

Rainer Joeckel ♦ Manfred Stober

Elektronische Entfernungs- und Richtungsmessung

4., neubearbeitete und erweiterte Auflage

1999

Verlag Konrad Wittwer Stuttgart



INHALTSVERZEICHNIS

1 Vorwort	5
2 Einige physikalische Grundlagen	7
2.1 Elektromagnetische Strahlung	7
2.2 Strahlungsquellen	14
3 Messprinzipien der elektrooptischen Entfernungsmessung	18
3.1 Impulsmessverfahren	19
3.2 Entfernungsmessung durch Lichtinterferenzen	23
3.3 Phasenvergleichsverfahren	29
4 Elektrooptische Entfernungsmessung durch Phasenvergleichsmessung	33
4.1 Messprinzip	33
4.2 Möglichkeiten zur eindeutigen Streckenbestimmung	34
4.3 Aufbau eines elektrooptischen Entfernungsmessgerätes	44
4.3.1 Oszillator	45
4.3.2 Sender	50
4.3.3 Empfänger	54
4.3.4 Phasenmesser	56
4.3.5 Auswerte- und Steuereinheit	64
4.3.6 Reflektoren	66
5 Fehlerquellen und Genauigkeit der elektrooptischen Entfernungsmessung	70
5.1 Einflüsse der Atmosphäre	70
5.1.1 Die Brechzahl n bei Licht als Trägerwelle	71
5.1.2 Die Brechzahl n bei Mikrowellen	74
5.1.3 Einfluß von Messabweichungen in den meteorologischen Daten	77
5.2 Instrumentell bedingte Messabweichungen beim Phasenvergleichsverfahren	82
5.2.1 Abweichungen der Modulationsfrequenz	82
5.2.2 Abweichungen bei der Phasenmessung	84
5.2.2.1 Auflösungsvermögen	85
5.2.2.2 Zyklischer Phasenfehler	85
5.2.2.3 Phaseninhomogenität	92
5.2.3 Fehler bei der Festlegung des Gerätenullpunktes	93
5.3 Instrumentelle Fehler beim Impulsmessverfahren	96
5.3.1 Fehler der Quarzfrequenz beim Impulsmessverfahren	96
5.3.2 Auflösungsvermögen	98
5.4 Genauigkeit bei der elektrooptischen Entfernungsmessung	99
5.4.1 Phasenvergleichsverfahren	99
5.4.2 Impulsmessverfahren	100

6 Prüf- und Kalibrierverfahren	102
6.1 Frequenzprüfung	103
6.1.1 Methoden der Frequenzmessung	103
6.1.2 Ergebnisse	106
6.1.3 Streckenkorrektur wegen Frequenzabweichung (K_f).....	108
6.1.3.1 Instrumente ohne interne Frequenzkorrektur	108
6.1.3.2 Instrumente mit interner Frequenzkorrektur	110
6.2 Bestimmung der Auflösungsgenauigkeit des Phasennesssystems	117
6.3 Bestimmung des zyklischen Phasenfehlers	118
6.3.1 Messanordnung.....	118
6.3.2 Auswertung	120
6.3.2.1 Graphische Bestimmung einer einfachen Sinusfunktion	120
6.3.2.2 Rechnerische Ausgleichung einer einfachen Sinusfunktion.....	121
6.3.2.3 Fourier-Analyse	123
6.3.3 Beispiele	125
6.4 Bestimmung der Phasenhomogenität.....	129
6.5 Bestimmung der Nullpunktkorrektur	132
6.5.1 Bestimmung mit bekannten Strecken.....	132
6.5.2 Bestimmung ohne bekannte Strecken	136
6.5.2.1 Prinzip	136
6.5.2.2 Streckenmessung in allen Kombinationen	137
6.5.3 Anlage von Eichstrecken.....	145
6.5.4 Nullpunktkorrektur als Funktion der Phasenhomogenität	150
6.6 Überprüfung reflektorlos messender Instrumente	151
6.7 Prüfung nach DIN	154
7 Korrekturen und Reduktionen	156
7.1 Atmosphärische Korrekturen	156
7.1.1 Die 1. Geschwindigkeitskorrektur (K_n).....	156
7.1.2 Die 2. Geschwindigkeitskorrektur ($K_{\Delta n}$).....	159
7.2 Geometrische Reduktionen	161
7.2.1 Krümmungsreduktionen	162
7.2.2 Neigungs- und Höhenreduktionen.....	164
7.2.2.1 Reduktion mit bekannten Punkthöhen	164
7.2.2.2 Reduktion der Schrägstrecke über Zenitwinkel.....	171
7.3 Reduktion wegen vertikaler Exzentrizität.....	175
7.3.1 Distanzmesser mit eigener Kippachse.....	176
7.3.2 Distanzmesser ohne eigene Kippachse	177
7.3.3 Reduktion von Schrägstrecke zu Schrägstrecke	180
7.4 Reduktion wegen Projektionsverzerrung.....	181
7.5 Zusammenfassung der wichtigsten Korrekturen und Reduktionen	184

8	Präzisionsstreckenmessung	185
8.1	Präzisionsgeräte mit einer Trägerwelle	186
8.1.1	Mekometer ME 3000 und ME 5000	186
8.1.2	Geomensor CR 204	191
8.2	Verwendung von zwei Trägerwellenlängen	196
8.2.1	Prinzip mit zwei Lichtwellen	196
8.2.2	Geräteentwicklungen	200
8.2.2.1	Terrameter LDM 2	200
8.2.2.2	Georan I	201
8.3	Verwendung von drei Trägerwellenlängen	201
8.3.1	Prinzip mit zwei Lichtwellen und einer Mikrowelle	202
8.3.2	Fehlerquellen	204
8.3.3	Geräteentwicklung	206
8.4	Genauigkeitssteigerung bei Standardgeräten	207
8.4.1	Kalibrierung	207
8.4.2	Spezielle Messverfahren	208
9	Elektronische Richtungsmessung	211
9.1	Richtungsabgriff bei elektronischen Theodoliten	211
9.1.1	Allgemeines	211
9.1.2	Stationäre Methode	212
9.1.2.1	Codeverfahren	212
9.1.2.2	Inkrementalverfahren	214
9.1.2.3	Interpolation	217
9.1.3	Dynamische Methode	221
9.1.3.1	Prinzip	221
9.1.3.2	Technische Ausführung am Beispiel Theomat Wild T 2000	223
9.2	Erfassung der Stehachsenschiefe bei elektronischen Theodoliten	224
9.3	Komponenten zur automatischen Zielerfassung und Zielverfolgung	229
9.4	Weitere Messverfahren	232
9.4.1	Interferometrische Winkelmessung	232
9.4.2	Laserkreisel	234
9.4.2.1	Ringlaserkreisel	235
9.4.2.2	Faserkreisel	238
10	Messsysteme	240
10.1	Elektronische Tachymeter	240
10.1.1	Einfache Tachymeter und ihr Zubehör	241
10.1.2	Präzisionstachymeter	243
10.1.3	Automatisch gesteuerte Tachymeter	244
10.1.4	"Ein-Mann"-Messsysteme	245
10.2	Geodätische Industriemesssysteme (GeoIMS)	247

10.2.1	Theodolitmesssysteme.....	247
10.2.2	System zur polaren Punktbestimmung (3D-Interferometrie).....	252
11	Schnittstellen	255
11.1	Allgemeine Grundlagen	255
11.2	Datenübertragung mit Hilfe der Programmiersprache BASIC	258
11.2.1	Die wichtigsten Basic-Anweisungen.....	258
11.2.2	Programmbeispiele.....	259
12	Energieversorgung	264
12.1	Grundbegriffe.....	264
12.2	Blei-Akkumulatoren (Pb-Akku)	266
12.2.1	Aufbau und Wirkungsweise	266
12.2.2	Entladeverhalten.....	267
12.2.3	Lademethoden.....	268
12.2.4	Behandlung und Lagerung	269
12.3	Nickel-Cadmium-Akkumulatoren (Ni/Cd-Akku)	269
12.3.1	Aufbau	269
12.3.2	Entladeverhalten.....	270
12.3.3	Lademethoden.....	272
12.3.4	Behandlung und Lagerung	274
12.4	Nickel-Metallhydrid-Akkumulatoren (Ni/MH-Akku)	274
12.4.1	Aufbau und Wirkungsweise	274
12.4.2	Entladeverhalten.....	275
12.4.3	Ladeverhalten und Lademethoden.....	276
12.4.4	Behandlung und Lagerung	278
12.5	Lithium-Ionen-Akkumulatoren (Li/Ion-Akku)	278
12.5.1	Aufbau und Wirkungsweise	278
12.5.2	Entladeverhalten.....	279
12.5.3	Ladeverhalten und Lademethoden.....	280
12.6	Vergleich zwischen Ni/Cd-, Ni/MH- und Li/Ion-Zellen.....	281
12.7	Entwicklungstendenzen.....	282
13	Geräteübersicht	283
13.1	Elektrooptische Distanzmesser	284
13.2	Elektronische Theodolite	289
13.3	Totalstationen	296
13.4	Technische Daten älterer Entfernungsmesser (E) und Tachymeter (T).....	313
14	Literaturverzeichnis	315
15	Sachwort- und Namensverzeichnis	338