

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung und Grundlagen	1
1.1	Schätzungen	1
1.1.1	Motivation und Rückblick	1
1.1.2	Stichproben	2
1.1.3	Lineare Modelle	3
1.1.4	Schätzgrößen	11
1.1.5	Klassische Methoden der Parameterschätzung	12
1.2	Robuste Schätzungen	14
1.2.1	Ziele und Entwicklung	14
1.2.2	Einige Definitionen	15
1.2.3	Allgemeine Forderungen	17
1.2.4	Qualitative Robustheit	17
1.2.5	Quantitative Robustheit – Bruchpunkt	18
1.2.6	Quantitative Robustheit – Einflussfunktion	21
1.2.7	Der ideale Schätzer	23
2	Messdaten	25
2.1	Statistische Eigenschaften	25
2.1.1	Datenarten	25
2.1.2	Verteilung der Messabweichungen	26
2.1.3	Empirische Verteilung von Messreihen	30
2.1.4	Maximalabweichung	33
2.1.5	Mischverteilungen	35
2.2	Ausreißer	39
2.2.1	Definitionsversuche	40
2.2.2	Einzelausreißer in einfachen Stichproben	42
2.2.3	Messreihen mit mehreren Ausreißern	48
2.2.4	Ausreißer in strukturierten Stichproben	51

3	Robuste Auswertung von Wiederholungsmessungen	53
3.1	Klassische robuste Lageschätzer	53
3.1.1	Winsorisiertes Mittel	53
3.2	L-Schätzer	55
3.2.1	Quantile	55
3.2.2	Eigenschaften des Medians	56
3.2.3	Getrimmtes Mittel	59
3.3	M-Schätzer für Lageparameter	61
3.3.1	ML-Schätzer	61
3.3.2	Entwicklung der M-Schätzer	62
3.3.3	Huber-Schätzer	63
3.3.4	Hampel-Schätzer	66
3.3.5	Tukey-Schätzer	68
3.3.6	Andrews-Schätzer	69
3.3.7	Tanh-Schätzer	70
3.3.8	Vergleich der VP-Schätzer mit dem Huber-Schätzer	71
3.3.9	L_p -Norm Schätzer	72
3.4	Weitere robuste Lageschätzer	74
3.4.1	Methode des kleinsten Medians der Quadrate (MkMQ)	74
3.4.2	Methode der kleinsten getrimmten Quadrate (MktQ)	75
3.4.3	S-Schätzer	76
3.5	Schätzer für den Skalenparameter	78
3.5.1	Einfache Skalenschätzer	78
3.5.2	M-Schätzer für den Skalenparameter	80
3.6	Gemeinsame Schätzung von Lage- und Skalenparameter	82
3.6.1	Schätzung mit einfachem Skalenschätzer	82
3.6.2	M-Schätzung	83
3.6.3	Hubers Vorschlag	84
3.7	Ergänzungen	85
3.7.1	Eigenschaften der Schätzer	85
3.7.2	Vergleich der Schätzer	86
3.7.3	Bivariate Beobachtungen	89
3.8	Multivariate Beobachtungen	92
3.8.1	Das klassische Modell	93
3.8.2	Elementweise Robustifizierung	95

3.8.3	Elimination von Ausreißern	96
3.8.4	M-Schätzer	98
3.8.5	S-Schätzer	100
3.8.6	Weitere Gesichtspunkte	100
4	Multiparameter Modelle	103
4.1	Lineare Modelle	103
4.1.1	Modellannahmen	103
4.1.2	Einfache Regression, ausgleichende Gerade	104
4.1.3	Multiple Regression	105
4.1.4	Erweiterungen und Besonderheiten	106
4.1.5	Logistische Regression	108
4.2	Klassische Parameterschätzung	110
4.2.1	Einfache Regression, ausgleichende Gerade	111
4.2.2	Orthogonale Regression	115
4.2.3	Multiple Regression	118
4.2.4	Eigenschaften der Schätzungen	120
5	Analyse linearer Modelle	123
5.1	Die Projektoren H und $(I - H)$	123
5.1.1	Eigenschaften der Projektionsmatrix H	124
5.1.2	Die Elemente der Projektionsmatrix H	126
5.1.3	Eigenschaften der Matrix $(I - H)$	127
5.1.4	Der Einfluss von Gewichten	128
5.1.5	Beispiele	131
5.2	Wahl der Regressoren	136
5.2.1	Vertikale Partitionierung	136
5.2.2	Überparametrisiertes Modell	137
5.2.3	Unterparametrisiertes Modell	139
5.2.4	Beispiel Stack Loss Data	141
5.3	Veränderungen des Beobachtungsvektors	142
5.3.1	Horizontale Partitionierung	143
5.3.2	Erweiterung des Beobachtungsvektors	143
5.3.3	Streichen von Beobachtungen	144
5.3.4	Beispiele	146
5.3.5	Gewichtsänderungen	148

6	Analyse der Beobachtungen	151
6.1	Streichen einer Beobachtung	152
6.1.1	Lageparameter	152
6.1.2	Streuungsparameter	153
6.1.3	Verbesserungen	154
6.1.4	Hebelwerte	154
6.1.5	Beispiel Stack Loss Data	155
6.2	Analyse der Verbesserungen	156
6.2.1	Die Verteilung der Verbesserungen	157
6.2.2	Transformierte Verbesserungen	157
6.2.3	Verteilung der transformierten Verbesserungen	159
6.3	Ausreißer im linearen Modell	160
6.3.1	Modell mit Erwartungswertverschiebung	160
6.3.2	Beispiele	163
6.3.3	Modell mit Varianzvergrößerung	168
6.3.4	Ausreißersuche nach Baarda	169
6.3.5	Beispiel Punktbestimmung	173
6.4	Kompakte Einflussmaße	175
6.4.1	Einfache Maße	175
6.4.2	Die Einflussfunktion	178
6.4.3	Anwendungsformen der Einflussfunktion	179
6.4.4	Abstandsmaße	180
6.4.5	Weitere Einflussmaße	183
6.4.6	Beispiele	188
6.5	Zuverlässigkeit des Modells	191
6.5.1	Innere Zuverlässigkeit	192
6.5.2	Äußere Zuverlässigkeit	194
6.5.3	Verallgemeinerungen	195
7	Robuste Schätzung in linearen Modellen	197
7.1	Einführung	198
7.1.1	Das lineare Modell	198
7.1.2	Eigenschaften der Modellmatrix	199
7.1.3	Barometerkalibrierung	200
7.1.4	Schätzkriterien für Regressionsparameter	202

7.2	Kriterien der Robustheit	203
7.2.1	Der Bruchpunkt	203
7.2.2	Die Einflussfunktion	205
7.2.3	Die systematische Abweichung	207
7.3	Lokal robuste Schätzer	209
7.3.1	M -Schätzer	209
7.3.2	M -Schätzer ohne Verwerfungspunkt	211
7.3.3	M -Schätzer mit Verwerfungspunkt	214
7.3.4	GM -Schätzer	215
7.4	Global robuste Schätzer	220
7.4.1	$MkMQ$ -Schätzer	220
7.4.2	$MktQ$ -Schätzer	222
7.4.3	S -Schätzer	224
7.4.4	Berechnung global robuster Schätzer	225
7.4.5	Der <i>FAST-LTS</i> Algorithmus	226
7.4.6	Berechnung des S -Schätzers	227
7.4.7	MM -Schätzer	229
7.4.8	τ -Schätzer	230
7.5	Lokal und global robuste Schätzer	231
7.5.1	Ein-Schritt Iteration	232
7.5.2	$G\tau$ -Schätzer	233
7.5.3	CM -Schätzer	234
7.6	Heuristische robuste Schätzer (<i>HR</i> -Schätzer)	235
7.6.1	Empirische Gewichte	236
7.6.2	Vorinformationen	240
7.6.3	Punktdaten	243
7.6.4	Heteroskedastische Beobachtungen	248
7.6.5	Korrelierte Beobachtungen	250
8	Robuste Auswertung von Bilddaten	257
8.1	Einführung	257
8.1.1	Besonderheiten der Schätzprobleme	258
8.2	HBM -Schätzer	259
8.3	Der <i>RANSAC</i> -Algorithmus	260
8.3.1	Die Toleranzgrenze S	261

8.3.2	Die Mindestunterstützung K	262
8.3.3	Die Anzahl der Iterationen N	262
8.3.4	Ausreißeranteil und Modellabweichungen	264
8.4	Weiterentwicklungen	264
8.4.1	Die Verlustfunktion	264
8.4.2	Modellhypothese und Verifizierung	266
8.4.3	<i>RANSAC</i> und M -Schätzer	267
8.4.4	Echtzeit- <i>RANSAC</i>	268
8.5	Die <i>Hough</i> -Transformation	269
8.5.1	Die Erfassung von Geraden	270
8.5.2	Das Akkumulator-Feld	272
8.5.3	Auswertung der Zähler	272
8.5.4	Begrenzung der Geraden	273
8.5.5	Erfassung beliebiger Geometrien	273
8.5.6	Weiterentwicklungen	274
Literaturverzeichnis		277
Stichwortverzeichnis		297