

Hermann Haken

Synergetik

Eine Einführung

Nichtgleichgewichts-Phasenübergänge und
Selbstorganisation in Physik, Chemie und Biologie

Übersetzt von A.Wunderlin

Zweite Auflage

Mit 160 Abbildungen

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York Tokyo 1983

Inhaltsverzeichnis

1. Das Ziel	
1.1	Ordnung und Unordnung: Typische Erscheinungen 1
1.2	Einige charakteristische Problemstellungen 12
1.3	Wie wir vorgehen. 16
2. Wahrscheinlichkeit	
2.1	Das Objekt unserer Untersuchungen: die Ergebnismenge 19
2.2	Zufallsvariable. 22
2.3	Wahrscheinlichkeit 23
2.4	Verteilungen 24
2.5	Zufallsvariable und Wahrscheinlichkeitsdichten 26
2.6	Die Verbundwahrscheinlichkeit 29
2.7	Erwartungswerte $E(X)$, Momente. 31
2.8	Bedingte Wahrscheinlichkeiten 32
2.9	Unabhängige und abhängige Zufallsvariable. 34
2.10*	Erzeugende Funktionen und charakteristische Funktionen. 35
2.11	Eine spezielle Wahrscheinlichkeitsverteilung: die BinomialVerteilung 37
2.12	Die Poisson-Verteilung 40
2.13	Die Normalverteilung (Gauß-Verteilung). 42
2.14	Die Stirlingsche Formel 44
2.15 *	Der zentrale Grenzwertsatz 44
3. Information	
3.1	Grundlegende Ideen 47
3.2*	Informationsgewinn. Eine anschauliche Herleitung 52
3.3	Informationsentropie und Nebenbedingungen 55
3.4	Ein Beispiel der Physik: Die Thermodynamik 61
3.5 *	Ein Zugang zur irreversiblen Thermodynamik 64
3.6	Die Entropie - Fluch der statistischen Mechanik? 74
4. Der Zufall	
4.1	Ein Modell für die Brownsche Bewegung. 77
4.2	Die Zufallsbewegung und ihre Master-Gleichung 83
4.3*	Verbundwahrscheinlichkeit und Wege. Markov-Prozesse. Die Chapman-Kolmogorov-Gleichung 88
4.3.1	Ein Beispiel für die Verbund Wahrscheinlichkeit: das Wegintegral als Lösung der Diffusionsgleichung 92

4.4 *	Über den Gebrauch von Verbundwahrscheinlichkeiten. Momente. Die charakteristische Funktion. Gauß-Prozesse	94
4.5	Die Master-Gleichung	97
4.6	Die exakte stationäre Lösung der Master-Gleichung für Systeme in detaillierter Bilanz.	99
4.7 *	Die Master-Gleichung bei detaillierter Bilanz. Symmetrisierung, Eigenwerte und Eigenzustände.	102
4.8*	Die Kirchhoffsche Methode zur Lösung der Master-Gleichung ..	105
4.9 *	Theoreme zu Lösungen der Master-Gleichung	108
4.10	Die Bedeutung von Zufallsprozessen. Stationärer Zustand, Fluktuationen, Wiederkehrzeit	109
4.11*	Master-Gleichung und Grenzen der irreversiblen Thermodynamik	113
5. Notwendigkeit		
5.1	Dynamische Prozesse.	115
5.1.1	Ein Beispiel: der überdämpfte anharmonische Oszillator.	115
5.1.2	Grenzzyklen.	121
5.1.3	Weiche und harte Moden, weiche und harte Anregungen.	122
5.2*	Kritische Punkte und Trajektorien in der Phasenebene. Grenzzyklen.	123
5.3*	Stabilität	131
5.3.1	Lokales Kriterium	133
5.3.2	Globale Stabilität (Ljapunov-Funktion).	135
5.4	Beispiele und Aufgaben zu Bifurkation und Stabilität	138
5.5*	Klassifikation von statischen Instabilitäten - ein elementarer Zugang zur Thomschen Katastrophentheorie.	145
5.5.1	Der eindimensionale Fall.	145
5.5.2	Der zweidimensionale Fall.	150
5.5.3	Der n-dimensionale Fall.	156
6. Zufall und Notwendigkeit		
6.1	Langevin-Gleichungen: ein Beispiel.	159
6.2*	Reservoirs und Zufallskräfte	165
6.3	Die Fokker-Planck-Gleichung	171
6.3.1	Die völlig deterministische Bewegung.	171
6.3.2	Ableitung der Fokker-Planck-Gleichung, eindimensionale Bewegung.	174
6.4	Einige Eigenschaften und stationäre Lösungen der Fokker-Planck-Gleichung	179
6.4.1	Die Fokker-Planck-Gleichung als Kontinuitätsgleichung.	179
6.4.2	Stationäre Lösungen der Fokker-Planck-Gleichung	180
6.4.3	Beispiele.	181
6.5	Zeitabhängige Lösungen der Fokker-Planck-Gleichung	186
6.5.1	Ein wichtiger Spezialfall: ein eindimensionales Beispiel.	186
6.5.2	Die Reduktion der zeitabhängigen Fokker-Planck-Gleichung auf eine zeitunabhängige Gleichung.	188

6.5.3 *	Eine formale Lösung	189
6.5.4*	Ein Iterationsverfahren.	190
6.6*	Die Lösung der Fokker-Planck-Gleichung mittels Wegintegralen	190
6.6.1	Der eindimensionale Fall.	190
6.6.2	Der «-dimensionale Fall.	193
6.7	Die Analogie zu Phasenübergängen.	193
6.8	Die Analogie zu Phasenübergängen in kontinuierlichen Medien: ortsabhängige Ordnungsparameter.	201
7. Selbstorganisation		
7.1	Organisation.	207
7.2	Selbstorganisation.	211
7.3	Die Rolle der Fluktuationen: Zuverlässigkeit oder Anpassungs- fähigkeit? Schaltung	217
7.4*	Adiabatische Elimination der schnell relaxierenden Variablen aus der Fokker-Planck-Gleichung	219
7.5*	Adiabatische Elimination der schnell relaxierenden Variablen aus der Master-Gleichung	222
7.6	Selbstorganisation in räumlich ausgedehnten Medien. Eine Dar- stellung der mathematischen Methoden.	223
7.7*	Die verallgemeinerten Ginzburg-Landau-Gleichungen für Nicht- gleichgewichtsphasenübergänge.	224
7.8*	Beiträge höherer Ordnung zu den verallgemeinerten Ginzburg- Landau-Gleichungen.	232
8. Systeme der Physik		
8.1	Kooperative Effekte beim Laser: Selbstorganisation und Phasen- übergang	235
8.2	Die Lasergleichungen im Modenbild.	236
8.2.1	Feldgleichungen.	236
8.2.2	Materiegleichungen.	237
8.3	Das Ordnungsparameterkonzept.	237
8.4	Der Einmodenlaser.	238
8.5	Der Vielmodenlaser.	242
8.6	Laser mit kontinuierlich vielen Moden. Die Analogie zur Supra- leitung.	244
8.7	Phasenübergänge erster Ordnung beim Einmodenlaser.	246
8.7.1	Der Einmodenlaser mit vorgegebenem äußeren Signal.	247
8.7.2	Der Einmodenlaser mit sättigbarem Absorber.	249
8.7.3	Höhere Instabilitäten.	250
8.8	Instabilitäten in der Flüssigkeitsdynamik: das Benard- und das Taylor-Problem.	251
8.9	Die Grundgleichungen.	252
8.10	Gedämpfte und neutrale Lösungen.	255
8.11	Die Lösung in der Umgebung $R = R_c$ (nichtlinearer Bereich). Die effektiven Langevin-Gleichungen.	257
8.12	Die Fokker-Planck-Gleichung und ihre stationäre Lösung.	260

8.13	Ein Modell für die statistische Dynamik der Gunn-Instabilität nahe der Schwelle.	264
8.14	Elastische Stabilität: Skizze einiger grundlegender Ideen.	269
9.	Systeme der Chemie und Biochemie	
9.1	Chemische und biochemische Reaktionen.	275
9.2	Deterministische Prozesse ohne Diffusion in einer Variablen	275
9.3	Reaktions- und Diffusionsgleichungen.	280
9.4	Ein Reaktions-Diffusions-Modell mit zwei oder drei Variablen: der Brusselator und der Oregonator.	283
9.5	Stochastisches Modell für eine chemische Reaktion ohne Diffusion. Geburts- und Todesprozesse. Eine Variable.	290
9.6	Stochastisches Modell für eine chemische Reaktion mit Diffusion. Eine Variable.	295
9.7*	Die stochastische Behandlung des Brusselators in der Umgebung seiner Instabilität, die mit einer weichen Mode verknüpft ist.	300
9.8	Chemische Netzwerke.	303
10.	Anwendungen in der Biologie	
10.1	Ökologie, Populationsdynamik.	307
10.1.1	Wettbewerb und Koexistenz.	308
10.1.2	Die Räuber-Beute-Beziehung.	310
10.1.3	Die Symbiose.	311
10.1.4	Einige allgemeine Bemerkungen.	311
10.2	Stochastisches Modell für ein Räuber-Beute-System.	312
10.3	Ein einfaches mathematisches Modell für evolutionäre Vorgänge sowie die Grundidee von Eigens Hyperzyklus.	313
10.4	Ein Modell zur Morphogenese.	315
10.5	Ordnungsparameter und Morphogenese.	318
10.6	Einige Bemerkungen zu den Modellen der Morphogenese.	329
11.	Soziologie und Wirtschaftswissenschaften	
11.1	Ein stochastisches Modell zur öffentlichen Meinungsbildung	333
11.2	Ein Ratengleichungsmodell zur öffentlichen Meinungsbildung	336
11.3	Phasenübergänge in der Wirtschaft.	337
12.	Chaos	
12.1	Was ist Chaos?	341
12.2	Das Lorenz-Modell - seine Begründung und Realisierung	342
12.3	Wie Chaos entsteht.	344
12.4	Chaos und das Versagen des Versklavungsprinzips.	350
12.5	Korrelationsfunktion und Frequenzverteilung.	351
12.6	Diskrete Abbildungen, Periodenverdopplung, Chaos, Intermittenz.	354
13.	Historische Bemerkungen und Ausblick	359
	Referenzen, weitere Literatur und Bemerkungen	363
	Sachwortverzeichnis	379