

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Allgemeine Grundlagen</b>	<b>1</b>
1.1	Einführung	1
1.2	Erdmessung	3
1.2.1	Vorstellungen über die Gestalt der Erde	3
1.2.2	Definition von Ersatzflächen für die Erdoberfläche	4
1.3	Landesvermessung	6
1.3.1	Lagefestpunktfeld	7
1.3.2	Höhenfestpunktfeld	10
1.3.3	Landesschwerenetz	13
1.4	Geodätische Koordinatensysteme	13
1.4.1	Geozentrisches Koordinatensystem	13
1.4.2	Koordinatensysteme zur Punktfestlegung	18
1.4.3	Koordinatensysteme in der Ebene	20
1.4.4	Konforme Abbildung des Erdellipsoids	22
1.4.5	Das UTM-System	25
1.4.6	Höhenreduktion	27
1.4.7	Geographisch Nord, Gitternord, Magnetisch Nord	28
1.5	Messabweichungen, Mittelwerte und Streuungsmaße	29
1.5.1	Erläuterung des Begriffs Messabweichung	29
1.5.2	Erwartungswert	30
1.5.3	Schätzwert für den Erwartungswert	31
1.6	Maßeinheiten und Maßverhältnisse	33
1.6.1	Definition der Maßeinheiten und ihre Ableitungen	33
1.6.2	Ebene Winkeleinheiten	34
1.6.3	Maßverhältnisse	37
1.6.4	Steigungsmaße (Maße für Steigung, Neigung, Gefälle)	38
<b>2</b>	<b>Messen, Berechnen und Kartieren bei Lagemessungen</b>	<b>40</b>
2.1	Einfache Vermessungsgeräte und Messverfahren	40
2.1.1	Signalisieren, Einfluchten und Vermarken von Punkten	40
2.1.2	Längenmessung mit Stahlmessbändern	45
2.1.3	Absetzen Rechter Winkel mit Prismeninstrumenten	48
2.2	Verfahren der Lageaufnahme	50
2.2.1	Einbinde- und Orthogonalverfahren	50
2.2.2	Polarverfahren und Methode der Freien Standpunktwahl	55
2.2.3	Aufnahmegegenstände und Dokumentation der Messergebnisse	60
2.3	Einfache Koordinatenberechnungen und Umformungen	62
2.3.1	Berechnung von Höhe und Höhenfußpunkt in einem Dreieck	62
2.3.2	Umrechnungen zwischen rechtwinkligen und polaren Koordinaten	64
2.3.3	Kleinpunktberechnung	66

2.3.4	Umformung ebener rechtwinkliger Koordinaten . . . . .	69
2.3.5	Ähnlichkeitstransformation (Helmert-Transformation) . . . . .	73
2.3.6	Koordinatenberechnung bei Freier Standpunktwahl (freier Stationierung) . . . . .	77
2.3.7	Geradenschnitt . . . . .	78
2.4	Flächenberechnung und Kartierverfahren . . . . .	82
2.4.1	Flächenberechnung aus Maßzahlen . . . . .	82
2.4.2	Grafische Flächenermittlung . . . . .	87
2.4.3	Kartierverfahren . . . . .	88
2.4.4	Begriffe zur grafischen Datenverarbeitung . . . . .	91
<b>3</b>	<b>Winkelmessung</b> . . . . .	<b>93</b>
3.1	Horizontal-, Vertikal- und Positionswinkel . . . . .	93
3.2	Bestandteile des Theodolits . . . . .	93
3.2.1	Libellen . . . . .	93
3.2.2	Messfernrohr . . . . .	96
3.2.3	Aufbau des Theodolits . . . . .	104
3.2.4	Einrichtungen zur Winkelmessung . . . . .	106
3.3	Einteilung der Theodolite . . . . .	115
3.4	Prüfen und Justieren des Theodolits . . . . .	115
3.4.1	Prüfen auf Stehachsschiefe . . . . .	116
3.4.2	Prüfen auf Zielachsabweichung . . . . .	117
3.4.3	Prüfen auf Kippachsabweichung . . . . .	119
3.4.4	Laborprüfmethode . . . . .	119
3.4.5	Eliminieren von Instrumentenabweichungen . . . . .	121
3.5	Arbeitsablauf bei der Winkelmessung . . . . .	122
3.5.1	Aufstellen eines Theodolits . . . . .	122
3.5.2	Anzielen mit dem Theodolit . . . . .	125
3.5.3	Horizontalwinkelmessung . . . . .	126
3.5.4	Vertikalwinkelmessung . . . . .	127
<b>4</b>	<b>Höhenmessung</b> . . . . .	<b>130</b>
4.1	Geometrisches Nivellement . . . . .	130
4.1.1	Nivellierprinzip . . . . .	130
4.1.2	Nivellierinstrumente . . . . .	131
4.1.3	Prüfen und Justieren von Nivellierinstrumenten . . . . .	140
4.1.4	Nivellierlatten . . . . .	145
4.1.5	Nivellierverfahren (Festpunktnivellement) . . . . .	147
4.2	Hydrostatisches Nivellement . . . . .	158
4.3	Trigonometrische Höhenmessung . . . . .	162
4.3.1	Trigonometrische Höhenmessung über kurze Entfernungen . . . . .	162
4.3.2	Trigonometrische Höhenmessung über große Entfernungen . . . . .	163
4.3.3	Trigonometrisches Nivellement . . . . .	165
4.3.4	Erreichbare Genauigkeiten bei der trigonometrischen Höhenmessung . . . . .	167
4.4	Barometrische Höhenmessung . . . . .	168
4.4.1	Physikalische Grundlagen . . . . .	168

4.4.2	Barometer . . . . .	170
<b>5</b>	<b>Elektrooptische Distanzmessung, Tachymeter und Laserscanner</b>	<b>172</b>
5.1	Messprinzipien der elektrooptischen Distanzmessung . . . . .	172
5.1.1	Impulslaufzeitverfahren . . . . .	172
5.1.2	Phasenvergleichsverfahren . . . . .	177
5.1.3	Kombiniertes Impulslaufzeit- und Phasenmessverfahren . . . . .	187
5.1.4	Reflektoren . . . . .	187
5.1.5	Einfluss der Atmosphäre . . . . .	189
5.2	Tachymeter . . . . .	189
5.2.1	Tachymeter zur reflektorlosen und reflektorgestützten Distanzmessung	190
5.2.2	Tachymeter mit Sensoren zur automatischen Zielerfassung und Ziel- verfolgung (Robottachymeter) . . . . .	192
5.2.3	Videotachymeter . . . . .	198
5.2.4	Multi-Kamera Rover . . . . .	202
5.3	Kalibrieren elektrooptischer Distanzmesser . . . . .	203
5.3.1	Maßstabkorrektur . . . . .	203
5.3.2	Zyklische Korrektur . . . . .	204
5.3.3	Additionskorrektur . . . . .	205
5.4	Terrestrisches Laserscanning . . . . .	207
5.4.1	Zur Objekterfassung . . . . .	208
5.4.2	Aufbau von Laserscannern . . . . .	209
5.4.3	Ausführung von Laserscans und Modellierung von gescannten Ob- jekten . . . . .	212
5.4.4	Zusammenfassung der wesentlichen Unterschiede zwischen Tachy- metern und Laserscannern . . . . .	216
5.4.5	Prüfung von Laserscannern . . . . .	217
<b>6</b>	<b>Terrestrische Verfahren zur Bestimmung von Lagefestpunkten</b>	<b>221</b>
6.1	Zentrieren exzentrisch gemessener Richtungen . . . . .	221
6.1.1	Standpunktzentrierung . . . . .	221
6.1.2	Zielpunktzentrierung . . . . .	223
6.2	Verfahren der Einzelpunktbestimmung . . . . .	225
6.2.1	Vorwärtsschnitt . . . . .	225
6.2.2	Rückwärtsschnitt . . . . .	230
6.2.3	Bogenschnitt . . . . .	234
6.3	Polygonometrische Punktbestimmung . . . . .	238
6.3.1	Polygonzugarten . . . . .	238
6.3.2	Messung von Polygonzügen . . . . .	241
6.3.3	Polygonzugberechnung . . . . .	244
<b>7</b>	<b>Geländeaufnahme und Massenberechnung</b>	<b>256</b>
7.1	Grundlagen und Höhendarstellung . . . . .	256
7.1.1	Übersicht über die Verfahren zur Geländeaufnahme . . . . .	256
7.1.2	Arten der Höhendarstellung . . . . .	257
7.1.3	Höhenlinienkonstruktion . . . . .	258

7.2	Längs- und Querprofilaufnahme . . . . .	261
7.2.1	Längsprofilaufnahme . . . . .	261
7.2.2	Querprofilaufnahme mit Nivellierinstrument . . . . .	264
7.2.3	Querprofilaufnahme mit Tachymeterinstrument . . . . .	265
7.2.4	Querprofilbestimmung durch Interpolation . . . . .	268
7.2.5	Korrespondierende Querprofile . . . . .	269
7.2.6	Regeln für die Darstellung von Längs- und Querprofilen . . . . .	270
7.3	Flächennivellement und Absteckung von Höhenlinien . . . . .	272
7.3.1	Flächennivellement . . . . .	272
7.3.2	Abstecken von Höhenlinien im Gelände . . . . .	273
7.4	Freie Geländeaufnahme mit Tachymeter . . . . .	274
7.4.1	Prinzip und Aufnahmegrundlagen der Tachymetrie . . . . .	274
7.4.2	Tachymetrische Aufnahmeverfahren . . . . .	276
7.5	Massenberechnung . . . . .	278
7.5.1	Massenberechnung aus Querprofilen . . . . .	279
7.5.2	Massenberechnung aus Prismen . . . . .	285
<b>8</b>	<b>Satellitengestützte Messverfahren</b>	<b>291</b>
8.1	Grundlagen des Weltraum-, Kontroll- und Benutzersegments . . . . .	291
8.2	Beobachtungs- und Auswertungsprinzip . . . . .	293
8.2.1	Beobachtungsprinzip . . . . .	293
8.2.2	Modernisierung des GPS . . . . .	295
8.2.3	Auswertungsprinzip . . . . .	296
8.3	Instrumentarium und Messverfahren . . . . .	300
8.4	GNSS-Referenznetze (SAPOS <sup>®</sup> -Messverfahren) . . . . .	303
8.5	Planung von GNSS-Messungen . . . . .	307
8.5.1	Punkterkundung . . . . .	307
8.5.2	Wahl des Beobachtungsverfahrens . . . . .	308
8.5.3	Vorbereitende Arbeiten . . . . .	309
8.6	Messungsablauf und Auswertung . . . . .	311
8.6.1	Antennenaufstellung . . . . .	311
8.6.2	Durchführung . . . . .	312
8.6.3	Auswertung . . . . .	312
8.7	Transformation in Gebrauchskoordinatensysteme . . . . .	313
8.8	Liegenschaftsvermessungen unter Nutzung von GNSS-Referenznetzen . . . . .	316
8.9	GPS-Geländeaufnahmeverfahren . . . . .	321
8.10	Glossar . . . . .	324
<b>9</b>	<b>Photogrammetrie und Kartographie</b>	<b>339</b>
9.1	Begriffe . . . . .	339
9.2	Grundlagen der Photogrammetrie . . . . .	341
9.2.1	Mathematische Beziehungen . . . . .	341
9.2.2	Herstellung der Aufnahmen . . . . .	346
9.3	Photogrammetrische Auswertemethoden . . . . .	362
9.3.1	Einbildauswertung . . . . .	362
9.3.2	Zweibildauswertung (Stereophotogrammetrie) . . . . .	367

9.3.3	Mehrbildauswertung . . . . .	372
9.3.4	Bildauswertung in Kombination mit Laserscannerdaten . . . . .	378
9.4	UAV-Photogrammetrie . . . . .	386
9.4.1	Technologische Aspekte von UAV . . . . .	387
9.4.2	Arbeitsablauf von UAV-gestützten Photogrammetrieprojekten . . . . .	390
9.4.3	Ergebnisse und Endprodukte der UAV-Photogrammetrie . . . . .	396
9.5	Kartographie . . . . .	398
9.5.1	Definitionen, Einteilung und Bestandteile von Karten . . . . .	399
9.5.2	Kartennetzentwurf . . . . .	400
9.5.3	Kartenauswertung . . . . .	403
9.5.4	Topographische Karten . . . . .	403
9.5.5	Weitere Kartenwerke . . . . .	408
<b>10</b>	<b>Liegenschaftswesen</b>	<b>412</b>
10.1	Liegenschaftskataster . . . . .	412
10.2	Grundbuch . . . . .	414
10.3	Bauleitplanung, Bodenordnung, Flurbereinigung . . . . .	418
10.4	Vermessungstechnische und rechtliche Vorgänge . . . . .	420
<b>11</b>	<b>Ingenieurvermessung</b>	<b>422</b>
11.1	Übersicht über Vermessungsarbeiten bei Bauvorhaben . . . . .	422
11.1.1	Vor Beginn der Bautätigkeit . . . . .	422
11.1.2	Während der Bautätigkeit . . . . .	425
11.1.3	Nach Ende der Bautätigkeit . . . . .	425
11.2	Absteckung von Bauwerken . . . . .	426
11.2.1	Rechtliche Voraussetzungen . . . . .	426
11.2.2	Lagefestpunkte, Absteckungsnetze und Punktvermarkung . . . . .	427
11.2.3	Absteckung nach der Einbinde- und Orthogonalmethode . . . . .	436
11.2.4	Absteckung nach der Polarmethode . . . . .	438
11.2.5	Absteckung durch Vorwärtsschnitt . . . . .	440
11.2.6	Absteckung nach der Methode der Freien Standpunktwahl . . . . .	444
11.2.7	Absteckung mit GNSS . . . . .	448
11.3	Höhen-, Ebenheits- und Neigungsmessungen . . . . .	450
11.3.1	Höhenanschluss . . . . .	450
11.3.2	Instrumente zur Höhenmessung . . . . .	451
11.3.3	Höhenmessungen in und an Bauwerken . . . . .	458
11.3.4	Feststellung der Ebenheit und der Neigung von Flächen . . . . .	467
11.4	Lotung . . . . .	478
11.4.1	Mechanische Lotung . . . . .	478
11.4.2	Optische Lotung . . . . .	481
11.5	Fluchtung (Alignement) . . . . .	493
11.5.1	Mechanische Fluchtung . . . . .	493
11.5.2	Optische Fluchtung mit Messfernrohr . . . . .	494
11.5.3	Optische Fluchtung mit Lasergeräten . . . . .	498
11.6	Deformationsmessung . . . . .	500
11.6.1	Grundlagen . . . . .	500

11.6.2	Monitoring durch kontinuierliche Messungen . . . . .	503
11.6.3	Diskontinuierliche Messungen . . . . .	508
11.6.4	Verknüpfung relativer und absoluter Messverfahren . . . . .	509
11.6.5	Erreichbare und erforderliche Messgenauigkeit . . . . .	510
11.7	Absteckung von Geraden, Kreisbögen und Übergangsbögen . . . . .	514
11.7.1	Trassierung . . . . .	514
11.7.2	Absteckung von Geraden . . . . .	517
11.7.3	Kreisbogenabsteckung . . . . .	523
11.7.4	Übergangsbögen . . . . .	536
11.7.5	Kuppen- und Wannenausrundung . . . . .	558
11.8	Berührungslose Vermessung . . . . .	562
11.8.1	Objekterfassung mit reflektorlos messenden Tachymetern . . . . .	563
11.8.2	Geodätische Industriemesssysteme . . . . .	568
11.9	Baumaschinensteuerung mit satellitengestützten und robottachymetrischen Messsystemen . . . . .	576
11.9.1	Baumaschinensteuerung mit GNSS-Systemen . . . . .	576
11.9.2	Baumaschinensteuerung mit Robottachymetern . . . . .	578
<b>12</b>	<b>Statistische Auswerteverfahren</b>	<b>581</b>
12.1	Grundbegriffe der mathematischen Statistik . . . . .	581
12.2	Wahrscheinlichkeitsfunktionen . . . . .	586
12.2.1	Binomialverteilung . . . . .	586
12.2.2	Normalverteilung . . . . .	587
12.2.3	Standardnormalverteilung . . . . .	589
12.2.4	Weitere Wahrscheinlichkeitsverteilungen . . . . .	590
12.2.5	Beispiele zur Binomial- und Normalverteilung . . . . .	590
12.3	Parameterschätzung . . . . .	593
12.3.1	Stichprobe . . . . .	593
12.3.2	Klassenbildung und Häufigkeitsfunktion . . . . .	594
12.3.3	Box-Plot . . . . .	598
12.3.4	Numerische Methoden zur Parameterschätzung . . . . .	599
12.3.5	Varianz-Kovarianzfortpflanzungsgesetz . . . . .	607
12.3.6	Gewichte . . . . .	612
12.3.7	Mittelwerte aus transformierten normalverteilten und aus nichtnor- malverteilten Messwerten . . . . .	618
12.4	Regression und Korrelation . . . . .	620
12.4.1	Funktionale und stochastische Abhängigkeit . . . . .	620
12.4.2	Lineare Regressions- und Korrelationsmodelle . . . . .	621
12.4.3	Schätzwerte für die lineare Regression und Korrelation . . . . .	625
12.4.4	Nichtlineare Regression . . . . .	639
12.4.5	Mehrfache (multiple) Regression . . . . .	643
12.5	Testverteilung (Prüfverteilung) . . . . .	643
12.5.1	Standardnormalverteilung . . . . .	644
12.5.2	$\chi^2$ -Verteilung (Helmert-Pearson-Verteilung) . . . . .	644
12.5.3	t-Verteilung (Student-Verteilung) . . . . .	645
12.5.4	F-Verteilung (Fisher-Verteilung) . . . . .	645

12.6	Konfidenzintervall (Vertrauensintervall)	654
12.6.1	Konfidenzintervall für den Erwartungswert $\mu$	656
12.6.2	Konfidenzintervall für die Standardabweichung $\sigma$	657
12.6.3	Konfidenzintervalle für die Parameter der Regressionsgeraden und für den Korrelationskoeffizienten	659
12.7	Testen von Hypothesen	666
12.7.1	Nullhypothese und Alternativhypothese	666
12.7.2	Testgüte sowie Fehler 1. und 2. Art	667
12.7.3	Praktische Ausführung statistischer Tests	672
12.7.4	Unterscheidung verschiedener statistischer Testarten	672
12.7.5	Praktische Zahlenbeispiele	672
12.8	Darstellung in Matrizenschreibweise	681
<b>13</b>	<b>Messgenauigkeit und Toleranzen</b>	<b>690</b>
13.1	Kriterien der Messgenauigkeit	690
13.1.1	Präzision und Richtigkeit	690
13.1.2	Messunsicherheit	692
13.1.3	Veranschlagung einer systematischen Messabweichung	693
13.2	Toleranzbegriffe	695
13.3	Prüfung auf Toleranzüberschreitung	698
13.4	Zusammenhang zwischen Messgenauigkeit und Toleranz	699
13.4.1	Zweiseitige symmetrische Toleranz	699
13.4.2	Zweiseitige unsymmetrische Toleranz	700
13.4.3	Einseitige Toleranz	700
13.4.4	Abschätzung einer Vermessungstoleranz aus vorgegebener Gesamt- toleranz	701
13.5	Messgenauigkeit von Kontroll- und Überwachungsvermessungen	702
13.5.1	Prüfung auf Einhaltung von Toleranzen	702
13.5.2	Prüfung auf Einhaltung kritischer Grenzen bzw. Nachweis mutmaß- licher Deformationen	703
13.5.3	Trennschärfe einer Überwachungsvermessung	704
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>705</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>717</b>