

Inhaltsverzeichnis

1 Vorwort und Einleitung.....	1
2 Einige physikalische Grundlagen.....	3
2.1 Elektromagnetische Strahlung	3
2.2 Strahlungsquellen.....	14
3 Messprinzipien der elektronischen Entfernungsmessung	17
3.1 Impulsmessverfahren	18
3.2 Entfernungsmessung mittels Dopplereffekt.....	24
3.3 Entfernungsmessung durch Interferenzen	28
3.3.1 Entfernungsmessung durch Lichtinterferenzen.....	28
3.3.2 Very Long Baseline Interferometry (VLBI)	35
3.4 Phasenvergleichsverfahren.....	37
3.5 Distanzmessung durch Lasertriangulation	41
4 Elektrooptische Entfernungsmessung durch Phasenvergleichsmessung	45
4.1 Messprinzip	45
4.2 Möglichkeiten zur eindeutigen Streckenbestimmung	46
4.3 Aufbau eines elektrooptischen Entfernungsmessgerätes	56
4.3.1 Oszillator	57
4.3.2 Sender.....	62
4.3.3 Empfänger.....	66
4.3.4 Phasenmesser	68
4.3.5 Auswerteeinheit und Steuereinheit	80
4.3.6 Reflektoren	81
4.3.7 Reflektorlose Entfernungsmessung	88
5 Fehlerquellen und Genauigkeit der elektrooptischen Entfernungsmessung	95
5.1 Einflüsse der Atmosphäre	95
5.1.1 Der Brechungsindex n bei Licht als Trägerwelle	96
5.1.2 Der Brechungsindex n bei Mikrowellen.....	102
5.1.2.1 Terrestrische Streckenmessung mit Mikrowellen	102
5.1.2.2 Satelliten-Streckenmessung mit Mikrowellen.....	104
5.1.3 Bestimmung der meteorologischen Werte	113
5.1.3.1 Luftfeuchte.....	113
5.1.3.2 Lufttemperatur	116
5.1.3.3 Luftdruckmessung	117
5.1.3.4 Meteo-Stationen zur Erfassung mehrerer Komponenten.....	118
5.1.4 Einfluss von Messabweichungen in den meteorologischen Daten ...	120
5.2 Instrumentell bedingte Messabweichungen beim Phasenvergleichsverfahren.....	125
5.2.1 Abweichungen der Modulationsfrequenz	125

5.2.2	Messabweichungen bei der Phasenmessung	128
5.2.2.1	Auflösevermögen	128
5.2.2.2	Zyklischer Phasenfehler	128
5.2.2.3	Phaseninhomogenität	134
5.2.3	Fehler bei der Festlegung des Gerätenullpunktes	136
5.3	Instrumentelle Fehler beim Impulsmessverfahren	138
5.3.1	Fehler der Quarzfrequenz beim Impulsmessverfahren	138
5.3.2	Auflösungsvermögen	141
5.4	Genauigkeit bei der elektrooptischen Entfernungsmessung	141
5.4.1	Phasenvergleichsverfahren	141
5.4.2	Impulsmessverfahren	142
6	Prüf- und Kalibrierverfahren bei der elektrooptischen	
	Distanzmessung (EOD)	145
6.1	Frequenzprüfung	146
6.1.1	Methoden der Frequenzmessung	146
6.1.2	Ergebnisse	149
6.1.3	Streckenkorrektur wegen Frequenzabweichung (K_f)	151
6.1.3.1	Instrumente ohne interne Frequenzkorrektur	151
6.1.3.2	Instrumente mit interner Frequenzkorrektur	154
6.2	Bestimmung der Auflösungsgenauigkeit des Distanzmesssystems	160
6.3	Bestimmung des zyklischen Phasenfehlers	161
6.3.1	Messanordnung	161
6.3.2	Auswertung	163
6.3.2.1	Graphische Bestimmung einer einfachen Sinusfunktion	163
6.3.2.2	Rechnerische Ausgleichung einer einfachen Sinusfunktion	164
6.3.2.3	Fourier-Analyse	167
6.3.3	Beispiele	168
6.4	Bestimmung der Phaseninhomogenität	172
6.5	Bestimmung der Nullpunktskorrektur	175
6.5.1	Bestimmung mit bekannten Strecken	175
6.5.2	Bestimmung ohne bekannte Strecken	179
6.5.2.1	Prinzip	179
6.5.2.2	Streckenmessung in allen Kombinationen	180
6.5.3	Anlage von Eichstrecken	188
6.5.4	Nullpunktskorrektur als Funktion der Phaseninhomogenität	192
6.6	Überprüfung reflektorlos messender Instrumente	193
6.7	Prüfung nach DIN bzw. ISO	198
7	Korrekturen und Reduktionen	205
7.1	Atmosphärische Korrekturen	205
7.1.1	Die 1. Geschwindigkeitskorrektur (K_n)	205
7.1.2	Die 2. Geschwindigkeitskorrektur ($K_{\Delta n}$)	207
7.2	Geometrische Reduktionen	210
7.2.1	Krümmungsreduktionen	211
7.2.2	Neigungs- und Höhenreduktionen	213
7.2.2.1	Reduktion mit bekannten Punkthöhen	213
7.2.2.2	Reduktion der Schrägstrecke über Zenitwinkel	221

7.3	Reduktion wegen vertikaler Exzentrizität	225
7.3.1	Aufsatzdistanzmesser als Zubehör zum Theodolit	225
7.3.2	Reduktion von Schrägstrecke zu Schrägstrecke	228
7.4	Reduktion wegen Projektionsverzerrung.....	229
7.5	Zusammenfassung der wichtigsten Korrekturen und Reduktionen	232
8	Präzisionsstreckenmessung	233
8.1	Präzisionsgeräte mit einer Trägerwelle	234
8.1.1	Mekometer ME 3000 und ME 5000 (Fa. LEICA AG, früher KERN & Co.)	234
8.1.2	Geomensor CR 204	239
8.2	Verwendung von zwei Trägerwellenlängen.....	241
8.2.1	Prinzip mit zwei Lichtwellen	241
8.2.2	Geräteentwicklungen	244
8.2.2.1	Terrameter LDM 2	244
8.2.2.2	Georan I.....	245
8.3	Verwendung von drei Trägerwellenlängen.....	246
8.3.1	Prinzip mit zwei Lichtwellen und einer Mikrowelle	246
8.3.2	Fehlerquellen	249
8.3.3	Geräteentwicklung	250
8.4	Genauigkeitssteigerung bei Standardgeräten	251
8.4.1	Kalibrierung	251
8.4.2	Spezielle Messverfahren	252
9	Elektronische Richtungsmessung	255
9.1	Richtungsabgriff bei elektronischen Theodoliten.....	255
9.1.1	Allgemeines.....	255
9.1.2	Stationäre Methode	256
9.1.2.1	Codeverfahren mit mehreren Codespuren	256
9.1.2.2	Inkrementalverfahren.....	258
9.1.2.3	Interpolation.....	261
9.1.2.4	Absoluter Richtungsabgriff mit nur einer Code-Spur	265
9.1.3	Dynamische Methode	268
9.1.3.1	Prinzip.....	268
9.1.3.2	Technische Ausführung am Beispiel Theomat WILD T 2000	270
9.2	Erfassung der Stehachsenschiefe bei elektronischen Theodoliten.....	271
9.3	Komponenten zur automatischen Zielerfassung und Zielverfolgung	276
9.4	Weitere Messverfahren	282
9.4.1	Interferometrische Winkelmessung.....	282
9.4.2	Laserkreisel.....	284
9.4.2.1	Ringlaserkreisel	284
9.4.2.2	Faserkreisel	287
9.4.3	Genauigkeitssteigerung der Richtungsmessung durch Refraktionskorrektur	289
9.4.3.1	Gleichzeitig-gegenseitige Zenitwinkelmessung.....	289

9.4.3.2	Direkte Bestimmung des Refraktionswinkels mittels Dispersion.....	290
9.4.3.3	Refraktionsbestimmung mittels vertikaler Temperaturprofile	294
10	Messsysteme.....	297
10.1	Elektronische Tachymeter	297
10.1.1	Einfache Tachymeter und ihr Zubehör	298
10.1.2	Präzisionstachymeter	300
10.1.3	Zielsuchende und zielverfolgende Servotachymeter.....	300
10.1.3.1	Systeme zur automatischen Überwachung (Monitoring)	301
10.1.3.2	Ein-Mann-Messsysteme.....	301
10.1.3.3	Systeme für kinematische Messaufgaben	303
10.1.3.4	Video-Tachymeter	306
10.2	Geodätische Industriemesssysteme (GeolMS)	308
10.2.1	Theodolitsysteme und Folgesysteme	309
10.2.2	Systeme zur polaren Punktbestimmung (Lasertracker)	314
10.3	Terrestrische Laserscanner	318
10.3.1	Methodische Einordnung und technische Abgrenzung	318
10.3.2	Strategie der Objektaufnahme.....	321
10.3.3	Klassifizierung terrestrischer Laserscanner.....	324
10.3.3.1	Unterscheidungsmerkmale eines Scanner-Systems.....	324
10.3.3.2	Scanner-Klassifizierung über den Messraum	324
10.3.3.3	Scanner-Klassifizierung über den Aufnahmewinkel	325
10.3.4	Systemaufbau.....	330
10.3.4.1	Laserscanner als Multisensorsystem	330
10.3.4.2	Distanzmessung.....	332
10.3.4.3	Strahlablenkung und Richtungsmessung.....	339
10.3.5	Anmerkungen zu Prüfung und Kalibrierung.....	350
11	3D-Punktbestimmung mit Satelliten	353
11.1	Systemkonfigurationen	353
11.2	Messprinzip.....	354
11.2.1	Satelliten- und Punktkoordinaten in einem Referenzsystem.....	354
11.2.2	Pseudostrecken als Beobachtungen	356
11.2.3	Zeitsysteme	360
11.2.4	Fehlerminimierung durch differentielle bzw. relative Messung	361
11.3	Messsignale und Fehlereinflüsse	362
11.3.1	Signalerzeugung im GPS-Satelliten	363
11.3.1.1	Grundsignal	363
11.3.1.2	Trägersignale	364
11.3.1.3	PRN-Codes (Pseudo Random Noise Codes)	365
11.3.1.4	Datensignal	368

11.3.1.5	Phasenmodulation der Träger mit PRN-Codes und Datensignal	370
11.3.1.6	Satellitenseitige Fehlereinflüsse	373
11.3.2	Signalausbreitung	375
11.3.2.1	Signal-Laufzeit vom Satelliten zum Empfänger	375
11.3.2.2	Ausbreitungseffekte	377
11.3.3	GNSS-Empfängerfunktionalität	388
11.3.3.1	Empfängerstruktur	388
11.3.3.2	Signalverarbeitung im Empfänger	389
11.4	Mess- und Auswerteverfahren	399
11.4.1	Pseudoentfernungen als grundsätzliche GNSS- Beobachtungsgröße	399
11.4.2	GNSS-Beobachtungsgleichung	400
11.4.2.1	Geometrie	400
11.4.2.2	Satellitenuhrfehler und -hardwarefehler	402
11.4.2.3	Empfängeruhrfehler und -hardwarefehler	402
11.4.2.4	Laufzeiteinflüsse bzw. Ausbreitungsfehler	403
11.4.2.5	Mehrdeutigkeit	403
11.4.2.6	Zufällige Messfehler	404
11.4.3	GNSS-Messansätze und ihre Auswertemodelle	404
11.4.3.1	GPS-Navigationslösung	405
11.4.3.2	Differentielles GPS (DGPS)	406
11.4.3.3	Geodätische Relativmessungen (PDGPS)	409
11.4.3.4	Geodätische kinematische Messungen	428
11.5	Unterstützende Systeme	431
11.5.1	International GNSS Service, IGS	431
11.5.2	GNSS-Referenznetze	431
11.5.2.1	Flächenkorrekturparameter (FKP)	434
11.5.2.2	Virtuelle Referenzstation, Virtual Reference Station (VRS)	437
11.5.2.3	Master-Auxiliary Concept (MAC)	440
11.5.3	Unterstützende satellitenbasierende Systeme (SBAS)	441
11.5.4	Assisted GPS (A-GPS)	443
11.6	Interfacing im GNSS-Zusammenhang	444
11.6.1	RINEX: Rohdaten für das Postprocessing	444
11.6.2	RTCM: Korrekturdaten für PDGPS und DGPS	445
11.6.3	NMEA: Ausgabe von Positionsdaten	446
11.7	Weitere GNSS	446
11.7.1	GPS-Modernisierung	448
11.7.2	GLONASS	451
11.7.3	Galileo	455
12	Energieversorgung	459
12.1	Grundbegriffe	459
12.2	Blei-Akkumulatoren (Pb-Akku)	461
12.2.1	Aufbau und Wirkungsweise	462
12.2.2	Entladeverhalten	462
12.2.3	Lademethoden	464
12.2.4	Behandlung und Lagerung	464

12.3	Nickel-Cadmium-Akkumulatoren (Ni/Cd-Akku).....	465
12.3.1	Aufbau	465
12.3.2	Entladeverhalten.....	465
12.3.3	Lademethoden.....	467
12.3.4	Behandlung und Lagerung	469
12.4	Nickel-Metallhydrid-Akkumulatoren (Ni/MH-Akku).....	470
12.4.1	Aufbau und Wirkungsweise	470
12.4.2	Entladeverhalten.....	471
12.4.3	Ladeverhalten und Lademethoden.....	472
12.4.4	Behandlung und Lagerung	474
12.5	Lithium-Ionen-Akkumulatoren (Li/Ion-Akku)	475
12.5.1	Aufbau und Wirkungsweise	475
12.5.2	Entladeverhalten.....	475
12.5.3	Ladeverhalten und Lademethoden.....	476
12.6	Vergleich zwischen Ni/Cd-, Ni/MH- und Li/Ion-Zellen.....	477
12.7	Entwicklungstendenzen	479
13	Übersicht von elektronischen Distanzmessern	481
13.1	Vorwort	481
13.2	Technische Daten einiger Entfernungsmesser und Tachymeter.....	482
	Literaturverzeichnis	489
	Stichwortverzeichnis	517