

**Claus P. Keferstein · Michael Marxer  
Carlo Bach**

# **Fertigungsmesstechnik**

**Alles zu Messunsicherheit, konventioneller  
Messtechnik und Multisensorik**

**9., überarbeitete und erweiterte Auflage**

**Springer Vieweg**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
1.1	Übersicht und Struktur des Buches	1
1.2	Entwicklung der Fertigungsmesstechnik	5
1.3	Fertigungsmesstechnik innerhalb des Produktlebenszyklus	7
1.4	Ausbildung in der Fertigungsmesstechnik	11
1.4.1	Stand der Ausbildung und Motivation	11
1.4.2	Blended Learning als bewährtes Ausbildungskonzept mit Zukunft	13
	Literatur	15
<b>2</b>	<b>Grundlagen der Fertigungsmesstechnik</b>	<b>17</b>
2.1	Grundbegriffe, Definitionen	17
2.1.1	Geometrische Produkt Spezifikation (GPS)	17
2.1.2	Maßtoleranzen, Spezifikationen	22
2.1.3	SI Einheitensystem	23
2.1.4	Konstruktionsprinzipien	24
2.2	Messtechnische Rückführung	26
2.2.1	Messtechnische Rückführung	26
2.2.2	Maßverkörperungen	29
2.3	Messunsicherheit und deren Ursachen	31
2.3.1	Bedeutung der Messunsicherheit, Entscheidungsregeln	32
2.3.2	Ursachen für Messunsicherheit	35
2.3.3	Methoden zur Abschätzung der Messunsicherheit	41
2.3.4	Korrekte Angabe von Messergebnissen	47
2.3.5	Maßnahmen zur Verringerung der Messunsicherheit	47
2.3.6	Abschätzung der Messunsicherheit, Vorgehensweise	48
2.3.7	Abschätzung der Messunsicherheit, Beispiel	48
	Literatur	51
<b>3</b>	<b>Messtechnik im Betrieb und Messraum</b>	<b>53</b>
3.1	Koordinatenmesstechnik	54
3.1.1	Grundprinzip der Koordinatenmesstechnik	54

3.1.2	Gerätetechnik	59
3.1.3	Bauarten	67
3.1.4	Taktile Koordinatenmesstechnik	73
3.1.5	Optische Koordinatenmesstechnik	79
3.1.6	Multisensor-Koordinatenmesstechnik	84
3.1.7	Schnittstellen/CAx	89
3.2	Form-und Lagemesstechnik	94
3.2.1	Grundlagen	94
3.2.2	Spezifikation von Form und Lage	96
3.2.3	Gerätetechnik	101
3.2.4	Rückführung, Überwachung, Normale, Messunsicherheit	109
3.3	Oberflächen- und Konturmesstechnik	111
3.3.1	Grundlagen	112
3.3.2	Spezifikation von Rauheit	113
3.3.3	2D-Rauheitsparameter	115
3.3.4	3D-Rauheitsparameter	118
3.3.5	Gerätetechnik	119
3.3.6	Filterung	122
3.3.7	Messbedingungen, Messstrategie	124
3.3.8	Rückführung, Überwachung, Normale, Messunsicherheit	126
3.4	Abbekomparator	128
3.5	Mikro-und Nanomesstechnik	131
3.6	Messräume	134
3.6.1	Grundlagen	134
3.6.2	Kenngrößen und Klassifikation	135
3.6.3	Architektur und Ausrüstung	137
	Literatur	139
<b>4</b>	<b>Fertigungsorientierte Messtechnik</b>	<b>143</b>
4.1	Messmittel und Lehren für Werkstatt und Produktion	144
4.1.1	Maßverkörperungen für Länge und Winkel	144
4.1.2	Längenaufnehmer, Messsignal, Skalen-und Ziffernanzeige . . . .	147
4.1.3	Lehren, Taylorscher Grundsatz	148
4.1.4	Messuhr und Feinzeiger, mechanisch	151
4.1.5	Längenmessgeräte, induktiv, kapazitiv, magnetisch, optisch . . . .	153
4.1.6	Längenmessgeräte, pneumatisch	157
4.2	Messvorrichtungen/Mehrstellenmesstechnik	160
4.2.1	Baukastensysteme für Messvorrichtungen	160
4.2.2	Messautomaten, Messzellen und Automatisierungstechnik . . . .	162
4.3	Messen in der Maschine, Längenregelung	163
4.3.1	Beherrschte Fertigung/Produktion	163
4.3.2	Messsteuerung beim Außenrundscheifen	165

4.3.3	Weitere Einsatzgebiete der Maschinenmesstechnik	166
4.3.4	Überwachung von Werkzeugmaschinen	166
4.4	Sichtprüfung und deren Automatisierung	168
4.4.1	Arten visueller Prüfungen	168
4.4.2	Sichtprüfung durch den Menschen	170
4.4.3	Automatisierte Sichtprüfung mit Bildverarbeitung	173
4.4.4	Komponenten und Geräte bei der automatisierten Sichtprüfung . .	179
4.4.5	Beleuchtung bei der automatisierten Sichtprüfung	181
4.4.6	Komponenten bei der automatisierten Sichtprüfung	182
4.4.7	Anwendungen und Systemintegration in der Produktion	188
4.5	Statistische Prozessregelung (SPC)	190
4.5.1	Grundlagen, Qualitätsmanagement-Verfahren	190
4.5.2	Qualitätsfähigkeitskennzahlen	195
4.5.3	Kurzzeitfähigkeit	198
4.5.4	Vorläufige und Langzeit-Prozessfähigkeit	199
4.5.5	Qualitätsregelkarten	200
4.6	Digitale Schnittstellen und drahtlose Datenübertragung	203
4.6.1	Kabelgebundene Datenübertragung	204
4.6.2	Kabellose Datenübertragung	205
4.6.3	Aktuelle Marktsituation und Ausblick	206
	Literatur	206

## **5 Berührungslose Messverfahren 209**

5.1	Einführung	210
5.1.1	Grundlagen	210
5.1.2	Gegenüberstellung optischer Messverfahren	214
5.2	Optische Sensoren	215
5.2.1	Bildverarbeitung	216
5.2.2	Lasertriangulation	216
5.2.3	Foucault-Sensor	220
5.2.4	Chromatische Weißlichtsensoren	221
5.2.5	Laser-Autofokusverfahren	223
5.2.6	Weißlichtinterferometrie	224
5.2.7	Streulicht-Sensoren	232
5.2.8	Konoskopische Holografie	234
5.3	Optische Messsysteme	235
5.3.1	Laserinterferometer	235
5.3.2	Laserscanner	245
5.3.3	Messmikroskop und Profilprojektor	246
5.3.4	Konfokal-Mikroskop	249
5.3.5	Fokusvariation	251
5.3.6	Streifenprojektion	253

5.3.7	Fotogrammetrie	257
5.3.8	Lasertracker	260
5.3.9	Lasertracer	262
5.3.10	Indoor GPS	264
5.4	Computertomographie	266
5.4.1	Messprinzip	266
5.4.2	Gerätetechnik	267
5.4.3	Eigenschaften und Diskussion	269
5.4.4	Anwendung	270
5.5	Auswertung von Punktwolken	271
5.5.1	Einführung	271
5.5.2	Abtastmethoden	273
5.5.3	Verarbeitung	274
5.5.4	Oberflächenrekonstruktion	275
5.5.5	Flächenrückführung, Reverse Engineering	276
5.5.6	Auswertung	276
	Literatur	277
<b>6</b>	<b>Prüfmittelmanagement</b>	<b>279</b>
6.1	Übersicht, Bedeutung und Zusammenhänge	279
6.2	Beherrschte Prüfprozesse	281
6.2.1	Fähigkeit des Messmittels, Verfahren 1	282
6.2.2	Fähigkeit eines Messprozesses mit Bedienerinfluss, Verfahren 2	284
6.2.3	Fähigkeit eines Messprozesses ohne Bedienerinfluss, Verfahren 3	287
6.2.4	Messbeständigkeit eines Messprozesses, Verfahren 4	288
6.2.5	Fähigkeit für Prüfprozesse bei attributiven Merkmalen, Verfahren 5	288
6.3	Prüfplanung	290
6.3.1	Prüfplanerstellung	290
6.3.2	Funktions- und prozessorientierte Prüfplanung	294
6.3.3	Prüfplanung und beherrschte Fertigung	295
6.3.4	Prüfmittelverwaltung	297
	Literatur	298
<b>7</b>	<b>Glossar, Begriffe und Definitionen</b>	<b>299</b>
	Literatur	310
	<b>Links zu wichtigen Metrologischen Institutionen</b>	<b>311</b>
	<b>Dictionary English-German</b>	<b>313</b>
	<b>Sachverzeichnis</b>	<b>331</b>