

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Übersicht und Struktur des Buches	1
1.2	Entwicklung der Fertigungsmesstechnik	4
1.3	Fertigungsmesstechnik innerhalb des Produktlebenszyklus	6
1.4	Ausbildung in der Fertigungsmesstechnik	10
1.4.1	Stand der Ausbildung und Motivation	10
1.4.2	Blended Learning als Ausbildungskonzept mit Zukunft	12
2	Grundlagen der Fertigungsmesstechnik	15
2.1	Grundbegriffe, Definitionen	15
2.1.1	Messstrategien, Normen, Richtlinien und GPS	16
2.1.2	Maße und Maßtoleranzen, Spezifikationen	18
2.1.3	SI Einheitensystem	19
2.1.4	Konstruktionsprinzipien, Freiheitsgrade, Abbeprinzip	20
2.2	Maßverkörperungen, Laserinterferometer, Messsysteme	22
2.2.1	Endmaße, Parallelendmaße, Rückführung	22
2.2.2	Laserinterferometer, Rückführung	25
2.2.3	Digitale Messsysteme für Länge und Winkel	34
2.3	Messunsicherheit und deren Ursachen	36
2.3.1	Bedeutung der Messunsicherheit	37
2.3.2	Entscheidungsregeln beim Prüfen von Werkstücken	37
2.3.3	Ursachen für Messunsicherheit	40
2.3.4	Methoden zur Ermittlung der Messunsicherheit	46
2.3.5	Korrekte Angabe von Messergebnissen	52
2.3.6	Maßnahmen zur Verringerung der Messunsicherheit	52
2.3.7	Vereinfachte Vorgehensweise	53
2.3.8	Messunsicherheitsbestimmung, ein Beispiel aus der Praxis	53
3	Messtechnik im Betrieb und Messraum	57
3.1	Koordinatenmesstechnik	57
3.1.1	Grundlagen	57

3.1.2	Prinzipieller Aufbau von Koordinatenmessgeräten	62
3.1.3	Bauarten und Automatisierungsgrad von Koordinatenmessgeräten	70
3.1.4	Multisensorik, Messkopfsysteme, Sonderzubehör, Schnittstellen	76
3.1.5	Rückführung, Überwachung, Normale, Messunsicherheit	82
3.2	Form- und Lagemesstechnik	85
3.2.1	Grundlagen	85
3.2.2	Form- und Lagetolerierung	87
3.2.3	Form- und Lagemessverfahren	94
3.2.4	Rückführung, Überwachung, Normale, Messunsicherheit	100
3.3	Oberflächen- und Konturmesstechnik	103
3.3.1	Grundlagen	103
3.3.2	Angabe von Rauheit auf Zeichnungen	105
3.3.3	2D-Rauheitsparameter	106
3.3.4	3D-Rauheitsparameter	109
3.3.5	Filterung	111
3.3.6	Wahl der Messbedingungen, Messstrategie	112
3.3.7	Oberflächen- und Konturmessgeräte	115
3.3.8	Rückführung, Überwachung, Normale, Messunsicherheit	118
3.4	Mikro- und Nanomesstechnik, Abbekomparator	120
3.4.1	Abbekomparator und Anwendungen	120
3.4.2	Mikro- und Nanomesstechnik	123
3.5	Messräume, Anforderungen, Gestaltung, Klimatisierung	127
3.5.1	Grundlagen	127
3.5.2	Kenngrößen und Klassifikation	127
3.5.3	Architektur und Ausrüstung	130
4	Fertigungsorientierte Messtechnik	133
4.1	Messmittel und Lehren für Werkstatt und Produktion	134
4.1.1	Lehren, Taylorscher Grundsatz	134
4.1.2	Längenaufnehmer, Messsignal, Skalen- und Ziffernanzeige	138
4.1.3	Messuhr und Feinzeiger, mechanisch	139
4.1.4	Längenmessgeräte, induktiv, kapazitiv, magnetisch, optisch	141
4.1.5	Längenmessgeräte, pneumatisch	146
4.2	Messvorrichtungen/Mehrstellenmesstechnik	149
4.2.1	Baukastensysteme für Messvorrichtungen	149
4.2.2	Messautomaten, Messzellen und Automatisierungstechnik	150
4.3	Messen in der Maschine, Längenregelung	152
4.3.1	Beherrschte Fertigung/Produktion	152
4.3.2	Messsteuerung beim Außenrundschleifen	154
4.3.3	Weitere Einsatzgebiete der Maschinenmesstechnik	155
4.4	Sichtprüfung und deren Automatisierung	156
4.4.1	Arten visueller Prüfungen	156

4.4.2	Sichtprüfung durch den Menschen	157
4.4.3	Vorgehen bei der automatisierten Sichtprüfung mit Bildverarbeitung	160
4.4.4	Komponenten und Geräte bei der automatisierten Sichtprüfung	167
4.4.5	Beleuchtung bei der automatisierten Sichtprüfung	168
4.4.6	Kamera, Objektiv und Rechner	171
4.4.7	Anwendungen und Systemintegration in der Produktion	176
4.5	Statistische Prozessregelung (SPC)	178
4.5.1	Grundlagen, Qualitätsmanagement-Verfahren	178
4.5.2	Qualitätsfähigkeitskennzahlen	184
4.5.3	Kurzzeitfähigkeit	186
4.5.4	Vorläufige und Langzeit-Prozessfähigkeit	187
4.5.5	Qualitätsregelkarten (QRK)	188
4.6	Digitale Schnittstellen und drahtlose Datenübertragung	190
4.6.1	Kabelgebundene Datenübertragung	191
4.6.2	Kabellose Datenübertragung	192
4.6.3	Aktuelle Marktsituation und Ausblick	193
5	Berührungslos/optische Messverfahren	195
5.1	Einführung	195
5.1.1	Entwicklung der berührungslos optischen Messtechnik	196
5.1.2	Messen am Bild – Messen im Bild	198
5.1.3	Messbereich und Messunsicherheit optischer Messverfahren	200
5.2	Integrierbare optische Sensoren	200
5.2.1	Laser-Autofokusverfahren (1D)	200
5.2.2	Chromatisches Messverfahren (1D)	202
5.2.3	Lasertriangulationsverfahren (1D, 2D)	204
5.2.4	Konoskopische Holographieverfahren (1D, 2D)	207
5.2.5	Streulicht-Sensor für die Oberflächenmesstechnik (1D)	208
5.3	Eigenständige optische Messsysteme (1D bis 3D)	211
5.3.1	Laserscanner (2D)	211
5.3.2	Messmikroskop und Profilprojektor (2D)	212
5.3.3	Konfokal-Mikroskop (2D)	215
5.3.4	Twyman Green-, Schräglicht-, Weißlichtinterferometrie (3D)	217
5.3.5	Messgeräte nach dem Fokusvariationsverfahren (3D)	224
5.4	Optische 2,5D-Koordinatenmesstechnik	227
5.5	Optische 3D-Koordinatenmessgeräte	232
5.5.1	Streifenprojektionsverfahren	234
5.5.2	Messgeräte mit Fotogrammetrie	239
5.5.3	Theodolit	241
5.5.4	Lasertracker, berührend und berührungslose Antastung	242
5.5.5	Lasertracer	245

5.5.6 Absolutmessendes Interferometer	247
5.5.7 Indoor GPS	248
5.6 Computertomographie	250
5.6.1 Eigenschaften, Sicherheit und Diskussion	253
5.6.2 Anwendung	254
5.7 Systemintegration und Standardisierung optischer Sensoren	255
6 Prüfmittelmanagement	257
6.1 Übersicht, Bedeutung und Zusammenhänge	258
6.2 Beherrschte Prüfprozesse	259
6.2.1 Fähigkeit des Messmittels, Verfahren 1	260
6.2.2 Fähigkeit eines Messprozesses mit Bedienereinfluss, Verfahren 2 .	261
6.2.3 Fähigkeit eines Messprozesses ohne Bedienereinfluss, Verfahren 3 .	265
6.2.4 Messbeständigkeit eines Messprozesses, Verfahren 4	266
6.2.5 Fähigkeit für Prüfprozesse bei attributiven Merkmalen, Verfahren 5	267
6.3 Prüfplanung	268
6.3.1 Prüfplanerstellung	269
6.3.2 Funktions- und prozessorientierte Prüfplanung	272
6.3.3 Prüfplanung und beherrschte Fertigung	273
6.3.4 Kalibrierwesen, Rückführbarkeit	274
6.3.5 Prüfmittelverwaltung	279
7 Glossar, Begriffe, Definitionen	281
8 Literatur, Normen und Links	293
8.1 Links zu wichtigen Metrologischen Institutionen	293
Literatur- und Normenverzeichnis	296
Sachverzeichnis	303
Dictionary English-German	313