
Inhaltsverzeichnis

Schwierige Abschnitte und solche, die zum Verständnis nicht unbedingt benötigt werden, sind mit einem Stern gekennzeichnet.

1	Einleitung	1
1.1	Strukturen – wohin wir auch blicken	1
1.1.1	Strukturen aus Menschenhand	3
1.1.2	Strukturen des Lebens	3
1.1.3	Geordnete Strukturen der unbelebten Natur	4
1.1.4	Scheinbar ungeordnete Strukturen, Fraktale und Chaos	16
1.2	Wie entstehen Strukturen?	24
1.2.1	Das Dilemma der Thermodynamik	24
1.2.2	Die Grundideen der Synergetik	30
1.3	Der Kreis schließt sich: Von Organisation zu Selbstorganisation	41
1.4	Hinweis zum Lesen des Buchs	42
2	Die Thermodynamik und ihre Grenzen	43
2.1	Aufbau der phänomenologischen Thermodynamik	44
2.1.1	Zum Begriff der Temperatur	44
2.1.2	Die Wärmemenge	47
2.1.3	Innere Energie und Arbeit	47
2.1.4	Der Begriff des Systems in der Thermodynamik	49
2.1.5	Der erste Hauptsatz der Thermodynamik ...	50
2.1.6	Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik ...	53

2.1.7	Idealisierte Prozesse der Thermodynamik...	55
2.1.8	Der Carnotsche Kreisprozeß	59
2.1.9	Der maximale Wirkungsgrad	64
2.1.10	Die Festlegung der absoluten Temperatur...	66
2.1.11	Die Entropie.....	69
2.1.12	Die Vorzugsrichtung des Zeitpfeils.....	74
2.1.13	Das Grundproblem der Thermodynamik ...	75
2.1.14	Zusammenfassung	79
Anhang zu Kapitel 2.1		79
2.2	Zur statistischen Begründung der Thermodynamik.....	83
2.2.1	Einführung	83
2.2.2	Der Begriff der Information	86
2.2.3	Makroskopische und mikroskopische Zustände	88
2.2.4	Die Berechnung der Wahrscheinlich- keiten.....	92
2.2.5	Das Prinzip der unvoreingenommenen Schätzung und das Jaynessche Prinzip	102
2.2.6	Die Maxwellsche Geschwindigkeits- verteilung	103
2.2.7	Die statistische Begründung der Thermodynamik	118
3	Zur irreversiblen Thermodynamik	125
3.1	Vorbemerkungen	125
3.2	Die Hypothese des lokalen thermischen Gleichgewichts	127
3.3	Ein Beispiel: Die Wärmeleitung.....	131
3.3.1	Physikalische Grundlagen.....	131
3.3.2	Die Entropieproduktion	136
3.3.3	Verallgemeinerte Kräfte und Flüsse	139
3.3.4	Das Prinzip der minimalen Entropie- produktion	140
3.3.5	Ein weiteres Beispiel: Die Diffusion	145
3.4	Abschließende Bemerkungen.....	147

4	Der Laser als Paradigma der Selbstorganisation	150
4.1	Zum Begriff der Selbstorganisation	150
4.2	Aufbau eines Festkörperlasers	155
4.3	Zur Wechselwirkung zwischen Licht und Atomen	158
4.3.1	Die spontane Emission	161
4.3.2	Die Absorption	162
4.3.3	Die induzierte Emission	163
4.3.4	Zusammenfassung der beteiligten Prozesse	164
4.3.5	Eine Zwischenbetrachtung	169
4.3.6	Neuinterpretation der Lasergleichung (4-27)	173
4.4	Die Verknüpfung zwischen dem mikroskopischen und dem makroskopischen Geschehen	176
4.4.1	Phasenlage zwischen Atomen und Lichtfeld	176
4.4.2	Das Versklavungsprinzip	182
4.5	Konkurrenz und Koexistenz von Laserwellen	185
4.5	Das Rauschen einer Lampe bzw. eines Lasers	190
4.7	Die Analogie zu Phasenübergängen von Systemen im thermischen Gleichgewicht	200
5	Die grundlegenden Konzepte der Synergetik	205
5.1	Das Vorhaben	205
5.2	Die Analyse eines vorliegenden Systems	206
5.3	Ein Blick in die Theorie dynamischer Systeme	209
5.4	Die Bedeutung von Attraktoren	218
5.4.1	Stationäre Zustände und Attraktoren	218
5.4.2	Die Umgebung eines stationären Zustandes	219
5.4.3	Das Auftreten einer Instabilität	224
5.5	Das Versklavungsprinzip der Synergetik	225
5.5.1	Konsequenzen aus der Analyse der linearisierten Version	225

5.5.2	Die vollständigen nichtlinearen Gleichungen	226
5.5.3	Die Hierarchie der Zeitskalen	228
5.5.4	Formulierung des Versklavungsprinzips ...	231
5.5.5	Die Ordnungsparametergleichungen	233
*5.6	Charakterisierung der Instabilitäten	234
*5.7	Phänomenologische Synergetik	241
5.8	Makroskopische Synergetik	247
5.9	Ein Beispiel aus der Lasertheorie	247
6	Strukturbildung in Flüssigkeiten und Gasen	252
6.1	Einleitung	252
6.2	Das Bénardproblem	267
6.2.1	Vorstellung des Modells	267
6.2.2	Bedingungen für die Konvektionsinstabilität.....	272
6.2.3	Das Rollenmuster (Wolkenstraße)	279
*6.2.4	Ein mathematisches Modell	287
6.2.5	Höhere Instabilitäten des Rollenmusters ...	296
6.2.6	Bienenwabenmuster	300
6.2.7	Erweiterungen des Systems	301
6.2.8	Das Bénardproblem auf der Kugel	304
6.3	Das Taylorproblem	310
6.4	Einige Strömungsformen der Erdatmosphäre in den mittleren Breiten	315
6.4.1	Übersicht	315
6.4.2	Der „Antrieb“	315
6.4.3	Der Einfluß der Erddrehung.....	317
6.4.4	Atmosphärische Strömungen auf verschiedenen Maßstäben	321
6.4.5	Die mittleren Breiten	323
6.4.6	Eine Zusammenfassung	331
6.5	Zur Turbulenz	332
6.5.1	Zur Entstehung turbulenter Zustände	332
6.5.2	Ähnlichkeitsbetrachtungen bei der vollentwickelten Turbulenz	335

6.5.3	Der Trägheitsbereich	340
6.5.4	Zur statistischen Theorie der vollentwickelten Turbulenz	343
7	Strukturbildung in der Chemie	345
7.1	Einleitung	345
7.2	Mathematische Formulierung der Reaktions- gleichungen.....	346
7.3	Die Entstehung makroskopischer Strukturen	353
7.4	Ein typisches Beispiel, die Belousov- Zhabotinsky-Reaktion	359
8	Mustererkennung durch synergetische Computer	360
8.1	Einige Grundbegriffe der Mustererkennung	360
8.2	Eine Dynamik für zwei Merkmale.....	365
8.3	Eine Dynamik für viele Merkmale.....	369
8.4	Die Erkennung von Gesichtern	374
*8.5	Das mathematische Modell des synergetischen Computers	378
9	Aspekte chaotischen Verhaltens	381
9.1	Einleitung	381
9.2	Zeitlich kontinuierliche und diskrete Systeme	383
9.3	Die logistische Abbildung	387
9.3.1	Fixpunkte	387
9.3.2	Stabilität der Fixpunkte	390
9.3.3	Höhere Instabilitäten	392
*9.3.4	Zur mathematischen Formulierung der Selbstähnlichkeit im Fall der logistischen Abbildung	403
*9.3.5	Die Feigenbaumkonstante δ	411
9.3.6	Abschließende Bemerkungen	418
9.4	Andere Wege zum Chaos.....	419
9.4.1	Das Lorenzmodell	419
9.4.2	Die Smalesche Vorstellung	425

9.4.3	Der von Ruelle und Takens vorgeschlagene Weg	429
9.4.4	Die Intermittenz	431
9.5	Zurück zum Bénardproblem	432
9.6	Zur Charakterisierung des Chaos	434
9.6.1	Die Lyapunov-Exponenten	434
9.6.2	Die fraktale Dimension	436
9.7	Zusammenfassung	440
10	Grenzen und Fehlinterpretationen von Thermodynamik und statistischer Physik	442
	Programmiervorschläge	450
	Bildquellenverzeichnis	458
	Literaturverzeichnis	460
	Namen- und Sachwortverzeichnis	462