

Inhaltsübersicht

1	Die Koordinatenmesstechnik im Spannungsfeld der Industriellen Qualitätssicherung	
1.1	3D-Koordinatenmesstechnik - ein Rückblick auf ihre Entwicklung	H. J. Neumann
1.2	Die Koordinatenmesstechnik in Normen und Regelwerken	F. Wäldele
2	Grundlagen der Koordinatenmesstechnik	
2.1	Taktile Sensorik an Koordinatenmessgeräten	H. J. Neumann
2.2	Optische Sensorik an Koordinatenmessgeräten.....	R. Christoph, W. Rau
2.3	Vielpunktmessung oder Einzelpunktmessung?	H. J. Neumann
2.4	Koordinatenmesstechnik und CAx-Anwendungen zur Qualitätsprüfung	D. Imkamp.....
2.5	Formmessung - ein wichtiges Einsatzfeld der Koordinatenmesstechnik	H. J. Neumann
2.6	Besonderheiten bei optischen und Multisensor-Koordinatenmessgeräten.....	R. Christoph, W. Rau
3	Aspekte der Messunsicherheit	
3.1	Methoden zur Ermittlung der Messunsicherheit von Koordinatenmessungen	F. Wäldele, H. Schwenke.....
3.2	Beispiele zur Abschätzung der Messunsicherheit anhand der spezifizierten Längenmessabweichung.....	M. Hernla.....
3.3	Prüfprozesseignung - Welche Methode ist die Richtige?	H. Weber, H. J. Neumann.....
3.4	Die Messunsicherheit im Fertigungsprozess.....	H. J. Neumann, R. Christoph
3.5	Lineare thermische Einflüsse - ein Leitfaden für den praktischen Einsatz	H. J. Neumann
3.6	Prüfung und Kalibrierung von großen Koordinatenmessgeräten	H. Schwenke, F. Wäldele.....
4	Anwendungen und Erfahrungen	
4.1	Erfahrungswerte beim Einsatz von Koordinatenmessmaschinen in der Fertigung	W. Schwarz
4.2	Erfahrungen bei der Überwachung von Koordinatenmessgeräten	TH. Hageney
4.3	Qualitätssicherung im Motorenbau mit Koordinatenmessgeräten	G. König
4.4	Koordinatenmessgeräte für das Messen von Mikrobauteilen	M. Andräs, R. Christoph.....
4.5	Zahnradmessungen mit Koordinatenmessgeräten	F. Härtig, W. Lotze, F. Wäldele
4.6	Ersatz von Mehrstellenmesseinrichtungen und Lehren durch Multisensor-Koordinatenmesstechnik	D. Ferger, U. Lunze, R. Christoph
5	Allgemeine Aspekte der Koordinatenmesstechnik	
5.1	Auswahlkriterien für Koordinatenmessgeräte.....	H. J. Neumann
5.2	Herstellerneutrale Ausbildung in der Koordinatenmesstechnik.....	R. Roithmeier
5.3	Spaß an der Messtechnik.....	H. J. Neumann

Inhaltsverzeichnis

1	Die Koordinatenmesstechnik im Spannungsfeld der industriellen Messtechnik	
1.1	3D-Koordinatenmesstechnik - ein Rückblick auf ihre Entwicklung	13
1.1.1	Einleitung	13
1.1.2	Entwicklungsstadien und Meilensteine	14
1.1.2.1	Koordinatenmessgeräte	14
1.1.2.2	Sensorik	22
1.1.2.3	Längenmesssysteme	25
1.1.2.4	Datenverarbeitung	26
1.1.2.5	Software	28
1.1.2.6	Meilensteine in der Gerätetechnik	30
1.1.3	Probleme bei der Einführung der Koordinatenmesstechnik	31
1.1.4	Schlussbemerkungen	32
1.1.5	Literatur	32
1.2	Die Koordinatenmesstechnik in Normen und Regelwerken	35
1.2.1	Einleitung	35
1.2.2	Normungsarbeit, national und international	35
1.2.3	Grundnormen	36
1.2.4	Grundsätzliches zu den Normen und Richtlinien	37
1.2.4.1	Normen und Richtlinien zur „Genauigkeit“ von KMG	39
1.2.4.2	Normen und Richtlinien zur Messunsicherheit	39
1.2.4.3	Prinzipien und Struktur der ISO 10360 und VDI/VDE 2617	40
1.2.5	Die Normen und Richtlinien im Einzelnen	41
1.2.5.1	DIN EN ISO 10360-1: Begriffe, VDI/VDE 2617-1: Grundlagen	42
1.2.5.2	DIN EN ISO 10360-2: KMG eingesetzt zur Messung von Längenmaßen	43
1.2.5.3	VDI/VDE 2617-2.1: Leitfaden zur Anwendung von DIN EN ISO 10360-2	46
1.2.5.4	DIN EN ISO 10360-3: KMG mit der Achse eines Drehtisches als 4. Achse	46
1.2.5.5	VDI/VDE 2617-4: Leitfaden zur Anwendung von DIN EN ISO 10360-3	48
1.2.5.6	DIN EN ISO 10360-4: Im Scanningmodus angewendete KMG	49
1.2.5.7	DIN EN ISO 10360-5: Mit Mehrfachsternen angewendete KMG	50
1.2.5.8	DIN EN ISO 10360-6: Fehlerabschätzung beim Berechnen Gaußscher zugeordneter Geometrieelemente	51
1.2.5.9	VDI/VDE 2617-2.2: Formmessung	53
1.2.5.10	VDI/VDE 2617-2.3: Annahme- und Bestätigungsprüfung von Koordinatenmessgeräten großer Bauart	54
1.2.5.11	VDI/VDE 2617-3: Komponenten der Messabweichung des Geräts	57
1.2.5.12	VDI/VDE 2617-5: Überwachung durch Prüfkörper	57

1.2.5.13	VDI/VDE 2617-5.1: Überwachung mit Kugelplatten	58
1.2.5.14	VDI/VDE 2617-6: KMG mit optischer Antastung, Grundlagen.....	60
1.2.5.15	VDI/VDE 2617-6.1: Sensoren zur 2D-Messung	62
1.2.5.16	VDI/VDE 2617-6.2: Optische 1D-Sensoren.....	62
1.2.6	Richtlinien zur Unsicherheit von Messungen auf KMG.....	63
1.2.7	Vorgesehene Änderungen in den Regelwerken	64
1.2.8	Ausblick.....	65
1.2.9	Literatur.....	66
1.2.10	Anhang: Normen und Richtlinien	67
1.2.10.1	DIN EN ISO-Normen.....	67
1.2.10.2	VDI/VDE 2617-Richtlinien.....	67

2 Grundlagen der Koordinatenmesstechnik

2.1	Taktile Sensorik an Koordinatenmessgeräten	69
2.1.1	Einleitung	69
2.1.2	Aufbau und Prinzip taktiler Sensoren	69
2.1.2.1	Taktile Sensoren - schaltend	70
2.1.2.2	Taktile Sensoren - messend	73
2.1.3	Die Taster	77
2.1.3.1	Tasterformelemente	78
2.1.3.2	Einmessen der Taster.....	78
2.1.3.3	Tasterschäfte	80
2.1.3.4	Durchbiegung der Taster	81
2.1.3.5	Prüfung der Tastereinmessung	82
2.1.3.6	Einfluss des Einmessens bei Kugelstäben oder Kugelplatten.....	83
2.1.3.7	Vektorielle Messabweichungen	84
2.1.4	Tasterwechseinrichtungen	86
2.1.5	Dreh-Schwenk-Gelenke.....	87
2.1.6	Literatur.....	89
2.2	Optische Sensorik an Koordinatenmessgeräten.....	91
2.2.1	Einleitung	91
2.2.2	Visuelle Sensoren	92
2.2.2.1	Die Beleuchtung als Voraussetzung für sicheres Messen	92
2.2.2.2	Abbildungsoptik und flexible Wahl der Vergrößerung.....	96
2.2.2.3	Tastauge zur punktförmigen Informationsgewinnung.....	98
2.2.2.4	Flachbettscanner zur zeilenförmigen Informationsgewinnung	98
2.2.2.5	Bildverarbeitungssensor zur flächenförmigen Informationsgewinnung in der Ebene	99
2.2.3	Abstandssensoren	102
2.2.3.1	1D-Autofokus	102
2.2.3.2	1D-Laserabstandssensoren.....	104
2.2.3.3	2D-Laserscanner	105
2.2.3.4	3D-Streifenprojektion	106
2.2.3.5	3D-Fotogrammetrie	106

2.2.3.6	Werth-3D-Patch	107
2.2.3.7	3D-Interferometrie	107
2.2.4	Taktil optischer Sensor	108
2.2.5	Literatur	110
2.3	Vielpunktmessung oder Einzelpunktmessung?	111
2.3.1	Einleitung	111
2.3.2	Anzahl der Antastpunkte als Kriterium	111
2.3.3	Gerätetechnische Voraussetzungen	112
2.3.4	Erfassung der wahren Gestalt der Formelemente	114
2.3.5	Messung von Maß und Lage	116
2.3.5.1	Beispiel für den Einfluss der Messpunktanzahl auf die Art der Ausgleichsrechnung für das Ersatzelement	119
2.3.5.2	Beispiel für den Einfluss der Punktanzahl auf die Messzeit	120
2.3.6	Messaufgabenvielfalt erfordert einfache Bedienung	121
2.3.7	Ausblick	123
2.3.8	Literatur	124
2.4	Koordinatenmesstechnik und CAx-Anwendungen zur Qualitätsprüfung	125
2.4.1	Einleitung	125
2.4.2	Die Qualitätsprüfung im industriellen Produktionsprozess	126
2.4.3	Koordinatenmesstechnik zur Qualitätsprüfung im industriellen Produktionsprozess	130
2.4.4	Rechnergestützte Eingangsinformationen und Messablaufzeugung	132
2.4.4.1	CAD-Modelle für die Koordinatenmesstechnik	134
2.4.4.2	Messablaufübertragung	145
2.4.5	Messung	148
2.4.5.1	Simulation und Kollisionskontrolle	149
2.4.5.2	Kommunikation mit der Gerätesteuerung	151
2.4.6	Auswertung und rechnergestützte Ausgangsinformationen	152
2.4.6.1	Schnittstellen zur Übertragung von Messergebnissen	153
2.4.6.2	Strukturen für die rechnergestützte Auswertung der Messergebnisse	157
2.4.7	Literatur	159
2.5	Formmessung - ein wichtiges Einsatzgebiet der Koordinatenmesstechnik	163
2.5.1	Einleitung	163
2.5.2	Stand der internationalen Normung	164
2.5.3	Prinzipielle Unterschiede zwischen klassischen Formprüfgeräten und Koordinatenmessgeräten	164
2.5.3.1	Vorteile der Formmessung mit Koordinatenmessgeräten	165
2.5.4	VDI/VDE Richtlinie 2617 Blatt 2.2	167
2.5.4.1	Wahl und Bedeutung der Größe des Tastkugeldurchmessers bei Koordinatenmessgeräten	167

2.5.4.3	Anzahl der Antastpunkte und Filterung.....	171
2.5.4.4	Beispiel für den Einfluss der Anzahl der Messpunkte.....	172
2.5.5	Erreichbare Messunsicherheit	173
2.5.6	Einsatzbeispiel von Koordinatenmessgeräten zur Formmessung.....	174
2.5.7	Annahmeprüfung und Überwachung	176
2.5.7.1	Verwendung kalibrierter Formnormale	176
2.5.7.2	Mehrwellennormale.....	178
2.5.8	Ausblick.....	181
2.5.9	Literatur	181
2.6	Besonderheiten bei optischen und Multisensor-Koordinatenmessgeräten	183
2.6.1	Einleitung	183
2.6.2	Anforderungen an Multisensor-Koordinatenmessgeräte	185
2.6.3	Aufbau von Multisensor-Koordinatenmessgeräten.....	186
2.6.3.1	Messprojektoren und Messmikroskope	187
2.6.3.2	Multisensor-Koordinatenmessgeräte mit Kreuztisch	189
2.6.3.3	Multisensor-Koordinatenmessgeräte mit Portal	190
2.6.3.4	2D-Geräte	195
2.6.3.5	Sonderbauformen	196
2.6.4	Software für Multisensor-Koordinatenmessgeräte.....	197
2.6.4.1	Software für das fertigungsnahen Messen	198
2.6.4.2	Software für Messen mit CAD-Daten.....	201
2.6.5	Anwendungsschwerpunkte für Multisensor-Koordinatenmessgeräte	203
2.6.5.1	Kunststoffformteile	203
2.6.5.2	Kunststoffspritzwerkzeuge	205
2.6.5.3	Blechteile	206
2.6.5.4	Stanzwerkzeuge	207
2.6.5.5	Aluminium- und Kunststoffprofile	208
2.6.5.6	Spanabhebende Werkzeuge	209
2.6.5.7	Wellen	212
2.6.6	Literatur	214
3	Aspekte der Messunsicherheit	
3.1	Methoden zur Ermittlung der Messunsicherheit von Koordinatenmessungen	215
3.1.1	Einführung.....	215
3.1.2	Bedeutung der Messunsicherheit	215
3.1.3	Aufgabenspezifische Messunsicherheit.....	216
3.1.4	Grundlagen der Messunsicherheit.....	217
3.1.5	Methoden zur Ermittlung der Messunsicherheit	217
3.1.5.1	Unsicherheitsbudget	218
3.1.5.2	Experimentelle Methode mit kalibrierten Werkstücken.....	218
3.1.5.3	Simulationsmethode	220

3.1.5.4	Hybridmethoden.....	223
3.1.6	Anwendung der Methoden auf Koordinatenmessgeräte	223
3.1.6.1	Schwierigkeiten aus der Sicht der Koordinatenmesstechnik	223
3.1.6.2	Unsicherheitsbudget für Koordinatenmessungen.....	224
3.1.6.3	Experimentelle Methode für Koordinatenmessungen.....	227
3.1.6.3.1	Die ISO/TS 15530-3 (DIN 32881-3).....	231
3.1.6.4	Simulationsmethode für Koordinatenmessungen.....	232
3.1.6.4.1	Modell des Messprozesses.....	233
3.1.6.4.2	Simulation des Messprozesses	234
3.1.6.4.3	Die Richtlinie VDI/VDE 2617-7	236
3.1.5	Rückführung von Koordinatenmessungen in die Produktion	237
3.1.6	Ausblick.....	238
3.1.7	Literatur	239
3.2	Beispiele zur Abschätzung der Messunsicherheit anhand der spezifizierten Längenmessabweichung	241
3.2.1	Einführung.....	241
3.2.2	Geometrieabweichungen von Koordinatenmessgeräten.....	242
3.2.2.1	Überblick	242
3.2.2.2	Längenmessabweichung	242
3.2.2.3	Rechtwinkligkeit	244
3.2.2.4	Geradheit	245
3.2.2.5	Weitere Prüfmerkmale	246
3.2.2.6	Beispiel.....	248
3.2.3	Andere Einflussgrößen	249
3.2.3.1	Werkstück	249
3.2.3.1.1	Ausgleichsrechnung.....	249
3.2.3.1.2	Ausgleichskreis	250
3.2.3.1.3	Ausgleichszylinder	251
3.2.3.1.4	Ausgleichsebene.....	252
3.2.3.2	Taster	253
3.2.3.3	Temperatur	254
3.2.4	Beispiele	255
3.2.4.1	Überblick	255
3.2.4.2	Bohrungsdurchmesser	256
3.2.4.2.1	Mathematisches Modell	256
3.2.4.2.2	Messunsicherheitsbudget.....	257
3.2.4.2.3	Diskussion.....	258
3.2.4.3	Abstand der Bohrungssachsen.....	258
3.2.4.3.1	Mathematisches Modell	258
3.2.4.3.2	Messunsicherheitsbudget	259
3.2.4.3.3	Diskussion.....	260
3.2.4.4	Rechtwinkligkeit der Bohrungssachse zur Auflagefläche	261
3.2.4.4.1	Mathematisches Modell	261
3.2.4.4.2	Messunsicherheitsbudget	262
3.2.4.4.3	Diskussion.....	262

3.2.5	Zusammenfassung	263
3.2.6	Literatur.....	264
3.3	Prüfprozesseignung - Welche Methode ist die richtige?.....	267
3.3.1	Einleitung	267
3.3.2	Die Bedeutung der Messunsicherheit für Prüfentscheidungen	268
3.2.2.1	Beispiele aus der Rechtssprechung	268
3.3.3	Einfluss der Messunsicherheit auf Prüfentscheidungen	269
3.3.4	Die Entscheidungsregeln	272
3.3.5	Die Kenngröße für die Prüfprozesseignung.....	273
3.3.6	Die Richtlinie VDA 5.....	273
3.4	Die Messunsicherheit im Fertigungsprozess	275
3.4.1	Einleitung	275
3.4.2	Messunsicherheit berücksichtigen	275
3.4.3	Toleranzdefinition im Verhältnis Abnehmer - Zulieferer.....	278
3.4.4	Der tatsächlich nutzbare Toleranzbereich in der Fertigung	280
3.4.5	Ausblick.....	282
3.4.6	Literatur.....	282
3.5	Lineare thermische Einflüsse - Ein Leitfaden für den praktischen Einsatz	283
3.5.1	Einleitung	283
3.5.2	Statische und dynamische Temperatureinflüsse können minimiert werden.....	283
3.5.2.1	Umgebungstemperatur	284
3.5.2.2	Generelle Regeln für das Messen	284
3.5.3	Systematische, thermisch bedingte Längenabweichung.....	285
3.5.3.1	Wann muss der Temperatureinfluss korrigiert werden?	286
3.5.4	Stand der internationalen Normung	286
3.5.5	Unsicherheit der thermischen Längenkorrektur	288
3.5.5.1	Die Grenzabweichungen der Ausdehnungskoeffizienten	289
3.5.5.2	Die Grenzabweichungen der Temperatur.....	291
3.5.5.3	Einteilung der Messbedingungen in Klassen	292
3.5.5.4	Berechnung der Unsicherheit der thermischen Längenkorrektur ..	293
3.5.5.5	Beispiele für die Unsicherheit mit korrigierter Längenabweichung.....	294
3.5.6	Thermische Längenkorrektur bei temperaturstabilen KMG	296
3.5.7	Grenzen der linearen thermischen Längenkorrektur	297
3.5.8	Unsicherheit ohne thermische Längenkorrektur	298
3.5.8.1	Beispiele für die Unsicherheit ohne Längenkorrektur	299
3.5.9	Genauere Messergebnisse.....	301
3.5.10	Einbeziehung der thermisch verursachten Unsicherheit in die Gesamtunsicherheit einer Längenmessung.....	302
3.5.11	Schlussfolgerungen	304
3.5.12	Literatur.....	304

3.6	Prüfung und Kalibrierung von großen Koordinatenmessgeräten	305
3.6.1	Einleitung	305
3.6.2	Anwendungsbeispiele großer KMG	306
3.6.2.1	Automobilbau	306
3.6.2.2	Luft und Raumfahrttechnik	307
3.6.3	Technische Besonderheiten großer KMG.....	308
3.6.4	Annahme- und Bestätigungsprüfungen	309
3.6.4.1	Grundkonzept	309
3.6.4.2	Zulässige Prüfkörper	309
3.6.4.3	Prüfung von Mehrarm-Messgeräten	311
3.6.4.4	Prüfung der Antastabweichungen	311
3.6.4.5	Prüfung von Dreh-Schwenksystemen.....	312
3.6.4.6	Prüfung optischer Sensoren	312
3.6.5	Bestimmung von Geometriearabweichungen	312
3.6.5.1	Konventionelle Verfahren.....	312
3.6.5.2	Verwendung von Kugel- oder Lochplatten	313
3.6.6	Einsatz von Lasertrackern	313
3.6.7	Zusammenfassung und Ausblick	317
3.6.8	Literatur	317
4	Anwendungen und Erfahrungen	
4.1	Erfahrungswerte beim Einsatz von Koordinatenmessmaschinen in der Fertigung	319
4.1.1	Einleitung	319
4.1.2	Haupteinflüsse auf Messergebnisse im Fertigungsbereich	320
4.1.3	Technologien und Mechanikkonzepte für Produktionsmesszentren	322
4.1.4	Temperaturbezogene Genauigkeitsspezifikation.....	328
4.1.5	Messverfahren und Auswertemethoden	329
4.1.6	Taster- und Taststiftkombinationen.....	330
4.1.6.1	Temperaturstabile Tasterelemente	331
4.1.6.2	Tasterkonfigurationen	333
4.1.6.3	Tasterabnutzung und Tastkugelauftrag	334
4.1.7	Werkstückaufspannung und Beschickungssysteme	337
4.1.7.1	Werkstückaufspannung	337
4.1.7.2	Beschickungssysteme	338
4.1.8	Sicherheitskonzepte	340
4.1.9	Werkstückverhalten bei Temperaturschwankungen	342
4.1.10	Bedienkonzepte	345
4.1.10.1	Eingabe- und Integrationskonzepte	346
4.1.10.2	Programmstart	347
4.1.10.3	Ausgabe	348
4.1.11	Servicekonzepte	350

4.1.11.1	Teleservice.....	351
4.1.11.2	Onboard Diagnose.....	352
4.1.12	Wirtschaftlichkeit durch Fertigungsmesstechnik.....	353
4.1.13	Literatur.....	355
4.2	Erfahrungen bei der Überwachung von Koordinatenmessgeräten.....	357
4.2.1	Einleitung	357
4.2.2	Der Begriff "Überwachung"	357
4.2.2.1	Annahme-, Bestätigungsprüfung, Kalibrierung, Überwachung.....	357
4.2.2.2	Umfang der Überwachung	358
4.2.2.3	Zeitintervalle der Überwachung	359
4.2.2.4	Verantwortung für die Überwachung	360
4.2.2.5	Messgrößen und Grenzwerte nach DIN EN ISO 10360	361
4.2.2.6	Messgrößen und Grenzwerte nach VDI/VDE 2617	361
4.2.3	KMG-Überwachung mit einem universellen Prüfkörper.....	362
4.2.3.1	Normale des Prüfkörpers	362
4.2.3.2	Antastabweichung an der Kugel	363
4.2.3.3	Antastabweichung am Ring und Verstärkungsnormal	364
4.2.3.4	Mehrachtasterabweichungen an der Kugel	366
4.2.3.5	Längenmessabweichung an zwei Endmaßen	366
4.2.3.6	Vierachsenabweichungen mit zwei umlaufenden Kugeln	367
4.2.3.7	Einmessen der Drehtischachse	368
4.2.3.8	Messprotokoll.....	372
4.2.4	Überwachung der KMG Geometrie mit einer Kugelplatte.....	372
4.2.4.1	Der Überwachungsfaktor \ddot{u}	373
4.2.5	Grenzen der Genauigkeit bei der Überwachung	373
4.2.5.1	Grenzen durch Temperatureinflüsse	373
4.2.5.2	Nachweis einer Rechtwinkligkeitsabweichung	376
4.2.5.3	Nachweis einer rotatorischen Führungsabweichung	376
4.2.6	Überwachung von großen KMG	377
4.2.7	Ursachen und Auswirkungen von Messabweichungen	377
4.2.8	Literatur.....	379
4.3	Qualitätssicherung im Motorenbau mit Koordinatenmessgeräten	381
4.3.1	Einleitung	381
4.3.2	Aufgaben und Ziele der QMP/M-Messtechnik	381
4.3.3	Anforderung aus der Produktion für den kleinen Regelkreis	382
4.3.4	Bedienerführung	383
4.3.5	Prozesslenkung mit Koordinatenmessgeräten	384
4.3.5.1	Kleiner Regelkreis.....	384
4.3.5.2	Großer Regelkreis.....	385
4.3.5.3	Übersicht über die Regelkreise und Messdatenablage	385
4.3.6	Ausgabe der Messwerte am Koordinatenmessgerät.....	387
4.3.6.1	Balkendiagramm	387

4.3.6.2	Werteverlauf.....	387
4.3.7	Messprotokollbeispiele.....	388
4.3.7.1	Standardmessprotokoll	388
4.3.7.2	Formmessprotokoll	390
4.3.7.3	Grafisches Messprotokoll.....	393
4.3.7.4	Schussbild.....	393
4.3.7.5	Statistische Auswertung.....	394
4.3.8	Messgeräteabnahme	395
4.3.8.1	Geometrische Abnahme	395
4.3.8.2	Bauteilabnahme	396
4.3.9	Prüfmittelüberwachung	397
4.3.10	Stabilitätsüberwachung	398
4.3.10.1	Kalibrierung der Meisterteile	398
4.3.10.2	Überwachung mit Meisterteilen.....	399
4.3.10.3	Überwachung der Tastereinmessung	401
4.3.11	Ausblick.....	403
4.4.	Koordinatenmessgeräte für das Messen von Mikrobauteilen	405
4.4.1	Einleitung	405
4.4.2	Koordinatenmessgerät für Mikrobauteile	406
4.4.3	Sensorik für Mikrogeometrien	407
4.4.3.1	Bildverarbeitung	408
4.4.3.2	Lasersensor	409
4.4.3.3	Fasertaster	410
4.4.4	Messunsicherheit	412
4.4.5	Einsatzbeispiele	415
4.4.5.1	Diesel-Einspritzdüsen	415
4.4.5.2	Uhrenplatten.....	416
4.4.5.3	Mikrozahnräder	417
4.4.5.4	Mikro-Kunststoffteile	418
4.4.6	Ausblick.....	418
4.4.7	Literatur	419
4.5	Zahnradmessungen mit Koordinatenmessgeräten.....	421
4.5.1	Einleitung	421
4.5.2	Grundlagen	422
4.5.2.1	Zahnradtypen, Geometrie, Bezugsflächen	422
4.5.2.2	Bestimmungsgrößen.....	424
4.5.2.3	Bezugsprofil und Wälzweg.....	425
4.5.3	Aufbau eines KMG für Zahnradmessungen	426
4.5.4	Auswertungen	426
4.5.4.1	Zahnflankenabweichungen für Profil und Flankenlinie	427
4.5.4.2	Teilungsabweichungen	430
4.5.4.3	Flächenhafte Auswertung von Zahnflanken	431
4.5.5	Qualitätssicherung und Rückführung von Messergebnissen.....	433

4.5.5.1	Ermittlung der Messunsicherheit	435
4.4.5.2	Zertifizierung der Verzahnungssoftware	437
4.5.5.3	Datenaustausch durch eine einheitliche Datenschnittstelle	438
4.5.6	Zusammenfassung	440
4.5.7	Literatur	441
4.6	Ersatz von Mehrstellenmesseinrichtungen und Lehren durch Multisensor-Koordinatenmesstechnik	443
4.6.1	Einleitung	443
4.6.2	Körperliche Lehrung	443
4.6.3	Mehrstellenmesseinrichtungen	446
4.6.4	Gerätetechnik	448
4.6.5	Messen mit Multisensor-Koordinatenmessgeräten	450
4.6.6	Lehren mit einem Multisensor-Koordinatenmessgerät	452
4.6.7	Fertigungsintegriertes Messen von Möbelbeschlägen	454
4.6.8	Lehren von Kupplungssteilen	456
4.6.9	Gegenüberstellung der Systeme	457
5	Allgemeine Aspekte der Koordinatenmesstechnik	
5.1	Auswahlkriterien für Koordinatenmessgeräte	459
5.1.1	Einleitung	459
5.1.2	Anforderungen aus dem geplanten Einsatz	459
5.1.2.1	Messobjekte	459
5.1.2.2	Toleranzen und Messunsicherheit	461
5.1.2.3	Aufstellort	462
5.1.2.4	Umgebungsbedingungen	462
5.1.3	Gerätetechnik	463
5.1.3.1	Bauart und Messbereich	463
5.1.3.2	Sensorik und Steuerung	464
5.1.3.2.1	Taktile Sensoren, schaltend	465
5.1.3.2.2	Taktile Sensoren, messend	465
5.1.3.2.3	Tasterwechsel- und Dreh-Schwenk-Einrichtungen	466
5.1.3.2.4	Berührungslose Sensoren	467
5.1.3.2.5	Multisensorik	468
5.1.3.3	Ausrüstung und Zubehör	469
5.1.3.3.1	Drehachsen	469
5.1.3.3.2	Zuführeinrichtungen	469
5.1.4	Software	469
5.1.5	Schulung und Service	470
5.1.5.1	Handbücher	470
5.1.5.2	Schulung	470
5.1.5.3	Service	471
5.1.6	Literatur	471

5.2	Herstellerneutrale Ausbildung	
	In der Koordinatenmesstechnik	473
5.2.1	Einleitung	473
5.2.2	Momentane Aus-, Weiter- und Fortbildung in der Koordinatenmesstechnik.....	476
5.2.2.1	Duale Ausbildung in den industriellen Metallberufen.....	476
5.2.2.2	Techniker Maschinentechnik und Industriemeister Metall	476
5.2.2.3	DDR-Facharbeiter für Qualitätskontrolle	476
5.2.2.4	Hochschulstudium.....	477
5.2.2.5	Weiterbildung Qualitätsfachmann Längenprüftechnik bei den Berufsförderungswerken.....	477
5.2.2.6	Fortbildungen der Herstellerfirmen	478
5.2.2.7	Weitere Bildungsangebote in der KMT (Beispiele)	479
5.2.2.8	Multimediale Lernsoftware für Koordinatenmesstechniker	481
5.2.2.9	Ausbildungskonzepte KMT im Ausland	484
5.2.2.10	Defizite in der Koordinatenmesstechnik-Ausbildung	486
5.2.3	Struktur und Inhalte des AUKOM-Konzepts	488
5.2.3.1	Entwicklung der AUKOM-Struktur.....	489
5.2.3.2	AUKOM Inhalte	491
5.2.3.3	AUKOM eLearning-System.....	498
5.2.4	Dachverband AUKOM e. V.	499
5.2.5	Ausblick.....	501
5.2.6	Literatur	502
5.3	Spaß an der Messtechnik.....	503
5.3.1	Einleitung	503
5.3.2	Cartoons nach Themen gegliedert.....	503
5.3.2.1	Stabilität von Prüfkörpern.....	503
5.3.2.2	Vierte Achse.....	504
5.3.2.3	Prozessmesstechnik	505
5.3.2.4	Temperatureinfluss	506
5.3.2.5	Scanningabtastung	507
5.3.2.6	Visuelle optische Messung	508
5.3.2.7	Sensorik an Koordinatenmessgeräten.....	508
5.3.2.8	Rückführbarkeit	509
5.3.3	Schlaue Sprüche zum Thema Messen	509
5.3.4	Glossen zur Koordinatenmesstechnik	509
5.3.5	Literatur	515