

**Leben wir in einer immer
komplexer werdenden Welt?**

Guido Strunk

Leben wir in einer immer komplexer werdenden Welt?

Methoden der Komplexitätsmessung für die Wirtschaftswissenschaft

Guido Strunk
Technische Universität Dortmund, Deutschland
Complexity-Research Wien, Österreich
FH Campus Wien, Österreich

Leben wir in einer immer komplexer werdenden Welt?

Methoden der Komplexitätsmessung für die Wirtschaftswissenschaft

ISBN 978-3-903291-00-3

© 2019, Complexity-Research, Forschung & Lehre, Verlag, Wien

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Das vorliegende Buch wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch erfolgen alle Angaben ohne Gewähr. Weder Autor noch Verlag können für eventuelle Nachteile oder Schäden, die aus den im Buch vorliegenden Informationen resultieren, eine Haftung übernehmen.

Umschlaggestaltung: Sofie Strunk

Inhalt

1	Einleitung	9
2	Was ist Komplexität?.....	19
2.1	Nicht-triviale Maschinen	24
2.2	Emergenz – ein anderer Begriff für Komplexität.....	26
2.3	Konstruktivismus und Komplexität.....	31
2.4	Komplexität und Naturwissenschaft	35
2.5	Komplex heißt eine Dynamik dann, wenn	38
2.6	Ein klassisches Beispiel für ein komplexes System	44
2.6.1	Das Verhulst-System	44
2.6.2	Eigenschaften komplexer Systeme.....	46
2.7	Zusammenfassung der Grundlagen der Komplexitätsforschung	58
3	Komplexitätsforschung in der Wirtschaftswissenschaft.....	65
3.1	Viele nichtlineare Wirtschaftsmodelle sind chaosfähig	65
3.2	In Finanzdaten ist Chaos nur selten sicher nachweisbar	72
3.3	Wie organisiert, lenkt und führt man in einer komplexen Welt?	87
3.4	Defizite in der Empirie	99
4	Forschungsdesigns der Komplexitätsforschung	101
4.1	Stationäre Analyse.....	101
4.2	Nichtstationäre Analysen	107
4.3	(Quasi)experimentelle Studiendesigns	111
4.4	Surrogatdatentestung.....	119
4.4.1	<i>Random</i> -Surrogate	120
4.4.2	Surrogate der Fourier-Transformation	120
4.4.3	Exkurs: Spektralanalyse, Fourier-Transformation und Autokorrelation	123
4.5	Vorbereitung von Daten für eine anschließende Analyse	130
4.5.1	Transformation in Veränderungsmaße.....	130
4.5.2	Rauschfilter.....	132
4.5.3	Fehlende Daten	135
5	Methodenübersicht.....	143
6	Phasenraumdarstellung.....	153
6.1	Grundlagen: Rekonstruktion mittels Zeitverzögerungskordinaten	162
6.2	Algorithmus: Bestimmung des <i>Time-Lag</i> über die Autokorrelationsfunktion	167
6.2.1	Datenqualität, Voraussetzungen	169
6.2.2	Praktische Durchführung	171
6.2.3	Beispielanalyse: Ist der DAX linear vorhersagbar?	173

6.3	Algorithmus: Bestimmung des <i>Time-Lag</i> über die <i>Mutual Information</i>	175
6.3.1	Datenqualität, Voraussetzungen	178
6.3.2	Praktische Durchführung	179
6.3.3	Beispielanalyse: Die Mutual-Information-Funktion des DAX.....	182
6.4	Algorithmus: Bestimmung des <i>Time-Lag</i> über das generalisierte Korrelationsintegral	183
6.4.1	Datenqualität, Voraussetzungen	184
6.4.2	Praktische Durchführung	185
6.4.3	Beispielanalyse: Das generalisierte Korrelationsintegral des DAX.....	188
6.5	Algorithmus: Phasenraumeinbettung – Grafische Darstellung	190
6.5.1	Rotation der Phasenraumdarstellung	192
6.5.2	Projektion der Darstellung.....	193
6.5.3	Datenqualität, Voraussetzungen	195
6.5.4	Praktische Durchführung	196
6.5.5	Beispieldarstellung: Phasenraum des DAX	200
6.5.6	Beispieldarstellung: Phasenräume für den Euro-Referenzkurs der EZB gegenüber dem US-Dollar.....	202
7	Fraktale Dimension	205
7.1	Grundlagen: Fraktale Geometrie	208
7.2	Algorithmus: Korrelationsintegral – D2.....	221
7.2.1	Datenqualität, Voraussetzungen	227
7.2.2	Praktische Durchführung	232
7.2.3	Beispielanalyse: D2 der log>Returns des DAX.....	238
7.2.4	Beispielanalyse: D2 der log>Returns des Euro-Referenzkurses der EZB zum US-Dollar	243
7.3	Algorithmus: Erweiterung für große Stichproben, aber kurze Zeitreihen.....	245
7.3.1	Dynamik vs. Struktur – Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten	245
7.3.2	Beispielanalyse: Die Komplexitätshypothese der Karriereforschung	247
7.4	Algorithmus: PD2 – Zeitpunktbezogene Dimensionalität.....	255
7.4.1	Datenqualität, Voraussetzungen	260
7.4.2	Praktische Durchführung	261
7.4.3	Beispielanalyse: Komplexitätssprünge in den log>Returns des DAX – PD2-Analyse	267
7.5	Algorithmus: Zusammenfassen von Fokuspunkten.....	272
7.5.1	Datenqualität, Voraussetzungen	274
7.5.2	Praktische Durchführung	274
7.5.3	Beispielanalyse: Komplexitätssprünge in den log>Returns des DAX – PD2 für zusammengefasste Fokuspunkte	278

7.5.4	Beispielanalyse: Sich ändernde fraktale Strukturen in den log>Returns des Euro-Referenzkurses der EZB zum US-Dollar	281
7.5.5	Beispielanalyse: Phasenübergang und Hysterese bei Entscheidungen zur Marktprognose	285
7.6	Testen der Nullhypothese: BDS-Test.....	294
8	Chaos, Lyapunov-Exponent.....	299
8.1	Grundlagen: Exponentielle Divergenz im deterministischen Chaos.....	304
8.2	Algorithmus: Wolfs LLE	310
8.2.1	Datenqualität, Voraussetzungen	312
8.2.2	Praktische Durchführung	313
8.2.3	Beispielanalyse: Positiver LLE in den log>Returns des DAX – Wolf-Algorithmus	318
8.3	Algorithmus: Rosensteins LLE	321
8.3.1	Datenqualität, Voraussetzungen	325
8.3.2	Praktische Durchführung	327
8.3.3	Beispielanalyse: Positiver LLE in den log>Returns des DAX – Rosenstein-Algorithmus.....	331
8.4	Algorithmus: Kantzs LLE	333
8.4.1	Datenqualität, Voraussetzungen	333
8.4.2	Praktische Durchführung	334
8.4.3	Beispielanalyse: Positiver LLE in den log>Returns des DAX – Kantz-Algorithmus	339
8.5	Algorithmus: Lyapunov-Exponenten für nichtstationäre Zeitreihen	341
8.5.1	Datenqualität, Voraussetzungen	344
8.5.2	Praktische Durchführung	345
8.5.3	Beispielanalyse: Veränderung der Chaotizität des DAX	348
8.6	Algorithmus: Kolmogorov-Sinai-Entropie.....	352
8.6.1	Datenqualität, Voraussetzungen	360
8.6.2	Praktische Durchführung	360
8.6.3	Beispielanalyse: K2 der log>Returns des DAX.....	364
8.7	Algorithmus: PK2.....	367
8.7.1	Datenqualität, Voraussetzungen	369
8.7.2	Praktische Durchführung	369
8.7.3	Beispielanalyse: Kurzfristig maximale Entropie im DAX	372
9	Beinahe gleich ... Recurrence Plots	375
9.1	Grundlagen: Muster in Wiederholungen kennzeichnen die Systemdynamik	375
9.2	Algorithmus: Recurrence Plots	383
9.2.1	Datenqualität, Voraussetzungen	387
9.2.2	Praktische Durchführung	388
9.2.3	Beispielanalyse: Der DAX wiederholt sich	391

10	Wie komplex ist dieser Satz? – Komplexität von Symbolfolgen	397
10.1	Grundlagen: Qualitativ-symbolische Dynamik	397
10.2	Algorithmus: Klassische Informationstheorie	402
10.2.1	Wie man sich an den eigenen Haaren aus dem Sumpf zieht	407
10.2.2	Datenqualität, Voraussetzungen	411
10.2.3	Praktische Durchführung	412
10.2.4	Beispielanalyse: Fehlende Differenzierungsfähigkeit bei Karrieredaten	415
10.3	Algorithmen: <i>Symbolic Dynamics</i>	421
10.3.1	Datenqualität, Voraussetzungen	423
10.3.2	Praktische Durchführung	425
10.3.3	Beispielanalyse: Symbolabfolgen zeigen Unterschiede in der Komplexität von Karrieren	428
10.4	Algorithmus: Permutationsentropie und die Gruppe der GEntropien	430
10.4.1	Permutationsentropie	430
10.4.2	Die Gruppe der GEntropien	434
10.4.3	Datenqualität, Voraussetzungen	439
10.4.4	Praktische Durchführung	440
10.4.5	Beispielanalyse: Sind Change-Prozesse Phasenübergänge?	443
10.4.6	Beispielanalyse: Event-Studie über den Wechsel des Vorstandsvorsitzenden bei börsennotierten Unternehmen	448
10.4.7	Beispielanwendung: Identifikation von Geldwäsche und Terrorismusbekämpfung	458
10.5	Algorithmus: <i>Grammar Complexity</i>	461
10.5.1	Datenqualität, Voraussetzungen	465
10.5.2	Praktische Durchführung	466
10.5.3	Beispielanalyse: optimale Komplexität in Verhandlungen	470
11	Schlussbetrachtung	473
12	Literatur	477
13	Index	513