

---

# Optik

---

Lichtstrahlen – Wellen – Photonen

---

von  
Wolfgang Zinth und Ursula Zinth

---

Oldenbourg Verlag München Wien

---

535 (07)

# Inhalt

	Vorwort .....	1
<b>1</b>	<b>Einführung und historischer Überblick</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Licht als elektromagnetische Welle</b>	<b>7</b>
2.1	Die Wellengleichung und ihre Lösungen .....	7
2.1.1	Energie und Impuls von Licht .....	12
2.1.2	Wellenpakete .....	14
2.1.3	Phasen- und Gruppengeschwindigkeit .....	18
2.2	Dispersion von Licht .....	20
2.2.1	Die Frequenzabhängigkeit der Dielektrizitätskonstante .....	21
2.2.2	Der Brechungsindex .....	23
2.2.3	Die Absorption von Licht .....	24
2.2.4	Die Dispersion von dichten Medien .....	26
2.2.5	Brechungsindex und Absorption von Metallen .....	29
2.3	Elektromagnetische Wellen an Grenzflächen .....	30
2.3.1	Reflexions- und Brechungsgesetz .....	31
2.3.2	Die Fresnelschen Formeln für den Reflexionsgrad einer Grenzfläche .....	34
2.3.3	Totalreflexion und evaneszente Wellen .....	40
2.4	Lichtwellenleiter .....	42
2.4.1	Lichtleitung durch Totalreflexion .....	42
2.4.2	Moden in einem optischen Wellenleiter** .....	48
2.4.3	Lichtausbreitung in einem Hohlleiter** .....	51
2.4.4	Moden in einem dielektrischen Wellenleiter** .....	54
2.4.5	Lichtleitfasern .....	58
2.4.6	Herstellung von Glasfasern .....	58
	Absorbierende und streuende Medien .....	61
2.5.1	Das Reflexionsvermögen absorbierender Medien .....	61
2.5.2	Die Farbe von Gegenständen .....	63
2.5.3	Streuung von elektromagnetischen Wellen .....	64

<b>3</b>	<b>Die Geometrische Optik</b>	<b>67</b>
3.1	Das Fermatsche Prinzip .....	68
3.1.1	Das Reflexionsgesetz .....	70
3.1.2	Das Fermatsche Prinzip und das Brechungsgesetz .....	72
3.2	Strahlenablenkung durch ein Prisma .....	75
3.2.1	Der Regenbogen .....	77
3.3	Die optische Abbildung .....	83
3.3.1	Reelle und virtuelle Abbildungen .....	84
3.3.2	Abbildung an einem Kugelspiegel .....	85
3.3.3	Abbildung durch brechende Kugelflächen .....	87
3.3.4	Abbildungsgleichung für dünne Linsen .....	90
3.3.5	Dicke Linsen und Linsensysteme .....	94
3.3.6	Berechnung der Ausbreitung paraxialer Strahlen mit dem Matrizen-Verfahren .....	95
3.3.7	Anwendungen der Matrizenmethode .....	101
3.3.8	Linsenfehler .....	103
3.3.9	Begrenzungen in optischen Systemen .....	109
3.3.10	Design und Herstellung von Objektiven .....	112
3.4	Instrumente der geometrischen Optik .....	113
3.4.1	Der Projektionsapparat .....	113
3.4.2	Die photographische Kamera .....	114
3.4.3	Das Auge .....	118
3.4.4	Vergrößernde optische Instrumente .....	121
<b>4</b>	<b>Welleneigenschaften von Licht</b>	<b>131</b>
4.1	Qualitative Behandlung der Beugung .....	132
4.1.1	Das Huygenssche Prinzip .....	132
4.1.2	Die Fresnelsche Beugung .....	134
4.2	Mathematische Behandlung der Beugung .....	138
4.2.1	Die Fresnel-Kirchhoffsche Beugungstheorie** .....	138
4.2.2	Fresnelsche und Fraunhofersche Beugung .....	140
4.2.3	Fraunhofersche Beugung .....	142
4.2.4	Das Babinetsche Prinzip .....	143
4.3	Spezielle Fälle der Fraunhoferschen Beugung .....	143
4.3.1	Beugung an einem langen Spalt .....	143
4.3.2	Beugung an einer Rechteckblende .....	148
4.3.3	Beugung an einer kreisförmigen Öffnung .....	149
4.3.4	Beugung am Doppelspalt .....	150
4.3.5	Beugung am Gitter .....	155
4.3.6	Gitterspektrometer .....	160
4.3.7	Beugung an mehrdimensionalen Gittern .....	162

4.4	Interferenz .....	166
4.4.1	Die Kohärenz von Lichtquellen .....	168
4.4.2	Spezielle Interferometeranordnungen .....	171
4.4.3	Interferenzen dünner Schichten .....	176
4.4.4	Vielfachinterferenzen am Beispiel des Fabry-Perot-Interferometers .....	185
4.5	Anwendungen von Beugung und Interferenz .....	192
4.5.1	Das Auflösungsvermögen optischer Geräte .....	192
4.5.2	Die Abbesche Theorie der Bildentstehung und Fourieroptik ...	198
4.5.3	Holographie .....	203
4.5.4	Laser-Strahlen – Die Optik Gaußscher Bündel* .....	207
4.5.5	Gaußsche Bündel und abbildende Elemente** .....	214
4.6	Die Polarisation von Licht .....	218
4.6.1	Polarisationszustände von Licht .....	218
4.6.2	Polarisatoren .....	221
4.6.3	Doppelbrechung .....	226
4.6.4	Anwendungen der Doppelbrechung .....	234
4.6.5	Induzierte Doppelbrechung .....	237
4.6.6	Optische Aktivität und Faraday-Effekt .....	241
4.7	Nichtlineare Optik .....	246
4.7.1	Phänomene, die mit der nichtlinearen Suszeptibilität zweiter Ordnung verknüpft sind* .....	247
4.7.2	Phänomene, die mit der nichtlinearen Suszeptibilität dritter Ordnung verknüpft sind* .....	250
<b>5</b>	<b>Quantenphänomene: Licht als Welle und Teilchen</b> .....	<b>255</b>
5.1	Der Photoeffekt .....	255
5.1.1	Eigenschaften von Photonen .....	261
5.1.2	Licht ist Welle und Teilchenstrom .....	264
5.1.3	Doppelspalt als Instrument zur Unterscheidung von Welle und Teilchen .....	265
5.1.4	Photoeffekt in der Anwendung: Nachweis von Licht* .....	268
5.2	Strahlungsgesetze und Lichtquellen .....	279
5.2.1	Strahlungsphysikalische Größen .....	279
5.2.2	Lichttechnische Größen* .....	284
5.2.3	Das Kirchhoffsche Strahlungsgesetz .....	286
5.2.4	Das Emissionsverhalten eines schwarzen Strahlers .....	288
5.2.5	Strahlungsgesetze .....	290
5.2.6	Die Plancksche Strahlungsformel .....	292
5.2.7	Lichtquellen für Beleuchtungszwecke* .....	296
5.2.8	Der Laser .....	299

---

<b>6</b>	<b>Anhang: Fouriertransformation</b>	<b>307</b>
6.1	Fourierreihen .....	307
6.2	Fourierintegrale: Transformationen nichtperiodischer Funktionen .....	311
6.3	Eigenschaften der Fouriertransformation .....	313
6.4	Rechenregeln für Fouriertransformationen .....	315
6.5	Eigenschaften der Deltafunktion .....	316
	<b>Vertiefende Literatur</b>	<b>319</b>
	<b>Sachverzeichnis</b>	<b>321</b>