

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Allgemeine Grundlagen</b>	<b>1</b>
1.1	Einführung . . . . .	1
1.2	Erdmessung . . . . .	2
1.2.1	Vorstellungen über die Gestalt der Erde . . . . .	2
1.2.2	Definition von Ersatzflächen für die Erdoberfläche . . . . .	3
1.3	Landesvermessung . . . . .	6
1.3.1	Lagefestpunktfeld . . . . .	6
1.3.2	Höhenfestpunktfeld . . . . .	9
1.3.3	Landesschwerenetz . . . . .	11
1.3.4	Geodätischer Raumbezug . . . . .	12
1.4	Geodätische Koordinatensysteme . . . . .	13
1.4.1	Geozentrisches Koordinatensystem . . . . .	14
1.4.2	Koordinatensysteme zur Punktfestlegung . . . . .	16
1.4.3	Koordinatensysteme in der Ebene . . . . .	19
1.4.4	Konforme Abbildung des Erdellipsoids . . . . .	20
1.4.5	Höhenreduktion und Abbildungsverzerrung mit Beispielen . . . . .	26
1.4.6	Geographisch Nord, Gitternord, Magnetisch Nord . . . . .	29
1.5	Messabweichungen, Mittelwerte und Streuungsmaße . . . . .	30
1.5.1	Erläuterung des Begriffs Messabweichung . . . . .	30
1.5.2	Erwartungswert . . . . .	31
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 . . . . .	35
1.6.3	Steigungsmaße (Maße für Steigung, Neigung, Gefälle) . . . . .	37
<b>2</b>	<b>Messen und Berechnen bei Lagemessungen</b>	<b>39</b>
2.1	Einfache Vermessungsgeräte und Messverfahren . . . . .	39
2.2	Verfahren der Lageaufnahme . . . . .	47
2.2.1	Einbinde- und Orthogonalverfahren . . . . .	48
2.2.2	Polarverfahren und Methode der Freien Standpunktwahl . . . . .	52
2.2.3	Aufnahmegegenstände und Dokumentation der Messergebnisse . . . . .	57
2.3	Einfache Koordinatenberechnungen und Umformungen . . . . .	60
2.3.1	Umrechnungen zwischen rechtwinkligen und polaren Koordinaten . . . . .	61
2.3.2	Kleinpunktberechnung . . . . .	62
2.3.3	Umformung ebener rechtwinkliger Koordinaten . . . . .	66
2.3.4	Ähnlichkeitstransformation (Helmert-Transformation) . . . . .	70
2.3.5	Koordinatenberechnung bei Freier Standpunktwahl (freier Stationierung) . . . . .	74
2.3.6	Geradenschnitt . . . . .	75

2.4	Flächenberechnung und Kartierverfahren . . . . .	79
2.4.1	Flächenberechnung aus Maßzahlen . . . . .	79
2.4.2	Grafische Flächenermittlung . . . . .	84
2.4.3	Manuelles Kartierverfahren . . . . .	85
<b>3</b>	<b>Winkelmessung</b>	<b>87</b>
3.1	Horizontal-, Vertikal- und Positionswinkel . . . . .	87
3.2	Bestandteile des Theodolits . . . . .	87
3.2.1	Libellen . . . . .	87
3.2.2	Messfernrohr . . . . .	90
3.2.3	Aufbau des Theodolits . . . . .	98
3.2.4	Einrichtungen zur Winkelmessung . . . . .	100
3.3	Einteilung der Theodolite . . . . .	107
3.4	Prüfen des Theodolits . . . . .	108
3.4.1	Prüfen auf Stehachsschiefe . . . . .	109
3.4.2	Prüfen auf Zielachsabweichung . . . . .	110
3.4.3	Prüfen auf Kippachsabweichung . . . . .	111
3.4.4	Laborprüfmethode . . . . .	112
3.4.5	Eliminieren von Instrumentenabweichungen . . . . .	114
3.5	Arbeitsablauf bei der Winkelmessung . . . . .	115
3.5.1	Aufstellen eines Theodolits . . . . .	115
3.5.2	Anzielen mit dem Theodolit . . . . .	118
3.5.3	Horizontalwinkelmessung . . . . .	118
3.5.4	Vertikalwinkelmessung . . . . .	120
<b>4</b>	<b>Höhenmessung</b>	<b>122</b>
4.1	Geometrisches Nivellement . . . . .	122
4.1.1	Nivellierprinzip . . . . .	122
4.1.2	Nivellierinstrumente . . . . .	123
4.1.3	Prüfen und Justieren von Nivellierinstrumenten . . . . .	131
4.1.4	Nivellierlatten . . . . .	137
4.1.5	Nivellierverfahren (Festpunktnivellement) . . . . .	138
4.2	Hydrostatische Höhenübertragung . . . . .	149
4.3	Trigonometrische Höhenmessung . . . . .	153
4.3.1	Trigonometrische Höhenmessung über kurze Entfernungen . . . . .	153
4.3.2	Trigonometrische Höhenmessung über große Entfernungen . . . . .	154
4.3.3	Trigonometrisches Nivellement . . . . .	156
4.3.4	Erreichbare Genauigkeiten bei der trigonometrischen Höhenmessung . . . . .	158
<b>5</b>	<b>Elektrooptische Distanzmessung, Tachymeter und Laserscanner</b>	<b>160</b>
5.1	Messprinzipien der elektrooptischen Distanzmessung . . . . .	160
5.1.1	Impulslaufzeitverfahren . . . . .	160
5.1.2	Phasenvergleichsverfahren . . . . .	165
5.1.3	Kombiniertes Impulslaufzeit- und Phasenmessverfahren . . . . .	174
5.1.4	Reflektoren . . . . .	175
5.1.5	Einfluss der Atmosphäre . . . . .	176

---

5.2	Tachymeter (Totalstation) . . . . .	177
5.2.1	Tachymeter zur reflektorlosen und reflektorgestützten Distanzmessung	178
5.2.2	Tachymeter mit Sensoren zur automatischen Zielerfassung und Zielverfolgung (Robottachymeter) . . . . .	179
5.2.3	Videotachymeter (Multi-Station) . . . . .	187
5.2.4	Multi-Kamera Rover . . . . .	193
5.3	Prüfung von Tachymetern (Totalstationen) . . . . .	194
5.3.1	Feldprüfmethoden . . . . .	194
5.3.2	Kalibrieren elektrooptischer Distanzmesssensoren . . . . .	199
5.4	Terrestrisches Laserscanning . . . . .	203
5.4.1	Zur Objekterfassung . . . . .	204
5.4.2	Aufbau von Laserscannern . . . . .	205
5.4.3	Ausführung von Laserscans und Modellierung von gescannten Objekten . . . . .	208
5.4.4	Zusammenfassung der wesentlichen Unterschiede zwischen Tachymetern und Laserscannern . . . . .	215
5.4.5	Aktuelle Entwicklungen . . . . .	216
5.4.6	Prüfung von Laserscannern . . . . .	218
<b>6</b>	<b>Terrestrische Verfahren zur Bestimmung von Lagefestpunkten</b>	<b>224</b>
6.1	Zentrieren exzentrisch gemessener Richtungen . . . . .	224
6.1.1	Standpunktzentrierung . . . . .	224
6.1.2	Zielpunktzentrierung . . . . .	226
6.2	Verfahren der Einzelpunktbestimmung . . . . .	228
6.2.1	Vorwärtsschnitt . . . . .	228
6.2.2	Rückwärtsschnitt . . . . .	233
6.2.3	Bogenschnitt . . . . .	237
6.3	Polygonometrische Punktbestimmung . . . . .	241
6.3.1	Polygonzugarten . . . . .	241
6.3.2	Messung von Polygonzügen . . . . .	244
6.3.3	Polygonzugberechnung . . . . .	246
<b>7</b>	<b>Geländeaufnahme und Mengenberechnung</b>	<b>256</b>
7.1	Grundlagen und Höhendarstellung . . . . .	256
7.1.1	Arten der Höhendarstellung . . . . .	257
7.1.2	Höhenlinienkonstruktion . . . . .	258
7.2	Längs- und Querprofilaufnahme . . . . .	260
7.2.1	Längsprofilaufnahme . . . . .	260
7.2.2	Querprofilaufnahme . . . . .	263
7.2.3	Querprofilbestimmung durch Interpolation . . . . .	266
7.2.4	Korrespondierende Querprofile . . . . .	267
7.2.5	Regeln für die Darstellung von Längs- und Querprofilen . . . . .	267
7.3	Flächennivellement und Absteckung von Höhenlinien . . . . .	270
7.4	Freie Geländeaufnahme mit Tachymeter . . . . .	271
7.4.1	Prinzip und Aufnahmegrundlagen der Tachymetrie . . . . .	271
7.4.2	Tachymetrische Aufnahmeverfahren . . . . .	272

7.5	Mengenberechnung . . . . .	274
7.5.1	Mengenberechnung aus Querprofilen . . . . .	275
7.5.2	Mengenberechnung aus Prismen . . . . .	281
<b>8</b>	<b>Satellitengestützte Messverfahren</b>	<b>282</b>
8.1	Grundlagen des GPS-Weltraum-, Kontroll- und Benutzersegments . . . . .	283
8.2	Beobachtungs- und Auswertungsprinzip . . . . .	285
8.2.1	Beobachtungsprinzip . . . . .	285
8.2.2	Modernisierung der globalen Navigationssysteme . . . . .	288
8.2.3	Auswertungsprinzip . . . . .	290
8.3	Instrumentarium und Messverfahren . . . . .	293
8.4	GNSS-Referenznetze (SAPOS <sup>®</sup> -Messverfahren) . . . . .	297
8.5	Planung von GNSS-Messungen . . . . .	301
8.5.1	Punkterkundung . . . . .	301
8.5.2	Wahl des Beobachtungsverfahrens . . . . .	302
8.5.3	Vorbereitende Arbeiten . . . . .	302
8.6	Messungsablauf und Auswertung . . . . .	304
8.6.1	Antennenaufstellung . . . . .	304
8.6.2	Durchführung . . . . .	306
8.6.3	Auswertung . . . . .	306
8.7	Transformation in Gebrauchskoordinatensysteme . . . . .	309
8.8	Liegenschaftsvermessungen unter Nutzung von GNSS-Referenznetzen . . . . .	311
8.8.1	Ausführung der Messungen . . . . .	312
8.9	GNSS-Geländeaufnahmeverfahren . . . . .	319
8.10	Glossar . . . . .	321
<b>9</b>	<b>Photogrammetrie</b>	<b>332</b>
9.1	Begriffe . . . . .	332
9.2	Grundlagen der Photogrammetrie . . . . .	334
9.2.1	Mathematische Beziehungen . . . . .	334
9.2.2	Herstellung der Aufnahmen . . . . .	339
9.3	Photogrammetrische Auswertemethoden . . . . .	357
9.3.1	Einbildauswertung . . . . .	357
9.3.2	Zweibildauswertung (Stereophotogrammetrie) . . . . .	362
9.3.3	Mehrbildauswertung . . . . .	367
9.3.4	Bildauswertung in Kombination mit Laserscannerdaten . . . . .	373
9.4	UAV-Photogrammetrie . . . . .	381
9.4.1	Technologische Aspekte von UAV . . . . .	382
9.4.2	Arbeitsablauf von UAV-gestützten Photogrammetrieprojekten . . . . .	385
9.4.3	Ergebnisse und Endprodukte der UAV-Photogrammetrie . . . . .	392
<b>10</b>	<b>Geoinformation und Geoinformationssysteme</b>	<b>394</b>
10.1	Definition und Einführung . . . . .	394
10.2	GIS-Software . . . . .	395
10.3	Raumbezogene Modellierung . . . . .	396
10.3.1	Geometrische Dimension . . . . .	398

10.3.2	Raster und Vektordaten . . . . .	398
10.3.3	Topologie . . . . .	399
10.4	Geodaten . . . . .	400
10.5	Datenerfassung . . . . .	404
10.5.1	Originäre (direkte) Datenerfassung . . . . .	404
10.5.2	Sekundäre (indirekte) Datenerfassung . . . . .	404
10.6	Datenspeicherung und -austausch . . . . .	405
10.7	Standardisierung und Normung . . . . .	406
10.8	Analyse . . . . .	408
10.8.1	Geometrische räumliche Analyse . . . . .	409
10.8.2	Topologische räumliche Analyse . . . . .	410
10.8.3	Geostatistische räumliche Analyse . . . . .	411
10.8.4	Explorative räumliche Visualisierung . . . . .	413
10.9	Präsentation . . . . .	413
10.9.1	Amtliche Kartenwerke . . . . .	413
10.9.2	Thematische Karten . . . . .	415
10.10	Verteilte Geoinformationssysteme . . . . .	417
10.11	3D-Geoinformation . . . . .	419
<b>11</b>	<b>Building Information Modeling</b>	<b>422</b>
11.1	Einführung . . . . .	422
11.2	Modellierung . . . . .	426
11.2.1	Bauteilorientiertes Modellieren . . . . .	426
11.2.2	BIM-Software . . . . .	429
11.2.3	Industry Foundation Classes (IFC) . . . . .	431
11.2.4	BIM bei Bauwerken der Verkehrsinfrastruktur . . . . .	435
11.2.5	Fertigstellungsgrade . . . . .	437
11.2.6	As-is-Dokumentation . . . . .	438
11.2.7	Geometrische Genauigkeit . . . . .	438
11.2.8	Fachmodelle und Koordinations-(Gesamt-)modell . . . . .	439
11.2.9	Modellüberprüfung und Kollisionskontrolle . . . . .	440
11.3	BIM in der Ingenieurvermessung . . . . .	441
11.3.1	Georeferenzierung, geodätischer Raumbezug . . . . .	441
11.3.2	Grundlagenermittlung, Bauplanung und Bauvorbereitung . . . . .	444
11.3.3	Aufmaß/Bestandserfassung für BIM . . . . .	444
11.3.4	Interoperabilität von BIM und GIS . . . . .	446
11.3.5	Absteckung/Ausführungsvermessung . . . . .	447
11.3.6	Kontrollvermessungen, Betrieb und Unterhaltung . . . . .	449
11.4	BIM – Prozesse der kollaborativen Zusammenarbeit . . . . .	450
11.4.1	Organisatorische Kollaboration . . . . .	450
11.4.2	Informationstechnische Kollaboration . . . . .	451
11.5	Stand der Einführung und Verbreitung von BIM . . . . .	451
11.5.1	International . . . . .	452
11.5.2	In Deutschland . . . . .	453

<b>12 Liegenschaftswesen</b>	<b>454</b>
12.1 Einführung . . . . .	454
12.2 Eigentumssicherung durch öffentliche Register . . . . .	454
12.2.1 Grundbuch . . . . .	454
12.2.2 Liegenschaftskataster . . . . .	456
12.3 Bauleitplanung, Bodenordnung und Flurbereinigung . . . . .	457
12.3.1 Bauleitplanung . . . . .	457
12.3.2 Bodenordnung und Flurbereinigung . . . . .	458
12.4 Automatisierung und Datenaustausch . . . . .	458
12.4.1 Grundbuch . . . . .	458
12.4.2 Liegenschaftskataster . . . . .	459
12.4.3 Landentwicklungsfachinformationssystem LEFIS . . . . .	459
12.4.4 Standardisierte Digitalisierung von Planungsgrundlagen . . . . .	460
12.4.5 Weiterentwicklung der Datenintegration . . . . .	461
12.5 Geodateninfrastrukturen und Geodatenmanagement . . . . .	461
12.6 Immobilienbewertung . . . . .	463
12.7 Fazit und Ausblick . . . . .	465
<b>13 Ingenieurvermessung</b>	<b>466</b>
13.1 Übersicht über Vermessungsarbeiten bei Bauvorhaben . . . . .	467
13.1.1 Vor Beginn der Bautätigkeit . . . . .	467
13.1.2 Während der Bautätigkeit . . . . .	470
13.1.3 Nach Ende der Bautätigkeit . . . . .	470
13.2 Absteckung von Bauwerken . . . . .	470
13.2.1 Rechtliche Voraussetzungen . . . . .	470
13.2.2 Lagefestpunkte, Absteckungsnetze und Punktvermarkung . . . . .	472
13.2.3 Absteckung von Gebäuden . . . . .	479
13.2.4 Absteckung mit GNSS . . . . .	489
13.3 Höhen-, Ebenheits- und Neigungsmessungen . . . . .	490
13.3.1 Höhenanschluss . . . . .	490
13.3.2 Instrumente zur Höhenmessung . . . . .	492
13.3.3 Höhenmessungen in und an Bauwerken . . . . .	501
13.3.4 Feststellung der Ebenheit und der Neigung von Flächen . . . . .	508
13.4 Lotung . . . . .	519
13.4.1 Mechanische Lotung . . . . .	519
13.4.2 Optische Lotung . . . . .	523
13.5 Fluchtung (Alignement) . . . . .	533
13.5.1 Mechanische Fluchtung . . . . .	533
13.5.2 Optische Fluchtung mit Messfernrohr . . . . .	534
13.5.3 Optische Fluchtung mit Lasergeräten . . . . .	538
13.6 Deformationsmessung . . . . .	539
13.6.1 Grundlagen . . . . .	539
13.6.2 Monitoring durch kontinuierliche Messungen . . . . .	543
13.6.3 Diskontinuierliche Messungen . . . . .	547
13.6.4 Verknüpfung relativer und absoluter Messverfahren . . . . .	548

13.6.5	Erreichbare und erforderliche Messgenauigkeit . . . . .	551
13.7	Absteckung von Geraden, Kreisbögen und Übergangsbögen . . . . .	553
13.7.1	Trassierung . . . . .	553
13.7.2	Absteckung von Geraden . . . . .	556
13.7.3	Kreisbogenabsteckung . . . . .	561
13.7.4	Übergangsbögen . . . . .	572
13.7.5	Kuppen- und Wannenausrundung . . . . .	595
13.8	Berührungslose Vermessung . . . . .	599
13.8.1	Objekterfassung mit reflektorlos messenden Tachymetern . . . . .	599
13.8.2	Geodätische Industriemesssysteme . . . . .	604
13.9	Baumaschinensteuerung mit satellitengestützten und robottachymetrischen Messsystemen . . . . .	610
13.9.1	Baumaschinensteuerung mit GNSS-Systemen . . . . .	611
13.9.2	Baumaschinensteuerung mit Robottachymetern . . . . .	612
<b>14</b>	<b>Statistische Auswerteverfahren</b>	<b>615</b>
14.1	Grundbegriffe der mathematischen Statistik . . . . .	615
14.2	Wahrscheinlichkeitsfunktionen . . . . .	620
14.2.1	Binomialverteilung . . . . .	620
14.2.2	Normalverteilung . . . . .	621
14.2.3	Standardnormalverteilung . . . . .	623
14.2.4	Weitere Wahrscheinlichkeitsverteilungen . . . . .	624
14.2.5	Beispiele zur Binomial- und Normalverteilung . . . . .	624
14.3	Parameterschätzung . . . . .	627
14.3.1	Stichprobe . . . . .	627
14.3.2	Klassenbildung und Häufigkeitsfunktion . . . . .	627
14.3.3	Box-Plot . . . . .	631
14.3.4	Numerische Methoden zur Parameterschätzung . . . . .	633
14.3.5	Varianz-Kovarianzfortpflanzungsgesetz . . . . .	641
14.3.6	Gewichte . . . . .	645
14.3.7	Mittelwerte aus transformierten normalverteilten und aus nichtnor- malverteilten Messwerten . . . . .	651
14.4	Regression und Korrelation . . . . .	653
14.4.1	Funktionale und stochastische Abhängigkeit . . . . .	653
14.4.2	Lineare Regressions- und Korrelationsmodelle . . . . .	654
14.4.3	Schätzwerte für die lineare Regression und Korrelation . . . . .	658
14.4.4	Nichtlineare Regression . . . . .	672
14.4.5	Mehrfache (multiple) Regression . . . . .	676
14.5	Testverteilung (Prüfverteilung) . . . . .	676
14.5.1	Standardnormalverteilung . . . . .	677
14.5.2	$\chi^2$ -Verteilung (Helmert-Pearson-Verteilung) . . . . .	677
14.5.3	t-Verteilung (Student-Verteilung) . . . . .	678
14.5.4	F-Verteilung (Fisher-Verteilung) . . . . .	679
14.6	Konfidenzintervall (Vertrauensintervall) . . . . .	687
14.6.1	Konfidenzintervall für den Erwartungswert $\mu$ . . . . .	689
14.6.2	Konfidenzintervall für die Standardabweichung $\sigma$ . . . . .	690

14.6.3	Konfidenzintervalle für die Parameter der Regressionsgeraden und für den Korrelationskoeffizienten . . . . .	692
14.7	Testen von Hypothesen . . . . .	699
14.7.1	Nullhypothese und Alternativhypothese . . . . .	699
14.7.2	Testgüte sowie Fehler 1. und 2. Art . . . . .	700
14.7.3	Praktische Ausführung statistischer Tests . . . . .	705
14.7.4	Unterscheidung verschiedener statistischer Testarten . . . . .	705
14.7.5	Praktische Zahlenbeispiele . . . . .	705
14.8	Darstellung in Matrizenschreibweise . . . . .	714
<b>15</b>	<b>Messgenauigkeit und Toleranzen</b>	<b>723</b>
15.1	Kriterien der Messgenauigkeit . . . . .	723
15.1.1	Präzision und Richtigkeit . . . . .	723
15.1.2	Messunsicherheit . . . . .	725
15.1.3	Veranschlagung einer systematischen Messabweichung . . . . .	726
15.2	Toleranzbegriffe . . . . .	728
15.3	Prüfung auf Toleranzüberschreitung . . . . .	731
15.4	Zusammenhang zwischen Messgenauigkeit und Toleranz . . . . .	732
15.4.1	Zweiseitige symmetrische Toleranz . . . . .	732
15.4.2	Zweiseitige unsymmetrische Toleranz . . . . .	733
15.4.3	Einseitige Toleranz . . . . .	733
15.4.4	Abschätzung einer Vermessungstoleranz aus vorgegebener Gesamt- toleranz . . . . .	734
15.5	Messgenauigkeit von Kontroll- und Überwachungsvermessungen . . . . .	735
15.5.1	Prüfung auf Einhaltung von Toleranzen . . . . .	735
15.5.2	Prüfung auf Einhaltung kritischer Grenzen bzw. Nachweis mutmaß- licher Deformationen . . . . .	736
15.5.3	Trennschärfe einer Überwachungsvermessung . . . . .	737
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>738</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>757</b>