

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	11
2.	Zeichen und Begriffe	13
3.	Die wichtigsten Rechenregeln der Matrizenrechnung	14
4.	Grundbegriffe der Fehlerrechnung	24
4.1.	Die Meßfehler	24
4.2.	Die Genauigkeitsmaße	26
4.3.	Das Fehlerfortpflanzungsgesetz	27
4.4.	Die Gewichte	41
4.5.	Das Gewichtsfortpflanzungsgesetz	43
4.6.	Doppelmessungen	45
4.7.	Genauigkeitsmaße und Fehlerfortpflanzung beim Auftreten systematischer Fehler	48
4.8.	Formelzusammenstellung	51
5.	Ausgleichung unabhängiger Messungen	52
5.1.	Ausgleichungsprinzip für unabhängige Messungen	52
5.2.	Ausgleichungen direkter Messungen	53
5.2.1.	Direkte Messungen gleicher Genauigkeit	53
5.2.2.	Direkte Messungen ungleicher Genauigkeit	56
5.2.3.	Ausgleichung direkter Messungen in Matrizendarstellung	59
5.2.4.	Beispiel einer Ausgleichung direkter Messungen	61
5.3.	Ausgleichung vermittelnder Messungen	63
5.3.1.	Verbesserungsgleichungen	63
5.3.2.	Normalgleichungen	70
5.3.3.	Verbesserungen, Unbekannte und Rechenproben	75
5.3.4.	Mittlere Fehler	76
5.3.5.	Zusammenstellung des Rechenganges einer Ausgleichung vermittelnder Messungen	85

5.3.6.	Beispiel einer Ausgleichung vermittelnder Messungen.	88
5.3.7.	Sonderfall: Nur zwei Unbekannte	96
5.3.8.	Weitere Auflösungsverfahren für Normalgleichungen	97
5.4.	Ausgleichung bedingter Messungen	105
5.4.1.	Bedingungsgleichungen	106
5.4.2.	Korrelatengleichungen, Normalgleichungen, Verbesserungen und Rechenproben	112
5.4.3.	Mittlere Fehler	117
5.4.4.	Zusammenstellung des Rechenganges seiner Ausgleichung bedingter Messungen	124
5.4.5.	Beispiel einer Ausgleichung bedingter Messungen.	127
5.4.6.	Sonderfall: Eine Summenbedingung	132
5.5.	Ausgleichung vermittelnder Messungen mit Bedingungsgleichungen zwischen den Unbekannten	134
5.5.1.	Bestimmung der ausgeglichenen Größen	135
5.5.2.	Mittlere Fehler	138
5.5.3.	Beispiel einer Ausgleichung vermittelnder Messungen mit Bedingungs- gleichungen zwischen den Unbekannten.	144
5.6.	Ausgleichung bedingter Messungen mit Unbekannten	150
5.6.1.	Bestimmung der ausgeglichenen Größen	151
5.6.2.	Mittlere Fehler	154
5.6.3.	Beispiel einer Ausgleichung bedingter Messungen mit Unbekannten.	161
5.7.	Zur Wahl des Ausgleichungsverfahrens	167
5.8.	Gemeinsame Ausgleichung verschiedenartiger Meßwerte.	168
5.9.	Das Mittel aus mehreren mittleren Fehlern	170
5.10.	Der mittlere Fehler des mittleren Fehlers	172
6.	Ausgleichung korrelierter Messungen	175
6.1.	Der Korrelationskoeffizient	175
6.2.	Gewichts- und Fehlerfortpflanzungsgesetz für korrelierte Größen.	177
6.3.	Ausgleichungsprinzip für korrelierte Messungen	179
6.4.	Ausgleichung korrelierter direkter Messungen	181
6.4.1.	Bestimmung der Unbekannten.	181
6.4.2.	Mittlere Fehler	183
6.4.3.	Beispiel einer Ausgleichung korrelierter direkter Messungen	185
6.4.4.	Sonderfall: Gleichgewichtige und gleichstark korrelierte Messungen.	188
6.5.	Ausgleichung korrelierter vermittelnder Messungen.	189
6.5.1.	Bestimmung der ausgeglichenen Größen	190
6.5.2.	Mittlere Fehler	192
6.5.3.	Beispiel einer Ausgleichung korrelierter vermittelnder Messungen.	196
6.6.	Ausgleichung korrelierter bedingter Messungen.	202

6.6.1.	Bestimmung der ausgeglichenen Größen	202
6.6.2.	Mittlere Fehler	205
6.6.3.	Beispiel einer Ausgleichung korrelierter bedingter Messungen	207
6.7.	Ausgleichung korrelierter vermittelnder Messungen mit Bedingungs- gleichungen zwischen den Unbekannten	211
6.7.1.	Bestimmung der ausgeglichenen Größen	214
6.7.2.	Mittlere Fehler	216
6.7.3.	Zusammenstellung des Rechenganges einer Ausgleichung korrelierter vermittelnder Messungen mit Bedingungsgleichungen zwischen den Un- bekannten	219
6.8.	Ausgleichung korrelierter bedingter Messungen mit Unbekannten	222
6.8.1.	Bestimmung der ausgeglichenen Größen	222
6.8.2.	Mittlere Fehler	224
6.8.3.	Zusammenstellung des Rechenganges einer Ausgleichung korrelierter bedingter Messungen mit Unbekannten	227
6.9.	Gegenüberstellung der Rechenformeln für die Ausgleichung unabhängiger und korrelierter Messungen	229
6.10.	Verfälschung der Ausgleichungsergebnisse infolge Vernachlässigung bestehender Korrelationen	232
6.11.	Die Kollokation	234
6.11.1.	Bestimmung der ausgeglichenen Größen	235
6.11.2.	Mittlere Fehler	238
6.11.3.	Sonderfälle der Kollokation	243
7.	Anwendungen der Methode der kleinsten Quadrate	244
7.1.	Stationsausgleichungen	244
7.1.1.	Ausgleichung von Winkelmessungen in allen Kombinationen	244
7.1.2.	Ausgleichung vollständiger Richtungssätze	247
7.2.	Ausgleichung trigonometrischer Punktbestimmungen nach vermittelnden Messungen	252
7.2.1.	Reduzierte Verbesserungsgleichungen, <i>Schreibersche Regel</i>	253
7.2.2.	Einzelpunktausgleichung	255
7.2.3.	Netzweise Punkteinschaltung	260
7.2.4.	Fehlerellipse, mittlerer Punktfehler	264
7.3.	Ausgleichung trigonometrischer Netze nach bedingten Messungen	269
7.3.1.	Bedingungsgleichungen in einfach angeschlossenen Netzen	269
7.3.2.	Bedingungsgleichungen in mehrfach angeschlossenen Netzen	272
7.4.	Ausgleichung von Streckennetzen	275
7.4.1.	Ausgleichung von Streckennetzen nach vermittelnden Messungen	276
7.4.2.	Ausgleichung von Streckennetzen nach bedingten Messungen	278
7.5.	Ausgleichung freier Netze	281
7.5.1.	Freie Höhennetze	282

7.5.2.	Freie Lagenetze	283
7.6.	Ausgleichung von Polygonzügen und Polygonnetzen	284
7.6.1.	Strenge Ausgleichung eines Polygonzuges	285
7.6.2.	Näherungsweise Ausgleichung von Polygonnetzen nach vermittelnden Messungen	288
7.6.3.	Näherungsweise Ausgleichung von Polygonnetzen nach bedingten Messungen	292
7.7.	Ausgleichende Funktionen	294
7.8.	Ausgleichung durch schrittweise Annäherung (Iterationsverfahren).	298
7.8.1.	Ausgleichung unvollständiger Richtungssätze	298
7.8.2.	Ausgleichung eines Nivellementsnetzes nach <i>Gauß/Vogler</i>	301
7.8.3.	Ausgleichung eines Nivellementsnetzes nach <i>Popov</i>	306
7.8.4.	Ausgleichung eines trigonometrischen Höhennetzes nach <i>Anér</i>	309
8.	Statistische Auswertung geodätischer Messungen.	314
8.1.	Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung	314
8.2.	Grundbegriffe der mathematischen Statistik.	323
8.3.	Bestimmung von Vertrauensbereichen	335
8.3.1.	Vertrauensbereich für den Mittelwert μ einer normalverteilten Zufallsgröße X	336
8.3.2.	Vertrauensbereich für die Standardabweichung σ einer normalverteilten Zufallsgröße X	338
8.3.3.	Vertrauensbereiche bei beliebigen Ausgleichungsaufgaben.	340
8.4.	Statistische Prüfverfahren.	342
8.4.1.	Prinzip und Arbeitsgang beim statistischen Test.	342
8.4.2.	Test eines Mittelwertes μ bei bekannter Standardabweichung σ	343
8.4.3.	Test eines Mittelwertes μ bei unbekannter Standardabweichung σ	345
8.4.4.	Test zweier Mittelwerte μ_1 und μ_2 bei bekannten Standardabweichungen σ_1 und σ_2	346
8.4.5.	Test zweier Mittelwerte μ_1 und μ_2 bei unbekanntem Standardabweichungen σ_1 und σ_2	348
8.4.6.	Test einer Standardabweichung σ	350
8.4.7.	Test zweier Standardabweichungen σ_1 und σ_2	352
8.4.8.	Test mehrerer Standardabweichungen $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m$	354
8.4.9.	Test eines Korrelationskoeffizienten ρ_{XY}	356
8.4.10.	Test eines extremen Merkmalswertes	357
8.4.11.	Test einer Normalverteilung.	359
	Verzeichnis der statistischen Tafeln	363
	Literaturverzeichnis	364
	Sachwörterverzeichnis	366