersten ist.

aus dem Grunde mitgetheilt, daß sie uns zu der Kenntniß irgend eines neuen Naturgesetzes, zu einer eigentlich wissenschaftlichen

---

Luftarten.	Dichte.	Expansivkraft.
Atmosphärische Luft	1.000	1.000
Sauerstoffgas	1.026	0.257
Stickgas	0.976	1.024
Wasserstoffgas	0.073	1.366
Kohlensauergas	1.520	0.658
Ammoniakgas	0.597	1.676
Salzsauergas	1.247	0.802
Chlorgas	2.476	0.404

wo durch diese Zahlen der Dichte auch zugleich die Gewichte dieser Luftarten ausgedrückt werden.

Das oben gebrauchte Gramm (Gramme) wird gewöhnlich als die Einheit der Gewichte gebraucht, und man versteht darunter das Gewicht eines Kubikcentimeters destillirten Wassers bei der größten Dichte desselben, d. h. bei der Temperatur von nahe 4° Centigr. genommen. Nach Hallström's sehr genauen Experimenten ist das Gewicht eines Kubikcentimeters destillirten Wassers bei der Temperatur Zero gleich 0.9998018 Gramme und dieses letztgenannte Wasser wird auch zugleich für die Einheit der Dichtigkeiten angenommen. Auf diese Weise sagt man, daß die Dichte des Quecksilbers für dieselbe Temperatur Zero gleich 13.5975 ist, und diese Dichte nimmt für jeden Zuwachs der Temperatur von einem Grad des hunderttheiligen Thermometers um $\frac{1}{5550} = 0.0001802$ ab. — Die Dichte der atmosphärischen Luft für dieselbe Temperatur Zero, und für den Barometerstand von 76 Centimeter wurde zu Paris gleich $\frac{1}{769.4} = 0.0012997$ gefunden, und ihre Dichte nimmt, wie die aller andern Luftarten, für jeden Zuwachs der Temperatur von einem Grad, nach dem Vorhergehenden um $\frac{3}{8\,(100)} = 0.00375$ ab. Daraus folgt, daß das Verhältniß der Dichte des Quecksilbers zu der der atmosphärischen Luft gleich $(13.5975).(769.4)$ oder gleich 10462 ist.

Noch ist, um diese Vergleichungen vollständig zu geben, übrig zu sagen, wie das Gewicht der Körper von der Schwere an der Oberfläche der Erde abhängt. Nennt man für einen Ort dieser Oberfläche φ die geographische Breite, λ die Länge des Sekundenpendels und g die an diesem Orte beobachtete Schwere, so hat man (Poisson's Traité de Mécanique, II. Aufl. Vol. I. S. 367) den Ausdruck

$$\lambda = l\,(1 - a \operatorname{Cos} 2\varphi) \text{ und } g = \pi^2 . \lambda$$

Entdeckung geführt haben. Bemerken wir jedoch zum Schlusse dieses Gegenstandes, daß auch nicht einer der oben genannten Experimentatoren das hier in Rede stehende Gesetz durch Hülfe der Ausdehnung der Luft, als des eigentlichen Wärmemaaßes, gesucht hat, obschon dieses Verfahren die übrigen Theile der Thermotik, wie bereits erwähnt, auf einen früher ganz unbekannten Grad der Genauigkeit und der symmetrischen Einfachheit erhoben hatte.

Vierter Abschnitt.

Folgen der Lehre von der Evaporation. Erklärung des Regens, des Thaues und der Wolken.

Die auf Wärme und Feuchtigkeit sich beziehenden Entdeckungen des letzten Jahrhunderts wurden vorzüglich durch meteorologische Untersuchungen veranlaßt, und daher auch gleich anfangs auf Meteorologie angewendet. Demungeachtet ist in gar man-

---

wo $l = 0.993512$ Meter und $a = 0.002588$ und endlich π die bekannte Ludolph'sche Zahl ist, oder man hat

$$\lambda = 0.99608321 - 0.005142418 \text{ Cos}^2 \varphi \text{ und}$$
$$g = 9.8309457 - 0.05075362 \text{ Cos}^2 \varphi$$

wo λ und g in Metern ausgedrückt ist.

Nennt man nun P das Gewicht und M die Masse eines Körpers, d. h. die Anzahl der Elemente desselben, welche Elemente man bei allen Körpern gleich schwer voraussetzt, so hat man die Gleichung $P = g . M$, so daß also die Schwere g auch als das Gewicht desjenigen Körpers, dessen Masse man zur Einheit angenommen hat, betrachtet werden kann. Bezeichnet ferner V das Volum eines in allen seinen Theilen gleichartigen Körpers, so kann man statt der letzten Gleichung auch die folgende setzen $P = h . V$, wo dann h das Gewicht des Körpers unter der Einheit des Volums ausdrückt, welche Größe h das specifische Gewicht des Körpers genannt wird. Heißt endlich D die Masse des Körpers unter der Einheit des Volums, so wird D die Dichte des Körpers genannt, und man hat $M = DV$, also auch, da $M = \frac{P}{g}$ war, $P = gDV$, und diese letzte Gleichung zeigt, wie das Gewicht des Körpers von der Dichte und dem Volum desselben und von der Schwere auf der Oberfläche der Erde abhängt. L.

chen Theilen dieser Wissenschaft noch so viel Zweifel und Dunkelheit übrig geblieben, daß die gegenwärtige Form derselben gewiß nicht ihre letzte ist, und daß wir daher über den inneren Zusammenhang dieser Theile und über den Fortgang derselben bis zur Vollendung des Ganzen hier noch nicht sprechen können. Die Prinzipien der Atmologie hat man allerdings bisher sehr wohl verstanden, allein die Schwierigkeit, die Bedingungen zu unterscheiden, unter welchen sie in der Atmosphäre zu wirken pflegen, ist so groß, daß die eigentliche Theorie der meisten meteorologischen Erscheinungen noch heut zu Tage vermißt wird.

Wir haben bereits oben von der Art gesprochen, wie der durchsichtige Wasserdampf wieder zu seiner früheren Gestalt des sichtbaren Wassers zurückkehrt. Diese merkwürdige Verwandlung schließt die Probleme von der Entstehung und Fortbildung des Regens, des Thaues und selbst der Wolken in sich. Denn die Wolken sind nicht, wie man gewöhnlich glaubt, Dünste, sondern bloses Wasser, weil der eigentliche Dunst immer unsichtbar ist.

Viel Aufsehen machte die von Hutton i. J. 1784 aufgestellte Meinung, der zu zeigen suchte, daß, wenn zwei mit transparenten Dämpfen gesättigte Luftmassen unter verschiedenen Temperaturen unter einander gemischt werden, ein wässeriger Niederschlag in der Form von Regentropfen oder von Wolken stattfinde. Sein Beweis für diese Hypothese war folgender. — Die Temperatur des Gemisches, sagte er, ist das Mittel zwischen den beiden primitiven Temperaturen. Allein die Dampfkraft des Gemisches, die ebenfalls das Mittel der zwei ursprünglichen Dampfkräfte ist, muß größer sein, als die, welche jener mittleren Temperatur zukommt, weil nämlich diese Kraft schneller zunimmt, als die Temperatur [34]), und deshalb muß auch ein Theil des Wasserdampfes präcipitirt oder niedergeschlagen werden. — Diese Erklärung setzt aber, wie man sieht, den Dampf als ein „Sättigungsmittel" der Luft, voraus, und ist daher mit dem wahren, von Dalton aufgestellten Prinzip unverträglich.

Thau. — Das Prinzip einer „konstituirenden Temperatur," so wie das des „Thaupunktes" war, wie schon gesagt, den Me-

---

34) M. s. Edinburgh Transact. Vol. I. S. 42.

teorologen des letzten Jahrhunderts bereits bekannt. Allein wie unvollständig ihre Kenntniß dieser Gegenstände war, folgt schon daraus, daß sie so lange Zeit brauchten, jene Prinzipien zu entwickeln und auf die Erscheinungen in der Natur gehörig anzuwenden. Wir haben bereits oben von Wells gesprochen, dessen „Versuche über den Thau [35])“ die Aufmerksamkeit aller Physiker, besonders in England, in hohem Grade auf sich gezogen haben. „Ich wurde,“ sagt er im Eingange seiner Schrift, „durch einen sehr gemeinen Versuch im Herbste des Jahres 1784 „zu der Ansicht geführt, daß die Entstehung des Thaus von der „Erzeugung der Kälte begleitet sein müsse.“ Dies wurde auch bald durch die Versuche anderer Physiker bestätigt. „Allein als „ich einige Jahre später den Gegenstand näher untersuchte, fing „ich an, zu vermuthen, daß wir alle, Wilson, Six und ich selbst „darin gefehlt haben, daß wir die den Thau begleitende Kälte „als eine Wirkung des entstandenen Thaues betrachteten.“ — Er ging nun zu der entgegengesetzten Annahme über, daß nämlich die Kälte die Ursache des Thaues ist, und fand, daß er auf diese Weise von allen oft sehr merkwürdigen und selbst paradoxen Erscheinungen der Thaubildung Rechenschaft geben konnte, indem er nämlich voraussetzte, daß diejenigen Körper, auf welchen sich der Thau zeigt, zuvor durch die Radiation in heitern windstillen Nächten unter ihre gewöhnliche Temperatur gebracht oder abgekühlt worden sind. Ganz auf dieselbe Weise wird man auch die Bildung der dichten Nebel über Strömen und Seen erklären, wenn die Luft kühler ist, als das Wasser, was Davy noch i. J. 1819 als eine neue oder doch als eine bisher nur wenig bekannte Lehre vorgetragen hatte.

Hygrometer. — Wenn die atmosphärische Luft mehr oder weniger Dünste enthält, als sie nach ihrer Temperatur und unter ihrem Drucke festhalten kann, wird sie auch mehr oder weniger feucht, und das Instrument, welches diese verschiedenen Grade der Feuchtigkeit der Luft anzugeben im Stande ist, wird bekanntlich Hygrometer genannt. Die ersten Instrumente dieser Art waren bestimmt, die Feuchtigkeit der Luft durch ihre Expansion oder Kontraktion verschiedener organischen

---

35) Essay on Dew, Lond. 1814.

Substanzen zu messen. Auf diesem Wege kam Saussure zu seinem Haarhygrometer. Deluc brauchte statt dem Haare das Wallfischbein, und Dalton die Darmsaite. Allein alle diese Mittel führten zu keiner Stetigkeit in ihren Anzeigen, selbst unter denselben Verhältnissen. Auch war es nicht eben leicht, die eigentlich physische Bedeutung dieser Anzeigen zu ergründen. Der Thaupunkt aber, oder die konstituirende Temperatur der in der Luft befindlichen Dünste, war im Gegentheile ein gutbestimmtes und konstantes Datum, von dem man wohl mit Sicherheit ausgehen konnte. Leroi und Dalton gingen daher auch um das Jahr 1802 von diesem festen Punkte aus, um dadurch die Feuchtigkeit der atmosphärischen Luft zu bestimmen, indem sie die Kondensation derselben durch kaltes Wasser erzeugten. Endlich wurde im Jahre 1812 von Daniell [36]) ein Instrument konstruirt, wo die kondensirende Temperatur durch die Evaporation des Aethers auf eine für diese Untersuchungen sehr geeignete Weise hervorgebracht wurde. Dieses Instrument (Daniell's Hygrometer) setzt uns nun in den Stand, die Menge der in einer bestimmten Luftmasse enthaltenen Dünste für jeden gegebenen Augenblick mit Genauigkeit zu bestimmen.

Wolken. — Wenn der Wasserdampf, indem er unter die ihn konstituirende Temperatur herabsinkt, sichtbar wird, so zeigt er sich als ein feiner Wasserstaub. Die Dimensionen der Elemente dieses wässerigen Staubes sind ungemein klein, und verschiedene Physiker haben sie zu dem 20000, bis zu dem 100000sten Theil eines Zolls angegeben [37]). So kleine Körperchen würden, selbst wenn sie nicht hohl sind, nur sehr langsam abwärts fallen, und schon der geringste Widerstand würde hinreichen, sie in der Höhe schwebend zu erhalten, so daß es nicht erst nöthig sein wird, zu den bereits oben erwähnten hohlen Bläschen seine Zuflucht zu nehmen. In der That würde auch diese Hypothese die Erscheinung nicht einmal erklären, wenn wir nicht zugleich annehmen, daß diese hohle Bläschen wieder mit einer Luft gefüllt sind, die leichter ist, als die atmosphärische

---

36) M. s. Daniell, Météor. Ess. S. 142 und Manchest. Mém. Vol. V. S. 581.

37) M. s. Kämtz, Meteorologie I. S. 393.

Luft. Deshalb wird auch diese Hypothese, welcher noch Manche anhängen [38]) nur als eine Sache der Beobachtung vorgetragen, die durch optische oder andere Erscheinungen, nicht aber von dem Schweben der Wolken in der Luft abgeleitet wird. Dieses Schweben wird auch noch von verschiedenen Physikern auf verschiedene Weise erklärt. Gay Lussac [39]) nimmt dazu aufwärts gerichtete Luftströmungen zu Hülfe, und Fresnel sucht sie durch die in dem Inneren der Wolken herrschende Wärme und die daraus folgende Verdünnung derselben zu erklären.

Eintheilung der Wolken. — Eine eigentliche Klassifikation der Wolken wird nur dann Werth und Dauer haben, wenn sie auf atmologischem Grunde erbaut ist. Ein solches System hat Luke Howard [40]) im Jahre 1802 vorgeschlagen. Seine drei Hauptklassen sind der Cirrus, der Cumulus und der Stratus, was wir durch Federwolke, Haufenwolke und Schichtwolke wieder zu geben gesucht haben. Der Cirrus, in den höchsten Regionen der Atmosphäre, besteht aus parallelen oder verschlungenen Fasern, die nach allen Seiten hin wachsen. Der Cumulus hat eine halb kugelförmige Gestalt mit einer horizontalen Basis, und er wächst durch Anhäufung an seinen oberen Theilen. Der Stratus endlich wächst durch Ansatz von unten und breitet sich gewöhnlich längs dem Horizonte aus. Zwischen diesen drei Klassen hat Howard noch andere eingeschoben, die,

---

38) Kämtz, Meteorologie I, S. 393, und Robison II, S. 13.

39) Annales de chimie, XXV. 1822.

40) Howard (Luke), geb. den 28. Nov. 1772 zu London, wurde von seinem Vater, einem Weißblechfabrikanten, zur Handlung bestimmt, wendete sich aber bald mit Vorliebe zur Physik und Chemie. Im Jahre 1798 verband er sich mit dem berühmten Quäker William Allen zur Beförderung der neuen Lancaster'schen Schulen, und um dasselbe Jahr schrieb er auch seine Essay on the modification of clouds. Im Jahre 1805 errichtete er mit Jewell und Gipson zu Stratford in Essex ein Laboratorium zur Bereitung von Stoffen für Heilmittel und Fabriken. Seine ersten meteorologischen Berichte erschienen monatlich in dem von Alkin herausgegebenen Athenaeum, und später in dem Philosophical journal und in Thomson's Annals of philosophy. Noch haben wir von ihm die interessante und lehrreiche Schrift: The climate of London, II Vol. 1818—20. L.

wie schon ihr Name zeigt, auch ihrer Gestalt nach zwischen je zweien von jenen in der Mitte liegen, wie der Cirro-Stratus, Cirro-Cumulus, der Cumulo-Stratus, und der Nimbus oder die eigentliche Regenwolke. Diese Eintheilungen wurden allgemein durch ganz Europa angenommen, und durch sie sind auch alle Beschreibungen der in unserer Atmosphäre vorgehenden Prozesse allerdings deutlicher und bestimmter geworden, als dies früher möglich gewesen ist.

Ich übergehe hier absichtlich eine große Masse von Meinungen und Hypothesen, die man von verschiedenen Seiten als Naturgesetze aufstellen wollte, und deren in der Meteorologie mehr, als in irgend einer andern Wissenschaft, angetroffen werden. Die einfachste Betrachtung dieser Gegenstände zeigt uns schon, welch eine Last von Arbeit und von fortgesetzten, genau unter einander kombinirten Beobachtungen dazu gehört, diesen schwierigen Zweig unserer Erkenntniß der Natur wahrhaft zu fördern. Von dem Verhalten der höheren Theile der Atmosphäre können wir beinahe nichts gewisses sagen. Die Abnahme der Temperatur der Atmosphäre in größeren Höhen, eine der wichtigsten Erscheinungen der Meteorologie, wurde von den Physikern auf verschiedene Weisen zu erklären versucht. Dalton [41]) will sie aus dem Prinzip ableiten, „daß jedes Element „der Atmosphäre, in derselben senkrechten Luftsäule, auch dieselbe „Temperatur besitze," welches Prinzip er, für diesen Fall, als ein rein empirisches erklärt. Fourier aber ist der Meinung [42]), daß diese Erscheinung mehrere Ursachen habe, von denen die vorzüglichste in dem allmähligen Erlöschen der Wärmestrahlen durch die höheren Luftschichten besteht.

Indem wir daher die Anwendungen der thermotischen und atmologischen Prinzipien auf einzelne Fälle verlassen, wollen wir noch einen Blick auf die allgemeinen Ansichten werfen, zu welchen unsere Physiker durch das Vorhergehende geführt worden sind.

---

41) New System of chemie, 1807. Vol. I. S. 125.

42) M. s. Annales de chimie, 1818. Vol. VI. S. 286.

Viertes Kapitel.

Physische Theorie der Wärme.

Die physische Theorie der Wärme oder, mit der bereits oben von uns eingeführten Phraseologie zu reden, die physische Thermotik soll uns die Ursachen und den inneren Zusammenhang von den Erscheinungen und von den verschiedenen isolirten Gesetzen geben, die wir in den drei vorhergehenden Kapiteln dieses Buches oder die wir in der formellen Thermotik kennen gelernt haben. Wenn wir aber das, was bisher für die physische Thermotik geleistet worden ist, näher betrachten, so finden wir die Vollendung derselben sehr verschieden von derjenigen, welche uns früher die physische Astronomie, die Optik und die Akustik gewährt haben. In den drei letztgenannten Wissenschaften haben die Begründer einer bestimmten und wohlverstandenen Theorie sich zur Aufgabe gemacht, zu zeigen, daß diese Theorie wenigstens die vorzüglichsten Erscheinungen und Gesetze derselben genügend erklärt: in der Thermotik aber sehen wir nichts anderes, als mehr oder weniger gelungene Versuche, einzelne Theile des großen Ganzen zu erläutern. Kein Beispiel von einer Hypothese wird hier gefunden, die, zur Erklärung einer Klasse von Erscheinungen aufgestellt, wider Erwarten auch sofort eine andere, oft selbst mehrere Klassen von Phänomenen erklärt, so wie z. B. die Lehre von den Centralkräften auch die Präcession der Nachtgleichen, oder wie die Erklärung der Polarisation des Lichtes auch die doppelte Brechung desselben erläutert, oder wie die durch das Barometer erhaltene Kenntniß des Drucks unserer Atmosphäre uns auch zugleich die wahre Geschwindigkeit des Schalls in der Luft kennen gelernt hat. Solch ein glückliches Zusammentreffen ist der beste Bürge der Wahrheit, aber unsere Thermotik hat noch keine Kreditive dieser Art aufzuweisen.

Sieht man auf den Weg zurück, den diese Lehre bereits durchlaufen hat, so unterscheidet man nicht undeutlich zwei verschiedene Theile oder Zweige derselben. Der eine Zweig umfaßt die Konduktion und Radiation der Wärme, und wir haben ihn bereits oben durch die Benennung der eigentlichen Thermotik bezeichnet. Der andere aber bezieht sich auf die Lehre von der Wärme der Luft und der Dünste, und gehört daher zur Atmologie. In diesen beiden Beziehungen wollen wir daher auch hier die allgemeine physische Theorie der Wärme betrachten.

Theorie der Thermotik.

Die Erscheinungen der radiirenden Wärme lassen, wie die ähnlichen Phänomene des radiirenden Lichts, im Allgemeinen zwei verschiedene Erklärungen zu, von denen die eine auf der Emission der materiellen Wärmetheilchen, und die andere auf der Fortpflanzung durch Wellen beruht. Beide Ansichten haben ihre Anhänger gefunden. Die Freunde der oben (Kap. I, Absch. 2) erwähnten Wechseltheorie Prevost's werden wahrscheinlich die Radiation der Wärme als einen wahren materiellen Austausch betrachten. Für die Undulationstheorie im Gegentheile scheinen Rumford [1]) und andere durch die aus der Reibung entstehende

---

1) Rumford (Benjamin Tompson, Graf von), geb. 1752 zu Woburn in Nordamerika, von armen Aeltern. Den ersten Unterricht erhielt er von einem Geistlichen, seine spätere Ausbildung aber im Kollegium zu Cambridge in Nordamerika, wo er sich vorzüglich der Physik zuwendete. In seinem neunzehnten Jahre heirathete er eine reiche und angesehene Wittwe, und trat in den Unabhängigkeitskrieg zwischen Nordamerika und England auf des letztern Seite. Als er 1776 nach London kam, wurde er von Lord Sackville in Staatsdienst genommen und 1780 zum Staatssekretär erhoben. 1782 kam er als Eskadronchef wieder nach Nordamerika zurück. Da er hier seine Dienste nicht nach Wunsch anerkannt sah, ging er, nach dem Friedensschlusse, nach Europa zurück und ließ sich in München nieder, wo ihn Karl Theodor sehr wohlwollend in seine Dienste aufnahm, und wo er sich durch Aufhebung der Bettelei, durch Anlegung der Manufakturen, Einführung der Sparheizungen, der Kartoffel und der nach ihm benannten Suppen für die Armen bleibende Verdienste um das Land erwarb. Der Kurfürst ernannte ihn zum Grafen und Generallieutenant. Im Jahre 1799 ging er wieder nach London zurück, wo er die neue Lehranstalt (Royal Institution) für Oekonomen, Künstler und Handwerker gründen half und sich mit ausgedehnten Versuchen über die Wärme beschäftigte, für die er auch zwei namhafte Preise gründete. Da indeß Karl Theodor gestorben war, ging er 1803 nach Paris, wo er sich, schon seit langer Zeit

Wärme gestimmt worden zu sein. Auch Leslie neigt sich in einem großen Theile seiner Schrift [2]) einer Art von Wellenlehre zu, aber man sieht nicht wohl ein, worin sein undulirendes Medium bestehen soll, oder vielmehr seine eigenen Ansichten selbst scheinen, im Verlaufe seines Werkes, wellenförmig auf und ab zu wogen. So stellt er (S. 31) die Frage, worin denn eigentlich sein „calorific and frigorific fluid" bestehe, und nachdem er seine Meinung eine Weile durch hingehalten hat, antwortet er mit dem Ausdrucke; Quod petis, hic est: es ist nämlich blos die uns „überall umgebende Luft." — Allein nachdem er S. 150 neuerdings dieselbe Frage vorgelegt hat, beantwortet er sie S. 188 mit den Worten: „Es ist dieselbe subtile Materie, die nach ihren „verschiedenen Modifikationen bald Licht, bald Wärme erzeugt." Ein Mann, der zwischen zwei entgegengesetzten Meinungen auf und nieder schwankt, von denen die eine offenbar falsch, und die andere mit großen Dunkelheiten bedeckt ist, die er aufzuhellen nicht einmal den Versuch macht, ein solcher Mann hat wenig Recht, gegen die „launigen Grillen von einer gewissen intangiblen Aura [3])" aufzutreten, alle anderen Hypothesen, außer der seinen, mit den „occulten Quantitäten der alten Schulen" in eine Klasse zu werfen, und die „Vorurtheile" seiner Gegner mit den Dogmen derjenigen zu vermengen, welche die Fuga vacui

---

Wittwer, mit der Wittwe der berühmten Lavoisier verheirathete. Hier starb er auch den 21. August 1814 im 61sten Jahre seines Lebens. Sein Eloge von Cuvier findet man in den Mém. de l'Acad. für 1815. Rumford ist der Erfinder des Calorimeters und des Thermoscops, von welchen Instrumenten jenes die durch Verbrennung erzeugte Wärmemenge, und dieses die kleinsten Veränderungen der Wärme überhaupt zu messen bestimmt ist. Auch unsere Lampen verdanken ihm bedeutende Verbesserungen. Mehrere seiner zahlreichen Aufsätze über die verschiedenartigsten Gegenstände sind gesammelt in den Essays politiques, économiques etc. Génève 1798 in II Vol., denen noch zwei andere Bände 1799 und 1806 folgten. Andere Aufsätze sind in der Biblioth. britannique oder in den Philos. Transactions zerstreut. Noch erwähnen wir seiner Mémoires sur la chaleur, Par. 1804; Recherches sur les bois et le charbon, ibid. 1812, und Rech. sur la chaleur developpée par la combustion, ib. 1812.
L.

2) Leslie's experimental inquiry into the nature of heat, 1804.

3) Leslie's Exper. inquiry, S. 47.

gegen Toricelli in Schutz nehmen wollen. Rhetorische Künste solcher Art können mit demselben Rechte und mit derselben Leichtigkeit für die gute, wie für die schlechte Sache gebraucht werden.

Indeß blieb bis auf die neuesten Zeiten die Theorie eines materiellen Wärmestoffes und die Fortpflanzung desselben durch eigentliche Emission die am meisten begünstigte bei allen denen, die sich mit der mathematischen Thermotik beschäftigten. Die Gesetze der Konduktion in ihrer letzten analytischen Gestalt waren ebenfalls, wie bereits gesagt, mit den Gesetzen der Bewegung der Flüssigkeiten beinahe identisch. Selbst Fourier's Prinzip, daß die Radiation von den Punkten unter der Oberfläche der Körper ausgehe, schien auch die Ansicht einer materiellen Emission der Wärme in hohem Grade zu begünstigen.

Diesem gemäß haben auch einige der ausgezeichnetsten Analytiker Frankreichs diese Hypothese eines materiellen Wärmestoffes angenommen und auszubilden gesucht. Als einen Zusatz zu Fourier's Lehre von der Extra-Radiation der kleinsten Theilchen der Körper, fügten Laplace und Poisson noch die Hypothese der Intra-Radiation dieser Elemente hinzu, um dadurch die Art, wie die Konduktion der Wärme wirkt, zu erklären. Sie behaupteten nämlich, daß die Elemente der Körper als discret oder als von einander getrennt, betrachtet werden müssen, so daß sie in gewissen Entfernungen (in distans) auf einander wirken, wo dann die Konduktion der Wärme von einem Theile des Körpers zu dem anderen durch die Radiation zwischen allen benachbarten Elementen vor sich gehen soll. Ohne diese Hypothese, sagten sie, können die Differentialgleichungen, welche die Bedingungen der Konduktion ausdrücken, nicht homogen gemacht werden. Allein diese letzte Ansicht beruht, meines Bedünkens, auf einem Fehler, wie Fourier dadurch gezeigt hat, daß er sich von demselben unabhängig machte. Die Nothwendigkeit der Hypothese einer discreten Wirkung der Elemente wurde von Poisson für alle Fälle behauptet, und er erklärte die Capillar-Attraktion von Laplace aus diesem Grunde für unvollständig, wie Laplace dasselbe mit Fourier's Untersuchungen der Wärme gethan hat. In der That aber kann diese Hypothese von discreten Molecülen der Körper nicht als eine physische Wahrheit angesehen werden, da das anfangs angenommene Gesetz der

Moleculäraction, nachdem es im Verlaufe der Rechnung seinem Zwecke entsprochen hat, in dem Resultate derselben wieder verschwindet, so daß das Endresultat dasselbe bleibt, welches Gesetz der Moleculärabstände man auch anfangs angenommen hat. Das definitive, die ganze Wirkung ausdrückende Integral beweist eben so wenig, daß diese Totalwirkung aus den Differentialgrößen, durch deren Hülfe sie gefunden wurde, entstanden ist, als das Verfahren, durch welches man das Gewicht eines Körpers durch Integration findet, beweist, daß dieses Totalgewicht des Körpers aus den Differentialgewichten der Elemente desselben hervorgegangen ist. Wenn wir also auch die Emissionstheorie der Wärme annehmen wollten, so sind wir dadurch noch keineswegs gebunden, auch noch mit ihr zugleich die Hypothese der discreten Elemente der Körper anzunehmen.

Allein die erst neuerliche Entdeckung der Refraktion, der Polarisation und der Depolarisation der Wärme hat die theoretische Ansicht dieses Gegenstandes völlig geändert, und durch sie ist jene ganze Emissionstheorie mit einem Schlage beinahe gänzlich vernichtet worden. Seit wir wissen, daß die Wärme, gleich dem Lichte, gebrochen und zurückgeworfen wird, können wir nicht umhin, diese Analogie noch weiter zu verfolgen, und zu schließen, daß der eigentliche Mechanismus des Vorganges in beiden Fällen, für die Wärme wie für das Licht, derselbe ist. Setzt man aber zu diesen, beiden Fällen gemeinsamen Eigenschaften noch die der Polarisation, so wird es uns beinahe unmöglich, nicht anzunehmen, daß auch die Wärme, gleich dem Lichte, in transversalen Vibrationen bestehe. Welcher verständige Physiker könnte auch wohl jetzt noch versucht sein, eine Erklärung der erwähnten Erscheinungen der Wärme in vermeintlichen Polen der aus den Körpern emittirten Theilchen des Wärmestoffes zu suchen, jetzt, wo nach unseren in der Optik gemachten Erfahrungen die gänzliche Unzulässigkeit einer solchen Maschinerie vor Jedermanns Auge offen zu Tage liegt.

Wenn aber die Wärme in der That nur in Vibrationen besteht, woher kommt dann die ganz außerordentliche Aehnlichkeit ihrer Fortpflanzung im Raume mit dem Fortströmen einer eigentlich materiellen Substanz? Wie soll man sich erklären, daß bei der Konduktion der Wärme die Vibrationen der kleinsten Theilchen des Körpers von dem einen zuerst erhitzten Theile desselben zu dem anderen so ungemein langsam übergehen, während die Vibrationen des Schalls und des Lichtes von dem Punkte ihres Entstehens zu den anderen, selbst sehr entfernten Punkten des Raumes mit einer so überraschenden Geschwindigkeit forteilen? — Diese Fragen wurden in dem Jahre 1834 von Ampere [4]) auf eine sehr klare und befriedigende Weise beantwortet [5]), und obschon diese Antwort nur eine Hypothese ist, so scheint sie doch sehr annehmbar.

Er setzt nämlich voraus, daß alle Körper aus soliden Elementen bestehen, die man als in einem sehr dünnen Aether in gewissen Entfernungen von einander geordnet annehmen kann, und daß die Vibrationen dieser Elemente, indem sie die Vibrationen des Aethers erzeugen und zugleich von diesen wieder in Bewegung gesetzt werden, die Wärme hervorbringen. Nach dieser Hypothese erklärt er die Erscheinungen der Konduktion auf folgende Weise. — Wenn die Elemente eines Körpers z. B. einer Metallstange an ihrem einen Ende erhitzt und daher in den vibrirenden Zustand versetzt werden, während die anderen von dem Feuer weiter entfernten Elemente der Stange noch in Ruhe bleiben, so pflanzen die vibrirenden Elemente an jenem Ende der Stange ihre Vibrationen in dem Aether fort; da-

---

4) In Ampere's „Bemerkungen über Licht und Wärme, als Resultate der undulatorischen Bewegung betrachtet," in der Bibliothèque universelle de Génève, Vol. 49. S. 225, und Annales de chimie, Vol. 58. S. 434.

5) Ampère (Andreas Maria), geb. den 22. Januar 1775 zu Lyon, Professor an der polytechnischen Schule in Paris, einer der vorzüglichsten Physiker und Mathematiker Frankreichs. Er ist besonders durch seine theoretische und experimentale Bearbeitung des Electromagnetismus, der durch Oersted's Fundamentalentdeckung zuerst angeregt wurde, berühmt geworden. Sein vorzüglichstes Werk darüber ist die Théorie des phénomènes électrodynamiques, Paris 1826. Auch haben wir von ihm mehrere sehr schätzbare mathematische Aufsätze über die Integration der partiellen Differentialgleichungen, über die Vibrationen des Lichts in doppelt brechenden Körpern u. s., die man in den Annales de chimie et physique, in dem Journal de l'école polytechnique und in Gergonne's Annales des mathematiques findet. Sein Sohn (Jean Jaques) hat sich besonders durch sein Studium der deutschen Sprache und Literatur in Frankreich rühmlich bekannt gemacht. L.

durch aber entsteht noch keine Wärme oder doch nur so weit, als durch diese Vibrationen des Aethers auch die benachbarten ruhenden Elemente der Stange ebenfalls in Vibration versetzt werden. Da jedoch der Aether eine viel geringere Dichte hat, als jene Elemente, so können auch diese nächsten Elemente nur durch sehr viele wiederholte Impulse jener auf einander folgenden Vibrationen des Aethers in Bewegung gesetzt werden, und erst wenn sie dies sind, können sie diese durch den Aether erhaltenen Vibrationen wieder auf dieselbe Weise, wie jene ersten Elemente, den nächstliegenden kleinsten Theilen des Körpers mittheilen. „So findet man," setzt Ampere hinzu, „für die Vertheilung der Wärme „durch Konduktion dieselben Gleichungen, die Fourier gefunden „hat, indem er von der Hypothese ausging, daß die konducirte „Wärme der Differenz der Temperaturen proportional ist."

Theorie der Atmologie.

Alle Hypothesen über die Relationen, die zwischen der Wärme und der Luft aufgestellt werden können, müssen sich in letzter Instanz auf die Kräfte beziehen, durch welche die Komposition der Körper erzeugt wird, und von diesen läßt sich hier, wo wir noch keine Uebersicht unserer chemischen Kenntnisse gegeben haben, nicht wohl sprechen. Doch wollen wir einige Worte über die Hypothese von den atmologischen Gesetzen der Wärme mittheilen, die Laplace in dem zwölften Buche seiner Mécanique céleste i. J. 1823 aufgestellt hat.

Bemerken wir zuerst, daß die Hauptgesetze, denen eine solche Hypothese entsprechen soll, die folgenden sind:

1) Das Gesetz von Boyle und Mariotte, daß die Elasticität der Luft sich wie die Dichte derselben verhält.
2) Das Gesetz von Dalton und Gay-Lussac, daß alle Luftarten durch die Wärme gleichmäßig ausgedehnt werden.
3) Ferner die Zunahme der Wärme der Luft durch Kompression.
4) Dalton's Prinzip von der mechanischen Mischung der Luftarten.
5) Die Ausdehnung der festen und flüssigen Körper durch die Wärme, und endlich
6) Die Veränderung der Konsistenz der Körper durch die Wärme und die Lehre von der latenten Wärme.

Nebst diesen Gesetzen gibt es auch mehrere andere, von denen noch nicht erwiesen ist, ob sie schon in den vorhergehenden enthalten sind, wie z. B. die Abnahme der Temperatur der Luft in höheren Regionen unter der Oberfläche der Erde.

Die erwähnte Hypothese Laplace's [6]) ist aber diese. — Die Körper bestehen aus Elementen, deren jedes durch Attraktion eine Quantität Wärmestoff um sich versammelt. Diese Elemente der Körper ziehen sich unter einander, so wie auch den Wärmestoff an, die Elemente des Wärmestoffes aber stoßen einander gegenseitig ab. Bei den Gasen sind die Elemente dieser Substanzen so weit von einander entfernt, daß ihre gegenseitige Anziehung unmerklich wird, daher diese Substanzen, in Folge der gegenseitigen Repulsion der Elemente des Wärmestoffs, sich immer auszudehnen suchen. Nach Laplace ist dieser Wärmestoff rings um die Elemente der Gase in einer beständigen Radiation begriffen, und die Dichtigkeit dieser inneren Radiation bestimmt die Temperatur der Gase. Er zeigt, daß, dieser Voraussetzung zufolge, die Elasticität der Luft ihrer Dichte und Temperatur proportional sein muß, woraus denn die drei ersten der oben angeführten Gesetze folgen. — Dieselben Voraussetzungen führen auch zu Dalton's Prinzip der mechanischen Mischung, obschon ohne Dalton's Vorstellungsart, da, nach Laplace's Behauptung, für jede gegenseitige Wirkung zweier Gase, der Gesammtdruck der Mischung immer gleich der Summe der einzelnen Pressionen der Gase vor ihrer Mischung gleich sein soll [7]). Die Ausdehnung der Körper durch die Wärme und die Veränderungen ihrer Konsistenz erklärt er durch die Voraussetzung [8]), daß bei den festen Körpern die gegenseitige Attraktion der Elemente dieser Körper die größte Kraft ist, während bei den flüssigen die Attraktion der Elemente des Wärmestoffes, und bei den luftförmigen Körpern endlich die Repulsion dieser Elemente des Wärmestoffes jenen ersten Rang behauptet. — Allein die Lehre von der latenten Wärme fordert eine eigene Modifikation dieser Hypothese [9]), und Laplace war gezwungen, die Existenz einer

6) Laplace, Méc. céleste, Vol. V. S. 89.
7) Méc. céleste, Vol. V. S. 110.
8) Ibid. S. 92.
9) Ibid. S. 93.

solchen latenten Wärme, unabhängig von seiner Hypothese, in seine Rechnungen aufzunehmen. Auch ist bisher durch diese Hypothese keine andere neue hieher gehörende Erscheinung erklärt worden, so daß der vorzüglichste Prüfstein der inneren Wahrheit dieser Lehre noch immer vermißt wird.

Auch muß bemerkt werden, daß Laplace's Hypothese ganz auf der Materialität des Wärmestoffes erbaut ist, und mit der Vibrationstheorie nichts gemein hat; denn es ist, wie Ampere bemerkt, „für sich klar, daß es, wenn man die Wärme in Vi„brationen bestehend annimmt, ein Widerspruch ist, der Wärme „(oder dem Wärmestoff) eine repulsive Kraft der Elemente zu „ertheilen, welche die Ursache der Vibration sein soll.“

In dem ungünstigsten Lichte aber erscheint diese Theorie von Laplace, wenn man auf sie anwendet, was oben, in der Optik, als das charakteristische Kennzeichen einer wahren Lehre aufgestellt worden ist, daß nämlich die für irgend eine Klasse von Erscheinungen aufgestellte Hypothese auch zugleich andere Klassen von Phänomenen, die jenen anfangs ganz fremd erschienen, mit ihrem Lichte erhellt und aufklärt. So wurde z. B. selbst in der Thermotik das Gesetz, daß die Intensität der Radiation dem Sinus des Winkels des Strahls mit der Oberfläche proportional ist, auf direktem Wege, durch Experimente über Radiation, gefunden; aber nachdem es gefunden war, zeigte sich sofort, daß durch dasselbe Gesetz auch das Bestreben der benachbarten Körper zur Gleichstellung ihrer Temperatur erklärt werde, und diese Entdeckung leitete uns wieder zu dem noch höheren Satze, daß die Radiation der Wärme auch aus den inneren, zunächst unter der Oberfläche der Körper liegenden Elementen derselben hervorgehe. — Allein in der von Laplace uns überlieferten Hypothese findet sich keine jener unerwarteten Bestätigungen, keine jener neuen Wahrheiten, und obschon sie einige der vorzüglichsten Gesetze richtig darstellt, so sind doch seine Voraussetzungen nur größtentheils von diesen schon bekannten Gesetzen selbst entlehnt. So zieht er z. B. aus seiner Annahme, daß die Ausdehnung der Gase aus der Repulsion der Elemente des Wärmestoffs entsteht, den Schluß, daß der Druck bei jedem Gase dem Quadrate der Dichte und der Quantität des in ihm enthaltenen Wärmestoffs proportional ist [10]). Aus der Annahme aber, daß

10) Ibid. S. 107 die Gleichung $P = 2\pi h \kappa \varrho^2 c^2$.

die Temperatur in der inneren Radiation besteht, schließt er, daß diese Temperatur der ersten Potenz der Dichte und dem Quadrate der Quantität des Wärmestoffs proportional ist [11]), und daraus erhält er dann das Gesetz von Boyle und Mariotte, so wie auch jenes von Dalton und Gay-Lussac. Allein diese Ansicht des Gegenstandes erfordert wieder andere Voraussetzungen, wenn er zu der Lehre von der latenten Wärme gelangt, wo er dann auch, diese Wärme darzustellen, eine neue Größe [12]) in die Rechnung einführen muß. Allein diese Größe hat keinen weiteren Einfluß auf seine Rechnungen, wie er denn auch seine Schlüsse auf keines von jenen Problemen anwendet, in welchen die latente Wärme vorzüglich beachtet wird.

Ohne daher hier über den Werth dieser Hypothese entscheiden zu wollen, dürfen wir doch sagen, daß ihr jene hervorstehenden charakteristischen Züge fehlen, welche wir in allen jenen großen Theorien wiedergefunden haben, die jetzt allgemein als wahre und über allen Zweifel erhabene Lehren betrachtet werden.

Beschluß.

Bemerken wir jedoch, daß die Wärme noch andere Stellungen und Wirkungen unter den übrigen Erscheinungen in der Natur besitzt, auf die man, wenn sie auf numerische Gesetze zurückgeführt werden sollen, bei der Errichtung einer wahren Theorie der Thermotik Rücksicht nehmen muß. Die Chemie wird uns wahrscheinlich in der Folge noch viele dieser Kombinationen an die Hand geben: die bereits bekannten werden wir in unserem vierzehnten Buche näher zu betrachten Gelegenheit erhalten. Doch kann man auch hier schon, als solche, das Gesetz von de la Rive und Marcet erwähnen, daß die specifische Wärme aller Gase dieselbe ist [13]), oder das von Dulong und Petit, daß die einzelnen Atome aller einfachen Körper dieselbe Wärmecapacität haben [14]). Obschon wir bisher von den verschiedenen Verhältnissen der Gase und von der Bedeutung der Atome im

---

11) Ibid. S. 108, die Gleichung $q' \Pi(a) = \varrho c^2$.

12) Ibid. S. 113, nämlich die Größe i.

13) M. s. Annales de Chimie XXXV von d. J. 1827.

14) Ibid. X. S. 397.

chemischen Sinne noch nicht gesprochen haben, so wird man doch leicht einsehen, daß Sätze solcher Art sehr allgemein und wichtig sein können.

Auf diese Weise ist demnach die Thermotik, so unvollkommen sie jetzt auch noch sein mag, doch ein höchst instruktiver Theil unserer Uebersicht der gesammten Naturwissenschaft; sie ist eine von den Hauptangeln, auf welchen sich das Thor zu jenen großen Kammern dreht, zu denen unsere Erkenntniß noch vordringen soll, und die uns bisher ganz verschlossen und unbekannt geblieben sind. Denn, auf der einen Seite steht die Thermotik in enger Verwandtschaft und Abhängigkeit von zwei der vorzüglichsten und vollständigsten unserer Wissenschaften, von der Mechanik und Optik; und von der anderen hängt sie mit Erscheinungen und Gesetzen ganz anderer Natur, mit denen der Chemie, innig zusammen, mit Erscheinungen und Gesetzen, die uns in eine neue Welt von Ideen und Relationen führen, wo klare und inhaltsvolle allgemeine Prinzipien, noch viel schwerer, als in den bisher betrachteten Wissenschaften, zu erhalten sind, und mit welchen auch der noch künftige Fortgang der menschlichen Erkenntniß, wie es scheint, noch viel inniger verbunden sein wird.

Ehe wir aber zu diesen den vorhergehenden ganz fremden Betrachtungen übergehen, müssen wir zuerst ein anderes Feld durchwandern, das zwischen jenen und den bisher betretenen gleichsam in der Mitte liegt, das Feld der mechanico-chemischen Wissenschaften nämlich, mit welcher Benennung wir der Kürze wegen die Lehre von dem Magnetismus, der Electricität und dem Galvanismus bezeichnen wollen.

Ende des zweiten Theiles.

Inhalt des zweiten Theiles.

Sechstes Buch. Geschichte der mechanischen Wissenschaften.

Seite

Einleitung 5

Erstes Kapitel. Eingang in die Epoche Galilei's.

Erster Abschnitt. Eingang in die Wissenschaft der Statik 6

Zweiter Abschnitt. Wiedererweckung des wissenschaftlichen Begriffs des Druckes. Stevinus. Gleichgewicht schief gerichteter Kräfte 13

Dritter Abschnitt. Eingang in die Wissenschaft der Dynamik. Versuche über die ersten Gesetze der Bewegung 18

Zweites Kapitel. Induktive Epoche Galilei's. Entdeckung der Gesetze der Bewegung in einfachen Fällen.

Erster Abschnitt. Aufstellung des ersten Gesetzes der Bewegung oder des Gesetzes der Trägheit 23

Zweiter Abschnitt. Bildung und Anwendung des Begriffs einer accelerirenden Kraft. Gesetz des freien Falls 32

Dritter Abschnitt. Aufstellung des zweiten Gesetzes der Bewegung; von der Zerlegung der Kräfte. Bewegung in krummen Linien 44

Vierter Abschnitt. Generalisation des Gesetzes für das Gleichgewicht. Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten 46

Fünfter Abschnitt. Versuche über das dritte Gesetz der Bewegung. Begriff vom Moment 51

Drittes Kapitel. Folgen der Epoche Galilei's. Periode der Verifikation und der Deduktion 60

Seite

Viertes Kapitel. Entdeckung des mechanischen Prinzips der Flüssigkeiten.

Erster Abschnitt. Wiederentdeckung des Gesetzes für das Gleichgewicht der Flüssigkeiten 69
Zweiter Abschnitt. Entdeckung der Gesetze der Bewegung der Flüssigkeiten 75

Fünftes Kapitel. Genèralisation des Prinzips der Mechanik.

Erster Abschnitt. Generalisation des zweiten Gesetzes der Bewegung. Centrale Kräfte 78
Zweiter Abschnitt. Generalisation des dritten Gesetzes der Bewegung. Mittelpunkt des Schwungs. Huyghens 85

Sechstes Kapitel. Folge der Generalisation des Prinzips der Bewegung. Periode der mathematischen Deduktion. Analytische Mechanik 96

1) Geometrische Mechanik. Newton u. a. 97
2) Analytische Mechanik. Euler u. a. 98
3) Mechanische Probleme 98
4) Prinzip d'Alemberts 100
5) Bewegung in widerstehenden Mitteln. Ballistik 101
6) Stellung der Mathematiker 103
7) Problem der drei Körper 104
8) Mechanik des Himmels. Laplace 109
9) Präcession. Bewegung rigider Körper 110
10) Schwingende Saiten 113
11) Gleichgewicht der Flüssigkeiten; Gestalt der Erde; Ebbe und Fluth des Meeres 118
12) Haarröhrchenkraft 120
13) Bewegung der Flüssigkeiten 120
14) Verschiedene allgemeine mechanische Prinzipien 124
15) Analytische Allgemeinheit. Verbindung der Statik und Dynamik 126

Siebentes Buch. Geschichte der physischen Astronomie.

Erstes Kapitel. Eingang zur induktiven Epoche Newton's. 131

Zweites Kapitel. Induktive Epoche Newton's. Entdeckung der allgemeinen Gravitation 158

Seite

1) Kraft der Sonne auf verschiedene Planeten 165
2) Kraft der Sonne auf verschiedene Punkte derselben Planetenbahn 167
3) Schwere des Mondes gegen die Erde 169
4) Gegenseitige Attraktion aller himmlischen Körper 178
5) Gegenseitige Attraktion der Elemente einer Masse 187
Charakter Newton's 197

Drittes Kapitel. Folge der Epoche Newton's. Aufnahme der Newton'schen Theorie.

Erster Abschnitt. Allgemeine Bemerkungen 201
Zweiter Abschnitt. Aufnahme der Newton'schen Theorie in England 203
Dritter Abschnitt. Aufnahme der Newton'schen Theorie im Ausland 212

Viertes Kapitel. Fortsetzung der Folge der Epoche Newton's. Verifikation und Vervollständigung von Newton's Theorie.

Erster Abschnitt. Eintheilung des Gegenstandes 223
Zweiter Abschnitt. Anwendung dieser Theorie auf den Mond 224
Dritter Abschnitt. Anwendung auf die Planeten, die Satelliten und die Erde 233
Vierter Abschnitt. Anwendung auf die säkulären Störungen 243
Fünfter Abschnitt. Anwendung auf die neuen Planeten 250
Sechster Abschnitt. — — — die Kometen 257
Siebenter Abschnitt. — — — die Bestimmung der Gestalt der Erde 261
Achter Abschnitt. Bestätigung der Theorie Newton's durch Versuche 266
Neunter Abschnitt. Anwendung dieser Theorie auf die Ebbe und Fluth 268

Fünftes Kapitel. Nachfolgende Entdeckungen zu Newton's Theorie.

Erster Abschnitt. Astronomische Refraktion 276
Zweiter Abschnitt. Entdeckung der Geschwindigkeit des Lichts. Römer 281
Dritter Abschnitt. Entdeckung der Aberration. Bradley 284

Seite
Vierter Abschnitt. Entdeckung der Nutation. Bradley 286
Fünfter Abschnitt. Entdeckung des Gesetzes der Doppelsterne. Beide Herschel 288
Sechstes Kapitel Instrumente und andere Hülfsmittel der Astronomie in Newton's Periode.
Erster Abschnitt. Instrumente 293
Zweiter Abschnitt. Sternwarten 304
Dritter Abschnitt. Gesellschaften der Wissenschaften 308
Vierter Abschnitt. Beschützer der Astronomie 309
Fünfter Abschnitt. Astronomische Expeditionen 311
Sechster Abschnitt. Gegenwärtiger Zustand der Astronomie 314

Achtes Buch. Geschichte der Akustik.

Einleitung 321
Erstes Kapitel. Eingang zu den Auflösungen der akustischen Probleme 322
Zweites Kapitel. Schwingende Saiten 327
Drittes Kapitel. Fortpflanzung des Schalls 334
Viertes Kapitel. Verschiedenheit der Töne derselben Saite 341
Fünftes Kapitel. Töne der Blasinstrumente 344
Sechstes Kapitel. Allgemeine Vibrationen der Körper 348

Neuntes Buch. Geschichte der Optik.

Einleitung 361

Formelle Optik.

Erstes Kapitel. Eingang. Lichtstrahlen und Gesetze der Reflexion 364
Zweites Kapitel. Gesetz der Refraktion 365
Drittes Kapitel. Gesetz der Dispersion bei der Brechung des Lichts 370
Viertes Kapitel. Achromatismus der Fernröhre 380
Fünftes Kapitel. Gesetze der doppelten Refraktion 383
Sechstes Kapitel. Gesetze der Polarisation 390
Siebentes Kapitel. Farben der dünnen Platten 397
Achtes Kapitel. Versuche zur Entdeckung der Gesetze anderer Lichterscheinungen 400

Seite

Neuntes Kapitel. Gesetze der Erscheinungen des dipolarisirten Lichtes 403
Erläuternde Zusätze 408

Physische Optik.

Zehntes Kapitel. Eingang zu der Epoche von Young und Fresnel 420
Eilftes Kapitel. Epoche von Young und Fresnel.
Erster Abschnitt. Einleitung 431
Zweiter Abschnitt. Farben dünner Platten und Schatten, in der Undulationstheorie 436
Dritter Abschnitt. Erklärung der doppelten Refraktion durch die Undulationstheorie 443
Vierter Abschnitt. Erklärung der Polarisation in der Undulationstheorie 448
Fünfter Abschnitt. Erklärung der Dipolarisation in der Undulationstheorie 457
Zwölftes Kapitel. Folgen der Epoche von Young und Fresnel. Aufnahme der Undulationstheorie 462
Dreizehntes Kapitel. Bestätigung und Erweiterung der Undulationstheorie 478
1) Doppelte Refraktion des gepreßten Glases 479
2) Cirkuläre Polarisation 480
3) Elliptische Polarisation im Quarz 483
4) Differentialgleichungen der elliptischen Polarisation 484
5) Elliptische Pollarisation der Metalle 485
6) Newton's Ringe 486
7) Konische Refraktion 486
8) Fransen der Schatten 487
9) Einwürfe gegen diese Theorie 488
10) Dispersion, nach der Undulationstheorie 489
11) Beschluß 492

Zehntes Buch. Geschichte der Wärmelehre und der Meteorologie.

Einleitung 499
Erstes Kapitel. Konduktion und Radiation der Wärme.
Erster Abschnitt. Einleitung zur Konduktion 502
Zweiter Abschnitt. — — — Radiation 506

Seite
Dritter Abschnitt. Verifikation dieser beiden Doktrinen 510
Vierter Abschnitt. Anwendung derselben auf Geologie und Kosmologie 511
1) Wirkung der Sonnenwärme auf die Erde 512
2) Klimate 514
3) Temperatur des Inneren der Erde 515
4) Temperatur des Weltraums 517
Fünfter Abschnitt. Korrektion der Newton'schen Theorie der Abkühlung 519
Sechster Abschnitt. Andere Gesetze der Radiation 522
Siebenter Abschnitt. Fourier's Theorie der radiirenden Wärme 523
Achter Abschnitt. Entdeckung der Polarisation der Wärme 526

Zweites Kapitel. Wirkungen der Wärme in den Körpern.
Erster Abschnitt. Ausdehnung des Glases. Dalton und Gay-Lussac 528
Zweiter Abschnitt Specifische Wärme, Aenderung des Zusammenhangs 530
Dritter Abschnitt. Latente Wärme 532

Drittes Kapitel. Luft und Dämpfe.
Erster Abschnitt. Einleitung zu Dalton's Theorie der Verdünstung 536
Zweiter Abschnitt. Dalton's Theorie der Verdünstung ... 549
Dritter Abschnitt. Gesetze der elastischen Kraft des Dampfes 553
Vierter Abschnitt. Folgen der Evaporations-Theorie. Regen. Thau. Wolken 562

Viertes Kapitel. Physische Theorie der Wärme.
Thermotische Theorie 569
Atmologische Theorie 574
Beschluß 577