

Mathematische Theorie des Lichtes.

Vorlesungen

gehalten von

H. Poincaré

Professor und Mitglied der Akademie.

Redigirt von J. Blondin, Privatdocent an der Universität zu Paris.

Autorisirte deutsche Ausgabe

von

Dr. E. Gumlich

und

Dr. W. Jaeger.

Mit 35 in den Text gedruckten Figuren.



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1894

ISBN 978-3-662-31965-9

ISBN 978-3-662-32792-0 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-32792-0

Vorrede.

Die Optik ist der am weitesten entwickelte Zweig der Physik, und die sogenannte Undulationstheorie bildet dementsprechend ein abgeschlossenes Ganze, das den Geist wahrhaft befriedigen muss; indessen darf man nicht mehr von dieser Theorie verlangen, als sie uns geben kann.

Die mathematischen Theorien sollen uns ja nicht die wahre Natur der Dinge enthüllen; dies würde ein unvernünftiges Verlangen sein; ihr einziger Zweck ist vielmehr der, einen gewissen Zusammenhang zwischen den physikalischen Gesetzen herzustellen, welche uns die Erfahrung kennen lehrt und die wir ohne Hülfe der Mathematik nicht einmal aussprechen könnten.

Die Frage, ob der Aether wirklich existirt, hat für uns wenig Bedeutung; dies zu untersuchen, ist die Sache der Metaphysiker! Für uns bleibt die Hauptsache, dass alles so vor sich geht, als wenn der Aether thatsächlich vorhanden wäre, und ferner, dass diese Hypothese eine einfache Erklärung der verschiedenen Erscheinungen gestattet. Haben wir denn einen anderen Grund, an die Existenz materieller Gegenstände zu glauben? Dies ist doch auch nur eine bequeme Hypothese; freilich wird dieselbe wohl niemals aufgegeben werden, während zweifellos eines Tages die Annahme von dem Vorhandensein des Aethers als unnütz verworfen werden wird.

Aber selbst dann werden die optischen Gesetze und die Gleichungen, welche diese Gesetze analytisch darstellen, wenigstens als erste Annäherung bestehen bleiben. Es ist also immer sehr förderlich, sich in eine Theorie zu vertiefen, die uns den inneren Zusammenhang aller dieser Gleichungen kennen lehrt.

Zahlreich und überzeugend sind die Theorien, die zur Er-

klärung der optischen Erscheinungen durch die Schwingungen eines elastischen Mediums aufgestellt wurden; aber es würde nicht rathsam sein, sich auf eine derselben zu beschränken; man könnte ihr sonst leicht ein blindes und deshalb irreführendes Zutrauen schenken. Aus diesem Grunde sollte man alle Hypothesen kennen lernen, denn gerade eine Vergleichung derselben kann sehr lehrreich sein.

Leider aber muss man zu diesem Zwecke immer auf die Originalabhandlungen zurückgreifen, die oft schwer aufzufinden und schwer zu verstehen sind; denn beim Uebergange von der einen zur anderen ändert sich Alles, Bezeichnung, Gedankenfolge, Ausdrucksweise u. s. w., und eine Vergleichung derselben wird in Folge dessen fast zur Unmöglichkeit.

Aus diesem Grunde hielt ich es nicht für überflüssig, in einem kleinen Bande diese verschiedenen Hypothesen übersichtlich zu vereinigen, indem ich meine an der Sorbonne im Jahr 1887—1888 gehaltenen Vorlesungen veröffentlichte. Herrn Blondin bin ich zu besonderem Dank verpflichtet, dass er diesen Versuch durch Sammeln und Redigiren der Vorträge ermöglichte.

Zum erfolgreichen Studium dieses Werkes ist es freilich nothwendig, dass der Leser die Experimentalgesetze der physikalischen Optik wenigstens in den Hauptzügen kennt; ich hätte sonst unmöglich in einem einzigen Semester eine so ausgedehnte Materie behandeln können, wenn ich nicht überzeugt gewesen wäre, dass diese Gesetze meinen Zuhörern schon vertraut sind.

Der Undulationstheorie liegt eine Molekulartheorie zu Grunde; für die einen, die da glauben, hinter dem Gesetz die Ursache zu entdecken, ist dies ein Vortheil, für die anderen dagegen ein Grund zum Misstrauen. Aber dieses Misstrauen erscheint mir ebenso wenig gerechtfertigt, als die Illusion der ersteren.

Diese Hypothesen spielen nämlich nur eine untergeordnete Rolle; ich hätte dieselben ebensogut unberücksichtigt lassen können, habe es aber nicht gethan, weil die Ausführung dadurch an Klarheit verloren hätte. Dies ist aber auch der einzige Grund, der mich davon abgehalten hat.

Thatsächlich entlehne ich den Molekularhypothesen nur zweierlei, nämlich das Princip von der Erhaltung der Energie und die Darstellung der allgemeinen Gesetze der kleinen Bewegungen durch lineare Gleichungen.

Darin findet auch die Thatsache ihre Erklärung, dass die meisten Folgerungen Fresnel's unverändert bestehen bleiben, wenn man die elektro-magnetische Lichttheorie annimmt. In diesem Band werde ich von jener Theorie nicht reden, sondern behalte mir vor, dies eingehend in einem anderen Werke zu thun, in dem ich meine Vorlesungen des zweiten Semesters veröffentlichten werde¹⁾. Ich glaubte mich zunächst in die Ideen von Fresnel vertiefen zu müssen; dies schien mir die beste Vorbereitung zum Studium des Gedankengangs von Clerk Maxwell.

Noch eines möchte ich am Schlusse bemerken: In dem Kapitel über die Diffraction habe ich Hypothesen entwickelt, die ich für neu hielt. Hierbei unterliess ich es leider, Kirchhoff zu erwähnen, dessen Name fortwährend hätte genannt werden müssen. Noch ist es Zeit, dieses unbeabsichtigte Versehen wieder gut zu machen; ich beeile mich, dies zu thun, indem ich gleichzeitig auf die Sitzungsberichte der Berliner Akademie (1882, 2. Semester, S. 611) verweise.

Paris, den 2. December 1888.

H. Poincaré.

¹⁾ Anm. d. Herausg.: Dies Werk ist bereits in der Uebersetzung erschienen unter dem Titel „Elektricität und Optik“ 2 Bände. 1891, 92. Verlag von Julius Springer in Berlin.

Inhaltsverzeichnis.

Einleitung	Seite 1
----------------------	------------

Kapitel I.

Untersuchung der kleinen Bewegungen in einem elastischen Medium.

Erste Hypothese	3
Zweite Hypothese	3
Bewegungsgleichungen	3
Eigenschaften der Kräftefunktion	4
Eigenschaften der Funktionen U' und U''	4
Untersuchung der Funktion U'	6
Dritte Hypothese	9
Neue Hypothesen	11
Untersuchung der Funktion W_2	12
Isotrope Funktionen	14
Ausdruck von W_2 bei isotropen Körpern	20
Ausdruck von W_1 als Funktion der partiellen Differentialquotienten	23
Aeusserer Drucke. — Bewegungsgleichungen	24
Bewegungsgleichungen für isotrope Körper	29
Longitudinal- und Transversalbewegungen	31
Gleichungen für die Transversalbewegungen in den isotropen Körpern	34
Gleichungen für die Longitudinalbewegungen	34

Kapitel II.

Fortpflanzung einer ebenen Welle. — Interferenz.

Spezieller Fall: Fortpflanzung in ebenen Wellen	35
Hypothesen über die Eigenschaften des Aethers	38
Bewegungsgleichungen des Aethers	40
Lösung der Gleichungen für die Transversalbewegungen	41
Erlöschende Strahlen	45
Bahn der Aethermoleküle bei den Transversalbewegungen	46
Bemerkung über die Konstanten, welche in den Bewegungsgleichungen auftreten	47
Intensität des Lichts	48
Interferenz des nicht polarisirten Lichtes	49
Interferenz des polarisirten Lichtes	52

Kapitel III.

Das Princip von Huyghens.

	Seite
Das Huyghens'sche Princip	55
Fresnel's Streit mit Poisson	57
Integration der Gleichungen für die Transversalbewegungen bei Kugelwellen	61
Allgemeine Integrale der Gleichungen für die Transversalbewegungen	64
Rechtfertigung des Huyghens'schen Princip's	71

Kapitel IV.

Beugung.

Gleichungen der Transversalbewegungen bei periodischen Verschiebungen	73
Integration der ersten Bewegungsgleichung	75
Gleichungen für die Beugungserscheinungen	82
Berechnung der Integrale (4)	87
Vereinfachung der Ausdrücke für ξ_0, η_0, ζ_0	95
Intensität des Lichts in einem Punkte	98
Ausdruck des Integrals (2) für den Fall eines Spaltes mit parallelen Rändern	100
Graphische Darstellung des Integrals (3)	100
Beugung durch einen engen Spalt	107
Beugung durch den Rand eines Schirms	108
Beugung durch einen kleinen kreisförmigen Schirm	111
Beugung durch eine kleine kreisrunde Oeffnung	112
Beugung bei parallelem Lichte	113
Streifen, welche durch eine Oeffnung mit einem Symmetriecentrum hervor- gebracht werden	114
Beugung durch ähnliche Oeffnungen	115
Satz von Bridge	116
Satz von Babinet	117
Beugung durch verlängerte Oeffnungen	118
Beugung durch einen Spalt oder einen Schirm von rechteckiger Form	120
Beugungserscheinungen bei n Lichtpunkten, die unregelmässig in einer Ebene vertheilt liegen	122
Beugungserscheinungen bei n Oeffnungen	123
Erscheinung bei zwei Punkten von gleicher Intensität	124
Erscheinung bei zwei kreisrunden Oeffnungen oder Schirmen	124
Erscheinung bei zwei rechteckigen Spalten	124
Erscheinung bei n äquidistanten, in gerader Linie liegenden Punkten	125
Gitter	127
Beugungserscheinungen bei weissem Licht	129

Kapitel V.

Drehung der Polarisationssebene. — Dispersion.

Bewegungsgleichungen	133
Drehung der Polarisationssebene durch den Quarz	135
Drehung der Polarisationssebene durch Krystalle und Lösungen	140
Erklärung der Dispersion	140
Verschiedene Dispersionstheorien	142
Theorie von Briot	143
Krystallisirte Körper	144
Amorphe Körper	151
Theorie von Boussinesq	153

Kapitel VI.

Doppelbrechung.

	Seite
Umformung der Bewegungsgleichungen	161
Polarisations-Ellipsoid	164
Theorie von Fresnel.	
Mechanische Erklärung der Doppelbrechung	167
Hypothesen von Fresnel	168
Bewegungsgleichungen in einem inkompressiblen Medium	169
Fortpflanzung einer ebenen Welle	171
Theorie von Cauchy.	
Optische Symmetrieebenen der doppelbrechenden Krystalle	175
Folgerungen aus der Hypothese der Centralkräfte	176
Quasi-transversale und quasi-longitudinale Schwingungen	178
Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der Wellen	180
Gleichung des Polarisations-Ellipsoids von Cauchy	181
Theorie von Neumann.	
Hypothesen von Neumann	183
Gleichung des Polarisationscyinders	184
Fortpflanzung einer ebenen Welle	185
Gleichungen von Lamé	186
Theorie von Sarrau.	
Bewegungsgleichungen	189
Fortpflanzung einer ebenen Welle	189
Eigenschaften der periodischen Funktionen	193
Werthe der Grössen l, m, n	194
Untersuchung der Grössen L, M, N	196
Werthe der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten	199
Schwingungsrichtung einer Wellenebene	201
Theorie von Boussinesq.	
Bewegungsgleichungen	202
Fortpflanzung einer ebenen Welle	203
Beziehungen zwischen den Schwingungskomponenten nach Fresnel, Neumann und Sarrau	204
Vertauschung der Koordinatenachsen	206
Wellenfläche. — Geradlinige Fortpflanzung des Lichtes.	
Wellenfläche	208
Richtung des Lichtstrahls	209
Beziehungen zwischen der Richtung des Lichtstrahls und den Schwingungs- richtungen	212
Gleichung der Wellenfläche	213
Geometrische Konstruktion der Wellenfläche	215
Schnitt der Wellenfläche mit den Symmetrieebenen	217
Nabelpunkte und singuläre Tangentialebenen der Wellenfläche	218

Geradlinige Fortpflanzung des Lichtes.	
	Seite
Geradlinige Fortpflanzung des Lichtes in einem isotropen Medium . . .	219
Geradlinige Fortpflanzung des Lichtes in einem anisotropen Medium . . .	221

Doppelbrechung in den hemiëdrischen Krystallen.

Bewegungsgleichungen	225
Fortpflanzung einer ebenen Welle	227
Fortpflanzungsgeschwindigkeiten	229
Elliptische Polarisation der Strahlen	230

Kapitel VII.

Reflexion.

Reflexion	234
---------------------	-----

Reflexion an Glas.

Theorie von Fresnel.

Grundhypothesen	235
Anwendung der obigen Principien	236
Anwendung des Princip der lebendigen Kraft	239
Folgerungen	242
Theorem von Mac-Cullagh	244
Gesetz von Brewster	245
Totale Reflexion	245
Einwürfe gegen die Theorie von Fresnel	246
Widerlegung dieser Einwürfe	247
Totale Reflexion	251
Einwände bezüglich der Dispersion	253

Theorie von Neumann und Mac-Cullagh.

Annahmen der Theorie	254
Princip der Continuität	257
Dichte des Aethers	257
Theorem von Mac-Cullagh	258

Theorie von Cauchy.

Annahmen der Theorie	259
--------------------------------	-----

Krystall-Reflexion.

Theorie von Neumann und von Mac-Cullagh.

Grundhypothesen	263
Gleichungen der Lichtbewegung	263
Dichte des Aethers	265
Princip der Continuität	265
Experimentelle Bestätigungen	266
Uniradiale Brechung	266
Theorem von Mac-Cullagh	267
Bemerkung	269

Theorie von Sarrau.

Annahmen der Theorie	270
--------------------------------	-----

Metal-Reflexion.

	Seite
Fortpflanzung des Lichtes in einem absorbirenden Medium	271
Bewegungsgleichungen des Lichtes in einem absorbirenden Medium	274
Theorie von Cauchy	276

Kapitel VIII.

Astronomische Aberration.

Definition	278
Erklärung von Bradley	278
Elementare Erklärung nach der Undulationstheorie	279
Der in einem bewegten Medium enthaltene Aether wird theilweise mitgenommen	280
Lichtgeschwindigkeit in einem bewegten Medium	284
Zeit, welche das Licht gebraucht, um von einem Punkt eines bewegten Medium zu einem anderen zu gelangen	285
Optische Erscheinungen in einem bewegten Medium	286
Hypothesen von Fresnel	287
Fortpflanzungsgeschwindigkeit in einem bewegten Medium	288
Schlussfolgerungen	293