

Handbuch Ingenieurgeodäsie

Handbuch Ingenieurgeodäsie

Maschinen- und Anlagenbau

von
Franz u.a. Löffler

2., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage 2002

Handbuch Ingenieurgeodäsie – Löffler

schnell und portofrei erhältlich bei beck-shop.de DIE FACHBUCHHANDLUNG

Wichmann 2001

Verlag C.H. Beck im Internet:

www.beck.de

ISBN 978 3 87907 299 6

Inhaltsverzeichnis

1	Ingenieurvermessung und industrielle Messtechnik – Einführung	17
1.1	Aufgabe der industriellen Messtechnik	17
1.2	Messgenauigkeit	19
1.2.1	Mittelwert, Standardabweichung und Vertrauensbereiche	19
1.2.2	Messunsicherheit	24
1.2.3	Vektorielle Messgrößen	27
1.3	Toleranzen	31
1.3.1	Toleranzen für Längenmaße	31
1.3.2	Form- und Lagetoleranzen	34
1.3.3	Messtoleranz	36
1.3.3.1	Messunsicherheit und Fertigungstoleranz	36
1.3.3.2	Überlagerung von Toleranzen	37
1.3.3.3	Gesamt toleranz, Messtoleranz, Messgenauigkeit	40
1.4	Literaturverzeichnis	44
2	Messverfahren und Geräte	45
2.1	Längenmessungen	45
2.1.1	Abstandsmessungen im Nahbereich bis 1 m	45
2.1.2	Längenmessungen im Bereich bis zu 40 m	50
2.1.2.1	Interferometrische Längenmessungen	50
2.1.2.2	Zur Genauigkeit der interferometrischen Längenmessung	52
2.1.2.2.1	Ermittlung der aktuellen Laserwellenlänge	53
2.1.2.2.2	Weitere Fehlerquellen	58
2.1.2.2.3	Genauigkeitsabschätzung für ein Präzisions-Messsystem	63
2.1.2.3	Messung mit Invarbändern oder Drähten	66
2.1.2.4	Elektrooptische Distanzmessung	70
2.1.3	Literaturhinweise	75

2.2	Winkelmessungen	76
2.2.1	Winkelmessung mit dem Theodolit.....	76
2.2.2	Winkelmessung mit Laserinterferometer	78
2.2.2.1	Winkelinterferometer	78
2.2.2.2	Winkelmessung mit Mehrachs-Interferometer-Systemen	80
2.2.2.2.1	System aus mehreren Planspiegel-Interferometern	80
2.2.2.2.2	Differenzial-Interferometer	81
2.2.2.2.3	Dreiachs-Interferometer	83
2.2.3	Literaturhinweise.....	85
2.3	Neigungsmessung.....	86
2.3.1	Definition	86
2.3.2	Neigungssensoren.....	87
2.3.2.1	Maschinenwasserwaagen	87
2.3.2.2	Elektronische Neigungsmesser.....	88
2.3.2.3	Prüfung von Neigungsmessern.....	91
2.3.3	Literaturhinweise.....	95
2.4	Präzisionshöhenmessungen	96
2.4.1	Geometrisches Nivellement.....	96
2.4.1.1	Nivelliere mit Röhrenlibelle	97
2.4.1.2	Kompensatornivelliere	97
2.4.1.3	Digitale Nivelliere	98
2.4.1.4	Allgemeines.....	99
2.4.2	Trigonometrische Höhenmessung	100
2.4.2.1	Genauigkeit der Trigonometrischen Höhenmessung.....	102
2.4.2.2	Einfluss von Refraktion und Erdkrümmung.....	103
2.4.3	Hydrostatische Höhenmessung	105
2.4.3.1	Einflüsse von Luftdruck, Schwere und Temperatur	106
2.4.3.2	Weitere Fehlerquellen	111
2.4.3.2.1	Einfluss von Luftblasen im Verbindungsschlauch	111
2.4.3.2.2	Schwingung der Wassersäulen in vertikaler Richtung und Einwirkung von Kapillarkräften.....	112
2.4.3.3	Hydrostatische Messsysteme und ihre Kalibrierung	113
2.4.4	Literaturhinweise.....	116

2.5	Fluchtungsmessungen	117
2.5.1	Alignement mit optischen Systemen	117
2.5.1.1	Das Fluchtfernrohr	117
2.5.1.2	Einfluchten mit dem Theodolit.....	118
2.5.1.3	Fluchten mit Autokollimation	121
2.5.1.4	Geradheitsmessung mit Interferometer	126
2.5.1.5	Geradheitsmessung mit Laser.....	130
2.5.2	Alignement mit gespannten Drähten	132
2.5.2.1	Ein Draht als Referenz	132
2.5.2.2	Drahtmessmonitore	135
2.5.3	Literaturhinweise.....	136
2.6	Punktmarkierung und Zentriereinrichtungen.....	137
3	Dreidimensionale Koordinatenbestimmung	142
3.1	Vorbemerkungen.....	142
3.2	Theodolitmesssysteme.....	143
3.2.1	Grundprinzip	143
3.2.2	3-D-Industriemesssysteme	145
3.2.3	Anwendersoftware	146
3.2.4	Genauigkeit eines Theodolitmesssystems	153
3.2.5	Literaturhinweise.....	155
3.3	Polare Messungen	156
3.3.1	Elektronische Präzisionstachymeter	156
3.3.1.1	Grundlagen.....	156
3.3.1.2	Prinzip der Winkelmessung.....	157
3.3.1.3	Genauigkeit der Winkelmessung.....	158
3.3.1.4	Prinzip der Distanzmessung	158
3.3.1.5	Distanzmessung auf retro-reflektierende Folien.....	160
3.3.1.6	Korrekturen und Genauigkeit der Distanzmessung	161
3.3.1.7	Mechanischer Aufbau.....	163
3.3.1.8	System Software und Applikationen	165
3.3.1.9	Automatische Zielerfassung	166
3.3.1.10	Mess-Systeme	168

3.3.2	Lasertracker.....	169
3.3.2.1	Grundprinzip und Systemaufbau.....	170
3.3.2.2	Kalibrierung und Systemparameter.....	172
3.3.2.3	Reflektoren.....	174
3.3.2.4	Die wichtigsten Spezifikationen des Lasertrackers LTD500.....	176
3.3.2.5	Messaufgaben, Anwendungen und spezielles Zubehör.....	178
3.3.2.6	Vorteile gegenüber Tachymetern.....	182
3.4	Industriephotogrammetrie.....	183
3.4.1	Grundlagen.....	183
3.4.1.1	Prinzipielle Methoden.....	183
3.4.1.2	Anwendungsbereiche.....	184
3.4.1.3	Verfahrensablauf.....	185
3.4.1.3.1	Aufnahmeplanung.....	186
3.4.1.3.1.1	Genauigkeit.....	186
3.4.1.3.1.2	Aufnahmekonfigurationen.....	189
3.4.1.3.2	Aufnahme- und Auswerteprozess.....	191
3.4.2	Aufnahmetechnik.....	192
3.4.2.1	Aufnahmeprinzipien.....	192
3.4.2.2	Geometrische Grundlagen.....	193
3.4.2.2.1	Innere Orientierung.....	193
3.4.2.2.2	Definition des Bildkoordinatensystems.....	194
3.4.2.2.3	Verzeichnungsparameter.....	195
3.4.2.2.4	Mess- und Teilmesskamera.....	198
3.4.2.2.5	Kalibrierung von Aufnahmesystemen.....	199
3.4.2.3	Aufnahmesysteme.....	201
3.4.2.3.1	Analoge Aufnahmekameras.....	201
3.4.2.3.2	Digitale Aufnahmekameras.....	204
3.4.2.3.2.1	CCD-Videokameras.....	205
3.4.2.3.2.2	Hochauflösende Digitalkameras.....	206
3.4.2.3.2.3	Scanning-Kameras.....	208
3.4.2.4	Praktische Objektaufnahme.....	208
3.4.2.4.1	Auswahlkriterien.....	208
3.4.2.4.2	Objektsignalisierung.....	210
3.4.2.4.2.1	Retro-reflektierende Zielmarken.....	211

3.4.2.4.2.2	Marken mit codierter Punktnummer	212
3.4.2.4.2.3	Exzentrische Signalisierungsmittel	212
3.4.2.4.3	Beleuchtungstechniken.....	213
3.4.2.4.3.1	Blitzgeräte	213
3.4.2.4.3.2	Projektoren	214
3.4.3	Analytische Auswerteverfahren	215
3.4.3.1	Übersicht	215
3.4.3.2	Orientierungsverfahren.....	216
3.4.3.2.1	Äußere Orientierung.....	216
3.4.3.2.2	Kollinearitätsgleichungen.....	216
3.4.3.2.3	Orientierung eines Einzelbildes.....	218
3.4.3.2.3.1	Räumlicher Rückwärtsschnitt.....	218
3.4.3.2.3.2	Direkte Lineare Transformation (DLT).....	219
3.4.3.2.4	Orientierung eines Stereobildpaares.....	219
3.4.3.2.4.1	Relative Orientierung	220
3.4.3.2.4.2	Absolute Orientierung	220
3.4.3.2.5	Bündeltriangulation	221
3.4.3.2.5.1	Allgemeines.....	221
3.4.3.2.5.2	Passpunkte und Strecken	223
3.4.3.2.5.3	Berechnung von Näherungswerten.....	224
3.4.3.2.5.4	Selbstkalibrierung.....	225
3.4.3.3	Einzelbildauswertung	225
3.4.3.3.1	Auswertung in Objektebenen	225
3.4.3.3.2	Projektive Entzerrung.....	226
3.4.3.4	Stereoskopische Auswertung	227
3.4.3.4.1	Prinzip der Stereobildmessung	227
3.4.3.4.2	Punktbestimmung im Stereonormalfall	227
3.4.3.4.3	Punktbestimmung bei allgemeiner Stereoanordnung	228
3.4.3.5	Mehrbildauswertung.....	229
3.4.3.5.1	Räumlicher Vorwärtsschnitt.....	229
3.4.3.5.2	Messung geometrischer Elemente	230
3.4.3.6	Überprüfung der Messgenauigkeit	231
3.4.3.6.1	Messgenauigkeit der Bildkoordinaten	232
3.4.3.6.2	Genauigkeit der Inneren Orientierung.....	233
3.4.3.6.3	Genauigkeit der Objektkoordinaten	233
3.4.3.6.4	Längenmessunsicherheit	234

3.4.4	Photogrammetrische Messsysteme.....	236
3.4.4.1	Messung von Bildkoordinaten.....	236
3.4.4.1.1	Komparatoren.....	236
3.4.4.1.1.1	Prinzipieller Aufbau	236
3.4.4.1.1.2	Digitale Bildkomparatoren	237
3.4.4.1.2	Digitale Punktmessung.....	239
3.4.4.1.2.1	Bildschirmmessung	239
3.4.4.1.2.2	Schwerpunktverfahren	240
3.4.4.1.2.3	Korrelationsverfahren.....	240
3.4.4.1.2.4	Kleinste-Quadrate-Anpassung.....	241
3.4.4.1.2.5	Kantenorientierte Messverfahren	243
3.4.4.2	Stereoskopische Auswertesysteme	245
3.4.4.2.1	Prinzip des Analytischen Plotters.....	245
3.4.4.2.2	Objektauswertung.....	246
3.4.4.3	Digitale Mehrbildmesssysteme	247
3.4.4.3.1	Interaktive Auswertesysteme	247
3.4.4.3.2	Mobile Punktmesssysteme	248
3.4.4.3.3	Stationäre industrielle Online-Messsysteme	251
3.4.4.3.4	Systeme zur Oberflächenmessung.....	252
3.4.5	Industrielle photogrammetrische Anwendungsbeispiele	253
3.4.5.1	Anwendungen im Automobilbau	254
3.4.5.2	Anwendungen in Luft- und Raumfahrt	256
3.4.5.3	As-Built-Dokumentation im Anlagenbau.....	259
3.4.5.4	Photogrammetrische Aufnahme von Großbauwerken.....	260
3.4.5.5	Photogrammetrie im Schiffbau.....	262
3.4.6	Literatur.....	263
3.5	Koordinatenmessgeräte	269
3.5.1	Einführung.....	269
3.5.2	Prinzipieller Aufbau	269
3.5.3	Verschiedene Bauformen von KMG und ihre typischen Anwendungen	271
3.5.4	Punktweises Messen durch Antasten.....	273
3.5.5	Genauigkeit	273
3.5.6	Software	274
3.5.7	Literaturhinweis	275

4	Beispiele aus der Praxis	276
4.1	Messungen an Beschleunigeranlagen	276
4.1.1	Einführung.....	276
4.1.2	Aufbau und Wirkungsweise von Teilchenbeschleunigern	277
4.1.2.1	Grundprinzip	277
4.1.2.2	Speicherringanlagen	278
4.1.3	Geodätische Aufgaben bei der Beschleunigervermessung	282
4.1.3.1	Einleitung	282
4.1.3.2	Forderungen an die Aufstellgenauigkeit der Komponenten	283
4.1.3.3	Festpunktfeld.....	286
4.1.3.4	Grundjustierung der Beschleunigerkomponenten	289
4.1.3.5	Feinjustierung der Beschleunigerkomponenten	290
4.1.3.5.1	Gesamtvermessung des Beschleunigers	291
4.1.3.5.2	Reduktion der Messungen auf das Bezugskordinaten- system.....	297
4.1.3.5.2.1	Reduktion der gemessenen Schrägstrecken.....	298
4.1.3.5.2.2	Reduktion der Horizontalrichtungen	298
4.1.3.5.2.3	Reduktion der Zenitwinkel.....	299
4.1.3.5.2.4	Umrechnung nivellitisch bestimmter Höhen	299
4.1.3.5.2.5	Reduktion der gemessenen Neigungen.....	301
4.1.3.5.3	Auswertung der Messungen auf dem Beschleunigerumfang	301
4.1.3.5.4	Kontrolle von Beschleunigern mit dynamischen Messsys- temen	304
4.1.3.5.5	Aufbau und Überwachung der Detektoren in den Wechsel- wirkungszonen	306
4.1.4	Literaturhinweise.....	309
4.2	Messungen in der Automobilindustrie	311
4.2.1	Bedeutung der Messungen	311
4.2.2	Automobilentwicklung mit Hilfe von Simultaneous En- gineering.....	312
4.2.3	Messungen in der Konzeptphase	314
4.2.4	Messungen in der Entwurfs- und Detaillierungsphase	316
4.2.5	Messungen in Serienreifmachung und Serie	319

4.2.6	Literaturhinweise.....	324
4.3	Messungen im Flugzeugbau	326
4.3.1	Kombination von Messmaschine und Theodolitsystem	326
4.3.1.1	Einleitung	326
4.3.1.2	Messaufgabe.....	326
4.3.1.3	Genauigkeitsbetrachtung	328
4.3.1.4	Messaufbau	330
4.3.1.5	Messanordnung für die Theodolite.....	331
4.3.1.6	Messung mit dem optischen System	332
4.3.1.7	Messung mit der Messmaschine.....	334
4.3.1.8	Auswertung der Messung.....	335
4.3.1.8.1	Aufbereitung der Messergebnisse des optischen Systems.....	335
4.3.1.8.2	Verknüpfung von Messmaschine und optischem System	336
4.3.1.8.3	Darstellung der Ergebnisse.....	337
4.3.1.9	Zusammenfassung	338
4.3.2	Vermessung des Airbus A319	338
4.3.2.1	Einleitung	338
4.3.2.2	Grundprinzip der Untersuchung	339
4.3.2.3	Planung und Durchführung der Vermessung	341
4.3.2.4	Auswertung	344
4.3.2.5	Zusammenfassung	346
4.3.3	Lasertracking als elektronische Lehre	347
4.3.3.1	Einleitung	347
4.3.3.2	Messaufgabe.....	347
4.3.3.3	Abnahmelehre	348
4.3.3.4	Lasertracker.....	349
4.3.3.4.1	Prinzip der 3-D-Laserinterferometrie	349
4.3.3.4.2	Reflektoren für die Messung	350
4.3.3.4.3	Auflösung und Genauigkeit des Lasertrackers	351
4.3.3.4.4	Messaufbau	351
4.3.3.4.5	Messung des Seitenruders	352
4.3.3.4.6	Zusammenfassung	354
4.3.4	Literaturverzeichnis.....	354
4.4	Anwendungen im Schiffbau	355
4.4.1	Einleitung	355

4.4.2	Erfassung von Deformationen und Schrumpfungen von Decksektionen	356
4.4.2.1	Aufmessen von Oberflächen von Decksektionen mittels Laser-scanner	357
4.4.2.1.1	Anforderungen an die Messeinrichtung	357
4.4.2.1.2	Auswahl des Messsystems	358
4.4.2.1.3	Ausführung.....	358
4.4.2.1.4	Auswertung der Messdaten	360
4.4.2.1.5	Analyse der Messgenauigkeit.....	362
4.4.2.2	Photogrammetrische Vermessung von Wärmeeinwirkungen an einer Decksektion.....	363
4.4.2.2.1	Anforderungen	364
4.4.2.2.2	Durchführung der Messung.....	365
4.4.2.2.3	Auswertung der Daten.....	367
4.4.2.2.4	Analyse der Messgenauigkeit.....	369
4.4.3	Montageunterstützende Messung von Sektionen und Groß-sektionen	370
4.4.3.1	Anforderungen an das Messsystem	371
4.4.3.2	Aufbau des Messsystems.....	372
4.4.3.3	Software zur Erfassung und Verarbeitung von 3-D-Koordinaten.....	374
4.4.3.3.1	Aufnahme der Messwerte.....	374
4.4.3.3.2	Darstellung der Messung und deren Auswertung.....	378
4.4.3.3.3	Transformation und weitere Berechnungen	379
4.4.3.4	Analyse der Messgenauigkeit.....	381
4.4.3.5	Beispiel - Montage von Wellenbockarmen	385
4.4.4	Ausblick	387
4.4.5	Literaturverzeichnis.....	387
4.5	Kontrolle von NC-Maschinen mit dem Lasertracker	388
4.5.1	Einleitung	388
4.5.1.1	Leistungsfähigkeit von NC-gesteuerten großen Bohrwerken	389
4.5.1.2	Positionierung des Bohrers mit dem Lasertracker	389
4.5.2	Bohrwerksteuerung mit Lasertracker bei Boeing	392
4.5.2.1	Verfahrensweise	392

4.5.2.1.1	Anwendungen und Zeitaufwand.....	393
4.5.2.1.2	Systemaufbau	393
4.5.2.1.3	Der Arbeitsprozess	394
4.5.2.1.4	Ergebnisse	396
4.5.2.2	Testmessungen	396
4.5.2.2.1	Kontrolle der Maschineneinstellungen.....	396
4.5.2.2.2	Bohrtests.....	397
4.5.2.2.3	Zusammenfassung	399
4.5.2.3	Weiterentwicklung des SOMaC-Systems	399
4.5.2.3.1	Verbesserung der Messsysteme.....	400
4.5.2.3.2	Verbesserung der Messverfahren	401
4.5.2.3.2.1	Vielfach-Messsysteme.....	401
4.5.2.3.2.2	Automatische Teile - Orientierung.....	401
4.5.2.3.2.3	Fünf-Achsen-Kontrolle	401
4.5.2.3.2.4	Kontrolle von Industrie-Robotern	403
4.5.2.3.2.5	Steuerrechner mit offener Architektur.....	403
4.5.2.3.2.6	Dynamische Kontrollen.....	403
4.5.2.4	Schlussfolgerungen	403
4.5.3	Literaturhinweise.....	404
4.6	Anwendungen von polaren Messsystemen – Verfahrens- technischer Anlagenbau in der chemischen Industrie.....	405
4.6.1	Messaufgaben im verfahrenstechnischen Anlagenbau	405
4.6.2	Adaptierung eines Polarmesssystems an die Messaufgaben im verfahrenstechnischen Anlagenbau	408
4.6.2.1	Messhilfsmittel	409
4.6.2.2	Systemsoftware	410
4.6.3	Erfahrungen, Nutzen, Ausblick	412
4.6.4	Literaturangaben	413
	Sachverzeichnis	415