

Inhalt

Vorwort 19

TEIL I DAS EINFACHE UND DAS KOMPLEXE

1 Prolog: Eine Begegnung im Dschungel 35

2 Früher Erkenntnisdrang 45

Ein neugieriges Kind 46

Komplexe adaptive Systeme 52

3 Information und »grobe« Komplexität 60

Unbestimmtheit in der Quantenmechanik und in chaotischen Systemen 61

Verschiedene Arten von Komplexität 66

Grobkörnigkeit 68

Die Länge einer Beschreibung 70

Kontextabhängigkeit 72

Prägnanz und »grobe« Komplexität 74

Algorithmischer Informationsgehalt (*algorithmic information content, AIC*) 75

Definition des Begriffs »Information« 78

Komprimierung und Zufallsfolgen 79

Die Nichtberechenbarkeit des AIC 80

4 Zufälligkeit 84

Die Bedeutungen von »Zufall«	85
Zufallszahlen und die Monte-Carlo-Methode	86
Zufällig oder pseudozufällig?	88
Deterministisches Chaos in Finanzmärkten	90
William Shakespeare und die sprichwörtlichen Affen	91
Effektive Komplexität	93

5 Ein Kind, das eine Sprache erlernt 95

Eine Grammatik als partielles Schema	98
Komplexe adaptive Systeme und effektive Komplexität	99
Der Unterschied zwischen Regelmäßigkeit und Zufälligkeit	102
Die Identifikation bestimmter Klassen von Regelmäßigkeiten	103
Die Segmentierung des Datenstroms – übereinstimmende Informationen	105
Große effektive Komplexität und mittlerer AIC	105
Lernen mit den Genen und Lernen mit dem Gehirn	108

6 Bakterien, die eine Antibiotikaresistenz entwickeln 110

Die Entwicklung der Antibiotikaresistenz bei Bakterien	113
Die Evolution als komplexes adaptives System	118
Direkte Adaptation	120
Direkte Adaptation, Expertensysteme und komplexe adaptive Systeme	122

7 Die wissenschaftliche Erforschung der Welt 126

Falsifizierbarkeit und Ungewißheit	130
Selektionsdrücke, denen die Wissenschaft unterliegt	132
Vereinheitlichende und zusammenfassende Theorien	134
Die Einfachheit Großer Vereinheitlichter Theorien	138
Universelle Gravitation – Newton und Einstein	139

8 Die Macht von Theorien 144

»Bloß theoretisch«	146
Eine Theorie über Ortsnamen	146
Empirische Theorien – Das Zipfsche Gesetz	149
Skalenunabhängigkeit	154
Tiefe und Kryptizität	159
Ein hypothetisches Beispiel	161
Tiefe, genauer betrachtet	162
Tiefe und AIC	164
Kryptizität und Theorien	165

9 Was heißt »fundamental« 168

Die Sonderstellung der Mathematik	169
Chemie und Physik des Elektrons	171
Die Chemie auf ihrer eigenen Ebene	173
»Treppen« (oder »Brücken«) und Reduktion	174
Die für die Reduktion der Biologie erforderliche Information	176
Biochemie – effektive Komplexität und Tiefe	178
Leben: hohe effektive Komplexität – zwischen Ordnung und Unordnung	179
Psychologie und Neurobiologie – Bewußtsein und Gehirn	180

Konzentration auf Mechanismen oder Erklärungen –	
»Reduktionismus«	183
Einfachheit und Komplexität vom Quark bis zum	
Jaguar	185

TEIL II DAS QUANTENUNIVERSUM

10 Einfachheit und Zufall in der Quantenwelt 189

Das Standardmodell	191
Sogenannte Große Vereinheitlichte Theorien	192
Einstiens Traum	193
Wird der Traum Wirklichkeit? – Die Superstring-Theorie	195
Keine allumfassende Theorie	197
Der Anfangszustand und der (die) Zeitpfeil(e)	197
Wie der Anfangszustand ausgesehen haben könnte	199
Statt einer allumfassenden Theorie nur Wahrscheinlichkeiten für Geschichten	200
Regelmäßigkeiten und effektive Komplexität durch »eingefrorene« Zufallsereignisse	203

11 Eine moderne Interpretation der Quantenmechanik 205

Die Quantenmechanik und die klassische Näherung	205
Die approximative Quantenmechanik gemessener Systeme	206
Die moderene Interpretation	207
Der Quantenzustand des Universums	210
Alternative Geschichten auf der Galopprennbahn	213
Alternative Geschichten in der Quantenmechanik	214
Feinkörnige Geschichten des Universums	216
Grobkörnige Geschichten	217
Grobkörnigkeit kann Interferenzterme auswaschen	219

Dekohärenz grobkörniger Geschichten – echte Wahrscheinlichkeiten	220
Verknüpfung und Mechanismen der Dekohärenz	221
Wahrscheinlichkeiten und angezeigte Wettkurse	222
Dekohärenz für ein Objekt auf einer Umlaufbahn	222
Dekohärente Geschichten bilden einen Verzweigungsbaum	224
Hohe Trägheit und annähernd klassisches Verhalten	226
Fluktuationen	227
Schrödingers Katze	228
Zusätzliche Grobkönigkeit für Trägheit und der quasiklassische Bereich	230
Meßbarkeit und Messung	230
Ein IGUS – ein komplexes adaptives System als Beobachter	232
Selbstbewußtsein und freier Wille	234
Was zeichnet den quasiklassischen Bereich unserer Erfahrung aus?	236
Die Zweigabhängigkeit verfolgter Größen	238
Individuelle Objekte	239
Der proteische Charakter der Quantenmechanik	242
Gibt es viele nichtäquivalente quasiklassische Bereiche?	243
Heimstätte komplexer adaptiver Systeme	243

12 Quantenmechanik und unsinnige Behauptungen 246

Einstins Einwände gegen die Quantenmechanik	247
Verbogene Parameter	248
Bohm und Einstein	249
Das EPRB-Experiment	251
Das EPRB-Experiment und die Theorie der »verborgenen Parameter«	252
Die Verdrehung der Tatsachen	253
Ernstzunehmende potentielle Nutzanwendungen des EPRB-Effekts	254

13 Quarks und dergleichen: das Standardmodell 258

QED – Quantenelektrodynamik	258
Teilchen-Antiteilchen-Symmetrie	260
Quarks	261
Eingeschlossene Quarks	264
Farbige Gluonen	265
Quantenchromodynamik	266
QCD und Einfachheit	269
Elektron und Elektron-Neutrino – die schwache Wechselwirkung	270
Die Quantenflavordynamik und die neutrale schwache Wechselwirkung	274
Fermionen-Familien	274
Die Nullmassen-Näherung	278
Große und kleine Massen (bzw. Energien)	278
Spontane Symmetriebrechung	279
Die Verletzung der Zeitsymmetrie	281
Verletzung der Materie-Antimaterie-Symmetrie	282
Spin	283
Weshalb gibt es so viele Elementarteilchen?	283

14 Die Superstring-Theorie: die lange ersehnte Vereinheitlichung? 286

Der Niedrigmassen-Sektor	286
Die Renormierbarkeit des Standardmodells	287
Der Vergleich mit Beobachtungsdaten ist durchaus möglich	288
Grundeinheiten der Energie und anderer Größen	289
Teilchenmassen und die Grundeinheit	290
Die Bedeutung des Begriffs »Superstring«	292
Superpartner und neue Teilchenbeschleuniger	293
Die Annäherung an die Planck-Masse	295
Scheinbar viele Lösungen	296
Wirkung	297

Effektive Wirkung	299
Determiniert Zufall eine bestimmte Lösung?	300
Mehrfach-Universen?	301
»Anthropische Prinzipien«	303
Die Bedeutung des Anfangszustands	305

15 Zeitpfeile: vorwärts- und rückwärtslaufende Zeit 306

Strahlung und Spuren	307
Anfangszustand und Kausalität	308
Entropie und der zweite Hauptsatz der Thermodynamik	309
Mikrozustände und Makrozustände	310
Entropie als Unwissenheit	312
Die endgültige Erklärung: Ordnung in der Vergangenheit	313
Der Maxwellsche Dämon	315
Ein neuer Beitrag zur Entropie	317
Ausradieren oder durch den Reißwolf jagen	319
Entropie ohne Grobkörnigkeit ist nutzlos	320
Die Entropie der algorithmischen Komplexität	321
Die Zeitpfeile und der Anfangszustand	322
Das Erscheinen höherer Komplexität: eingefrorene Zufallsereignisse	323
Wird die Emergenz größerer Komplexität endlos fort dauern?	327

TEIL III AUSLESE UND EIGNUNG

16 Auslese in der biologischen Evolution und in anderen Bereichen 333

Gemeinsam sich entwickelnde Spezies	335
Punktiertes Gleichgewicht	337

Schleusenereignisse	339
Höhere Organisationsebenen als Folge von Vereinigungsprozessen	341
Kooperation von Schemata	342
Gibt es eine Triebkraft in Richtung einer höheren Komplexität?	344
Die Vielfalt ökologischer Gemeinschaften	348
Der biologische Begriff der Eignung	350
Eignungslandschaften	351
Gesamteignung	353
Das egoistische Gen und das »wahrhaft egoistische Gen«	354
Individuelle und Gesamteignung	354
Die Bedeutung der Sexualität für die Eignung	356
Tod, Reproduktion und Population in der Biologie	360
Die Auffüllung von Nischen	361
Täuschungsmanöver bei Vögeln	363
Kleine Schritte – große Veränderungen	365
17 Vom Lernen zum kreativen Denken	368
Ein Beispiel aus meiner persönlichen Erfahrung	369
Andere machen die gleichen Erfahrungen	371
Kann man die Phase der Inkubation beschleunigen oder überspringen?	374
Eine skizzenhafte Analyse in Begriffen einer Eignungslandschaft	374
Einige Regeln, wie man in eine tiefere Mulde entkommt	376
Übertragung von Denktechniken?	377
Funktionieren die verschiedenen angebotenen Methoden tatsächlich?	378
Formulierung und Eingrenzung eines Problems	379

18 Aberglaube und Skepsis 385

- Irrtümer bei der Identifizierung von Regelmäßigkeiten 386
- Das Mythische in Kunst und Gesellschaft 389
- Die Suche nach Mustern in der Kunst 390
- Ein moralisches Äquivalent für Glauben? 391
- Die Skeptikerbewegung 393
- Angebliche Manifestationen des Übersinnlichen? Was ist »das Übersinnliche«? 395
- Geistesstörung und Beeinflußbarkeit 397
- Skeptizismus und Wissenschaft 399
- Der Kugelblitz 400
- Fischregen 402
- Angebliche Phänomene, die den anerkannten naturwissenschaftlichen Gesetzen zuwiderlaufen 404
- Eine echte Begabung – das Lesen von Schallplattenrillen 405

19 Adaptive und dysadaptive Schemata 407

- Kulturelle DNS 408
- Die Entwicklung der Sprachen 411
- Adaptation versus adaptiv oder scheinbar adaptiv 412
- Dysadaptive Schemata – äußere Selektionsdrücke 413
- Von einflußreichen Personen ausgeübte Drücke 415
- Adaptive Systeme mit Menschen in der Schleife 417
- Das Überdauern dysadaptiver Schemata:
 - Reifungsfenster 420
 - Überdauern dysadaptiver Schemata: Zeitskalen 422

20 Lernende oder den Lernprozeß simulierende Maschinen 427

- Berechnung neuronaler Netze 427

Genetische Algorithmen als komplexes adaptives System	431
Simulation komplexer adaptiver Systeme	434
Eine Simulation biologischer Evolution	436
Ein Hilfsmittel zur Aufklärung über Evolution	439
Simulationen von Kollektiven adaptiv Handelnder	441
Regelgestützte und handlungsgestützte Mathematik	444
Wie man Wirtschaftswissenschaft spannender machen kann	446

TEIL IV VIELFALT UND BEWAHRUNG

21 Die bedrohte Vielfalt 455

Die Bewahrung biologischer Vielfalt	456
Die Bedeutung der Tropen	457
Die Rolle der Wissenschaft	458
Sofortmaßnahmen	460
Einbeziehung der Einheimischen	463
Ein breites Spektrum von Naturschutzpraktiken	465
Die Bewahrung kultureller Vielfalt	467
Das Spannungsverhältnis zwischen Aufklärung und kultureller Vielfalt	471
Universale Populärkultur	472
Die Informations (oder Desinformations?)-Explosion	473
Den Intoleranten tolerieren – ist das möglich?	473

22 Eine Welt, die zu bewahren sich lohnt 475

Der demographische Übergang	481
Der technologische Übergang	483
Der ökonomische Übergang	486
Der soziale Übergang	490

Der institutionelle Übergang 492
Der ideologische Übergang 494
Der informatorische Übergang 498

23 Nachwort 505

Register 517