

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Geschichte der inductiven Wissenschaften, der Astronomie, Physik, Mechanik, Chemie, Geologie

von der frühesten bis zu unserer Zeit

Whewell, William

Stuttgart, 1840

Neuntes Buch. Geschichte der Optik, der formellen sowohl, als auch der
physischen

Neuntes Buch.

**Geschichte der Optik, der formellen
sowohl, als auch der physischen.**

Ω Διος ὑψιμελαθρον εχων κρατος αιεν ατειρες
 Αστρων, Ἡελιστε, Σεληναιηστε μερισμα
 Πανδαματωρ, πυριπνε, πασιν ζωοισιν ενανσμα
 Υφιφανης ΑΙΘΗΡ, κοσμος 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 Welt-
 feim.

Orpheus, Hymn.

E i n l e i t u n g.

Formelle und physische Optik.

Die Geschichte der Optik, als Wissenschaft, umständlich beschreiben, würde sehr bändereich sein. Unsere Geschichte aber soll dies nicht, da unsere Absicht nur ist, die eigentliche Natur dieser Wissenschaft und die Bedingungen ihres allmählichen 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 allmählichen 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 kommt 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 Geseze 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 Vitruv¹⁾ 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 konstituiert 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. Seneca¹⁾ sagt, daß ein Ruder im Wasser gebrochen erscheint, und daß Äpfel, 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 Äpfel 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. — Aristoteles²⁾ 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 Einfallsloten 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 Werk³⁾ findet man eine ziemlich klare Auseinandersetzung der Wirkung eines konvergen 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 Glasugel deutlich auseinander gesetzt⁴⁾.

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 reduciren 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 Refractionen 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 Snellgesehen 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 Einfallss- 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 Bossius und Huyghens war er der Entdecker des wahren Refraktionsgesetzes, nach welchem der einfallende Lichtstrahl zu dem gebrochenen sich verhielt, wie der Sinus des Einfallss- 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 Rudolph 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 cometae anni 1618*; *Cyclometricus seu de circuli dimensione*, Leyden 1621; *Typhis Batavus sive de cursu navium*, Leiden 1624; *Doctrinae triangulorum canonicae libri quatuor*, Eb. 1627. — Nach einer mehrjährigen Krankheit starb er am 31. Okt. 1626 im 35ten 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.

Ob schon 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, lebhaftere 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 Refractionen 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 sekundären 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. f. Montucla, *Hist. des Math.* I, 701.

13) Aristoteles, *Meteorolog.* III, 3.

14) Descartes, *Meteororum*, 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 weiteren 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 Gegenstandes dem Schwarzen, indem es zuerst roth, dann grün, dann dunkelpurpurfarb wird. — Aber der äußere Kreis ist immer 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 weiteren 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 bloße weitere

6) Descartes, *Meteorolog.* Sect. IX, §. 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 Dichte 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 einhalbmals 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 bloß 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 bloßen Vibrationen

8) M. f. 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, farblose Bilder zu erhalten, das wichtigste praktische Motiv, die theoretische Optik zu vervollkommen. Newton's Entdeckung zeigte die Ursache der Unvollkommenheit der bisherigen Fernröhre, ja die Wahrheit dieser Entdeckung wurde selbst durch diese Unvollkommenheit erst vollkommen bestätigt. 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 Götthe 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 Irrthümern, 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 Thatfachen 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 Violet¹²⁾. — 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.

Anderer, 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. (Anderer 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 farblose Bilder erzeugt, und die daher zur Konstruktion von achromatischen Fernröhren geeignet ist. Im J. 1758 ließ Dollond d. A. Abstrakte in London veröffentlichen. — S. 299.

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 Geseze 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. f. Mém. de Berlin, 1747.

3) Mém. der schwed. Akad. 1754.

4) Philosophical Transact. Vol. I, 1758.

eine von Kron- und die andere von Flintglas. Später umgab er, in seinen dreifachen Objectiven, 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 Objective 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 Refractionen 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 Entwicklungen führten.

5) M. f. Baumgartner's Zeitschrift für Physik, Band IV, S. 257, und neue Folge, Band III, S. 57.

Fünftes Kapitel.

Entdeckung der Geseze der doppelten Refraktion.

Die bisher beschriebenen Geseze 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 plöglich einer ganz neuen Klasse von Erscheinungen begegneten, in welchen diese Einfachheit gänzlich vermist 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 Geseze 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 doppelt. 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 gewöhnliche, bisher bekannte, das andere aber durch eine andere, ungewöhnliche Refraktion erzeugt werde. Nach seinen Beobachtungen war diese lezte 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 Geseze dieser ungewöhnlichen Refraktion vertreten sollten, waren an sich richtig. Daß Bartholin aber die eigentlichen Geseze 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'Isère. 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 1792—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 bloß 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 Ausöhnung 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 bestätigt 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 Geseze 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 hierüber²⁾ wurde schon im Jahre 1678 verfaßt, aber erst im Jahr 1690 von ihm bekannt gemacht.

Die Geseze 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 liegt³⁾. 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 cristaux*, 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 Gesez: Baumgartner's Naturlehre, sechste Auflage, Wien 1839, bei Gerold, Seite 325, in welcher Schrift die optischen Theile der Physik von Ettinghausen 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 hinzusehen, wodurch diese Bestätigung noch auffallender wird. Wenn man nämlich diesen Krystall nach verschiedenen Richtungen schneidet, so erhält man mit allen diesen Schnitten genau dieselben Refractionen, wie ich sie, schon vor diesen Experimenten, aus meiner Theorie ableiten konnte.“

Außerungen solcher Art und von einem Manne, wie Huyghens kommend, waren wohl geeignet, großes Vertrauen einzusüßen. Indes 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 zweckmäßigen Apparat, um die Phänomene der doppelten Brechung nach allen ihren Seiten aufzufassen. Aber er konnte kein allgemeines Prinzip auffinden, diese Phänomene unter einander zu verknüpfen, bis man ihn endlich auf Huyghens Schrift aufmerksam gemacht hatte.“ — Im Jahr 1808 wurde dieser Gegenstand der Doppelbrechung von dem französischen Institute als Preisfrage vorgelegt. Malus⁶⁾, 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 Math Professor der Mathematik an dem Militärinstitut 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 Jassa 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 Fortifikationswesens 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 Messungen 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 Bergkrystall⁷⁾ 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 zeigte⁸⁾, 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 Krystallisation sich nur auf eine einzige symmetrische Axe beziehen, wie z. B. das Komboeder 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 komplizierter, 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 über⁹⁾, 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. f. 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 Ase der doppelten Brechung des Krystalls genannt, und dann heißt jeder ebene Schnitt des Krystalls, der mit dieser Ase 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 war³⁾, 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. f. 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 Malus⁴⁾ 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 zufällig⁵⁾. 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 ist⁶⁾. Auch fand man, daß bei allen Krystallen, die

4) Malus, *Théorie de la double refraction*, S. 296.

5) Arago in dem Art.: *Polarization* des Suppl. der *Encycl. Brit.*

6) Leitet man nämlich einen Lichtstrahl auf einen geschwärzten Glaspiegel unter den Winkel von $54^{\circ} 35'$ mit dem Einfallslot, 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 bloß 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 Glaspiegel vollständig polarisirten Strahl wieder auf einen Glaspiegel unter denselben Winkel von $54^\circ 35'$, 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 Abweichungen 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 bloß 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 angenommen⁷⁾.

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 Biot⁸⁾ 1814 entdeckt, und seitdem wurde dieses Mineral gleichsam vorzugsweise zu den Polarisationsversuchen (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 Emissionsystem festzuhalten suchte. L.

steht⁹⁾; 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 allmähliche Vermehrung der Platten immer vollständiger gemacht werden kann¹⁰⁾.

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 Polarisationwinkel desselben bestimmt wird. Malus hatte früher¹¹⁾ behauptet, daß der Polarisationwinkel 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 Brewster¹²⁾ das Gesetz, nach welchem bei jedem Körper dieser Winkel bestimmt wird, nach welchem Gesetze nämlich „der Refraktionsindex des Körpers zugleich die Tangente seines Polarisationswinkels 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 Refractionen 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 Verwickelung 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, Glasugeln, 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 Frauen- glase (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 richtig¹⁾, 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 Transmission²⁾.“ Wir werden weiter

1) Hooke's Micrographia, S. 53.

2) Accessus facillioris 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 durchläuft, 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 verhält³⁾, 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 Konverglas 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 weitem 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 anhäufte, und die nur die belebende Berührung der Theorie erwarteten, um sich alle unter ein gemeinschaftliches höchstes Gesetz zu schmiegen, das auf dem bloßen 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. f. 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.

Hierher 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 Diffraction 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 Eigenschaft 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 Inflection 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. f. 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 Nesselstuche 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 Modification des Lichtes die Depolarisation desselben, ein nicht eben glücklich gewählter Ausdruck, da die Wirkung dieser Modification 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 anstellte³⁾. 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. f. 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 Encyclopaedia. 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 Apen 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. f. 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 bloße 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'Institut. 1818.

7) M. f. 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 *circuläre 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 bloße 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 *circulären 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. 542.

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 vorge drungen sind, als der gelehrte Verfasser für seine vaterländischen Leser voranzusehen scheint. Wir wollen diese Bemerkungen, nach dem Vorgange des Originals, der bequemerem 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 Art seiner Wirkungen voraus, so daß, durch den Akt der Polarisation, diesen Arten der verschiedenen Lichttheilchen eine übereinstimmende oder wenigstens eine regelmäßig abwechselnde Stellung gegeben werden soll. Die erste dieser Voraus-

setzung 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 complicirten Gesetzen der Attraktion und Repulsion, unter deren Herrschaft die Lichttheilchen stehen sollten; die Erläuterung der periodischen Farben dünner Plättchen gab den Anwendungen 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 complicirten 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 Anwendungen des Lichtes in eine Klasse gehören mag. So lange man es in der Optik bloß 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 willkürlich 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. Abschn. 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 reduciren 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 Gleichgewichtspunkte 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 $\lambda = v \cdot \vartheta$.

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

$$x = a \sin (mt + b)$$

für die geradlinige Schwingung des Aethertheilchens, wo der Kürze wegen $m = \frac{2\pi}{\vartheta}$ gesetzt wurde, und wo π die bekannte Rudolph'sche Zahl, und b die sogenannte Epoche oder den Werth des Winkels $(mt + b)$ für $t = 0$ bezeichnet. Eben so erhält man auch, wenn man die vorhergehende Gleichung differentiirt, für die Geschwindigkeit y des Aethertheilchens in jedem Punkte seiner Bahn.

$$y = am \cos (mt + b).$$

Nehmen wir nun für eine andere Vibration, welcher dieselbe Schwingungsdauer, aber eine andere Amplitude a' und Epoche b' zukömmt, die analoge Gleichung

$$x' = a' \sin (mt + b')$$

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

$$x + x' \text{ oder } X = A \sin (mt + B)$$

erhalten, wenn man nur die beiden Größen A und B so annimmt, daß sie den beiden Gleichungen

$$A \sin B = a \sin b + a' \sin b'$$

$$A \cos B = a \cos b + a' \cos b'$$

entsprechen, aus welchen man sofort folgende Werthe von A und B ableiten kann.

$$A^2 = a^2 + a'^2 + 2aa' \cos (b - b')$$

$$\tan B = \frac{a \sin b + a' \sin b'}{a \cos b + a' \cos b'}.$$

Man sieht daraus, daß die Amplitude A der neuen, aus jenen beiden zusammengesetzten Schwingungen durch die Diagonale des Parallelogramms, dessen Seiten a und a' sind, vorgestellt werden kann, wenn man die Winkel, welche die Seiten a , a' und A mit einer willführlichen 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

$$A = 2a \cos \frac{1}{2} (b - b')$$

$$B = \frac{1}{2} (b + b')$$

Ist daher für die natürlichen Zahlen $n = 0 \ 1 \ 2 \ 3 \dots$ 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 Zusammenhänge 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,

$$x = a \sin mt \quad \text{und} \quad x' = a' \sin mt'.$$

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

$$A^2 = a^2 (\sin^2 mt + \sin^2 mt').$$

Setzt man aber $t' = t + \frac{1}{4} \vartheta$, so ist $\sin mt'$ gleich $\sin \frac{2}{9} \pi (t + \frac{1}{4} \vartheta)$ oder gleich $\cos mt$, 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 Frénel.

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 *Micrographie* (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 vibrierenden Bewegung“ bestehe, und daß es in einem homogenen Medium fortgepflanzt werde, „indem jede Pulsation oder Vibration des leuchtenden Körpers in diesem Medium eine sphärische Oberfläche erzeuge, die immer wächst und größer wird, ganz „auf dieselbe Weise (ob schon ungleich schneller) wie die ringförmigen 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. Indes hat Hooke das Verdienst, daß er mit seiner Lehre auch das Prinzip der Interferenz, ob schon 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 Plättchens 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. 86.

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 Huyghens. 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⁾, „obchon die partialen Wellen, die von den einzelnen 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 zusammenkommen 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 betrachtet haben, wie Hooke in seiner Mikrographie, und Pardies⁷⁾. 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 fand⁸⁾, 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 Fontenay 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 franken 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 konstituiert? — 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 entgegensezte, 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 Aeußerungen 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 Unzulässigkeit 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 Anwendungen 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. 42.

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 ursprünglichen 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 „Anwendungen“ in Bewegung zu setzen. So sagt er in seiner siebenzehnten Frage: „Wenn ein Lichtstrahl auf die Oberfläche eines durchsichtigen Körpers fällt, und daselbst gebrochen oder zurückgeworfen wird, mögen dabei nicht Wellen oder zitternde 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 Anwendungen 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 vor-

gebracht, 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 Huyghens 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

$$\frac{1024 \cdot (144)}{16000} \text{ oder nahe } 9 \text{ Duodec. Linien eines Fußes.}$$

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 Geseze 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

$$\frac{40000 \times 4000 \times 6 \times 12}{0.000024} \quad \text{oder 480 Billionen,}$$

und für die violetten

$$\frac{40000 \times 4000 \times 6 \times 12}{0.000015} \quad \text{oder 768 Billionen,}$$

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.

Fünftes Kapitel.

Äpoche Young's und Fresnel's.

Erster Abschnitt.

E i n l e i t u n g.

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 Nachbarn,

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 Schülern 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 mühevollen 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 Edinburgh 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 schwüchtern 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 Diffraction 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 Quartbände 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 Diffraction 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 Sinekure 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 bloß 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 Bötter, 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 ausgezeichnete französischer Ingenieur und Geometer, ähnliche Ansichten gewonnen, deren Richtigkeit er zu beweisen, und deren Folgen er in einer Reihe von Auf-

verschieden, 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 unermüdlige 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 ausgezeichnete 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 „Abelung's *Mithridates*,“ durch welche er wahrscheinlich zuerst auf seine Untersuchungen der Hieroglyphen geführt worden ist. L.

sähen, beinahe ganz unabhängig von denen seines Nebenbuhlers, zu entwickeln suchte. Erst als der Ruf der neuen Lehre von den Ufern Frankreichs wieder nach England zurückerhallte, 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 verschiedenen 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 $\frac{1}{500}$ 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 Mikroskopie 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. f. 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 aufgestellten 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 Cassiafras-Del 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 darbieten, 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 Bewun-

derung, die er doch so sehr verdiente, nicht eher auf sich gezogen zu haben, bis im Oktober 1815 Fresnel's Memoir „über die Diffraction des Lichts“ dem Institute von Frankreich vorgelegt wurde.

Ueber dieses Memoir wurden Arago und Poincot zu Commissären 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 Geseze, 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 Geseze, oder auf ihre Ursachen zurückzuführen, und dies war der Zustand unserer Kenntniß dieses verwickelten Gegenstandes, als Thomas Young jenen sehr merkwürdigen 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 Diffraction“ 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 weitem 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 jeden Elements 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 „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 wahren 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 weitem 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 Modifikationcn des Lichts, in Schumacher's astronomischen Abhandlungen im Jahr 1823“ bekannt gemacht. Der größte Theil dieses Aufsatzes beschäftigt sich mit den Gcsctzen der von ihm beobachteten, oft sehr schönen und komplizirten Erscheinungen. Am Schlusse seiner Schrift macht er die Bemerkung: „Es ist merkwürdig, daß die Gcsetze des gegenseitigen Einflusses und der Interferenz (oder, wie er sagt, „der Diffraction) der Lichtstrahlen aus den Prinzipien der Wellentheorie abgeleitet werden kann. Wenn man für jeden besondern 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 bestätigt, 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. f. 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. f. *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 Mikroskops und des galvanischen Apparats, der Camera lucida, des Gonimeters für Krystallographen u. f. M. f. darüber die *Philos. Transact.* seit 1797; Thomson's *Annals of philosophy*; Gilbert's und Voggendorff's *Annalen* u. f. 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

lung 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 bloß 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 bloß 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 Aye 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 Aye 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 Hülfs-hypothese 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 suchten. (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 keinesweges 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 Muth, fest an seinem Vertrauen zu der neuen Lehre. Damals, als diese neuen Hindernisse, die aus dem dunkeln Hintergrunde der Polarisation hervortraten, über unserm Horizonte sich erhoben, als man an der Besiegung derselben schon zu verzagen anfang, 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 Arago¹⁷⁾ gezogen, der ihn im Jahr

17) Arago (Dominic François), geb. zu Estapel 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 Möglichkeit 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 bloße geometrische Ansichten, machte diese Idee vor „mir bekannt,“ obgleich er sie vielleicht erst nach mir gedacht hatte.“ Arago aber pflegte später zu sagen¹⁸⁾, daß, als er mit Fresnel durch ihre gemeinschaftlichen Beobachtungen zu diesem Resultate geführt wurde¹⁹⁾, 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 Besiz 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 Gespräch 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 Scharffsinns 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. f. 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 kontinuierliche 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 Krystallen beide Strahlen eine ungewöhnliche Brechung, und zwar nach bestimmten Gesetzen, erleiden. Dieselbe Konstruktion gibt auch zugleich die Lagen der Polarisations Ebenen der beiden Strahlen, wo unter Polarisations Ebene 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 Geseze 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 corrigirt, 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 bloßen 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 darstellen kann, die mit jener immer Hand in Hand geht. Nachdem ich daher einmal diejenige Vibrationsart gefunden hatte, die der Polarisation entspricht, so suchte ich dieselbe auch so gleich auf die doppelte Brechung anzuwenden.“

Raum aber hatte sich Fresnel in den Besitz des Prinzips

23) Annales de Chimie. XXVIII. S. 264.

24) Sur la double Refraction. Mém. de l'Institut. 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 willkürliche 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 Talentcs 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 Stöße 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 Communication 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 Polarisationwinkel 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 Polarisationwinkel 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 Polarisationssebene 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 Willkürliches 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. f. Annales de Chimie, Vol. XVII.

28) Bulletin des sciences. Febr. 1823.

29) M. f. über dieses sogenannte Fresnel'sche Parallelepiped Baumg. Naturl., S. 344.

dene, nämlich die sogenannte circulare 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 willkürlichen 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, vollkommen 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. f. Arago's und Biot's Aufsätze in den Mém. de l'Institut. 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 polarisirten 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 interferiren³³⁾. 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 sagt³⁴⁾, 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 „Anwendungen“ 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 „Geseze über die Anziehung und Abstoßung“ der einzelnen Elemente, denen das Licht unterliegen sollte; die doppelte Brechung des Lichtes in den Krystallen rief wieder andere „Hülfskräfte“ 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 bloßer 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 Polarisirung 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 Polarisirung des Lichtes vollständig dargestellt; ja dieselbe Erklärung gibt uns auch zugleich die der doppelten Brechung, die mit der Polarisirung 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 genügt 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 Geseze; 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 Wohnsitz 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 Erscheinungen vortrug, war sein Vaterland nicht eben in einem der Ausnahmefälle dieser neuen Lehre sehr günstigen Verhältnisse. Die wissenschaftlichen Männer waren sämmtlich für die Emissionstheorie eingenommen, nicht allein wegen ihrem Rationalinteresse 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 berühmten 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, anonymen 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 Kritik²⁾ 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 bloßen 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 Volkschriften (Pennymagazins u. f.) und selbst der neuen Londoner 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 Dienst Einkommen 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. f. 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 bloßen 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 „Anwendungen“ 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 Traité de optique (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 Ausdruck, 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 bloß 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

Schulrede 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 Quénot Mathematik, und von Larivière Logik und Philosophie kennen lernte. Im sechzehnten 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 Übels 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 Diffraction des Lichtes, die er auf eine genügendere Weise zu erklären suchte, wendeten ihn der Undulationstheorie zu, die er, sobald er ihren innern Reichtum 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 Diffraction 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 Berdrücklichkeiten 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 wissenschaftliche 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 arrêtée 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 aufgefodert, der neu errichteten Kommission der Leuchthürme beizutreten. Er gab diesen wichtigen Beleuchtungs-Apparaten eine neue vorzügliche Gestalt, indem er den bisher gebrauchten parabolischen Reverberen ein System von beweglichen Glaslinsen substituirt. Sein erster größerer Apparat dieser Art wurde 1823 auf den Pharos 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 Leuchthürme-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 angestregten 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 „circuläre 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

daß 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 Diffraction, 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 Leuchthürme wurde 1822 wieder eigens abgedruckt. Mehrere seiner hinterlassenen Papiere soll Arago in Pariser Zeitschriften herausgegeben haben.

L.

6) M. J. 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 *Annales 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 lang für ganz verloren gehalten. Später fand man sie unter den Papieren von Fourier auf, und nun wurde sie endlich in dem eilften Bande der *Memoires 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 Diffraction 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,“ rufen die Berichtersteller 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. f. Lloyd, *Report on Optics*, S. 363, das vierte *Report of Brit. Association*.

10) Ebendort, S. 316, Anmerkung.

11) M. f. *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 Polarisisation, welche letztere 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 Polarisisationsebenen in der andern Theorie ebenfalls dargestellt werden können. Aber diese letzten Intervalle, auf die Biot seine Erklärung baute, sind nur willkürliche 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 vor 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 Polarisisation erst unter einander verbunden (noués) 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. f. Annales de Chimie, Vol. X/II. 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 *Annales* 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 Diffraction 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. dgl. 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 Folioband bezeugen. Dieser las aus den ägyptischen Hieroglyphen eine eigene von ihm erfundene 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. dgl. 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 Åkerblad 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 Ehrenbezeugungen bewilligt worden seien. — Thomas Young (siehe oben Anfang des elften 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 u.) der griechischen Inschrift entsprechen, und ebenfalls eigentliche Buchstaben sind, eine Bemerkung, die schon 1756 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. f. bezeichnen würde. Das ganz von Champollion aufgestellte System ist höchst einfach, in allen seinen Theilen homogen, und läßt keinen weiteren 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. f. Weitere Erläuterungen dieses Gegenstandes s. m. in Rosengarten'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 entziffen 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 Ziffern ganz ähnliche Zeichen sind, die Jedermann in Deutschland, Frankreich, Spanien u. s. f. 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 hervorstechenden 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. f., 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 reellern 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 Remusat, 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, complicirtesten 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 lehte mir immer die süßeste Belohnung aller meiner „Mühen gewesen ist. Gewiß nur zu oft vielleicht vermisste 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.“

Ob schon 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 verschiedenen sein müssen. „Ob schon 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 Diffraction zu überzeugen. — Der Versuch ließ keine weitem 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 bestätigt 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 „circulare Polarisation“ genannt hat, ein Ausdruck, der auch in jener Schrift zuerst gebraucht worden ist. Sie sind sehr merkwürdig, sowohl wegen ihrer Ähnlichkeit 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 Parallelepipet von Glas von einer bestimmten Form und Lage, eine circulare 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 circularen Polarisation „nicht schätzen kann,“ sagt Airy ⁵⁾, „so will ich wenigstens die „experimentelle Sicherheit anführen, auf die gestützt ich jene annehme.“ — Seitdem aber hat Fresnel's Conception von der circularen 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 circularpolarisirte 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 circularpolarisirten, 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 circularpolarisirten 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 Polarisationssebene 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 beigelegt 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 polarisiertes 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 polarisiert werden, so werden auch die in einer schiefen Richtung gegen diese Axe durchgehenden Strahlen elliptisch polarisiert, 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 polarisierte 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 komplizierte 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 Erläuterung jeder kleinen Abweichung von der symmetrischen Form „dieser Bilder, wenn z. B. Kreise in Quadrate übergehen wollen, „oder wenn sich die Kreuze gegen die Polarisationssebene neigen. „Ich glaube daher auch, daß Jeder, der diesen meinen Weg der „Untersuchung verfolgen und meine Art von Experimenten nachahmen will, von derselben vollkommenen Uebereinstimmung „überrascht werden wird.“

IV. Differentialgleichungen der elliptischen Polarisation.

Ob schon die cirkulare und die elliptische Polarisation, nach dem Vorhergehenden, klar aufgefaßt worden, und ob schon die Existenz derselben, wie es scheint, durch die Erscheinungen selbst vollkommen bestätigt 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 McCullagh 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. Ob schon 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.

McCullagh'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 Aixe fortlaufenden Strahls, wie ihn Biot beobachtet und gemessen hat, und zweitens auch die Ellipticität der Polarisation eines zur Aixe schief fortgehenden Strahls, nach der Theorie und den Messungen, die Argy 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 Modificationen 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.)

Abzicht gewählt zu haben, um dadurch so viel als möglich alle Beziehung auf Theorie zu vermeiden. Indes gehören die von ihm gefundenen Geseze zu dem elliptischpolarisirten Lichte, 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.

Anderer Modificationen 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, bloß durch Anwendung des richtigen Begriffs der Vibration, gleichsam voraussagen, und dann durch die Versuche wieder vollkommen bestätigen konnte. So wurde Airy bloß 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⁾, „bloß 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. f. 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. W. 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 weitem 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 ein-

ander entgegengesetzt sein müssen, was sich durch den Gewinn oder Verlust einer halben Welle sofort ausdrücken ließ. Auf diese Weise wurde der anfangs bloß 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 Geräusches, 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 deswegen 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 willkürlich 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 weitem 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 $\frac{1}{500000}$ 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 willkürlich 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 Vergleichen 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 ob schon 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 kontinuierlicher 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 Thatfache der Dispersion selbst nichts liegt, was der Undulationstheorie überhaupt je gefährlich werden kann.

XI. B e s c h l u ß.

Noch gibt es verschiedene andere, tiefer liegende Punkte dieser Theorie, die aber jetzt noch zu wenig aufgehellte 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 weitem Rathung 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 steht 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 denselben 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 Vainé 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. f. Lloyd's Report of physical optics, S. 392.

24) M. f. 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 wave 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 Schätze 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 Absorption 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 weitem 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.
