

# **Komplexe Strukturen: Entropie und Information**

Von

Prof. Dr. Werner Ebeling

Dr. Jan Freund

Dr. Dr. Frank Schweitzer

Humboldt-Universität zu Berlin



B. G. Teubner Stuttgart · Leipzig 1998

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Komplexität und Entropie</b>	<b>13</b>
1.1	Struktur und Ordnung . . . . .	13
1.2	Was sind komplexe Strukturen? . . . . .	17
1.3	Komplexität als Phänomen . . . . .	21
1.4	Quantifizierung der Komplexität . . . . .	25
1.5	Thermodynamische Entropie . . . . .	29
1.6	Statistische und informationstheoretische Entropie . . . . .	34
1.7	Entropie und Vorhersagbarkeit . . . . .	37
<b>2</b>	<b>Selbstorganisation und Information</b>	<b>40</b>
2.1	Entropie und potentielle Information . . . . .	40
2.2	Entropie und Selbstorganisation . . . . .	42
2.3	Zur Evolution der Informationsverarbeitung . . . . .	46
2.4	Gebundene und freie Information . . . . .	51
2.5	Strukturelle und funktionale Information . . . . .	54
2.6	Pragmatische Information . . . . .	58
2.7	Information und Kommunikation . . . . .	64
2.8	Selbstorganisation durch Information in einem Agentenmodell	68
2.9	Kollektive Information . . . . .	74

<b>3</b>	<b>Informationstheoretische Maße</b>	<b>80</b>
3.1	Nachrichten und Kommunikation . . . . .	80
3.2	Informationsquellen . . . . .	82
3.3	Das Shannonsche Informationsmaß . . . . .	87
3.4	Dynamische Entropien . . . . .	92
3.5	Sequenzen mit langem Gedächtnis . . . . .	103
3.6	Bedingte Entropien und Komplexität . . . . .	105
3.7	Kullback–Information und Transinformation . . . . .	108
3.8	RÉNYI –Entropien . . . . .	111
3.9	Thermodynamischer Formalismus . . . . .	116
<b>4</b>	<b>Dynamisch generierte Strukturen</b>	<b>122</b>
4.1	Strukturen und Symbolsequenzen . . . . .	122
4.2	Symbolische Dynamik . . . . .	124
4.3	Stationarität und Ergodizität . . . . .	134
4.4	Kolmogorov–Sinai–Entropie . . . . .	138
4.5	Der Satz von McMillan . . . . .	140
4.6	Die Feigenbaum–Route ins Chaos und Intermittenz . . . . .	143
4.7	Selbstähnliche und intermittente Symbolsequenzen . . . . .	154
4.8	Ein Komplexitätsvergleich . . . . .	172
<b>5</b>	<b>Entropie und Komplexität natürlicher Sequenzen</b>	<b>174</b>
5.1	Symbolfolgen und Symbolische Dynamik . . . . .	174
5.2	Blockentropie und bedingte Entropie . . . . .	177
5.3	Maße für Komplexität und Vorhersagbarkeit . . . . .	180
5.4	Das Fibonacci–Modell der Evolution komplexer Folgen . . . . .	185
5.5	Analyse natürlicher Sequenzen . . . . .	188
5.6	Struktur von Texten, Notenfolgen und Biosequenzen . . . . .	195
5.7	Diskussion der Komplexität natürlicher Symbolfolgen . . . . .	200

<b>6</b>	<b>Quantitative Ästhetik</b>	<b>206</b>
6.1	Naturwissenschaft und Ästhetik: Fünf Standpunkte . . . . .	206
6.2	Versuche einer quantitativen Ästhetik . . . . .	210
6.3	Birkhoffs mathematische Theorie der Ästhetik . . . . .	213
6.4	Statistische Analysen von Sprache und Stil . . . . .	217
6.5	Informationstheorie und Ästhetik . . . . .	222
6.6	Grenzen der quantitativen Ästhetik . . . . .	226
6.7	Ein Fazit am Schluß . . . . .	229
	<b>Literatur</b>	<b>233</b>
	<b>Namen- und Sachverzeichnis</b>	<b>260</b>