



Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn Akt.-Ges.
Braunschweig

Die Wissenschaft

Sammlung von Einzeldarstellungen aus den Gebieten der Naturwissenschaft
und der Technik, herausgegeben von Professor Dr. Wilhelm Westphal

Neuere und neueste Bände:

8. **Neuere Anschauungen auf dem Gebiete der anorganischen Chemie.** Von Prof. Dr. A. Werner. 5. durchgesehene Aufl. Geh. 14,— RM, geb. 16,— RM
12. **Die Fortschritte der kinetischen Gastheorie.** Von Prof. Dr. G. Jäger. 2. verb. und verm. Auflage. Mit 11 Abbild. Geh. 5,— RM, geb. 6,50 RM
23. **Synthetisch-organische Chemie der Neuzeit.** Von Prof. Dr. Julius Schmidt. 2. Auflage. Geh. 18,— RM, geb. 20,— RM
29. **Physiologie der Stimme und Sprache.** Von Prof. Dr. Hermann Gutzmann. 2. Aufl. Mit 93 zum Teil farb. Abbild. Geh. 16,— RM, geb. 18,— RM
31. **Das Klimaproblem der geolog. Vergangenheit und histor. Gegenwart.** Von Dr. Wilh. R. Eckardt. Mit 18 Abbild. und 4 Karten. Geh. 6,50 RM
32. **Lichtbiologie.** Die experimentellen Grundlagen der modernen Lichtbehandlung. Von Prof. Dr. A. Jesionék. Geh. 4,50 RM
33. **Die physikalisch-chemischen Eigenschaften der Legierungen.** Von Prof. Dr. Bernh. Dessau. Mit 82 Abbildungen. Geh. 6,50 RM
34. **Die elektrische Fernübertragung von Bildern.** Von Dr. Robert Pohl, Mit 25 Abbildungen. Geh. 2,— RM
35. **Die elektrischen Erscheinungen in metallischen Leitern.** (Leitung, Thermoelektrizität, Galvanomagnetische Effekte, Optik.) Von Prof. Dr. K. Baedeker. Mit 25 Abbildungen. Geh. 4,— RM
36. **Grundlagen der praktischen Metronomie.** Von Prof. Dr. K. Scheel. Mit 39 Abbildungen. Geh. 5,— RM, geb. 6,50 RM
37. **Vergleichende Mond- und Erdkunde.** Von Prof. Dr. S. Günther. Mit 23 Abbildungen und 4 Tafeln. Geh. 5,— RM, geb. 6,50 RM
38. **Die Relativitätstheorie.** Erster Band: Das Relativitätsprinzip der Lorentztransformation. Von Dr. M. v. Laue. 4. vermehrte Auflage. Mit 25 Abbildungen. *Zweiter Band s. Bd. 68.* Geh. 12,— RM
39. **Die philosophischen Probleme der Einsteinschen Relativitätstheorie.** Von Aloys Müller. 2. umgearbeitete und erweiterte Auflage des Buches: **Das Problem des absoluten Raumes.** Mit 10 Abbildungen. Geh. 7,50 RM, geb. 9,25 RM
40. **Die Leuchtgaszerzeugung und die moderne Gasbeleuchtung.** Von Ingenieur Fritz Schmidt. Mit 63 Abbild. Geh. 3,— RM, geb. 4,50 RM
41. **Der Weltäther.** Von Sir Oliver Lodge. Vergriffen.
42. **Wechselstrom-Versuche.** Von Prof. Dr. Anton Lampa. Mit 54 Abbildungen. Geh. 6,— RM, geb. 7,50 RM
43. **Die Telephonie ohne Draht.** Von Dr. K. Markau. Vergriffen.

DIE WISSENSCHAFT

Sammlung von Einzeldarstellungen aus den Gebieten der
Naturwissenschaft und der Technik

Herausgegeben von Prof. Dr. WILHELM WESTPHAL

BAND 84

Optische Abbildung

Einführung in die Wellen- und
Beugungstheorie optischer Systeme

Von

Dr. Johannes Picht



Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH
1931

Optische Abbildung

Einführung in die Wellen- und
Beugungstheorie optischer Systeme

Von

Dr. Johannes Picht

Mit 65 Abbildungen



Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH
1931

ISBN 978-3-322-98392-3 ISBN 978-3-322-99140-9 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-322-99140-9

Alle Rechte vorbehalten

Vorwort

Der Aufforderung Herrn Prof. Westphals, für die von ihm herausgegebene Sammlung „Die Wissenschaft“ eine Monographie über die Beugungstheorie der optischen Abbildung und ihrer Fehler zu schreiben, bin ich gern nachgekommen. Liegt doch bisher außer einer Buchveröffentlichung von Prof. K. Strehl¹⁾, einem Handbuchartikel von Prof. F. Jentzsch²⁾ und einem weiteren (kurzen) Handbuchartikel von Dr. A. König³⁾ meines Wissens weder eine deutsche noch eine fremdsprachliche zusammenfassende Darstellung dieses auch für die Praxis allmählich an Bedeutung gewinnenden Teilgebietes der Wellenoptik vor.

Bei der Anlage des vorliegenden Buches war ursprünglich eine viel weitergehende Behandlung der einschlägigen Fragen — besonders auch die Anwendung der abgeleiteten Formeln auf die Abbildung im Mikroskop⁴⁾ — geplant. Da das Buch aber schon jetzt — trotz starker Kürzung des fertigen Manuskriptes — den vereinbarten Umfang wesentlich überschritten hat, so konnte jener Plan nicht durchgeführt werden. Ich hoffe aber, die Grundlagen doch so weit entwickelt zu haben, daß eine Beschäftigung mit den spezielleren Problemen keine besonderen Schwierigkeiten mehr bieten wird. Ich denke hier besonders an die Arbeiten von R. Gans und seinen Schülern, weiter an die Arbeiten von M. Berek, Siedentopf, K. Strehl, Lord Rayleigh u. a.

¹⁾ K. Strehl, Die Theorie des Fernrohrs auf Grund der Beugung des Lichtes. J. A. Barth, Leipzig 1894. Das Buch sowie die Strehlschen Zeitschriftenartikel — ein vollständiges Verzeichnis befindet sich in Zentr.-Ztg. f. Opt. u. Mech. **48**, 75, 1927 — enthalten eine Fülle wichtiger Ergebnisse. Leider erschwert der von Strehl benutzte Telegrammstil das Verständnis der Arbeiten.

²⁾ F. Jentzsch, Einführung in die Beugungstheorie der optischen Instrumente. Handb. d. Physik (Geiger-Scheel) **21**, 885, 1929. (Julius Springer, Berlin.)

³⁾ A. König, Die Abbildung als Beugungserscheinung. Handbuch d. Experimentalphysik (Wien-Harms) **20**,₂ (Geometr. Optik), 141, 1929. (Akad. Verlagsges., Leipzig.)

⁴⁾ Erwähnt sei hier noch das Buch: E. Abbe, Die Lehre von der Bildentstehung im Mikroskop. Bearbeitet von O. Lummer und F. Reiche. Fr. Vieweg u. Sohn, Braunschweig 1910.

Wenn ich mich bei der Behandlung der Abbildungsfehler besonders auf eigene Arbeiten stütze, so bitte ich, darin keine Unterschätzung der fremden Arbeiten [Strehl, Straubel¹⁾, Wilsing²⁾ u. a.] zu sehen. Dies ist vielmehr allein durch das Streben nach möglichst einheitlicher Behandlung der betreffenden Fragen bedingt. Hinzu kommt, daß so wenigstens die jeweiligen Ausgangsintegrale stets strenge Lösungen der Schwingungsgleichung sind und erst bei der Auswertung jener Integrallösungen Vernachlässigungen kleiner Größen erforderlich wurden.

Erwähnen möchte ich hier noch, daß ich die Formeln nicht durch das ganze Buch hindurch fortnumeriert habe, sondern die besonders in englischen Büchern übliche Numerierung gewählt habe, bei der jeweils nur die Formeln eines Paragraphen durchnumeriert sind und der Paragraph durch die vor dem Semikolon stehende Zahl bezeichnet wird [z. B. (37; 4)]. Bei den Verweisungen auf Formeln des gleichen Paragraphen ist dessen Nummer fortgelassen. Im übrigen soll die Angabe der Paragraphen am Kopf der Seiten die Auffindung der gesuchten Formeln und die allgemeine Orientierung erleichtern.

Einige häufiger vorkommende Formeln sind (zum Teil mit Andeutung der Ableitung) in einem „Mathem. Anhang“ zusammengestellt. Verweisungen auf diese Formeln sind durch ein A gekennzeichnet [z. B. (A; 24)].

Recht herzlich danke ich Fräulein Ilse Koblassa, die mich beim Korrekturlesen sehr unterstützte und mehrfach textliche Änderungen vorschlug, die das Verständnis der betreffenden Stellen erleichtern werden.

¹⁾ R. Straubel, Theorie der Beugungserscheinungen kreisförmig begrenzter, symmetrischer, nicht-sphärischer Wellen. Habilitationsschrift, München 1893.

²⁾ J. Wilsing, Über den Einfluß der sphärischen Abweichungen der Wellenfläche auf die Lichtstärke von Fernrohrobjektiven. Publ. d. Astrophysikalischen Observatoriums, Potsdam **15**, St. 4, 1903.

Neubabelsberg b. Potsdam, im Januar 1931.

Dr. Johannes Picht,

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
der Askania-Werke, Berlin-Friedenau
(vormals Mitarbeiter am Institut der
Einstein-Stiftung, Potsdam)

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	V—VI
Einleitung	1

Erstes Kapitel

Die elektromagnetische Lichttheorie

§ 1. Die Maxwellschen Gleichungen; Vektoroperationen	2
§ 2. Differentialgleichungen für die Feldstärken \mathfrak{E} und \mathfrak{H}	4
§ 3. Das magnetische vektorielle Potential \mathfrak{A} und das elektrische skalare Potential Φ	4
§ 4. Der Hertzsche Vektor \mathfrak{Z}	6
§ 5. Dielektrizitätskonstante und Brechungsindex	8
§ 6. Lösungen (Integrale) der Wellengleichung	9
§ 7. Intensität des Lichtes und Poyntingscher Vektor	13
§ 8. Die Grenzbedingungen der elektromagnetischen Feldstärken	16
§ 9. Reflexion und Brechung einer ebenen Welle; die Fresnelschen Koeffizienten für Reflexion und Brechung	17
§ 10. Diskussion der Fresnelschen Formeln	23

Zweites Kapitel

Allgemeine Beugungstheorie des Lichtes

§ 11. Huygensches Prinzip. Fresnelsche Zonenkonstruktion	27
§ 12. Die Kirchhoffsche Formel	30
§ 13. Fraunhofersche und Fresnelsche Beugungserscheinungen	37
§ 14. Beugung an kreisförmiger Öffnung	39
§ 15. Geometrische Optik als Grenzfall der Wellenoptik	43
§ 16. Das Babinetsche Theorem	47

Drittes Kapitel

Allgemeine wellentheoretische Gesichtspunkte der optischen Abbildung

§ 17. Geometrische Optik und Wellenoptik	48
§ 18. Abbildung ausgedehnter Objekte. Selbstleuchter und Nichtselbstleuchter. Auflösungsvermögen eines optischen Instrumentes	49

Viertes Kapitel

Abbildung durch Kugelwellen

	Seite
§ 19. Intensitätsverteilung in der Brennpunktebene (Bildebene) . . .	54
§ 20. Intensitätsverteilung in der Bildebene als Fraunhofersche Beugungerscheinung	58
§ 21. Intensitätsverteilung in zur Bildebene parallelen Ebenen	61
§ 22. Energetische Betrachtungen für die Kugelwelle	71
§ 23. Intensitätsverteilung weit außerhalb der Brennpunktebene . . .	73
§ 24. Strenge Behandlung der Kugelwellen nach Debye	75
§ 25. Intensitätsverteilung längs der Achse einer Kugelwelle	77
§ 26. Weitere Diskussion der Debyeschen Formel	79
§ 27. Der „Phasensprung“ in der Umgebung des Brennpunktes	81
§ 28. Intensitätsverteilung in der Brennpunktebene	83
§ 29. Intensität in beliebigen Aufpunkten	85

Fünftes Kapitel

Zylinderwellen

§ 30. Integraldarstellung für die Zylinderwelle	88
§ 31. Intensitätsverteilung längs der Achse der Zylinderwelle	89
§ 32. Intensität außerhalb der Achse der Zylinderwelle	92
§ 33. Intensität in der Brennlinienebene	94
§ 34. Phasensprung in der Umgebung der Brennlinie	96
§ 35. Energetische Betrachtungen für die Zylinderwelle	98

Sechstes Kapitel

Erscheinungen bei nichtmonochromatischem Licht

§ 36. Abhängigkeit der Intensitätsverteilung von der Wellenlänge . . .	99
§ 37. Chromatische Aberration	104

Siebentes Kapitel

Inhomogene Wellen

§ 38. Das objektseitige Strahlungsdiagramm u. die bildseitige ψ -Funktion	105
§ 39. Intensitätsverteilung in der Bildebene	108
§ 40. Intensitätsverteilung längs der optischen Achse	109
§ 41. Anwendung der Formeln des § 39 auf spezielle Fälle	110
§ 42. Anwendung der Formel für die axiale Intensitätsverteilung auf spezielle Fälle	115

Achstes Kapitel

Mathematische Darstellung beliebiger Strahlenbündel

§ 43. Allgemeine Betrachtungen zur mathematischen Behandlung der optischen Abbildungsvorgänge	117
§ 44. Allgemeine Lösung der Schwingungsgleichung $\Delta u + k^2 u = 0$. Beugungstheoretische Darstellung eines beliebigen Strahlen- bündels	119

§ 45. Beugungstheoretische Darstellung einer beliebigen zweidimensionalen Welle, einer „deformierten Zylinderwelle“ 125

§ 46. Beugungstheoretische Darstellung einer beliebigen (räumlichen) Welle unter Benutzung der Kaustikflächen 126

§ 47. Beugungstheoretische Darstellung einer beliebigen zweidimensionalen Welle unter Benutzung der kaustischen Linie 129

§ 48. Bestimmung der geometrisch-optischen Wellenflächen aus der beugungstheoretischen Integraldarstellung eines Strahlenbündels 130

§ 49. Geometrische Optik als Grenzfall der Wellenoptik 132

§ 50. Übergang von u_P zu den Feldvektoren \mathfrak{E} und \mathfrak{H} sowie zum Pointingschen Vektor \mathfrak{S} . Intensität proportional zu $|u_P|^2$ 135

Neuntes Kapitel

Wellentheoretische Behandlung des Abbildungsvorganges

§ 51. Spiegelung und Brechung einer beliebigen Welle (endlicher Öffnung) an der ebenen Trennungsfläche zweier Medien 138

§ 52. Anwendung der Formeln des vorigen Paragraphen auf eine einfallende Kugelwelle 147

Die optischen Abbildungsfehler 148

Zehntes Kapitel

Sphärische Aberration

§ 53. Sphärische Aberration. Allgemeine Behandlung 149

§ 54. Intensitätsverteilung auf der Achse des Strahlenbündels 154

§ 55. Weitere Diskussion von (54; 3). Phasenanomalie 160

§ 56. Anwendung der Formeln für die Intensitätsverteilung bei sphärischer Aberration auf ein spezielles Beispiel 161

§ 57. Integraldarstellung von u_P für sphärische Aberration mit zwei und mehr Koeffizienten 164

§ 58. Beziehung zwischen Strahlenaberration und Wellenaberration . 165

§ 59. Die Richtersche Symmetrieforderung der Lichtwegaberrationen und ihre Anwendung auf die sphärische Aberration mit einem Koeffizienten zur Bestimmung der Einstellebene x_E 170

§ 60. Anwendung der Symmetrieforderung auf die Schnittweitenaberration mit zwei Koeffizienten. Bestimmung der „besten Korrektur“ eines optischen Systems 178

§ 61. Anwendung der Symmetrieforderung auf die Schnittweitenaberration mit drei Koeffizienten 183

§ 62. Bestimmung der Definitionshelligkeit und der Einstellebene mit Benutzung der Variationsrechnung. (Väisäläsche Methode) 184

§ 63. Anwendung der Väisäläschen Methode, der „mittleren Abweichung“, auf sphärische Aberration mit einem und mit zwei Koeffizienten 187

§ 64. Sphärische Aberration einer Zylinderwelle 191

Elftes Kapitel

Astigmatismus

	Seite
§ 65. Astigmatismus. Allgemeine Behandlung	197
§ 66. Intensitätsverteilung längs der Achse eines astigmatischen Strahlenbündels	201
§ 67. Intensität in beliebigen Aufpunkten eines astigmatischen Strahlenbündels	204
§ 68. Astigmatisches Strahlenbündel mit zwei Brennflächen. Allgemeine Integraldarstellung	207
§ 69. Auswertung und Diskussion der allgemeinen Integraldarstellung (68; 8) für quadratische oder rechteckige Öffnung	209

Zwölftes Kapitel

Koma

§ 70. Die Integraldarstellung des Komafehlers und einige allgemeine Betrachtungen über die Wellenfläche und ihren Tangentialschnitt	221
§ 71. Auswertung des Integralausdruckes für den Komafehler	226
Mathematischer Anhang	233
Sach- und Namenverzeichnis	240