

# Optoelektronische Verfahren zur Messung geometrischer Größen in der Fertigung

Grundlagen, Verfahren, Anwendungsbeispiele

Tilo Pfeifer

Günther Blum  
Bernhard Brand  
Rainer Brodmann  
Franz-Josef Czuka  
Helmut A. Kappner  
Walter Kimmelmann

Horst Kreitlow  
Gerd Möhrke  
Helmut Selbach  
Jürgen Thiel  
Johann A. Waltar  
Josef Wanzki

Mit 228 Bildern und 130 Literaturstellen



Kontakt & Studium  
Band 405

Herausgeber:  
Prof. Dr.-Ing. Wilfried J. Bartz  
Technische Akademie Esslingen  
Weiterbildungszentrum  
DI Elmar Wippler  
expert verlag

**expert**  **verlag**

# Inhaltsverzeichnis

---

Herausgeber-Vorwort  
Autoren-Vorwort

<b>1.</b>	<b>Eindimensionale optische Meßverfahren</b>	<b>1</b>
	Tilo Pfeifer	
1.1	Einleitung	1
1.2	Optoelektronische Verfahren zum Messen und Prüfen	1
1.3	Eindimensionale optische Abstandsmeßverfahren	3
1.3.1	Das Rückstreuverfahren	7
1.3.2	Das Triangulationsverfahren	12
1.3.3	Das Lichtschnittverfahren	18
1.3.4	Das Autofokusverfahren	19
1.3.5	Das Lichtlaufzeitverfahren	21
1.4	Einsatz in der Fertigungsmeßtechnik	23
<b>2.</b>	<b>Interferometrie</b>	<b>25</b>
	Johann A. Waltar/Helmut Selbach	
2.1	Laserinterferometrie und Geradheitsmessung mit Lasern	25
2.1.1	Einführung	25
2.1.2	Das Meßprinzip	25
2.1.3	Praktische Realisierung von Laserinterferometern für die Längenmessung	28
2.1.3.1	Zwei-Moden-Verfahren	29
2.1.3.2	Ein-Moden-Verfahren	31
2.1.4	Meßunsicherheiten beim Messen mit Laserinterferometern	32
2.1.5	Laserinterferometer als Prüfmittel	38
2.1.5.1	Messung von Übertragungsfehlern	38
2.1.5.2	Geradheitsmessung	40
2.1.5.3	Rechtwinkligkeitsmessung	42
2.1.5.4	Winkelmessung	43
2.1.6	Laserinterferometer als Einbauwegmeßsystem	47
2.1.6.1	Vergleich mit anderen Wegmeßsystemen	47

2.1.6.2	X-Y-Positioniersysteme	49
2.1.7	Entwicklungstendenzen	49
2.1.8	Zusammenfassung	51
2.2	Halbleiter-Laser zur Geradheits- und Vibrationsmessung	52
2.2.1	Einleitung	52
2.2.2	Anforderungen an das Meßsystem	52
2.2.2.1	Anforderungen an die Genauigkeit der Meßgeraden	54
2.2.2.2	Anforderungen an das optische Interferometer	54
2.2.2.3	Positions- und Winkelmessungen	58
2.2.3	Aufbau des Bahnprüfstandes	58
2.2.4	Genauigkeitsmessungen an Industrierobotern	60
2.2.5	Berührungslose Vibrationsmessungen	61
2.2.6	Zusammenfassung	65
<b>3.</b>	<b>Triangulation</b>	<b>66</b>
	Gerd Möhrke//Günther Blum	
3.1	Triangulation und Lichtschnittverfahren	66
3.1.1	Prinzip und Aufbau von Triangulationssensoren	66
3.1.2	Einflußfaktoren auf die Meßunsicherheit	70
3.1.3	Triangulationssensorsysteme	72
3.1.4	Zusammenfassung und Ausblick	73
3.2	Einsatz von Triangulations- und Lichtschnittsensoren	75
3.2.1	Eindimensionaler Abstandssensor	76
3.2.2	Eindimensionaler Abstandssensor mit Positioniersystem	77
3.2.3	Eindimensionaler Abstandssensor mit Strahlablenkung zur schnellen Profilabtastung	80
3.2.4	Lichtschnittsensor zur zweidimensionalen Profilaufnahme	83
<b>4.</b>	<b>Laserscanner</b>	<b>85</b>
	Jürgen Thiel/Bernhard Brand	
<b>5.</b>	<b>Streulichtsensor</b>	<b>96</b>
	Rainer Brodmann/Walter Kimmelmann	
5.1	Das Streulichtverfahren	98
5.1.1	Rauheitsmessung	100
5.1.1.1	Optische Rauheitskennwerte	101
5.1.1.2	Vergleich mechanischer und optischer Rauheitsmessung	102

5.1.2	Formmessung	105
5.1.3	On-line-Rauheitsmessung	107
5.1.4	Fertigungsnahe Rundheitsmessung	111
5.2	Anwendung des Streulichtsensors zur Oberflächenprüfung von Herzschriftermachern	117
5.2.1	Aufgabenstellung	117
5.2.2	Automatisierte Oberflächenprüfung	118
5.2.2.1	Bewegungs- und Meßablauf	119
5.2.2.2	Kommunikation und Meßdatenverarbeitung	120
5.2.3	Praktische Erfahrungen	121
<b>6.</b>	<b>Autofokussensor</b>	<b>123</b>
	Rainer Brodmann	
6.1	Das Autofokusverfahren	123
6.1.1	Profilometrie	125
6.1.2	Topographiemessung	129
6.2	Anwendungen	129
6.2.1	Messungen an Lackstrukturen	129
6.2.2	Messungen in der Dickschichttechnik	134
6.2.3	Verschleißmessungen	136
6.2.4	Formmessungen	136
<b>7.</b>	<b>Faseroptische Sensoren</b>	<b>140</b>
	Horst Kreitlow	
7.1	Prinzip und Anwendung faseroptischer Sensoren	140
7.1.1	Einleitung	140
7.1.2	Aufbau von Lichtwellenleitern und Lichtwellenleiterarten	141
7.1.3	Einkopplung und Aufteilung von Licht in Lichtwellenleitern	142
7.1.4	Aufbau faseroptischer Sensoren	145
7.1.4.1	Grundlagen	145
7.1.4.2	Faseroptische Abstandssensoren	150
7.1.5	Entwicklungstendenzen	159
<b>8.</b>	<b>Kamerameßtechnik</b>	<b>166</b>
	Franz-Josef Czuka/Helmut A. Kappner/Josef Wanzki	
8.1	Grundlagen der Kamerameßtechnik	166
8.1.1	Zugrundeliegendes Meßprinzip	167

8.1.2	Komponenten eines Kamerameßsystems	167
8.1.3	Das Handhabungssystem	168
8.1.4	Die Beleuchtung	170
8.1.4.1	Aufnahme im Gegenlicht	172
8.1.4.2	Aufnahme im diffusen Auflicht	173
8.1.4.3	Aufnahme im gerichteten Auflicht	173
8.1.4.4	Gezielte Beleuchtung zur Vereinfachung der Auswertung	175
8.1.4.5	Kodierte Beleuchtung	176
8.1.5	Der Prüfling	177
8.1.6	Das abbildende System	178
8.1.7	Bildaufnehmer	180
8.1.7.1	Funktionsweise und Aufbau	180
8.1.7.2	Abhängigkeit von Sensor und Handhabungssystem	184
8.1.8	Das Bildverarbeitungssystem	186
8.2	Stanzteilprüfung mit Bildverarbeitung	189
8.2.1	Handhabung	192
8.2.2	Die Bildverarbeitung	192
8.2.3	Auswertung im Rechner	198
8.3	Bildverarbeitung in industriellen Anwendungen	200
8.3.1	Einführung	200
8.3.2	Bildverarbeitungsmethoden	201
8.3.2.1	Natürliches und künstliches Sehen	201
8.3.2.2	Bildaufnahme	201
8.3.2.2.1	Interlaced-Verfahren	201
8.3.2.2.2	Synchronisation und Rasterung	203
8.3.2.2.3	Aufnahme bewegter Objekte	206
8.3.2.3	Digitalisierung	208
8.3.2.4	Transformationen mit Look-Up-Tables (LUTs)	208
8.3.2.5	Nachbarschaftsoperationen	213
8.3.2.5.1	Funktionsprinzip	213
8.3.2.5.2	Lokale zweidimensionale Filteroperationen	215
8.3.2.5.3	Lokale eindimensionale Filteroperationen	219
8.3.2.5.4	Überlegungen zur Filtergröße und zu den Rechenzeiten	219
8.3.2.5.5	Bildtransformation in den Frequenzbereich	221
8.3.2.5.6	Vergleich mit Mustern	221
8.3.2.5.7	Morphologische Operationen	222
8.3.2.5.8	Konturextraktion und Linienverdünnung	224
8.3.2.6	Merkmalsextraktion	226
8.3.2.6.1	Histogramm-Auswertung	226
8.3.2.6.2	Hough-Transformation	227
8.3.2.6.3	Konturcodierung	229
8.3.2.7	Objekterkennung	232
8.3.2.8	Klassifikation	232

8.3.2.9	Erhöhung der Meßgenauigkeit über die Pixel-Auflösung hinaus	234
8.3.3	Hardware-Strukturen	236
8.3.3.1	Auswahl von Rechnern für die industrielle Bildverarbeitung	236
8.3.3.2	Hardware-Architekturen	239
8.3.3.2.1	Spezialrechner für die Bildverarbeitung	239
8.3.3.2.2	Busstrukturen	242
8.3.4	Systemsoftware im Wandel	243
8.3.4.1	Traditionelle Programmierung gegen graphische Bedieneroberflächen	243
8.3.4.2	Ein menügeführtes Sichtprüfsystem für dimensionelle Meßaufgaben	245
8.3.4.2.1	Übersicht	245
8.3.4.2.2	Menüführung	245
8.3.4.2.3	Funktionsblöcke	247
8.3.5	Einsatzfelder und Anwendungsbeispiele für industrielle Sichtprüfsysteme	252
8.3.5.1	Einsatzfelder	252
8.3.5.2	Anwendungsbeispiele	253
8.3.5.2.1	Ein visueller Schraubenprüfautomat	254
8.3.5.2.2	Automatische Positionierung von Sinterteilen	257
8.3.5.2.3	Präzisions-Prüfmaschine für rotationssymmetrische Werkstücke	260
8.3.6	Ausblick	267
8.4	Prüfung zylindrischer Werkstücke	267
8.4.1	Einleitung	267
8.4.2	Aufbau	268
8.4.3	Varianten	269
8.4.4	Systemarchitektur	270
8.4.5	Applikationstest	273
8.4.6	Applikationsbeispiel	273
8.4.7	Leitrechnerfunktion	275
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>277</b>
<b>Sachregister</b>		<b>284</b>
<b>Autorenverzeichnis</b>		<b>287</b>