

Präzisionsmesstechnik in der Fertigung mit Koordinatenmessgeräten

Entwicklung – Normung – Grundlagen – Messunsicherheit –
Anwendungserfahrung – Auswahlkriterien – Ausbildung

Dipl.-Ing. (FH) Hans Joachim Neumann

Dipl.-Ing. (FH) Matthias Andrés
Dr.-Ing. habil. Ralf Christoph
Dipl.-Ing. Detlef Ferger
Dipl.-Ing. (FH) Theo Hageney
Dr.-Ing. Frank Härtig
Dr.-Ing. Michael Hernla
Dr.-Ing. Dietrich Imkamp
Dipl.-Ing. (FH) Georg König

Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Lotze
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Lunze
Dr.-Ing. Wolfgang Rauh
Dipl.-Ing. Robert Roithmeier
Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Schwarz
Dr.-Ing. Heinrich Schwenke
Dr.-Ing. Franz Wäldele
Dr. Hartwig Weber

Mit 321 Bildern und 45 Tabellen



Kontakt & Studium
Band 646

Herausgeber:
Dr.-Ing. Michael Mettner
Technische Akademie Esslingen
Weiterbildungszentrum
Dipl.-Ing. Elmar Wippler, expert verlag
Begründet von
Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c. Wilfried J. Bartz

expert  verlag®

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 Mehrfachrastern 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	65
1.2.10	Anhang: Normen und Richtlinien	66
1.2.10.1	DIN EN ISO-Normen	66
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 taktile 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	Tasterwechseleinrichtungen	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 Messabläuferzeugung	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 Formprüfergeräten 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	Annahmepfung 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 fertigungsnahe 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 Bohrungsachsen.....	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 Bohrungsachse 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 Rechtsprechung	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 Geometrieabweichungen	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

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 Verstärkungsnorm	364
4.2.3.4	Mehrfachtasterabweichungen 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

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	Prozessenkung 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	405
	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	Uhrenplatinen.....	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 Lehrgang.....	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 Kupplungsteilen.....	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	Herstellernerneutrale 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