

Inhalt

Vorwort **Immer nur Dinge** 13

1. Prolog **Physik und Metaphysika** 17

Hohlraumstrahlung	17
Die Torricellische Revolution	18
Stoffe und Formen	21
Etwas, leerer Raum und Nichts	21
Welten im Leeren	22
Probekörper	23
Geschwindigkeit des leeren Raumes	24
Der Raum und die Naturgesetze	27
Quantifizierung von »etwas«	27
Phasenübergänge	28
Das Higgs-Feld und die virtuellen Teilchen	29
Negative Energien	29
Bewegung und Ordnung	30
Symmetrien von Objekten	31
Ordnung, Chaos und Symmetrie	32
Symmetrie und leerer Raum	34
Abgeschlossene Systeme	34
Symmetrien von Naturgesetzen	36
Noch einmal: Symmetrien und leerer Raum	38

Kräfte im Leeren	41
Urstoffe physikalisch	43
Urstoffe als Denkmöglichkeiten	46
Experimente zum Leeren	47
Vakuum und Urknall	50
Zeit und / oder Raum	52
Naiver Realismus	53

2. Nichts niemand nirgends nie Philosophisches, Sprachliches und Religiöses zum Nichts

54

Schöpfungsgeschichten	55
Zeit vor der Zeit des Urknalls?	57
Eigenschaften des Raumes	61
Der Raum und die Körper	69
Vorsokratiker und moderne Ideen	71
Urstoffe	74
Sein und Werden	75
Parmenides: Sein, Denken und Sprache	77
Nichts und leerer Raum	78
Wandel durch mehrere Urstoffe	79
Die Klepshydra: Ein Experiment!	80
Anaxagoras	82
Bewegung und leerer Raum	85
Die frühen Atomisten	86
Atome und leerer Raum	87
Bewegung im Leeren und Vollen	88
Die Welten Demokrits und ihre Deutung	91
Pythagoras	92
Platon	95
Aristoteles	99
Raum und Bewegung	99
Raum und Ort	103
Das System des Aristoteles als Standardmodell	107
Variationen zum Standardmodell	108
Der Rand der Welt	108

Das Pneuma der Stoiker und der Äther	111
Die Atomisten Epikur und Lukrez gegen Aristoteles	112
Zwei Auffassungen vom Raum	113
Stratons Experimente zum Vakuum	115
Plotin und eine Interpretation der jetzigen Physik	115
Gottes Platz im Universum	119
Wiederaufnahme: Raum als Lagequalität und Behälter der Körperwelt	119
Aristoteles und die christliche Lehre	123
Scholastisches zum Leeren	124
Substanzen im Leeren?	127
Wirkliches und imaginäres Vakuum	127
Horror vacui	128

3. Was sich dem Nichts entgegenstellt Annäherungen an das Vakuum

130

Was Leere bewirken würde	130
Das Gewicht der Luft	132
Freier Fall im (möglichst) luftleeren Raum	133
Extrapolation bei Galilei	133
Leerer Raum hergestellt!	135
Vakuumentperimente vor Torricelli	135
Frühe Vakuumtechnik	139
Mikro- und Makrovakua	139
Mechanismen und	142
. . . Abstraktionen	142
Gassendi und die mechanistische Philosophie	143
Das Torricelli-Experiment	145
Luftdruck und der Horror vacui	146
Steighöhe und das Gewicht der Flüssigkeit	149
Wie leer ist die Torricellische Leere?	149
Wasser und Wein	150
Zwei Fragen	151
Das Gewicht des Vakuums	151
Leere innerhalb der Leere	153
Hängt der Horror vacui von der Höhe ab?	154

Otto von Guericke und die ersten Luftpumpen	156
Das Leere experimentell	162
Änderungen des Luftdrucks	163
Die Magdeburger Halbkugeln	164
Robert Boyle	165
Descartes	167
Begrenzte, unbegrenzte und unendliche Welt?	174
Abstand, Ausdehnung und der Rand der Welt	178
Druck und Leere	179
Abbruch, Umbruch und Aufbruch	181

4. Dinge in dem Leeren Äther, Raum und Felder

182

Newtons Raum und Zeit	183
Raum und Bewegung	185
Raum und Fixsternhimmel	188
<i>De Gravitatione</i>	193
Die Kontroverse Leibniz-Newton	194
Masse und Gewicht	195
Massepunkte	198
Zwischenträger der Schwerkraft?	199
Instabilitäten endlicher und unendlicher Welten	200
Kräfte beim freien Fall	201
Licht und Äther bei Newton und Huygens	204
Maxwells Gleichungen vereinen Elektrizität, Magnetismus und Licht	209
Geschwindigkeit des Lichtes und des Äthers	209
Lichtgeschwindigkeit und Relativitätstheorie	211
Die Geschwindigkeit des Universums und die Naturgesetze	213
Bewegung und Geometrie	214
Raum, Zeit und das metrische Feld	219
Feldtheorien – klassisch und quantenmechanisch	222

5. Alles voll Gewimmels

Das Quantenvakuum

224

Licht als Anregung des Raumes	224
Schwingungen des Raumes und im Raum	225
Hohlraumstrahlung	226
Thermisches Gleichgewicht und leerer Raum	227
Galileis Methode der Extrapolation, auf die Temperatur angewendet	229
Der Casimir-Effekt	229
Atome im Leeren	233
Bewegung gegenüber der Hohlraumstrahlung	233
Warum das Vakuum kompliziert ist: Erste Zusammenfassung	235
E gleich m mal c -Quadrat	237
Antiteilchen	238
Unschärferelation	240
Unschärfe und Anschauung	244
Wahrscheinlichkeiten	246
Nullpunktsenergie	247
Vakuumfluktuationen	249
Realität der Nullpunktsenergie	250
Atome, Felder und Energie	251
Warum das Vakuum kompliziert ist: Zweite Zusammenfassung	253
Licht und Ladungen im Vakuum	254
Definition des Vakuums	256

6. Die sich immerfort selbst erzeugen

Teilchen und Felder

258

Ortsmessungen	258
Elektronen in Atomen	265
Felder, Äther und leerer Raum	266
Observable der Quantenmechanik	270
Teilchen als Felder und Felder als Teilchen	270
Raum ohne Teilchen, Felder und Energie?	271
Physik bei kurzen Abständen	271

LEP: Eine Maschine zur Untersuchung des Vakuums	272
Übergänge in das und aus dem Vakuum	275

7. Natur sei, wie sie sei

Spezielle Systeme

278

Spontane Entstehungen	278
Das Higgs – ein ganz besonderes Teilchen	279
Anregungen	287
Zusammensetzung der Wärmestrahlung bei verschiedenen	
Temperaturen	288
Experimente zur Hohlraumstrahlung	289
Experimente zum Quark-Gluon-Plasma	291
Vakuumpolarisation	294
Farbladungen im Vakuum	296
Zitterbewegung und Lamb-Verschiebung	298
Streuung von Licht an Licht	301
Spontane Paarerzeugung in starken Feldern	302
Hawking-Strahlung Schwarzer Löcher	303

8. Nothing is real

Das Universum als Ganzes

311

Geometrische Theorien und die Dimensionen von Raum und Zeit . . .	312
Das Anthropische Prinzip	313
Woher das Universum?	315
Das Hartle-Hawking-Universum	319
Kosmologisches Prinzip	321
Epochen	323
Wechselwirkungen	325
Quantenzahlen des Universums	328
Inflation und Drehung des Universums	330
Noch einmal: Chaos, Ordnung und Symmetrie	331
Spontane Symmetriebrechung	333

Paradigma Ferromagnet	334
Defekte in Kristallen	336
Effektive Naturgesetze	338
Goldstone-Theorem	339
Buridans Esel	340
Mathematik der spontanen Symmetriebrechung	343
Inflation	344
Symmetriebrüche	345
Higgs-Symmetriebrechung	346
Vakuumenergie	347
Energie Null?	348
Mechanismus der Inflation	350
Ende der Inflation	350
Von der Inflation zum heißen Urknall	351
Flachheitsproblem und Inflation	354
Dunkle Materie	355
Was dominiert das Universum?	357
Kosmologische Konstante	358

9. Epilog

Physik und Metaphysika

361

Bereiche	361
Modifikationen des Leeren	362
Notwendigkeit und Kontingenz	364
Woher die quasiklassische Welt?	368
Ansätze	371
Dank	372

Anhang

373

Anmerkungen	375
Zitatnachweise	389
Quellen der Zitate aus Abbildungstexten	398

Literatur	399
Bildnachweis	409
Namenverzeichnis	411