

# **I N H A L T S V E R Z E I C H N I S**

---

Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis	XV
Symbolverzeichnis	XIX
Abkürzungsverzeichnis	XXVII
<b>1 EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
<b>2 DETERMINISTISCHES CHAOS AM DEVISENMARKT: THEORETISCHE GRUNDLAGEN</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Die Grundlagen der Theorie des deterministischen Chaos</b>	<b>7</b>
<b>2.1.1 Die historischen Wurzeln der Chaostheorie</b>	<b>7</b>
<b>2.1.2 Die Anfangswertsensitivität als Wegweiser ins             deterministische Chaos</b>	<b>9</b>
<b>2.1.3 Die Entropie: Das mikroskopische Chaos</b>	<b>12</b>
<b>2.1.4 Die Komplexität: Das makroskopische             (deterministische) Chaos</b>	<b>15</b>
<b>2.1.5 Die fraktale Geometrie</b>	<b>17</b>
<b>2.1.6 Die Verfahrensregeln der fraktalen Geometrie</b>	<b>22</b>
<b>2.1.7 Seltsame Attraktoren</b>	<b>27</b>
<b>2.1.8 Die verschiedenen Wege ins deterministische Chaos</b>	<b>32</b>
<b>2.1.9 Mathematische Aspekte der nichtlinearen Dynamik</b>	<b>37</b>
<b>2.1.10 Zur Definition von deterministischem Chaos</b>	<b>40</b>
<b>2.1.11 Die Verhulst-Abbildung als Beispiel chaotischer             Dynamik</b>	<b>42</b>
<b>2.2 Theorieansätze und Hypothesen zum Wechselkurs</b>	<b>46</b>
<b>2.2.1 Der Wechselkurs als Untersuchungsobjekt</b>	<b>46</b>
<b>2.2.2 Der (makroökonomische) Finanzmarktansatz</b>	<b>53</b>
<b>2.2.2.1 Die Systematisierung des Finanzmarktansatzes</b>	<b>53</b>
<b>2.2.2.1.1 Die partialanalytische Systematisierung</b>	<b>53</b>
<b>2.2.2.1.2 Die totalanalytische Systematisierung</b>	<b>55</b>
<b>2.2.2.1.3 Der Finanzmarktansatz als Bestandsgrößenansatz</b>	<b>56</b>
<b>2.2.2.2 Die Grundlagen des Finanzmarktansatzes</b>	<b>58</b>

2.2.3 Die Hypothese eines informationseffizienten Devisenmarktes	65
2.2.3.1 Das Random-Walk-Modell als historische Grundlage	65
2.2.3.2 Die Markteffizienzhypothese	67
2.2.3.3 Die Annahmen zur Informationseffizienz	69
2.2.3.4 Die formale Darstellung der Informationseffizienz	71
2.2.3.5 Die empirisch bedingte Effizienzhierarchie	73
2.2.3.6 Kritik an der Markteffizienzhypothese	75
2.2.4 Die Marktfraktalitätstheorie	78
2.2.4.1 Die Theorie stabiler Märkte	78
2.2.4.2 Die Heterogenität der Anleger	80
2.2.4.3 Instabilitätsphasen	83
2.2.4.4 Erklärung der empirisch feststellbaren Kursänderungsverteilung	88
2.2.5 Grauwes Wechselkursmodell mit deterministischem Chaos	93
<b>3 EMPIRISCHE UNTERSUCHUNGSVERFAHREN DER EIGENSCHAFTEN VON DETERMINISTISCHEM CHAOS</b>	<b>99</b>
3.1 Die Untersuchung auf Abhängigkeiten	99
3.1.1 Vorbemerkungen zu den Testverfahren	99
3.1.2 Abhängigkeiten zwischen Kursänderungen	100
3.1.3 Zur Aperiodizität: Das Fourier-Powerspektrum	101
3.1.3.1 Die Spektralanalyse i.w.S.	101
3.1.3.2 Die Fourieranalyse	105
3.1.3.2.1 Die Frequenzdarstellung periodischer Funktionen	105
3.1.3.2.2 Die Frequenzanpassung an eine Zeitreihe	109
3.1.3.3 Die Spektralanalyse i.e.S.	114
3.1.3.3.1 Die Fouriertransformation	114
3.1.3.3.2 Die Schätzung des Powerspektrums	117
3.1.3.3.3 Zur schnellen Fouriertransformation	119
3.1.3.4 Zur Interpretation des Powerspektrums	121
3.1.3.4.1 Spektralanalytische Effekte	121
3.1.3.4.2 Reguläres versus chaotisches Verhalten	122
3.1.4 Zur Selbstähnlichkeit: Die Korrelationsdimension	128
3.1.4.1 Zur Dimension seltsamer Attraktoren	128

---

3.1.4.1.1 Die fraktale Dimension	128
3.1.4.1.2 Die metrische Dimensionsmessung durch Überdeckungen	132
3.1.4.1.3 Die Vielfalt der verallgemeinerten Dimensionen	136
3.1.4.2 Die Rekonstruktion des Attraktors	139
3.1.4.3 Das Korrelationsintegral	143
3.1.4.4 Die Schätzung der Korrelationsdimension	147
3.1.4.5 Praktische Umsetzungsprobleme	152
3.1.4.5.1 Die Wahl des Distanzmaßes	152
3.1.4.5.2 Die Wahl der Zeitverschiebung	156
3.1.4.5.3 Die Wahl der Einbettungsdimension	158
3.1.5 Zur Persistenz: Der Hurst-Exponent	162
3.1.5.1 Die Analyse des reskalierten Bereichs	162
3.1.5.2 Die Skaleninvarianz der Brownschen Bewegung	165
3.1.5.3 Die fraktale Brownsche Bewegung	167
3.1.5.4 Abhängigkeiten im Licht des Hurst-Exponenten	170
3.1.5.5 Der R/S-Algorithmus	172
3.1.5.6 Empirische Gesetzmäßigkeiten der R/S-Analyse	175
3.1.5.7 Die empirische Schätzung des Hurst-Exponenten	178
3.2 Die Untersuchung auf Nichtlinearität	180
3.2.1 Die Nichtlinearität als Zeitreiheneigenschaft	180
3.2.1.1 Der Begriff des Determinismus	180
3.2.1.2 Die P-Linearität	182
3.2.1.3 Der Begriff der Nichtlinearität	183
3.2.2 Zu den verschiedenen Tests auf nichtlineare Abhängigkeiten	185
3.2.2.1 Einige Testverfahren im Überblick	185
3.2.2.2 Die Stärke der Tests im Vergleich	188
3.2.3 Der BDS-Test	191
3.2.3.1 Der BDS-Test als Diagnose- oder Spezifikationstest	191
3.2.3.2 Die wahrscheinlichkeitstheoretische Fundierung	195
3.2.3.3 Die Teststatistik	198
3.3 Die Untersuchung auf Anfangswertsensitivität	202
3.3.1 Zu den Stabilitätseigenschaften: Das Ljapunov-Spektrum	202

---

3.3.1.1	Die Ljapunov-Exponenten als Maßzahlen der Stabilität	202
3.3.1.2	Der Ljapunov-Exponent eindimensionaler dynamischer Systeme	205
3.3.1.3	Die Ljapunov-Exponenten mehrdimensionaler dynamischer Systeme	207
3.3.1.3.1	Die direkte Berechnungsmethode	207
3.3.1.3.2	Die Jacobi-Berechnungsmethode	211
3.3.1.4	Die Beziehung zwischen Ljapunov-Exponenten und fraktaler Dimension	213
3.3.1.5	Die numerische Bestimmung von Ljapunov-Exponenten	214
3.3.2	Zur Prognostizierbarkeit: Die Kolmogorov-Sinaj-Entropie	217
3.3.2.1	Der Informationsfluß in dynamischen Systemen	217
3.3.2.2	Die Lokalisierung des Systems	220
3.3.2.3	Die Definition der Kolmogorov-Sinaj-Entropie	221
3.3.2.4	Die maximale Reichweite von Prognosen	224
3.3.2.5	Zur Schätzung der Kolmogorov-Sinaj-Entropie	225
4	DIE ANALYSE DES WECHSELKURSES AUF DETERMINISTISCHES CHAOS	229
4.1	Der empirische Hintergrund	229
4.1.1	Die Daten	229
4.1.1.1	Zu den Aspekten der Datenbasis	229
4.1.1.1.1	Die Datenquantität	229
4.1.1.1.2	Die Datenaggregation	232
4.1.1.1.3	Die zeitliche Datenstruktur	234
4.1.1.1.4	Die „Verunreinigung“ der Daten durch Rauschen	237
4.1.1.2	Die verwendeten Wechselkursdaten	238
4.1.2	Die Problematik von Unsicherheitsphasen	244
4.1.3	Ein Überblick über bisherige Untersuchungen	249
4.2	Die Untersuchung des Wechselkurses auf Abhängigkeiten	256
4.2.1	Das Powerspektrum der Wechselkursentwicklung	256
4.2.1.1	Die Zackung des Spektrums	256
4.2.1.2	Die Existenz eingebetteter Periodizitäten	260

4.2.1.3 Die Irregularität des Spektrums	262
4.2.2 Die Korrelationsdimension der Wechselkursentwicklung	266
4.2.2.1 Das Konvergenzverhalten der Korrelationsdimension	266
4.2.2.2 Die grafische Analyse für bestimmte Zeitverzögerungen	267
4.2.2.3 Die Konvergenzproblematik aus anderer Sicht	273
4.2.2.4 Der Test mit rauschreduzierten Daten	275
4.2.3 Der Hurst-Exponent der Wechselkursentwicklung	280
4.2.3.1 Die Persistenz	280
4.2.3.2 Die Überprüfung mittels zufallssortierter Zeitreihen	287
4.2.3.3 Andere R/S-Analysen von Wechselkursen	289
4.3 Die Untersuchung des Wechselkurses auf Nichtlinearität	290
4.3.2 Die BDS-Statistik der Wechselkursentwicklung	290
4.3.2.1 Die Problematik des BDS-Tests bei Wechselkursen	290
4.3.2.2 Die Unabhängigkeit und identische Verteilung der Kursänderungsraten	292
4.3.2.3 Die vernachlässigte Nichtlinearität	299
4.4 Die Untersuchung des Wechselkurses auf Anfangswertsensitivität	307
4.4.1 Das Ljapunov-Spektrum der Wechselkursentwicklung	307
4.4.2 Die Kolmogorov-Sinaj-Entropie der Wechselkursentwicklung	318
4.4.2.1 Die Anfangswertsensitivität	318
4.4.2.2 Die Prognostizierbarkeit des Wechselkurses	322
4.5 Resümee der Wechselkursuntersuchungen	325
5 ZUSAMMENFASSUNG	331
ANHANG: ABBILDUNGEN UND TABELLEN	335
Literaturverzeichnis	363