

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Komponenten optischer Meßsysteme	1
1.2	Die Fourieranalyse in der Meßtechnik	3
1.3	Thematische Schwerpunkte der folgenden Kapitel	5
2	Signalanalyse	7
2.1	Spektralanalyse	7
2.1.1	Einfluß der Diskretisierung auf das Leistungsdichtespektrum	8
2.1.2	Spektrale Interpolation	13
2.1.3	Vergleich von Methoden zur Frequenzschätzung	16
2.1.3.1	Realisierung der Hilbert-Transformation mittels FFT	17
2.1.3.2	Die Maximum-Entropie-Methode	20
2.1.3.3	Signal-Rausch-Verhältnis (SNR)	20
2.1.3.4	Monte-Carlo-Simulationen zur Frequenzschätzung verrauschter Sinussignale	24
2.1.4	Phasenbestimmung	26
2.2	Zeit-Frequenz-Schätzung	29
2.2.1	Direkte Zeit-Frequenz-Schätzung	30
2.2.2	Wigner-Ville-Spektralschätzung	30
2.2.3	Kurzzeit-Fourier-Transformation	31
2.2.4	Vergleich der Verfahren zur Zeit-Frequenz-Analyse	32
2.2.5	Zeit-Phasendifferenz-Analyse	35
2.3	Korrelationsanalyse	36
2.3.1	Korrelationsfunktionen zeitbegrenzter kontinuierlicher Signale	36
2.3.2	Autokorrelationsfunktionen stochastischer und periodischer Signale	38
2.3.3	Korrelationsfunktionen diskreter Signale	39
2.3.4	Anwendungen der Korrelationsanalyse	39

3	Fourieroptik	45
3.1	Grundzüge der Kirchhoff-Theorie	45
3.1.1	Der Kirchhoffsche Integralsatz	45
3.1.2	Beugungsoptik auf der Grundlage des Kirchhoffschen Integralsatzes	48
3.1.3	Streuung an rauen Oberflächen bei Einstrahlung ebener Wellen und Beobachtung des Fernfeldes	50
3.1.3.1	Tangentialebenen-Näherung	52
3.1.3.2	Fernfeld-Näherungen	54
3.1.4	Fraunhoferbeugung	56
3.2	Lineare optische Systeme	58
3.2.1	Fouriertransformation mittels einer Linse	60
3.2.2	Beispiele zur optischen Fouriertransformation	62
3.2.2.1	Einfache beugende Objekte	62
3.2.2.2	Beugung an Metallfiltergeweben	65
3.2.2.3	Stochastische Anordnung gleichartiger beugender Objekte	70
3.2.3	Optische Bildverarbeitung mittels Hilbert-Transformation	71
3.3	Streulichtverteilungen für dreidimensionale Objekte	78
3.3.1	Reflektierende Objekte	79
3.3.2	Transmittierende Objekte	82
3.3.3	Berechnung der Lichtstreuung für einen reflektierenden Zylinder . .	83
3.3.4	Lichtstreuung an einer gaußförmigen Riefe	87
3.3.5	Streuung an periodischen Oberflächen	88
3.3.6	Beobachtung in der Brennebene einer Linse	93
4	Lichtstreuung an stochastischen Oberflächen	95
4.1	Statistische Beschreibung der Oberflächentopographie	95
4.2	Erwartungswerte der Streulichtintensität	99
4.2.1	Oberflächen geringer Rauheit	102
4.2.2	Normalverteilte Oberflächenhöhen mit gaußförmiger Autokorrelati- onsfunktion	104
4.2.3	Normalverteilte Oberflächenhöhen mit exponentieller Autokorrela- tionsfunktion	107
4.2.4	Praktische Anwendungen der Streulichtmeßtechnik	110

4.2.4.1	Rauheitscharakterisierung durch Ermittlung der Streukulenbreite	113
4.2.4.2	Auswertung von Streulicht-Winkelverteilungen mittels Bildverarbeitung	116
5	Speckle-Meßmethoden	125
5.1	Entstehung und Statistik von Specklebildern	125
5.1.1	Lichtstreuung an einer rauhen Zylinderoberfläche	125
5.1.2	Speckleeffekte an planen Oberflächen	130
5.1.3	Speckles im Fernfeld und in optischen Abbildungen	132
5.1.3.1	Fernfeldspecklemuster	132
5.1.3.2	Speckles in optischen Abbildungen	135
5.1.4	Statistik von Specklemustern	137
5.2	Einführung in die Speckle-Korrelation	141
5.2.1	Abhängigkeit des Speckle-Korrelationskoeffizienten von der Statistik der Oberflächenhöhen	148
5.2.1.1	Spezielle Oberflächentypologien	152
5.2.1.2	Speckle-Korrelation bei Oberflächenveränderung	155
5.2.2	Abhängigkeit des Speckle-Korrelationskoeffizienten von der Autokorrelationsfunktion der Oberfläche	156
5.2.3	Spektrale und angulare Specklekorrelation	159
5.3	Elongation und Kontrast in polychromatischen Specklebildern	164
5.3.1	Polychromatische Laser-Lichtquellen	164
5.3.1.1	Spektrale Bandbreite der Lichtquelle	165
5.3.1.2	Kohärenzlänge	170
5.3.2	Theoretische Beschreibung von Speckle-Elongation und -Kontrast	176
5.3.2.1	Polychromatisches Licht mit kontinuierlichem Spektrum	177
5.3.2.2	Polychromatisches Licht mit diskretem Spektrum	186
5.3.3	Auswertung polychromatischer Specklebilder	193
5.3.3.1	Isotrop rauhe Oberflächen	197
5.3.3.2	Anisotrop rauhe Oberflächen	208
5.3.3.3	Kritische Oberflächen	211
5.4	Oberflächenbeleuchtung mit einem Specklemuster	217

5.4.1	Theoretische Herleitung der Autokorrelationsfunktion der Speckle-Intensitäten	219
5.4.1.1	Autokorrelationsfunktion der Speckle-Intensitäten für gaußförmige AKF der Oberfläche	221
5.4.1.2	Autokorrelationsfunktion der Speckle-Intensitäten für exponentielle AKF der Oberfläche	224
5.4.2	Oberflächencharakterisierung mit der Methode der zweifachen Lichtstreuung	228
6	Zweistrahl-Interferenz-Meßverfahren	237
6.1	Laser- und Phasen-Doppler-Anemometrie	238
6.1.1	Laser-Doppler-Anemometrie	238
6.1.2	Phasen-Doppler-Anemometrie	243
6.1.3	Frequenz-Modulations-Effekte in LDA- und PDA-Signalen	247
6.1.3.1	Partikelbeschleunigungen	247
6.1.3.2	Tropfenoszillationen	251
6.1.4	Meßbereichserweiterung bei der PDA durch Hüllkurvenschätzung	256
6.2	Regenbogen-Refraktometrie	259
6.2.1	Airy-Theorie des Regenbogens	262
6.2.2	Experimentelle Untersuchungen	266
6.3	Fourier-Holographie	271
6.3.1	Mathematische Beschreibung	273
6.3.2	Erläuternde Beispiele	275
6.3.2.1	Parabolischer Zylinder	276
6.3.2.2	Rechteckoberfläche	279
6.3.2.3	Punktstrahler auf einer rauen Oberfläche	285
6.3.3	Linsenlose Fourier-Holographie	287
6.4	Digitale Speckle-Photographie	288
6.4.1	Theoretische Behandlung der Speckle-Photographie	289
6.4.2	Analyse von Objektverkipungen und -rauheiten mit in der Fourierebene aufgenommenen Specklegrammen	291
6.4.3	Analyse von Objektverschiebungen durch Abbildungs- Specklegramme	293

INHALTSVERZEICHNIS

6.5	Zweistrah-Interferenz-Meßverfahren in der Bildebene	300
6.5.1	Digitale Speckle-Interferometrie	300
6.5.1.1	Auswertung von Interferogrammen	302
6.5.1.2	Schwingungsanalyse	304
6.5.2	Digitale Shearographie	306
A	Anhang	309
A.1	Faltungs- und Korrelationstheorem	309
A.2	Dirac-Kamm, Abtastung und Abtasttheorem	310
A.2.1	Dirac-Kamm	310
A.2.2	Signalabtastung und Abtasttheorem	311
A.3	Wellengleichung und Helmholtz Gleichung	316
A.4	Brechungsgesetz und Fresnelsche Formeln	318
A.4.1	TE-Polarisation	320
A.4.2	TM-Polarisation	323
A.5	Zusammenhang zwischen elektrischem Feld und Intensität	326
A.6	Babinet-Theorem	327
A.7	Integrale von Exponentialfunktionen	328
	Literatur	331
	Verzeichnis der Formelzeichen	350
	Verzeichnis der Abkürzungen	359