

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung in die Statistik und Datenvisualisierung	1
1.1	Grundlagen der deskriptiven Statistik	4
1.1.1	Lagemaße	4
1.1.2	Streuungsmaße	6
1.1.3	Andere statistische Größen	8
1.2	Datenvisualisierung	10
1.2.1	Balkendiagramme und Histogramme	11
1.2.2	Kreisdiagramme	12
1.2.3	Liniendiagramme	13
1.2.4	Kastengrafiken	13
1.2.5	Streudiagramme	14
1.2.6	Wahrscheinlichkeitsdiagramme	15
1.2.7	Tabellen	20
1.2.8	Profildiagramme	21
1.2.9	Andere Darstellungsformen	21
1.3	Beispiel: Reibungsfaktor in Rohren	24
1.3.1	Erläuterungen zu den Datensätzen	24
1.3.2	Statistische Größen	25
1.3.3	Datenvisualisierung	27
1.3.4	Anmerkungen	29
	Weiterführende Literatur	30
	Aufgaben zum Kapitel	31
2	Theoretische Grundlagen für die statistische Analyse	35
2.1	Statistische Axiome und Definitionen	36
2.2	Erwartungswert	43
2.3	Multivariate Statistik	44
2.4	Allgemeine Statistische Verteilungen	49
2.4.1	Normalverteilung	50
2.4.2	Studentsche t -Verteilung	52

2.4.3	χ^2 -Verteilung	53
2.4.4	F -Verteilung	53
2.4.5	Binomialverteilung	56
2.4.6	Poisson-Verteilung	57
2.5	Parameterschätzung	58
2.5.1	Überlegungen zur Parameterschätzung	58
2.5.2	Methoden der Parameterschätzung	59
2.5.3	Hinweise zur Schätzung von Mittelwert, Varianz und Standardabweichung	64
2.6	Zentraler Grenzwertsatz	65
2.7	Hypothesentests und Vertrauensbereiche	65
2.7.1	Berechnung des kritischen Wertes	69
2.7.2	Konvertierung von Vertrauensbereichen	71
2.7.3	Überprüfen des Mittelwertes	72
2.7.4	Überprüfen der Varianz	75
2.7.5	Überprüfen von Anteilen	76
2.7.6	Überprüfen zweier Stichproben	77
	Weiterführende Literatur	87
	Aufgaben zum Kapitel	88
	Anhang A: Ein kurzer Überblick über Mengenlehre und ihre Notation	93
3	Regression	95
3.1	Vorgehensweise bei der Regressionsanalyse	96
3.2	Regressionsmodelle	97
3.2.1	Lineare und nichtlineare Regressionsfunktionen	99
3.3	Lineare Regression	101
3.3.1	Gewöhnliche Kleinste-Quadrate-Regression	102
3.3.2	Varianzanalyse des Regressionsmodells	108
3.3.3	Nützliche Formeln für die gewöhnliche Kleinste-Quadrate- Regression	110
3.3.4	Berechnungsbeispiel Teil I: Bestimmung von Modellparametern	112
3.3.5	Modellvalidierung	115
3.3.6	Berechnungsbeispiel Teil II: Modellvalidierung	123
3.3.7	Gewichtete Kleinste-Quadrate-Regression	124
3.4	Nichtlineare Regression	129
3.4.1	Gauß-Newton-Verfahren für die nichtlineare Regression	130
3.4.2	Nützliche Formeln der Nichtlinearen Regression	131
3.4.3	Berechnungsbeispiel der Nichtlinearen Regression	132
3.5	Modelle und ihre Verwendung	135
3.6	Beispiel einer kompletten Regression	136
3.6.1	Daten und die dazugehörige Problemstellung	136
3.6.2	Lösung	137

Weiterführende Literatur	141
Aufgaben zum Kapitel	141
Anhang B: Lösungen ohne Matrixdarstellung für die lineare Regression	148
4 Versuchsplanung	153
4.1 Grundlagen der Versuchsplanung	154
4.1.1 Sensitivität	155
4.1.2 Vermengungen und Korrelationen zwischen Parametern	155
4.1.3 Blockbildung	156
4.1.4 Randomisierung	158
4.2 Modelltypen	158
4.2.1 Verwendung der Modelle	158
4.3 Vorgehensweise bei der Analyse von Experimenten	159
4.4 Faktorielle Versuchsplanung	160
4.4.1 Modelle der Faktoriellen Versuchsplanung	160
4.4.2 Analyse von vollfaktoriellen Versuchsplänen	163
4.4.3 Auswahl von Einflussgrößen (Effekten)	164
4.4.4 Projektion	165
4.5 Teilfaktorieller Versuchsplan	170
4.5.1 Notation für teilfaktorielle Versuchspläne	171
4.5.2 Lösungstypen von teilfaktoriellen Versuchsplänen	171
4.5.3 Vermengung bei teilfaktoriellen Versuchsplänen	171
4.5.4 Entwurfsverfahren für teilfaktorielle Versuchspläne	179
4.5.5 Analyse von teilfaktoriellen Versuchsplänen	181
4.5.6 Allgemeine Vorgehensweise bei der Analyse von faktoriellen Versuchsplänen	182
4.6 Blockbildung und Versuchsplanung	189
4.7 Allgemeine faktorielle Versuchsplanung	191
4.7.1 Erzeugen einer Orthonormalbasis	192
4.7.2 Orthogonalbasen bei unterschiedlicher Stufenanzahl	193
4.7.3 Summe der Quadrate bei allgemeinen Versuchsplänen	199
4.7.4 Detailliertes Beispiel mit Faktoren verschiedener Stufen	200
4.8 Faktorielle Versuchspläne der Form 2^k mit Zentrumspunkt Wiederholungen	206
4.8.1 Orthogonalbasis für 2^k -faktorielle Versuchspläne mit Zentrumspunkt Wiederholungen	206
4.8.2 Beispiel eines Versuchsplans mit Zentrumspunkten	208
4.9 Wirkungsflächenpläne	212
4.9.1 Zentral zusammengesetzter Versuchsplan	212
4.9.2 Optimaler Entwurf	214
4.9.3 Wirkungsflächen-Methode	214

Weiterführende Literatur	215
Aufgaben zum Kapitel	216
Anhang C: Lösungen ohne Matrixdarstellung für die Analyse von 2 ^k -faktoriellen Experimenten	222
5 Modellierung stochastischer Prozesse mittels Zeitreihenanalyse	225
5.1 Grundlagen der Zeitreihenanalyse	227
5.1.1 Schätzung der Auto- und Kreuzkovarianz und Korrelationsfunktionen	230
5.1.2 Ermittlung einer stationären Zeitreihe	231
5.1.3 Beispiel zu einer Zeitreihe: Wetter von Edmonton	231
5.2 Gewöhnliche Zeitreihenmodelle	235
5.3 Theoretische Untersuchung von Zeitreihenmodellen	238
5.3.1 Eigenschaften von weißem Rauschen	239
5.3.2 Eigenschaften eines Moving-Average-Prozesses	240
5.3.3 Eigenschaften eines autoregressiven Prozesses	243
5.3.4 Eigenschaften des integrierenden Prozesses	249
5.3.5 Eigenschaften von ARMA und ARIMA-Prozessen	252
5.3.6 Eigenschaften der saisonalen Komponente eines Zeitreihenmodells	255
5.3.7 Zusammenfassung der theoretischen Eigenschaften für verschiedene Zeitreihenmodelle	257
5.4 Zeitreihenmodellierung	262
5.4.1 Schätzung der Modellparameter von Zeitreihen	262
5.4.2 Maximum-Likelihood-Parameterschätzungen für ARMA-Modelle	267
5.4.3 Validierung von Zeitreihenmodellen	272
5.4.4 Modellvorhersage mit Zeitreihenmodellen	274
5.5 Frequenzbereichsanalyse von Zeitreihen	281
5.5.1 Fourier-Transformation	282
5.5.2 Periodogramm und seine Verwendung in der Frequenzbereichsanalyse von Zeitreihen	284
5.6 Zustandsraummodellierung von Zeitreihen	292
5.6.1 Zustandsraummodell für Zeitreihen	292
5.6.2 Die Kalman-Gleichung	292
5.6.3 Zustandsraumschätzungen mit der Maximum-Likelihood- Methode	295
5.7 Ausführliches Beispiel zur Zeitreihenmodellierung	296
5.7.1 Zusammenfassung der verfügbaren Informationen	296
5.7.2 Finden eines finalen univariaten Modells	297
5.8 Weiterführende Literatur	299

5.9	Aufgaben zum Kapitel	300
5.9.1	Grundlagen.	300
5.9.2	Übungsaufgaben.	302
5.9.3	Übungen mit Rechnerunterstützung.	302
	Anhang D: Datensätze für Kapitel 5	304
6	Modellierung dynamischer Prozesse mit Methoden zur Systemidentifikation	313
6.1	Systemidentifikation von geregelten Prozessen	315
6.1.1	Vorhersagefähigkeit von Prozessmodellen	318
6.2	Ablauf bei der Systemidentifikation	321
6.3	Identifikation im offenen Regelkreis	322
6.3.1	Parameterschätzung bei der Systemidentifikation	322
6.3.2	Modellvalidierung bei der Systemidentifikation	326
6.3.3	Versuchsplanung bei der Systemidentifikation	328
6.3.4	Abschließende Überlegungen zur Systemidentifikation am offenen Regelkreis	330
6.4	Identifikation im geschlossenen Regelkreis	334
6.4.1	Indirekte Identifikation im geschlossenen Regelkreis	336
6.4.2	Direkte Identifikation im geschlossenen Regelkreis	337
6.4.3	Gemeinsame Eingangs- und Ausgangsidentifikation im geschlossenen Regelkreis	339
6.5	Nichtlineare Prozessidentifikation	340
6.5.1	Transformation von nichtlinearen Modellen: Wiener-Hammerstein-Modelle	341
6.6	Modellierung des Wasserfüllstands in einem Behälter	341
6.6.1	Versuchsplan	342
6.6.2	Rohdaten	344
6.6.3	Erzeugung eines linearen Modells und Validierung	345
6.6.4	Nichtlineare Modellerstellung und Validierung	350
6.6.5	Schlussbemerkungen	351
	Weiterführende Literatur	353
	Aufgaben zum Kapitel	354
	Anhang E: Datensätze für Kapitel 6	356
7	Verwendung von MATLAB® zur Statistischen Analyse	375
7.1	Grundlegende Funktionen der Statistik	376
7.2	Grundlegende Funktionen zum Erzeugen von Grafiken	376
7.3	Die Statistics and Machine Learning Toolbox	379
7.3.1	Wahrscheinlichkeitsverteilungen	379
7.3.2	Fortgeschrittene Statistikfunktionen	380
7.3.3	Fortgeschrittene Wahrscheinlichkeitsfunktionen	380

7.3.4	Lineare Regression	382
7.3.5	Versuchsplanung	382
7.4	Die System Identification Toolbox	384
7.5	Die Econometrics Toolbox	388
7.6	Die Signal Processing Toolbox	389
7.7	MATLAB®-Code	390
7.7.1	Periodogramm	390
7.7.2	Autokorrelationsdiagramm	391
7.7.3	Korrelationsdiagramm	392
7.7.4	Kreuzkorrelationsdiagramm	393
7.8	MATLAB®-Beispiele	394
7.8.1	Beispiel zur linearen Regression in MATLAB	394
7.8.2	Beispiel zur nichtlinearen Regression in MATLAB	398
7.8.3	Beispiel für eine Systemidentifikation in MATLAB	402
	Weiterführende Literatur	403
8	Verwendung von Excel® zur Statistischen Analyse	405
8.1	Bereiche und Matrizen in Excel	406
8.2	Nützliche Excel-Funktionen	408
8.2.1	Matrixfunktionen in Excel	408
8.2.2	Statistische Funktionen in Excel	408
8.3	Excel-Makros und Sicherheit	409
8.3.1	Sicherheit in Excel	410
8.4	Das Excel-Solver-Add-In	410
8.4.1	Installieren des Solver-Add-Ins	410
8.4.2	Verwendung des Solver-Add-Ins	412
8.5	Das Excel-Add-In zur Datenanalyse	415
8.6	Excel-Vorlagen	416
8.6.1	Vorlage zum Normalwahrscheinlichkeitsdiagramm	418
8.6.2	Vorlage zur Kastengrafik	420
8.6.3	Vorlage für ein Periodogramm	421
8.6.4	Vorlage zur linearen Regression	425
8.6.5	Vorlage zur nichtlinearen Regression	426
8.6.6	Vorlage zur Versuchsplanung	427
8.7	Excel-Beispiele	428
8.7.1	Beispiel zur linearen Regression in Excel	429
8.7.2	Beispiel zur nichtlinearen Regression in Excel	430
8.7.3	Beispiele zur Versuchsplanung in Excel	435
8.8	Vergleich der Befehle der deutschen und der internationalen Version	436
	Weiterführende Literatur	436

9 Glossar der wichtigsten Begriffe	439
9.1 Englisch-Deutsch Glossar	439
9.2 Deutsch-Englisch Glossar	439
Anhang G: Lösungen	469
Literatur	473
Stichwortverzeichnis	477