

Inhalt

Vorwort

15

Prolog

Vorwärts und rückwärts

19

Wahrscheinliche und unwahrscheinliche Abläufe	19
Zeit in fundamentalen und effektiven Naturgesetzen	20
Mehrere gleichberechtigte Zeiten	21
Zeit der Gesetze und Zeit der Systeme	21
Wahrscheinliche und unwahrscheinliche Zustände	23
Ordnung und Unordnung	24
Naturgesetze und die »Richtung der Zeit«	26
Woher die Ordnung?	28
Exkurs: Zeit vor der Zeit des Urknalls?	29
Wiederaufnahme: Woher die Ordnung?	31
Abgezwigte Systeme	32
Gesetz ohne Gesetz?	34
Deterministisches Chaos	35
Naturgesetze und Naturkonstanten	38
Grobkörnigkeit und die »Richtung der Zeit«	40
Realität und Emergenz	40

1. Sprachliches, Religiöses und Philosophisches zu Zeit und Gesetz

42

Zeiterfahrung und Gesetze	42
Zeit und Schöpfungsmythen	43
Der Schlund der Zeit	45
Rationale Mythen	46
Die Welt kann verstanden werden	48
Einfluß der Zeit auf die Dinge? Der Dinge auf die Zeit?	49
Götter und Himmelskörper	53
Tabellen, Geometrie und Gesetze	54
Urstoffe und Wandel	55
Werden und Änderung vs. Sein und Dauer	58
Funktion und Grenzwert	59
Zenon von Elea	62
Platon	63
Aristoteles	64
Straton und die Stoiker	67
Von Augustin zu Leibniz	68
Kant	72

2. Naturwissenschaftliches zu Zeit und Gesetz

73

Systeme und ihre Zustände	73
Ursachen und Wirkungen	75
Luftwiderstand und Zeitumkehrsymmetrie	77
Effektive Naturgesetze	78
Ordnung, Unordnung und Korrelationen	80
Vergroßerungen – I	81
Raum und Phasenraum	83
Fundamentale und irdische Physik	84
Planetarische Physik	85
Programme und Naturgesetze	86
Komprimierbarkeit	87
Gödel auch hier!	89
Formulierungen, Interpretationen und Verständnis	90

3. Zeit als Parameter

91

Newtons Absolute Zeit	91
Einzelbegriffe und Systeme	92
Falsifizierbarkeit	94
Gödel abermals	95
Zeit der Theorie und der wirklichen Welt	97
Gleichzeitigkeit à la Newton	101
Newtonsche Zeitmessungen	102
Newtons Zeit in der wirklichen Welt	106
Realität und Objektivität der Zeit	108
Zeit als Etikett	109
Wiederaufnahme: Vorwärts und rückwärts	110
Tatsachen und Gesetze	111
Zeit als Observable	113
Spezielle Relativitätstheorie	114
Erkenntnistheoretische Vorbemerkung	114
Abschirmungen	117
Absolute und relative Bewegung	118
Spiegelbilder und das Leibnizsche Prinzip der Identität des Ununterscheidbaren	121
Die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit	123
Einsteins Zug	129
Ereignisse	130
Gleichzeitigkeit	131
Zeitliche Reihenfolgen	133
Geschwindigkeiten von Signalen	133
Zusammenfassung	136
Bewegte Uhren gehen langsamer	137
Zwillingsparadox	140
Der Mechanismus des Zwillingsparadox	143
Das Prinzip der maximalen Alterung	145
Freier Fall und Allgemeine Relativitätstheorie	146
Lineale und Uhren	148
Uhren im Schwerfeld	151
Das Prinzip der maximalen Alterung in der Allgemeinen Relativitätstheorie	154

4. Die Richtung der Zeit

157

Uhren	157
Exkurs: Besonderheiten der Schwerkraft	160
Wiederaufnahme: Uhren	161
Maschinen, die nicht rückwärts laufen können	162
Perpetuum mobile zweiter Art	163
Zusammenfassung	165
Energieumsatz und die »Richtung der Zeit«	166
Expansion, Kontraktion und die »Richtung der Zeit«	170
Gewimmel der Atome	172
Wann Wiederkehr?	174
Energieverteilungen	175
Temperatur als Mittelwert der Bewegungsenergie	177
Umkehrinwand	180
Vergroberungen – II	183
Molekulares Chaos	185
Manifeste und verborgene Ordnung	187
Pfeil der Abläufe, nicht der Zeit	188
Illustration	189
Wärmebewegung und Pendelschwingung	190
Abweichungen vom Gleichgewicht	194
Kosmische Hintergrundstrahlung	196
Materie, Strahlung und Ordnung	198
In Teilsystemen kann die Ordnung wachsen	199
Thermodiffusion als Beispiel	199
Heiße und kalte Wärmestrahlung	202
Woher die Ordnung, die abgebaut wird?	204

5. Zeitliche Symmetrien

205

Symmetrie und Unbeobachtbarkeit	205
Symmetrien von Naturgesetzen	206
Zeitverschiebungssymmetrie	208
Energieerhaltung und Zeitverschiebungssymmetrie	209

Die sieben Spiegel der Elementarteilchenphysik	211
Die Naturgesetze sind nicht P -spiegelsymmetrisch	212
Die Naturgesetze sind nicht C -spiegelsymmetrisch	214
PC -Symmetrie der Naturgesetze	215
... und ihre Brechung	216
Das PCT -Theorem	218
PCT -Theorem und PC -Verletzung erzwingen T -Verletzung in den Naturgesetzen	220
Starre Theorien	221
Metrische und topologische Zeit	223
Uhren und Geometrie	225
Zeit des Universums und in ihm	226
Was aber ist Zeit?	228

6. Zeit in der Quantenmechanik

232

Wahrscheinlichkeiten, klassisch	233
Wahrscheinlichkeiten, quantenmechanisch	234
Quantenmechanische Korrelationen ohne Übertragung und ohne gemeinsame Wurzel	240
Verfestigungen	242
Verfestigungen jetzt	244
»Geisterartige Wirkungen« wirken nicht	246
Verborgene »Elemente der Realität«?	247
Unauflösbare Verschränktheiten	247
Analyse und Synthese	248
Globale und lokale Eigenschaften	249
Indeterminismus der Quantenmechanik	251
Kopenhagener Deutung und Schrödingers Katze	252
Radioaktive Zerfälle und die »Richtung der Zeit«	254
Woher die klassische Welt?	255
Allgemeine Relativitätstheorie und Quantenmechanik im frühen Universum	256
Unschärferelationen	257
Superraum und Quantenmechanik	259
Zeit und die Wellenfunktion des Universums	260

Lösungen der Wheeler-De Witt-Gleichung	261
Von nichts und Nichts	262
Anfangsbedingungen	263
Das Hartle-Hawking-Universum	265
Konzeptionen der Quantenkosmologie	266
Schwarze Löcher, klassisch	267
Schwarze Löcher, quantenmechanisch	268
»Öffentliche« und »private« Eigenschaften Schwarzer Löcher	270

7. Reduktionistisches zu Zeit und Gesetz

274

Sinnkriterien naturwissenschaftlicher Aussagen	274
Basissätze und theoretische Konstruktionen	275
Realität oder gar Existenz theoretischer Konstruktionen	276
Die Realität von Naturgesetzen	278
Bertrand Russell und die Kenntnis der Außenwelt	279
Ludwig Boltzmann und die »Existenz« der Atome	280
Außenwelt bei Stegmüller	281
Ebenen der Beschreibung	282
Einzel Tatsachen und Systeme	283
Emergenz und Reduktionismus	284
Emergenz und Denkmaschinen	286
Beziehungen zur Wärmelehre	289
Auftritt des Zufalls	291
Spontane Symmetriebrechung	292
. . . und der Satz vom zureichenden Grunde	293
Zufall, Chaos und Determinismus	295
Historische Zufälle	297

Epilog

303

Naturgesetze und unsere Stellung auf der Oberfläche der Erde	303
Naturgesetze und unsere Stellung im Universum	306
Anthropische Prinzipien	308

Ein anthropisches System	310
Naturkonstanten	312
Bedingte Wahrscheinlichkeiten der Naturkonstanten	313
Wiederaufnahme: Vorwärts und rückwärts	313
Zeit in der Quantenmechanik	315
Anthropisches Prinzip und Reduktionismus	316

Dank

319

Anhang

321

Anmerkungen	323
Zitatnachweis	324
Literatur	328
Bildnachweis	335
Namenverzeichnis	336