

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b> . . . . .	1
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> . . . . .	17
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> . . . . .	53
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
<b>5</b>	<b>Berührungslose Messverfahren . . . . .</b>	<b>209</b>
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>