

W. Lauterborn T. Kurz M. Wiesenfeldt

# Kohärente Optik

Grundlagen für Physiker  
und Ingenieure

Mit 183 Abbildungen, 1 Hologramm,  
73 Aufgaben und vollständigen Lösungen

Springer-Verlag  
Berlin Heidelberg New York  
London Paris Tokyo  
Hong Kong Barcelona  
Budapest

# Inhaltsverzeichnis

1	Die Entwicklung der Optik . . . . .	1
1.1	Vergangenheit . . . . .	1
1.2	Gegenwart . . . . .	5
1.3	Zukunft . . . . .	7
2	Die Hauptgebiete der Optik . . . . .	9
2.1	Geometrische Optik . . . . .	9
2.2	Wellenoptik . . . . .	10
2.3	Quantenoptik . . . . .	11
2.4	Statistische Optik . . . . .	12
3	Grundlagen der Wellenoptik . . . . .	15
3.1	Die Maxwell'schen Gleichungen . . . . .	15
3.2	Die Wellengleichung . . . . .	17
3.3	Wellen . . . . .	18
3.3.1	Eindimensionale Wellen . . . . .	19
3.3.2	Ebene Wellen . . . . .	21
3.3.3	Kugelwellen . . . . .	22
3.3.4	Besselwellen . . . . .	24
3.4	Der Begriff der Intensität einer Lichtwelle . . . . .	26
4	Kohärenz . . . . .	31
4.1	Zeitliche Kohärenz . . . . .	31
4.2	Räumliche Kohärenz . . . . .	40
4.3	Raumzeitliche Kohärenz . . . . .	46
4.4	Zur komplexen Darstellung des Lichtwellenfeldes . . . . .	49
4.5	Stellarinterferometrie . . . . .	50
4.6	Fourier-Spektroskopie . . . . .	52
4.7	Intensitätskorrelation . . . . .	54
5	Vielstrahlinterferenz . . . . .	59
5.1	Das Fabry-Perot-Interferometer . . . . .	59
5.2	Modenspektrum eines Lasers . . . . .	66
5.2.1	Interferenzspektroskopie . . . . .	67
5.2.2	Differenzfrequenzanalyse . . . . .	70
5.3	Rückgekoppelte Interferometer . . . . .	72

6	Granulation . . . . .	75
6.1	Intensitätsstatistik monofrequenter Speckelfelder . . . . .	76
6.2	Speckelkorngrößen . . . . .	78
6.3	Granulationsphotographie . . . . .	83
6.3.1	Doppelbelichtungsverfahren . . . . .	84
6.3.2	Zeitmittelungsverfahren . . . . .	87
6.3.3	Strömungsmeßtechnik . . . . .	89
6.4	Stellare Speckel-Interferometrie . . . . .	94
7	Holographie . . . . .	101
7.1	Das Prinzip der Holographie . . . . .	101
7.1.1	Der Aufnahmevorgang . . . . .	102
7.1.2	Die Bildrekonstruktion . . . . .	104
7.1.3	Die Lage der Bilder . . . . .	106
7.1.4	Phasenkonjugation . . . . .	108
7.2	Die Abbildungsgleichungen der Holographie . . . . .	110
7.3	Holographische Aufbauten . . . . .	114
7.3.1	Sichtlinienhologramme . . . . .	114
7.3.2	Auflichthologramme . . . . .	115
7.3.3	Durchlichthologramme . . . . .	116
7.3.4	Weißlichthologramme . . . . .	118
7.3.5	Regenbogenhologramme . . . . .	120
7.3.6	Holographische Kinematographie . . . . .	122
7.4	Digitale Holographie . . . . .	123
7.4.1	Direkte Simulation . . . . .	123
7.4.2	Simulation mit Rechteck-Lichtwellen . . . . .	129
8	Holographische Interferometrie . . . . .	135
8.1	Die holographisch-interferometrischen Verfahren . . . . .	136
8.1.1	Echtzeitverfahren . . . . .	136
8.1.2	Doppelbelichtungsverfahren . . . . .	137
8.1.3	Zeitmittelungsverfahren . . . . .	137
8.2	Theoretische Beschreibung . . . . .	138
8.2.1	Echtzeit- und Doppelbelichtungsverfahren . . . . .	138
8.2.2	Zeitmittelungsverfahren . . . . .	140
8.2.3	Das Zeitmittelungsverfahren in Echtzeit . . . . .	141
9	Fourieroptik . . . . .	145
9.1	Skalare Beugungstheorie . . . . .	145
9.1.1	Fresnelsche Näherung . . . . .	146
9.1.2	Fraunhofersche Näherung . . . . .	148
9.2	Fouriertransformation durch eine Linse . . . . .	150
9.3	Optische Fourierspektren . . . . .	152
9.3.1	Punktlichtquelle . . . . .	152
9.3.2	Ebene Welle . . . . .	153
9.3.3	Unendlich langer Spalt . . . . .	154

9.3.4	Zwei Punktlichtquellen . . . . .	156
9.3.5	Kosinus-Gitter . . . . .	157
9.3.6	Lochblende . . . . .	158
9.3.7	Zusammengesetzte beugende Strukturen . . . . .	160
9.4	Kohärente optische Filterung . . . . .	163
9.4.1	Tiefpaß – Raumfrequenzfilter . . . . .	164
9.4.2	Hochpaß – Dunkelfeldverfahren . . . . .	165
9.4.3	Phasenfilter – Phasenkontrastverfahren . . . . .	167
9.4.4	Halbebenenfilter – Schlierenverfahren . . . . .	168
9.4.5	Entrasterung . . . . .	168
9.4.6	Experimenteller Aufbau zur Filterung . . . . .	170
9.4.7	Holographische Filter . . . . .	171
9.4.8	Mustererkennung . . . . .	173
10	Die nichtlineare Dynamik des Lasers . . . . .	179
10.1	Der Laser – Aufbau und Prinzip . . . . .	179
10.2	Die Laserratengleichungen . . . . .	181
10.3	Stationärer Betrieb . . . . .	185
10.4	Stabilitätsanalyse . . . . .	187
10.5	Chaotische Dynamik . . . . .	192
11	Nichtlineare Optik . . . . .	199
11.1	Zwei-Photonen-Absorption und -Ionisation . . . . .	200
11.2	Drei-Wellen-Wechselwirkung . . . . .	201
11.2.1	Frequenzverdopplung . . . . .	202
11.2.2	Summenfrequenzbildung . . . . .	202
11.2.3	Differenzfrequenzbildung . . . . .	203
11.2.4	Optischer parametrischer Verstärker . . . . .	204
11.3	Vier-Wellen-Wechselwirkung . . . . .	204
11.4	Mehrphotonenprozesse . . . . .	205
11.4.1	Frequenzvervielfachung . . . . .	205
11.4.2	Mehrphotonenabsorption und -ionisation . . . . .	206
11.5	Weitere nichtlineare optische Phänomene . . . . .	206
11.6	Nichtlineare Potentiale . . . . .	208
11.7	Klassische Beschreibung der Wechselwirkung von Lichtwellen . . . . .	210
11.7.1	Drei-Wellen-Wechselwirkung . . . . .	212
11.7.2	Skalare Drei-Wellen-Wechselwirkung . . . . .	218
11.7.3	Frequenzverdopplung . . . . .	219
11.7.4	Der optische parametrische Verstärker und Oszillator . . . . .	222
11.7.5	Die Drei-Wellen-Wechselwirkung im Photonenbild . . . . .	224

12	Optische Nachrichtentechnik und Datenverarbeitung . . . . .	229
12.1	Glasfasern . . . . .	230
12.1.1	Aufbau einer Glasfaser . . . . .	230
12.1.2	Lichtleitung in Glasfasern . . . . .	231
12.1.3	Dämpfung einer Glasfaser . . . . .	233
12.2	Fasersensoren . . . . .	235
12.3	Optische Solitonen . . . . .	236
12.3.1	Dispersion . . . . .	237
12.3.2	Nichtlinearität . . . . .	241
12.4	Faseroptische Signalverarbeitung . . . . .	245
A	Anhang . . . . .	249
A.1	Fouriertransformation . . . . .	249
A.1.1	Die eindimensionale Fouriertransformation . . . . .	249
A.1.2	Die zweidimensionale Fouriertransformation . . . . .	250
A.1.3	Faltung und Autokorrelation . . . . .	251
A.1.4	Eigenschaften der Fouriertransformation . . . . .	252
A.1.5	Spezielle Funktionen und ihre Fouriertransformierten . . . . .	254
A.2	Lösungen der Übungsaufgaben . . . . .	257
	Namen- und Sachverzeichnis . . . . .	283