

	Seite
Vorwort . . . . .	V
Einleitung . . . . .	1
<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 5px; margin-bottom: 5px;">Teil A:</div> <span style="margin-left: 10px;">ALLGEMEINE ZUSAMMENHÄNGE =====</span>	
A1 <u>Fehlerlehre</u> . . . . .	3
A1.1 Fehlerarten . . . . .	3
A1.2 Einzelfehler und Genauigkeitsmaße . . . . .	4
A1.3 Das Fehlerfortpflanzungsgesetz . . . . .	5
A1.4 Physikalische Fehlerfortpflanzung . . . . .	10
A1.5 Das Gewicht und der mittlere Fehler der Gewichtseinheit . . . . .	11
A1.6 Mittlere Fehler aus Beobachtungsdifferenzen . . . . .	12
A1.7 Das Zusammenwirken von unregelmäßigen und von systematischen Fehlern . . . . .	14
A2 <u>Die Ausgleichung nicht-korrelierter Beobachtungen</u> . . . . .	16
A2.1 Die Ausgleichung direkter Beobachtungen . . . . .	16
A2.2 Die Ausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen . . . . .	19
A2.3 Die Ausgleichung nach bedingten Beobachtungen . . . . .	40
A2.4 Die Ausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen mit Bedingungsgleichungen . . . . .	55
A2.5 Die Ausgleichung nach bedingten Beobachtungen mit Unbekannten . . . . .	58
A2.6 Sonderfall: Quasivermittelnde Beobachtungen . . . . .	63
A2.7 Bedingte Beobachtungen mit Unbekannten und Bedingungsgleichungen zwischen diesen . . . . .	65
A3 <u>Korrelierte Beobachtungen und ihre Ausgleichung</u> . . . . .	68
A3.1 Mathematische und physikalische Korrelation . . . . .	68
A3.2 Korrelationsmatrizen und Varianz-Kovarianz- matrizen . . . . .	69
A3.3 Das Fehlerfortpflanzungsgesetz für korrelierte Beobachtungen . . . . .	71
A3.4 Überblick über die Ausgleichung korrelierter Beobachtungen . . . . .	73
A3.5 Allgemeinfall: Bedingte korrelierte Beobachtungen mit bedingten und gemessenen Unbekannten . . . . .	75

A3.6	Bedingte korrelierte Beobachtungen mit Unbekannten . . . . .	80
A3.7	Bedingte korrelierte Beobachtungen . . . . .	85
A3.8	Vermittelnde korrelierte Beobachtungen mit Bedingungsgleichungen zwischen den Unbekannten . . . . .	87
A3.9	Vermittelnde korrelierte Beobachtungen . . . . .	91
A3.10	Direkte korrelierte Beobachtungen . . . . .	95
A4	<u>Gruppenweise Ausgleichungen</u> . . . . .	99
A4.1	Allgemeine Zusammenhänge . . . . .	99
A4.2	Spezielle gruppenweise Ausgleichungen . . . . .	104
A4.3	"Kollokation" und "Prädiktion" als eine Zwei- Gruppen-Ausgleichung . . . . .	121
<b>Teil B:</b>		
ANWENDUNGEN		
=====		
B1	<u>Nivellementsnetze</u> . . . . .	127
B1.1	Nivellementsnetzausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen . . . . .	127
B1.2	Nivellementsnetzausgleichung nach bedingten Beobachtungen . . . . .	130
B2	<u>Stations-Ausgleichungen</u> . . . . .	133
B2.1	Ausgleichung von Winkelmessungen . . . . .	133
B2.2	Ausgleichung von Richtungsmessungen . . . . .	137
B3	<u>Trigonometrische Punkteinschaltungen</u> (einschl. Netzausgleichungen mit Koordinaten) . . . . .	142
B3.1	Aufstellung der Verbesserungsgleichungen . . . . .	142
B3.2	Eliminierung der Orientierungsunbekannten . . . . .	143
B3.3	Aufstellung und Auflösung der Normalgleichungen . . . . .	144
B3.4	Rechenproben . . . . .	144
B3.5	Fehlerrechnung . . . . .	145
B3.6	Unterschiedliche Genauigkeit der Richtungs- messungen . . . . .	146
B3.7	Mehrere Richtungssätze auf einer Station . . . . .	146
B3.8	Ausgleichung in mehreren Meridianstreifen . . . . .	147
B3.9	Benützung von geographischen Koordinaten . . . . .	147
B3.10	Mehr- und Vielpunktseinschaltungen, Netzaus- gleichungen mit Koordinaten . . . . .	148
B3.11	Gruppen-Ausgleichung bei Zerlegung in Teilnetze . . . . .	150
B3.12	Vernachlässigungen in der Praxis . . . . .	150
B3.13	Punkteinschaltungen mit anderweiten Messungen . . . . .	151
B3.14	Ausgleichung von Polygonnetzen und Präzisions- Polygonzügen . . . . .	154

B4	<u>Trigonometrische Netze mit Bedingungsgleichungen</u> . . .	155
B4.1	Gliederung der Bedingungsgleichungen . . . . .	155
B4.2	Anzahl der Bedingungsgleichungen . . . . .	155
B4.3	Vorgehensweise bei der Aufstellung der Bedingungsgleichungen . . . . .	156
B4.4	Netzeigene Bedingungen . . . . .	157
B4.5	Netzfremde Bedingungen . . . . .	160
B4.6	Fehlerrechnung für trigonometrische Netze . . .	163
B5	<u>Streckennetze (zweidimensional)</u> . . . . .	164
B5.1	Vermittelnde Streckennetz-Ausgleichung . . . . .	164
B5.2	Bedingte Streckennetz-Ausgleichung . . . . .	166
B6	<u>Messung von Höhenwinkeln</u> . . . . .	169
B6.1	Typ I: Örtliche Höhen- und Lagebestimmung . . .	169
B6.2	Typ II: Trigonometrische Höhenbestimmung (Trigonometrisches Nivellement) . . . . .	170
B7	<u>Dreidimensionale Geodäsie</u> . . . . .	180
B7.1	Globales Rechtwinkel-System X,Y,Z . . . . .	180
B7.2	Ellipsoidisches Koordinaten-System B,L,h . . . .	182
B7.3	Über die Handhabung der Verbesserungs- gleichungen . . . . .	185
B7.4	1.Sonderfall: Räumliche Netze ohne astronomi- sche Messungen, bedingt ausgeglichen . . . . .	186
B7.5	2.Sonderfall: Dreidimensionale Streckennetze . .	188
B7.6	Dreidimensionale mittlere Fehlerellipsoide (Helmert) . . . . .	189
B8	<u>Geometrische Satellitengeodäsie</u> . . . . .	192
B8.1	Die auszugleichenden Messungsdaten . . . . .	192
B8.2	Verbesserungsgleichungen mit Rechtwinkelkoordinaten für die Beobachtungs- und Satellitenpunkte	193
B8.3	Verbesserungsgleichungen mit ellipsoidischen Koordinaten für die Beobachtungspunkte . . . . .	195
B8.4	Räumliche Glättung der Bahnkurve . . . . .	196
B8.5	Zur Handhabung der Verbesserungsgleichungen . .	196
B9	<u>Eichung und Konstantenbestimmung von Instrumenten</u> . .	199
B9.1	Konstantenbestimmung für einen Entfernungsmesser . . . . .	199
B9.2	Konstantenbestimmung für ein Polarplanimeter . .	201
B9.3	Konstantenbestimmung für ein Feder-Barometer . .	202
B9.4	Alhidaden-Exzentrizitäts-Bestimmung für einen Theodoliten . . . . .	204
B9.5	Konstantenbestimmung für den periodischen Teilkreisfehler eines Theodoliten . . . . .	205

B9.6	Konstantenbestimmung für eine Meßschraube . . .	207
B9.7	Konstantenbestimmung für eine Röhren-Libelle	209
B9.8	Konstantenbestimmung für die innere Orientierung einer Meßkammer . . . . .	211
B9.9	Konstantenbestimmung für einen Präzisions- Pantographen . . . . .	212
B10	<u>Beispiele aus der astronomischen Geodäsie</u> . . . . .	214
B10.1	Bestimmung astronomischer Richtungen aus Zenitdistanzmessungen nach Gestirnen . . . . .	214
B10.2	Bestimmung von astronomischen Richtungen aus der Messung von Horizontalrichtungen nach Gestirnen . . . . .	215
B10.3	Dependenzen-Methode zur photographischen Bestimmung äquatorialer Himmelskoordinaten .	218
B11	<u>Ausgleichende Funktionen</u> . . . . .	220
B11.1	Ausgleichende Geraden . . . . .	220
B11.2	Ausgleichende Parabeln . . . . .	227
B11.3	Orthogonalpolynome bei ausgleichenden Parabeln . . . . .	229
B11.4	Mehrdimensionale Probleme . . . . .	233
B11.5	Trigonometrische Interpolationen (Fourier-Analyse) . . . . .	234
B11.6	Transformation ungleichartiger Koordinaten .	234

Teil C:

FEHLERTHEORIE UND FEHLERSTATISTIK  
=====

C1	<u>Eindimensionale Fehlerverteilungen</u> . . . . .	240
C1.1	Diskrete eindimensionale Fehlerverteilungen .	240
C1.2	Kontinuierliche eindimensionale Fehlerverteilungen . . . . .	241
C1.3	Die Normalverteilung (Gauß-Verteilung) . . .	243
C2	<u>Zwei- und mehrdimensionale Fehlerverteilungen</u> . . .	247
C2.1	Zweidimensionale Häufigkeiten und Verteilungen . . . . .	247
C2.2	Dreidimensionale Normalverteilungen . . . . .	252
C3	<u>Übertragung von Wahrscheinlichkeitsdichten</u> . . . . .	257
C3.1	Übertragung von Normalverteilungen auf lineare Funktionen . . . . .	257

C3.2	Übertragung von Normalverteilungen auf nichtlineare Funktionen . . . . .	257
C3.3	Vermischung mehrerer MeBreihen unterschiedlicher Genauigkeit . . . . .	259
C4	<u>Vertrauensintervalle</u> . . . . .	260
C4.1	Vertrauensgrenzen für den Mittelwert . . . . .	260
C4.2	Vertrauensgrenzen für den mittleren Fehler . . . . .	261
C4.3	Vertrauensgrenzen für mittlere Fehlerellipsen . . . . .	262
C5	<u>Prüfung von Hypothesen</u> . . . . .	262
C5.1	Vorgehensweise bei der Hypothesenprüfung . . . . .	263
C5.2	Verteilungsprüfungen . . . . .	264
C5.3	Homogenitäts-Teste . . . . .	267
C5.4	Die Streuungszzerlegung . . . . .	269
C5.5	Signifikanz-Prüfung von Ausgleichsergebnissen . . . . .	272
C5.6	Linearitäts-Prüfungen . . . . .	276
C5.7	Prüfung der Zunahme einer Verbesserungsquadratsumme bei gruppenweiser Ausgleichung . . . . .	281
C6	<u>Statistische Frequenzanalyse</u> . . . . .	281
C6.1	Autokovarianzen und Autokorrelationen . . . . .	282
C6.2	Kreuz-Kovarianzen und Kohärenzen . . . . .	282

## Teil D:

## Anhang: FORMELN DER MATRIZENRECHNUNG

=====

D1	<u>Sonderformen einer Matrix</u> . . . . .	284
D2	<u>Spezielle Zahlenwerte aus einer Matrix</u> . . . . .	288
D3	<u>Rechenregeln der Matrizenrechnung</u> . . . . .	289
D3.1	Transponierung . . . . .	289
D3.2	Gleichsetzung von 2 Matrizen . . . . .	290
D3.3	Addition und Subtraktion von Matrizen . . . . .	291
D3.4	Multiplikation von Matrizen . . . . .	292
D3.5	Multiplikation von Vektoren . . . . .	295
D3.6	Bilinearformen und quadratische Formen . . . . .	297
D3.7	Matrizen-Inversion . . . . .	298
D3.8	Matrizen-Transformationen . . . . .	304
D3.9	Differentiationsregeln . . . . .	305
D4	<u>Eigenwerte und Konditionszahlen</u> . . . . .	306
D5	<u>Geometrische Deutungen und Anwendungen</u> . . . . .	308
	Namen - und Sachverzeichnis . . . . .	313