

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Gegenstand und Aufgabe der Messdatenauswertung	1
1.2	Einfache Beispiele	2
1.3	Beobachtungen und Zufallsvariable	4
1.4	Messauftrag und Genauigkeitsschätzung	5
1.5	Zur Geschichte der Messdatenauswertung	8
2	Zufallsvariable und Verteilung	13
2.1	Eindimensionale Verteilungen	13
2.1.1	Diskrete Verteilungen	13
2.1.2	Kontinuierliche Verteilungen	15
2.1.3	Funktion einer Zufallsvariablen	17
2.1.4	Die Normalverteilung	20
2.2	Zweidimensionale Verteilungen	25
2.2.1	Randverteilung und bedingte Verteilung	27
2.2.2	Erwartungswert, Varianz und Kovarianz	28
2.2.3	Funktionen zweidimensionaler Zufallsvariablen	30
2.2.4	Die zweidimensionale Normalverteilung	32
2.3	n -dimensionale Verteilungen	35
2.4	Das Varianzen-Fortpflanzungsgesetz (VFG)	36
3	Beobachtungsreihen	39
3.1	Parameterschätzung	39
3.1.1	Die Beobachtungsreihe als Stichprobe	39
3.1.2	Schätzkriterien	41
3.1.3	Schätzverfahren	44
3.1.4	Gleichgenaue unabhängige Beobachtungen	49
3.1.5	Beobachtungen unterschiedlicher Genauigkeit	51
3.1.6	Korrelierte Beobachtungen	55
3.1.7	Formelzusammenstellung und Rechenproben	57
3.2	Das Varianzen-Fortpflanzungsgesetz (VFG)	62
3.2.1	Die allgemeine Form des VFG	62
3.2.2	Linearisierung von Funktionen	65

3.3	Beispiele zum VFG	66
3.4	Abweichungsarten und Genauigkeitsmaße	71
3.4.1	Verschiedene Arten von Messabweichungen	71
3.4.2	Verschiedene Genauigkeitsmaße	72
3.4.3	Das Zusammenwirken verschiedenartiger zufälliger Abweichungen	76
3.4.4	Kovarianz und Korrelation	78
3.4.5	Homogenisieren von Beobachtungen	82
3.4.6	Beobachtungsdifferenzen	83
3.4.7	Summengleichungen	85
4	Schätzung von Modellparametern	89
4.1	Das mathematische Modell	89
4.1.1	Funktionale Beziehungen	90
4.1.2	Stochastische Beziehungen	99
4.1.3	Das Datumproblem	100
4.2	Schätzung der Modellparameter	105
4.2.1	Beste lineare unverzerrte Schätzung (BLU)	105
4.2.2	Die Methode der kleinsten Quadrate (MkQ)	106
4.2.3	Die Maximum-Likelihood-Methode (MLM)	107
4.2.4	Varianzschätzungen	108
4.2.5	Datumabhängige Parameterschätzung	112
4.2.6	Invariante Funktionen	117
4.3	Lineare Modelle	118
4.3.1	Höhen- und Schwerenetze	118
4.3.2	Richtungsmessungen und verwandte Verfahren	121
4.3.3	Polynommodelle	124
4.3.4	Periodische Funktionen	126
4.4	Koordinatenschätzung in Lagenetzen	128
4.4.1	Das mathematische Modell	128
4.4.2	Elimination von Hilfsunbekannten	130
4.4.3	Genauigkeitsmaße in der Ebene	133
4.5	Positionsbestimmung mit GPS	139
4.5.1	Entfernungsmessung zu den Satelliten	139
4.5.2	Code-Messungen	139
4.5.3	Phasenmessungen	141
4.5.4	Differenzbildungen	142
4.6	Bedingungen zwischen den Parametern	143
4.7	Koordinatentransformation	147
4.7.1	Allgemeines Transformationsmodell	147
4.7.2	Ebene Ähnlichkeitstransformation	148
4.7.3	Ebene Affintransformation	150
4.8	Räumliche Transformation	151

5	Parameterfreie Modelle	155
5.1	Das mathematische Modell	155
5.1.1	Lineare Bedingungsgleichungen	155
5.1.2	Nichtlineare Bedingungsgleichungen	158
5.1.3	Das stochastische Modell	163
5.2	Schätzungen im parameterfreien Modell	163
5.2.1	Ausgeglichene Beobachtungen	163
5.2.2	Genauigkeitsschätzung und Funktionen	165
5.3	Vergleich des parametrischen mit dem parameterfreien Modell	166
5.4	Bedingungsgleichungen mit Unbekannten	168
6	Verallgemeinerte Modelle	171
6.1	Stochastische Parameter	171
6.1.1	Beste lineare unverzerrte Schätzung	171
6.1.2	Pseudobeobachtungen	173
6.1.3	Stochastische Restriktionen	173
6.1.4	Allgemeine Formulierung des Schätzproblems	174
6.2	Gemischtes Modell und räumliche Prozesse	178
6.2.1	Schätzungen im gemischten Modell	180
6.2.2	Kollokation	183
6.2.3	Krigen	185
6.3	Stufenweise Schätzungen	192
6.3.1	Erweiterung des Parametervektors	192
6.3.2	Erweiterung des Beobachtungsvektors	195
6.3.3	KALMAN-Filter	197
6.4	Auflösung großer Gleichungssysteme	200
6.4.1	Gruppenweise Positionsschätzung	200
6.4.2	Speichertechnik für schwach besetzte Matrizen	203
7	Verteilung der Schätzergebnisse	207
7.1	Grundlegende Verteilungen	207
7.1.1	Die Normalverteilung	207
7.1.2	Die χ^2 -Verteilung (Chi-Quadrat-Verteilung)	208
7.1.3	Die t -Verteilung (Student-Verteilung)	209
7.1.4	Die F -Verteilung (FISHER-Verteilung)	211
7.1.5	Testverteilungen	212
7.2	Schätzergebnisse	212
7.2.1	Verteilung der geschätzten Lageparameter	212
7.2.2	Verteilung der geschätzten Streuungsparameter	214
7.3	Intervallschätzungen	214
7.3.1	Die Ungleichung von TSCHEBYSCHEFF	215

7.3.2	Vertrauensbereiche für Lageparameter	216
7.3.3	Vertrauensbereich für die Standardabweichung	219
7.4	Vertrauensgebiete	221
8	Statistische Testverfahren	223
8.1	Grundbegriffe	223
8.1.1	Hypothese und statistische Sicherheit	223
8.1.2	Fehler erster und zweiter Art	228
8.1.3	Testgüte und Operationscharakteristik	229
8.2	Tests für Verteilungen (Anpassungstests)	230
8.2.1	Test auf Symmetrie und Form	230
8.2.2	χ^2 -Test für Verteilungen mit bekannten Parametern	232
8.2.3	χ^2 -Test für Verteilungen mit geschätzten Parametern	234
8.2.4	Der KOLMOGOROV-SMIRNOW-Test (KS-Test)	236
8.2.5	Test auf Gleichheit von Verteilungen	240
8.3	Tests für Lageparameter	241
8.3.1	Vergleich von Schätzwert und Erwartungswert	241
8.3.2	Vergleich zweier Schätzwerte	243
8.3.3	Vergleich mehrerer geschätzter Größen	245
8.4	Tests für Streuungsparameter	246
8.4.1	Vergleich von empirischer und theoretischer Standardabweichung	246
8.4.2	Vergleich zweier unabhängiger Varianzen	247
8.4.3	Vergleich mehrerer Varianzen (BARTLETT-Test)	248
8.4.4	Genauigkeit der Gewichtsbestimmung	249
8.5	Tests auf Unabhängigkeit	251
8.5.1	Realisationen einer beliebig verteilten Zufallsvariablen	251
8.5.2	Unabhängigkeit normalverteilter Stichproben	255
8.5.3	Korrelation zwischen beliebig verteilten Stichproben	258
8.5.4	Korrelationen zwischen normalverteilten Stichproben	260
8.6	Ausreißertests	262
8.6.1	Behandlung von Ausreißern	262
8.6.2	Verteilung des größten Messwertes	262
8.6.3	Tests der Residuen	263
8.6.4	Multiple Ausreißer	265
8.7	Varianzanalyse	266
8.7.1	Grundlagen	266
8.7.2	Einfache Varianzanalyse mit festen Effekten	269
8.7.3	Zwei-Wege-Zerlegung bei festen Effekten	271
8.7.4	Varianzanalyse mit zufälligen Effekten	273

Inhaltsverzeichnis	XI
<hr/>	
Anhang A Nomogramme	275
Anhang B Lehr- und Handbücher	283
Index	287
Abkürzungen	293