

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 Außenrundscheifen | 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 Holografieverfahren (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 Bedienerinfluss, Verfahren 2 | 261 |
| 6.2.3 | Fähigkeit eines Messprozesses ohne Bedienerinfluss, 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 |