

# Inhaltsverzeichnis

<b>Statt eines Vorworts</b>	<b>V</b>
<b>Danksagung</b>	<b>XI</b>
<b>Inhaltsübersicht</b>	<b>XIII</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>XXIII</b>
<b>Beispielverzeichnis</b>	<b>XXIX</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>XXXI</b>
<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>XXXIII</b>
<b>Einführung, Motivation, Zielsetzung</b>	<b>1</b>
<b>1 Zeit und Zeitmessung</b>	<b>3</b>
1.1 Zeit in der Psychologie . . . . .	3
1.2 Zeit in der Philosophie . . . . .	6
1.3 Zeit in der Physik . . . . .	8
1.4 Zeit in der Ökonomie . . . . .	10
1.5 Prinzipien der Zeitmessung . . . . .	11
1.5.1 Allgemeine Konzepte . . . . .	12
1.5.2 Weltzeiten . . . . .	13
1.5.3 Ephemeridenzeit . . . . .	15
1.5.4 Atomzeit . . . . .	17
1.6 Chronometer . . . . .	18
<b>2 Kalender und ihre Konstruktion</b>	<b>21</b>
2.1 Prinzipien der Kalenderkonstruktion . . . . .	21
2.2 Römischer und Julianischer Kalender . . . . .	25
2.3 Gregorianischer Kalender und nachfolgende Kalenderreformen . . . . .	27
2.4 Sonstige Kalendersysteme . . . . .	30
2.5 Ewiger Kalender . . . . .	31
2.6 Besonderheiten und Unregelmäßigkeiten des geltenden Kalenders . . . . .	33
2.6.1 Variation innerhalb und zwischen Kalendereinheiten . . . . .	33

2.6.2	Fest- und Feiertage . . . . .	38
2.6.3	Ferien und andere institutionelle Kalenderregelungen . . . . .	42
<b>3</b>	<b>Elementare Zeitreihenanalyse</b>	<b>43</b>
3.1	Konzepte und Notationen . . . . .	43
3.2	Komponenten und Darstellung von Zeitreihen . . . . .	51
3.2.1	Stilisierte Fakten in Zeitreihen . . . . .	53
3.2.2	Besondere Darstellungsformen . . . . .	62
3.3	Einfache Analyseinstrumente . . . . .	71
3.3.1	Aggregation . . . . .	72
3.3.2	Transformation . . . . .	75
3.3.3	Regression . . . . .	79
3.3.4	Verschiebungsoperatoren . . . . .	90
3.3.5	Differenzen- und Summenoperatoren . . . . .	94
3.3.6	Polynome und Operator-Polynome . . . . .	102
3.3.7	Filter und gleitende Durchschnitte . . . . .	108
3.3.8	Vorjahresvergleich . . . . .	116
3.3.9	Saisonindizes und Streuungszerlegungen . . . . .	118
<b>4</b>	<b>Einführung in die Prognosetechnik</b>	<b>123</b>
4.1	Qualitative Verfahren . . . . .	123
4.2	Quantitative Verfahren . . . . .	125
4.2.1	Einfache univariate Ansätze . . . . .	125
4.2.2	Multiple univariate Ansätze . . . . .	127
4.2.3	Multivariate Ansätze . . . . .	128
4.3	Szenario-Technik als kombiniertes Verfahren . . . . .	128
4.4	Prognosefehler . . . . .	129
4.4.1	Ursachen für Prognosefehler . . . . .	129
4.4.2	Zwecke einer Prognosefehlermessung . . . . .	130
4.4.3	Individuelle Prognosefehler . . . . .	131
4.4.4	Maßzahlen für Prognosefehler . . . . .	133
<b>5</b>	<b>Grundbegriffe und Werkzeuge für die Analyse im Zeitbereich</b>	<b>138</b>
5.1	Lineare Differenzgleichungen . . . . .	138
5.1.1	Begriff und Klassifikation . . . . .	138
5.1.2	Lineare Differenzgleichungen erster Ordnung . . . . .	140

5.1.3	Lineare Differenzgleichungen zweiter Ordnung . . . . .	144
5.1.4	Lineare Differenzgleichungen höherer Ordnung . . . . .	154
5.2	Stochastische Prozesse . . . . .	157
5.2.1	Definition und Eigenschaften . . . . .	157
5.2.2	Einige Typen stochastischer Prozesse . . . . .	162
5.3	Autokovarianz- und Autokorrelationsfunktion . . . . .	168
5.3.1	Definition und Eigenschaften der AKV . . . . .	168
5.3.2	Definition und Eigenschaften der AKR . . . . .	170
5.3.3	Schätzung von AKV und AKR . . . . .	170
5.4	Partielle Autokorrelationsfunktion . . . . .	173
5.4.1	Konzept und Bestimmung der PAKR . . . . .	173
5.4.2	Schätzung der PAKR . . . . .	176
5.5	MA– und AR–Darstellung stochastischer Prozesse . . . . .	177
5.5.1	MA–Darstellung . . . . .	177
5.5.2	AR–Darstellung . . . . .	179
<b>6</b>	<b>Grundbegriffe und Werkzeuge für die Analyse im Frequenzbereich</b>	<b>181</b>
6.1	FOURIER–Analyse . . . . .	181
6.1.1	Periodische Funktionen . . . . .	181
6.1.1.1	Trigonometrische Funktionen im Überblick . . . . .	181
6.1.1.2	Sinus- und Kosinusfunktionen . . . . .	186
6.1.1.3	Das trigonometrische Orthogonalsystem . . . . .	191
6.1.2	Grundzüge der FOURIER–Analyse . . . . .	194
6.1.2.1	Trigonometrische Polynome . . . . .	194
6.1.2.2	FOURIER–Darstellung endlicher zeitdiskreter Funktionen	196
6.1.2.3	FOURIER–Darstellung periodischer zeitdiskreter Funktionen . . . . .	198
6.1.2.4	FOURIER-Transformierte und deren Inverse . . . . .	201
6.2	Spektraltheorie stochastischer Prozesse . . . . .	207
6.2.1	Harmonische Prozesse und Spektraldarstellung stationärer Prozesse	207
6.2.2	Spektraldichte und ihre Eigenschaften . . . . .	210
6.2.3	Spektralverteilungsfunktionen . . . . .	213
6.2.4	Spektrum und autokovarianz–erzeugende Funktion . . . . .	217
6.2.4.1	Spektrum linearer Prozesse . . . . .	218
6.2.4.2	Spektrum linearer Filter . . . . .	219

6.3	Spektralanalyse . . . . .	228
6.3.1	Periodogramm . . . . .	228
6.3.1.1	KQ-Schätzungen einer harmonischen Schwingung . . . . .	228
6.3.1.2	Darstellung und Berechnung des Periodogramms . . . . .	230
6.3.1.3	Interpretation . . . . .	233
6.3.1.4	Stichprobeneigenschaften . . . . .	235
6.3.2	Spektralschätzung . . . . .	237
6.3.2.1	Glättung im Frequenzbereich . . . . .	238
6.3.2.2	Glättung im Zeitbereich . . . . .	241
6.3.2.3	Lag- und Spektralfenster . . . . .	242
6.3.2.4	Konfidenzintervall . . . . .	249
6.3.2.5	Spektralschätzung für ARMA-Prozesse . . . . .	250
<b>7</b>	<b>Stationäre stochastische Prozesse</b>	<b>252</b>
7.1	MA-Prozesse . . . . .	252
7.1.1	MA(1)-Prozesse . . . . .	254
7.1.2	MA(2)-Prozesse . . . . .	259
7.1.3	MA( $q$ )-Prozesse . . . . .	262
7.2	AR-Prozesse . . . . .	265
7.2.1	AR(1)- oder MARKOV-Prozesse . . . . .	266
7.2.2	AR(2)- oder YULE-Prozesse . . . . .	269
7.2.3	AR( $p$ )-Prozesse . . . . .	275
7.3	Dualität von AR- und MA-Prozessen . . . . .	276
7.4	ARMA-Prozesse . . . . .	277
<b>8</b>	<b>Instationarität, Saisonalität und Volatilität</b>	<b>284</b>
8.1	Instationarität im Mittelwert . . . . .	284
8.1.1	Deterministische Trendmodelle . . . . .	284
8.1.2	Stochastische Trends . . . . .	286
8.1.2.1	Homogene Instationarität und ARIMA-Modelle . . . . .	286
8.1.2.2	Random Walk und Varianten . . . . .	288
8.1.2.3	ARIMA-Modelle und exponentielles Glätten . . . . .	302
8.1.2.4	Fraktional integrierte Prozesse . . . . .	309
8.2	Saisonalität . . . . .	313
8.2.1	Traditionelle Methoden . . . . .	313

8.2.2	Saisonale ARIMA–Modelle . . . . .	314
8.2.2.1	Rein saisonale Modelle . . . . .	315
8.2.2.2	Gemischt saisonale Modelle (SARIMA) . . . . .	316
8.2.2.3	Das Airline–Modell als spezielles SARIMA–Modell . . . . .	319
8.2.2.4	SARIMA–Modelle und exponentielles Glätten . . . . .	320
8.3	Instationarität von Varianz und Autokovarianz . . . . .	322
8.3.1	Varianz und Autokovarianz von ARIMA–Modellen . . . . .	322
8.3.2	Varianzstabilisierungen . . . . .	323
8.4	Volatilitätsmodelle . . . . .	325
8.4.1	Charakteristika von hochfrequenten Zeitreihen . . . . .	325
8.4.2	Ältere Ansätze zur Volatilitätsanalyse . . . . .	327
8.4.2.1	Exogene Heteroskedastizität . . . . .	327
8.4.2.2	Endogene Heteroskedastizität . . . . .	328
8.4.3	Modelle der GARCH–Familie . . . . .	330
8.4.3.1	Grundmodelle . . . . .	330
8.4.3.2	Modellerweiterungen . . . . .	337
8.4.4	Stochastische Volatilitätsmodelle . . . . .	346
<b>9</b>	<b>Modellidentifikation</b>	<b>349</b>
9.1	Vorarbeiten . . . . .	349
9.2	Differenzenfilter . . . . .	351
9.2.1	Grenzstabile Filter . . . . .	351
9.2.2	Wahl eines Filters . . . . .	353
9.2.3	Überdifferenzierung . . . . .	355
9.3	Differenzen- versus Trendstationarität . . . . .	356
9.3.1	Implikationen der beiden Trendtypen . . . . .	356
9.3.2	Folgen einer Fehlspezifikation der Trendtyps . . . . .	359
9.3.3	Einheitswurzeltests . . . . .	361
9.3.3.1	Tests von DICKEY/FULLER . . . . .	362
9.3.3.2	Probleme und Erweiterungen des DF–Tests . . . . .	366
9.3.3.3	Weitere Testverfahren . . . . .	372
9.3.3.4	Saisonale Einheitswurzeln . . . . .	374
9.3.3.5	Strukturbrüche und Einheitswurzeln . . . . .	375
9.4	Festlegung der AR– und MA–Polynomgrade . . . . .	375
9.4.1	Ansatz von BOX und JENKINS . . . . .	375

9.4.2	Inverse Autokorrelationsfunktion . . . . .	377
9.4.3	Erweiterte SAKR und sonstige Techniken . . . . .	379
9.5	Weitere Spezifikationstests . . . . .	382
9.5.1	Normalverteilungstests im Überblick . . . . .	383
9.5.2	Autokorrelationstests . . . . .	388
9.5.3	BDS-Test . . . . .	389
<b>10</b>	<b>Parameterschätzung und Modellwahl</b>	<b>391</b>
10.1	Schätztechniken . . . . .	391
10.1.1	Momentenmethode . . . . .	391
10.1.1.1	AR-Prozesse . . . . .	392
10.1.1.2	MA-Prozesse . . . . .	393
10.1.1.3	ARMA-Prozesse . . . . .	396
10.1.2	Maximum-Likelihood-Methode . . . . .	396
10.1.2.1	Bedingte ML-Schätzungen . . . . .	396
10.1.2.2	Unbedingte ML-Schätzung . . . . .	399
10.1.2.3	Exakte ML-Schätzung . . . . .	401
10.1.2.4	Vergleich der ML-Ansätze . . . . .	405
10.1.3	Nichtlineare Schätzung und numerische Optimierung . . . . .	406
10.2	Diagnostische Tests . . . . .	408
10.3	Selektionskriterien . . . . .	411
<b>11</b>	<b>Prognosen</b>	<b>417</b>
11.1	MMSE-Prognosen . . . . .	417
11.1.1	ARMA-Modelle . . . . .	417
11.1.2	ARIMA-Modelle . . . . .	420
11.2	Prognoseformeln für diverse Modelle . . . . .	422
11.2.1	ARMA-Modelle . . . . .	423
11.2.2	ARIMA- und SARIMA-Modelle . . . . .	426
11.2.3	Volatilitätsmodelle . . . . .	429
11.3	Aktualisierung von Prognosen . . . . .	430
11.4	Prognosen aus der AR-Darstellung . . . . .	433
11.5	Eventualprognosen . . . . .	435
<b>12</b>	<b>Fallstudien</b>	<b>438</b>
12.1	Sonnenfleckenanzahl 1700 – 1999 . . . . .	438

12.2	Reales saisonbereinigtes BIP 1968/I – 1994/IV . . . . .	440
12.3	Realer privater Verbrauch 1968/I – 1994/IV . . . . .	442
12.4	Zinssatz für Tagesgeld 1976/I – 2002/III . . . . .	444
12.5	Volatilitätsanalyse von DAX und DM/GBP-Kurs, 1990 – 2000 . . . . .	445
<b>13</b>	<b>Interventions- und Transferfunktionsmodelle</b>	<b>453</b>
13.1	Interventionsmodelle . . . . .	453
13.2	Ausreißermodelle . . . . .	462
13.3	Transferfunktionsmodelle . . . . .	467
13.3.1	Univariate dynamische Modelle mit Inputvariablen . . . . .	467
13.3.2	Transferfunktionsmodelle mit einer Inputvariable . . . . .	469
13.3.2.1	Identifikation und Kreuzkorrelationsfunktionen . . . . .	469
13.3.2.2	Schätzung und Diagnose . . . . .	475
13.3.2.3	Prognose . . . . .	477
13.3.2.4	Fallstudie: Auftragseingang und Umsatz . . . . .	479
13.3.3	Transferfunktionsmodelle mit mehreren Inputvariablen . . . . .	484
<b>14</b>	<b>Vektorielle Zeitreihenmodelle</b>	<b>485</b>
14.1	Charakterisierung gemeinsam stationärer Vektorprozesse . . . . .	485
14.1.1	Kovarianz- und Korrelationsmatrix-Funktion . . . . .	485
14.1.2	MA- und AR-Darstellung vektorieller Prozesse . . . . .	487
14.1.3	Vektorielle ARMA-Modelle . . . . .	491
14.1.3.1	VAR-Prozesse . . . . .	491
14.1.3.2	VMA-Prozesse . . . . .	501
14.1.3.3	VARMA-Prozesse . . . . .	502
14.1.4	Instationäre VARMA-Prozesse . . . . .	509
14.2	Identifikation von VARMA-Prozessen . . . . .	509
14.2.1	Bestimmung der Ordnungen $p$ und $q$ . . . . .	509
14.2.2	Eindeutigkeit einer VARMA-Darstellung . . . . .	510
14.3	Schätzung und Prognose . . . . .	513
<b>15</b>	<b>Vektorielle Zeitreihen in der Ökonometrie</b>	<b>515</b>
15.1	Dynamische Gleichungssysteme . . . . .	515
15.1.1	VARMA-Modelle und weitere Formen dynamischer Gleichungssysteme . . . . .	515
15.1.2	Exogenität und Kausalität . . . . .	520

15.2	VAR-Modelle in der Ökonometrie . . . . .	521
15.2.1	Stationäre VAR-Prozesse . . . . .	522
15.2.1.1	Schätzung und Spezifikation . . . . .	522
15.2.1.2	Prognose mit einem VAR( $p$ )-Modell . . . . .	528
15.2.1.3	Test auf GRANGER-Kausalität . . . . .	530
15.2.1.4	Impuls-Antwort-Funktion und Innovationsrechnung . . . . .	532
15.2.1.5	Zerlegung der Prognosefehlervarianz . . . . .	537
15.2.2	Instationäre VAR-Prozesse . . . . .	539
15.2.2.1	Integration und Kointegration . . . . .	539
15.2.2.2	Fehlerkorrekturmodelle . . . . .	545
<b>16</b>	<b>Zustandsraummodelle und der KALMAN-Filter</b>	<b>549</b>
16.1	Zustandsraummodelle . . . . .	549
16.1.1	Die allgemeine Form eines Zustandsraummodells . . . . .	550
16.1.2	Einige Zeitreihenmodelle und ihre Zustandsraumformulierung . . . . .	552
16.1.2.1	Komponentenmodelle . . . . .	552
16.1.2.2	ARMA- und VARMA-Modelle . . . . .	555
16.2	Der KALMAN-Filter . . . . .	557
16.2.1	Darstellung des KALMAN-Filters . . . . .	557
16.2.2	ML-Schätzung und Zerlegung des Prognosefehlers . . . . .	561
16.2.3	Prädiktion . . . . .	562
16.2.4	Glättung . . . . .	564
16.3	Strukturelle Zeitreihenmodelle . . . . .	565
16.3.1	Allgemeiner Ansatz für univariate Zeitreihen . . . . .	565
16.3.2	Beispiele . . . . .	568
16.3.2.1	Reine Trendmodelle . . . . .	569
16.3.2.2	Modelle mit Zyklus . . . . .	573
16.3.2.3	Modelle mit Trend und Saison . . . . .	574
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>577</b>
	<b>Namensverzeichnis</b>	<b>591</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>597</b>