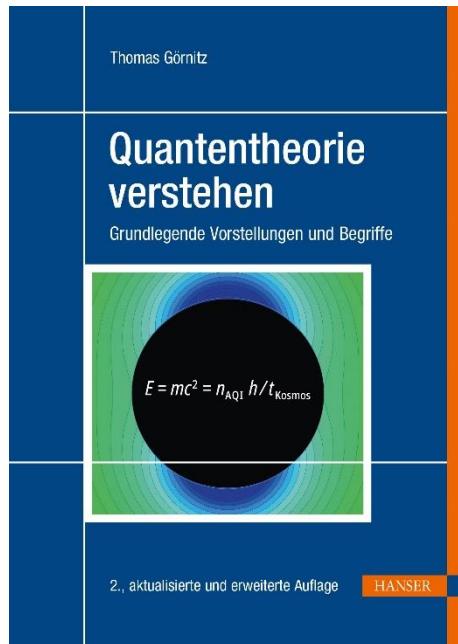


# HANSER



## Leseprobe

zu

## Quantentheorie verstehen

von Thomas Görnitz

Print-ISBN: 978-3-446-48026-1

E-Book-ISBN: 978-3-446-48054-4

Weitere Informationen und Bestellungen unter  
<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446480261>  
sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

# Inhalt

<b>Vorwort .....</b>	<b>XVII</b>
<b>1 Reale und mögliche Strukturen als Triebkraft der Natur .....</b>	<b>1</b>
1.1 Einstein und Weizsäcker über die Grundlagen der Naturwissenschaft .....	4
1.2 Ein wenig Mathematik .....	8
1.2.1 Raum .....	8
1.2.2 Einige weitere mathematische Begriffe .....	10
1.3 Ein Blick auf die Grundlagen der Naturwissenschaft .....	14
1.3.1 Alltag, Quanten und noch etwas Mathematik .....	16
1.3.2 Wie gelangt der Mensch zu Naturgesetzen? .....	20
1.4 Die Beziehungen der physikalischen Strukturen .....	24
1.4.1 Theoriebereiche der Physik .....	24
1.4.2 Der Geltungsbereich der Physik .....	25
1.4.3 Ein Blick auf die Strukturen der Quantentheorie .....	25
1.4.4 Quantentheorie und das Verhältnis von Fakten und Möglichkeiten	33
1.4.5 Beziehungen zwischen Quantenfeldtheorie und Relativitätstheorie	33
1.4.6 Relativitätstheorien .....	34
1.5 Ein Überblick auf Einteilungen der Quanten .....	35
1.6 Fakten, Möglichkeiten, Quantisierung .....	38
1.6.1 Die fundamentalen Wechselwirkungen .....	39
1.6.2 Elektromagnetische Wechselwirkung und die Existenz der Objekte .....	39

1.7	Zum Verhältnis von Physik, Chemie und Biologie .....	40
1.7.1	Photonen in der Chemie .....	43
1.7.2	Virtuelle Teilchen in der Chemie .....	44
1.7.3	Weitere interessante Quanteneffekte .....	47
1.7.4	Einfluss der Information auf die Steuerung biochemischer und biologischer Prozesse .....	48
1.7.5	Kein Widerspruch zwischen Biologie und Physik! .....	49
1.8	Die Unterscheidung zwischen Inhalt und Form, zwischen Teilen und Ganzheit .....	52
1.8.1	Quantentheorie und Hylemorphismus .....	52
1.8.2	Teile werden zu Ganzheiten .....	54
1.8.3	AQIs und Qubits – was ist gleich, was verschieden? .....	55
1.8.4	Form und Inhalt in der Chemie .....	57
1.8.5	AQIs versus Bedeutung .....	58
1.8.6	Was ist zu erwarten .....	59
<b>2</b>	<b>„Erklären“ in der Physik .....</b>	<b>61</b>
2.1	Erklären mit Quantenfeldtheorie .....	63
2.2	Ein Blick auf das Erforschbare .....	65
2.3	Regeln und Gesetze durch „Näherungen“ .....	66
2.4	Interpretationen von Objektivem und Subjektivem .....	73
<b>3</b>	<b>Inspiration und Induktion, Theorie und Experiment .....</b>	<b>81</b>
3.1	Wahrscheinlichkeiten als Maß für Möglichkeiten .....	82
3.2	Bilder von Möglichkeiten? .....	83
3.3	Inspiration .....	84
3.4	Erstellen von Theorien, ihre Akzeptanz und ihre Bestätigung .....	86
<b>4</b>	<b>Quanten und Schwarze Löcher .....</b>	<b>91</b>
4.1	Das erste Bild von einem „Schwarzen Loch“ .....	91
4.2	Fundamentale Quantentheorie und die Schwarzen Löcher .....	93
4.3	Vom „Schwarzen Loch“ zum „It from Bit“ .....	99
4.3.1	Thermodynamik: Black Holes strahlen .....	99
4.3.2	Die Vorgeschichte zum „It from Bit“ .....	105
4.4	Das „It from Bit“ und seine Probleme .....	106
4.5	Zur Bedeutung der Planck-Einheiten .....	111
4.6	„Mysteriöse Eigenschaften“ der Schwarzen Löcher .....	114

<b>5 Bits, Qubits und AQIs .....</b>	<b>117</b>
5.1 Computing und Quantencomputing .....	117
5.2 Die Bits beim Quantencomputing und der Unterschied zu den AQIs .....	119
5.3 Quantencomputing ist reversibel .....	121
5.4 Das Gehirn als Quantencomputer? .....	125
5.5 Analogien und Unterschiede zwischen Bewusstsein und Computer .....	130
5.6 Wahrnehmung von Gestalten und Kräften durch Lebewesen .....	136
5.7 Künstliche Intelligenz (KI) und Mustererkennung .....	141
<b>6 Der Weg aus der Sackgasse der „kleinsten Teilchen“ .....</b>	<b>145</b>
6.1 Prototypsis – der Ausweg aus der Sackgasse .....	148
6.2 Der historische Weg zur Prototypsis .....	153
<b>7 Grundprinzipien von klassischer und quantischer Physik .....</b>	<b>157</b>
7.1 Kennzeichen der klassischen Physik .....	158
7.2 „Bedeutung“ und die Unterscheidung zwischen Form und Inhalt .....	160
7.3 Form als bedeutungsvolle Information .....	161
7.4 Quantentheorie – Ausgedehnte Ganzheit, Verschränkung, Nichtlokalität	162
7.4.1 Tunneleffekt .....	165
7.4.2 EPR-Gedankenexperiment .....	166
7.4.3 Eine Veranschaulichung des EPR-Experimentes .....	168
7.5 Zu welchen Strukturen hat die Quantentheorie geführt? .....	173
7.6 Die AQIs der Prototypsis .....	175
7.7 Der Physik-Nobelpreis 2022 für Verschränkung und Nichtlokalität .....	179
7.7.1 Einstein und die Nichtlokalität der Quantentheorie .....	180
7.7.2 Die Bellsche Ungleichung .....	181
7.7.3 Clausers Experiment 1972 .....	182
7.7.4 Aspects Experiment 1982 .....	182
7.7.5 John Bells Reaktion .....	183
7.7.6 Zeilingers Experimente zur Nichtlokalität in der Quantentheorie	184
7.7.7 Zeilinger und das „Beamen“ .....	185
7.7.8 Der „Messprozess“ als Spezialfall des Übergangs von Möglichkeiten zu Fakten .....	186
7.7.9 Ein Blick auf meine fachliche Diskussion mit C. F. v. Weizsäcker ..	187
7.7.10 Qubits als Eigenschaften von Objekten und AQIs als Basisstrukturen der Quantentheorie .....	188

7.7.11	Die Versuche zur Teleportation, dem Beamen .....	189
7.7.12	Abhörsichere Kommunikation .....	191
7.8	Die Dynamische Schichtenstruktur – Koexistenz von klassischer und quantischer Physik .....	193
7.8.1	Schrödingers Katze und Schrödingers Kätzchen .....	195
7.8.2	Dynamische Schichtenstruktur und Quantencomputing .....	198
7.8.3	Ignorabilia und kritische Vorannahmen .....	199
<b>8</b>	<b>Ein Blick auf die „Zeit“ .....</b>	<b>201</b>
8.1	Wie wird Zeit wahrgenommen und eingeteilt .....	201
8.1.1	Fakten gliedern die Zeit .....	202
8.1.2	Aussagen über die Zeit .....	203
8.1.3	Die moderne Physik und die Zeit – Relativitätstheorien und Quantenphysik .....	203
8.1.4	Quantentheorie über die Zeit .....	205
8.1.5	Die Planck-Zeit .....	208
8.2	Reversibilität und Zeitumkehr .....	209
8.3	Die „ausgedehnte Gegenwart“ als Grundzug der Quantentheorie .....	211
8.4	Fakten und klassische Physik .....	213
8.5	Was war „vor“ der Zeit? .....	215
8.6	Der Beginn der Zeit .....	216
8.7	Ein „Ur-Hauch“, ein „Quantum“, statt „Urknall“.....	217
<b>9</b>	<b>Grundlagen der Empirie .....</b>	<b>221</b>
9.1	Erfahrung und Empirie in der Naturwissenschaft .....	222
9.2	Die Empirie und die Zeit .....	224
9.3	Transzendentale Hypothesen .....	231
9.4	Zeit und Naturgesetze .....	233
9.5	Eine realistische Weltbeschreibung .....	235
<b>10</b>	<b>Das Zählen von Fakten und von Möglichkeiten .....</b>	<b>237</b>
10.1	Zwischenspiel .....	237
10.2	Zählen und Zahlen .....	241
10.3	Das Unendliche .....	244
10.4	Unendliches in der Physik? .....	247
10.5	Fakten, Möglichkeiten, Freiheit .....	251
10.6	Die Notwendigkeit der komplexen Zahlen .....	260

<b>11 Das Entstehen der Fakten in der Natur .....</b>	<b>265</b>
11.1 Der Messprozess aus Sicht der Protyposis .....	265
11.1.1 Warum schenkt man dem sogenannten Messprozess eine so große Aufmerksamkeit? .....	265
11.1.2 Zur Interpretation des Messprozesses in der Quantenmechanik	268
11.2 Die dynamische Schichtenstruktur und der Messprozess .....	273
11.3 Die umfassende Rolle der physikalischen Information .....	279
11.4 Schlussfolgerungen mit der Protyposis .....	290
11.4.1 Protyposis: Fakten auch ohne Beobachter .....	292
11.4.2 Der Quanten-Zenon-Prozess .....	297
11.4.3 Verlust von „Bedeutung“, jedoch nicht von absoluter Information	298
11.4.4 Massereiche Objekte erscheinen lokalisiert .....	299
11.5 Die Protyposis macht den Messprozess begreiflich .....	303
<b>12 Die Protyposis und das Ganze .....</b>	<b>307</b>
12.1 Ein wichtiger Unterschied zwischen Astronomie und Kosmologie .....	307
12.2 Das Ganze ist der Kosmos .....	310
12.3 Unbekannte Information – Thermodynamik .....	311
<b>13 Reflexionen über die AQIs .....</b>	<b>315</b>
13.1 Der Weg zu den quantischen Zuständen .....	315
13.2 Komplexes aus Einfachem .....	316
13.3 AQIs – ein einleuchtendes Postulat .....	318
<b>14 Symmetriegruppen für Quantensysteme .....</b>	<b>325</b>
14.1 Der Weg zu den Symmetrien für das Quantenbit .....	327
14.2 Symmetrien an Quantensystemen mit einem zweidimensionalen Zustandsraum .....	333
14.2.1 Die normerhaltende $SU(2)$ -Symmetrie .....	334
14.2.2 Der Übergang von der $SU(2)$ zur $SL(2, C)$ .....	338
<b>15 AQIs und die Planck-Länge .....</b>	<b>341</b>
15.1 Die gruppentheoretische Definition der Metrik im kosmischen Raum ...	343
15.2 Die gruppentheoretische Begründung der Planck-Länge mit der Protyposis .....	347

<b>16 Kosmologie und die Äquivalenz von Masse, Energie und absoluter Quanteninformation .....</b>	<b>355</b>
16.1 Kosmologische Vorüberlegungen .....	355
16.2 Ein Blick auf Kosmologie und Allgemeine Relativitätstheorie .....	361
16.3 Kosmologische Variable .....	364
16.4 Die Erweiterung von $E = mc^2$ auf die AQIs .....	367
16.5 Die Energie eines AQIs .....	370
16.6 Die wichtige Unterscheidung zwischen AQIs und Entropie .....	371
16.7 Das „It from Bit“ muss reflektiert werden .....	372
16.8 Die zeitliche Entwicklung des Kosmos .....	380
16.9 Die Zustandsgleichung des Kosmos .....	383
16.10 Von der quantischen zu einer faktischen Beschreibung der kosmischen Entwicklung .....	389
16.11 Eine Nachbemerkung zur kosmologischen Konstante .....	392
<b>17 Einige Gedanken über den realistischen Kosmos der Protyposis .....</b>	<b>397</b>
17.1 Ein Bild der kosmischen Entwicklung .....	397
17.2 Aspekte von Kosmologie und Naturphilosophie .....	403
17.3 Zusammenfassung der Argumentationslinie .....	407
17.4 Die Metrik der Protyposis-Kosmologie .....	408
17.5 Eine unzeitgemäße Überlegung .....	412
17.6 Der empirische Input .....	413
<b>18 Gravitation als Wirkung des Kosmos auf seinen Inhalt .....</b>	<b>417</b>
18.1 Einstein über Kosmologie und Verbindungen von Allgemeiner Relativitätstheorie zur Newtonschen Theorie .....	417
18.2 Die Lösung des Konsistenzproblems zwischen Allgemeiner Relativitätstheorie und Quantentheorie .....	419
18.3 Naturphilosophische Fragen zur Interpretation der Allgemeinen Relativitätstheorie .....	424
18.4 Eine Begründung von Einsteins Gleichungen aus der Quantentheorie der AQIs .....	430
18.5 Vom Kosmos zur Allgemeinen Relativitätstheorie! .....	435
18.6 Die Verbindung zur Empirie .....	437
18.7 Die wesentlichen Strukturen im Kosmos .....	440

<b>19 Lösungen für Probleme der gegenwärtigen Kosmologie . . . . .</b>	<b>445</b>
19.1 Das Koinzidenz-Problem . . . . .	445
19.2 Das Empirie-Problem . . . . .	446
19.3 Das Horizont-Problem und die Inflation . . . . .	446
19.4 Die kosmologische Konstante . . . . .	447
19.5 Die frühen Schwarzen Löcher . . . . .	448
19.6 Dunkle Energie und Dunkle Materie . . . . .	451
19.7 Wofür wurde die Dunkle Materie postuliert? . . . . .	452
<b>20 Erklärung für ein Phänomen, für das die „Dunkle Materie“ postuliert wurde . . . . .</b>	<b>459</b>
20.1 Jet-Strukturen an Black Holes . . . . .	461
20.2 Die Wirkung auf die Umlaufgeschwindigkeiten der Sterne . . . . .	468
20.3 Gravitationslinsen . . . . .	471
<b>21 Schwarze Löcher: Entropie und Singularität . . . . .</b>	<b>473</b>
21.1 Der quasiklassische Zugang zur Entropie der Schwarzen Löcher . . . . .	474
21.2 Bekensteins Entropie eines Schwarzen Loches . . . . .	476
21.3 Eine kritische Frage an Bekensteins Resultat . . . . .	480
21.4 Die Black-Hole-Entropie wird mit der Protyposis plausibel . . . . .	483
21.5 Das Black-Hole-Modell der Protyposis . . . . .	485
21.6 Die Innenraumlösung für Black Holes . . . . .	488
21.6.1 Die Firewall am Horizont des Black Hole . . . . .	489
21.6.2 Die quantentheoretisch begründete Innenraum-Metrik . . . . .	489
21.7 Das Black-Hole-Informationsparadox auflösen . . . . .	492
<b>22 Quantenteilchen im Minkowski-Raum . . . . .</b>	<b>497</b>
22.1 Der Teilchenbegriff in der Kosmologie . . . . .	498
22.2 Von den abstrakten Thesen zu den mathematischen Strukturen . . . . .	499
22.3 Teilchen als Idealisierungen von Objekten . . . . .	502
22.4 Ein erster Erfolg: Objekte in einem de-Sitter-Kosmos . . . . .	510
22.4.1 Symmetrien für Quantenbits . . . . .	510
22.4.2 Quantisierung: Erzeugungs- und Vernichtungsoperatoren . . . . .	511
22.4.3 Weizsäckers „Stopf- und Rupfoperatoren“ . . . . .	513
22.4.4 $SO(4,1)$ -Darstellung über einem gegebenen Grundzustand . . . . .	516
22.4.5 Der Übergang zur Poincaré-Gruppe . . . . .	518

22.5	Masselose Teilchen im Minkowski-Raum .....	520
22.6	Generatoren der Poincaré-Gruppe .....	527
22.7	Impulszustände der Poincaré-Gruppe .....	528
22.8	Impulszustände der Poincaré-Gruppe über dem Vakuum der AQIs .....	529
22.9	Das Teilchen-Vakuum im Minkowski-Raum .....	531
22.10	Masselose Teilchen über dem Lorentz-Vakuum .....	534
22.11	Spinlose Teilchen mit Ruhmasse im Minkowski-Raum .....	534
22.12	Rechnerunterstützung für Teilchen-Darstellungen mit Spin und Ruhmasse im Minkowski-Raum .....	536
22.13	Explizite Zustände relativistischer Teilchen .....	538
22.14	Qubits zu Quantenteilchen – was bedeutet das .....	541
<b>23</b>	<b>Die fundamentalen Wechselwirkungen .....</b>	<b>543</b>
23.1	Wie können die allgegenwärtigen Verschränkungen aufgehoben werden? .....	545
23.2	Vier grundlegende Wechselwirkungen .....	547
23.2.1	Einige grundsätzliche Fragen .....	550
23.2.2	Zwei Seiten einer Medaille .....	550
23.3	Wechselwirkung und dynamische Schichtenstruktur .....	554
23.4	Wechselwirkung erfordert Trennung .....	556
23.5	Die Typen der Wechselwirkung .....	558
23.6	Bisherige Probleme mit den Eichtheorien .....	561
23.7	Einige Bemerkungen zur Mathematik bei Quantenfeldtheorien .....	562
23.8	Die Modellierung von Wechselwirkung .....	566
23.9	Elektromagnetische und schwache Wechselwirkung .....	567
23.10	Die starke Wechselwirkung .....	570
23.11	Die Antworten .....	576
<b>24</b>	<b>Modelle für lokalisierte Objekte .....</b>	<b>579</b>
24.1	Erläuterung zu den Grenzen des Standardmodells der Elementarteilchenphysik .....	579
24.2	Quantenteilchen aus AQIs .....	582
24.3	Abschätzungen für „Bosonen“ und „Fermionen“ .....	586
24.3.1	Ein Modell für „Bosonen“ .....	586
24.3.2	Ein Modell für „Fermionen“ .....	587
24.4	Die Teilchenmassen als Aufgabe .....	589

<b>25 Ladungen generieren die Massen .....</b>	<b>591</b>
25.1 Gravitations- und Higgs-Feld – Ähnlichkeiten und Unterschiede .....	591
25.2 Drei Ladungstypen .....	593
25.3 Zum Verhältnis von Materie und Antimaterie .....	594
25.4 Historische Versuche zur Erklärung der Masse .....	599
25.5 Ladung, Masse, Gravitation .....	606
25.6 Modelle für Teilchen im Kosmos der AQIs .....	607
<b>26 Revue der mathematisch-physikalischen Resultate .....</b>	<b>609</b>
26.1 Begründung einer Metrik für den kosmischen Raum, in dem wir leben ..	609
26.2 Die Definition einer kosmischen Zeit .....	610
26.3 Die Definition der Energie .....	610
26.4 Die Rolle der Thermodynamik .....	611
26.5 Das kosmologische Modell der AQIs .....	612
26.6 Die Allgemeine Relativitätstheorie .....	613
26.7 Schwarze Löcher .....	614
26.8 Wirkungen, die der Dunklen Materie zugeschrieben werden .....	615
26.9 Relativistische Teilchen .....	615
26.10 Die fundamentalen Wechselwirkungen .....	616
26.11 Quanteninformation .....	618
26.12 AQIs und Qubits .....	619
<b>27 Leben, Bewusstsein, Soziales .....</b>	<b>621</b>
27.1 Musterbildung .....	621
27.2 Unbelebtes und Lebendiges – Chemie und Informations-Chemie .....	622
27.3 Quantentheorie und Biologie .....	624
27.3.1 Beschreibung von Steuerung als Problem der Darstellung .....	625
27.3.2 Leben als metastabiles Fließgleichgewicht .....	627
27.3.3 Elektromagnetische Wechselwirkung – Grundlage aller Lebensvorgänge .....	628
27.3.4 Dynamische Schichtenstruktur und Leben .....	632
27.3.5 Vom metastabilen Fließgleichgewicht zum Metabolismus .....	632
27.3.6 Leben = Stabilisierung durch Informationsverarbeitung .....	633
27.3.7 Wahrnehmung, Empfindung und Quantentheorie .....	637
27.3.8 Systemtheorie und die Beschreibung des Lebendigen .....	641

27.3.9	Die mathematische Struktur zur Beschreibung des Lebendigen .....	645
27.3.10	Das ist Leben .....	650
27.4	Die Evolution des Lebendigen .....	651
27.4.1	Ganzheitliche Strukturen und das Entstehen von Bedeutung .....	652
27.4.2	Räumliche Information und Katalyse .....	654
27.4.3	Leben als Informationsaustausch, als Kommunikation .....	656
27.4.4	Rauschen – Quantenphysik im Verborgenen .....	656
27.4.5	Bedeutung aus dem Wechselspiel von Form und Inhalt .....	659
27.4.6	Zur RNA-Welt und der anschließenden Entwicklung .....	660
27.4.7	Leben und Sauerstoff .....	664
27.4.8	Beziehungsstrukturen in der Evolution .....	664
27.4.9	„Eingefrorene“ Quantenzustände .....	667
27.5	Vom Quantenbit zum Bewusstsein .....	668
27.5.1	Quantenmechanik und Bewusstsein? .....	669
27.5.2	Bewusstsein und Quantentheorie! .....	670
27.5.3	Reduktionismus, Dualismus, naturwissenschaftlicher Monismus	676
27.5.4	Bewusstwerdung .....	680
27.5.5	Bindungsverhalten von Sinneseindrücken .....	681
27.5.6	Quanteninformationsstruktur und Quantenfeldtheorie .....	682
27.5.7	Wie kann die Bewusstwerdung modelliert werden? .....	683
27.5.8	Die „ausgedehnte“ Psyche .....	688
27.5.9	Subjektivität und Qualia .....	689
27.5.10	Naturwissenschaftliche Definition von Bewusstsein .....	690
27.5.11	Zum Unterschied zwischen Bewusstsein und den Korrelaten des Bewusstseins .....	691
27.5.12	Freier Wille .....	695
27.5.13	Gedächtnis .....	697
27.5.14	Geistige Tätigkeiten .....	698
27.5.15	KI – künstliche Intelligenz .....	700
27.6	Quantenstrukturen wirken sogar im Sozialen .....	702
27.6.1	Beziehungsstrukturen wandeln sich zu neuen Gestalten .....	702
27.6.2	Informationszeitalter .....	704

<b>28 Von der Naturwissenschaft zur Naturphilosophie .....</b>	<b>707</b>
28.1 Wege der Erkenntnis .....	707
28.2 Regeln und Gesetze .....	710
28.2.1 Bestätigung und Falsifizierung .....	711
28.2.2 Einheit umfasst „Welt 1, 2 und 3“ .....	712
28.3 Die Grundlage der Erscheinungen .....	714
28.4 Strukturen der Möglichkeiten .....	716
28.5 Widersprüche, Wahrscheinlichkeiten, Paradoxien .....	718
28.6 Wahrscheinlichkeit und Selbstbezüglichkeit anstelle von Paradoxien ...	720
<b>29 Fazit: Was ist bereits erreicht, was ist zu erwarten? .....</b>	<b>723</b>
29.1 Plancks Entdeckung und Einsteins Resümee .....	725
29.2 Ausblick .....	727
<b>30 Anhänge .....</b>	<b>731</b>
30.1 Der Teilchen-Zoo der Elementarteilchenphysik .....	731
30.2 Andere Interpretationen des Messprozesses .....	733
30.2.1 Zum Unterschied Theorie – Interpretation .....	734
30.2.2 Die de-Broglie-Bohm-Interpretation .....	735
30.2.3 Die „Viele-Welten“-Interpretation .....	740
30.2.4 Superdeterminism .....	742
30.3 Die Multiplizitäten von n-fachen Tensorprodukten zweidimensionaler Darstellungen der $SU(2)$ .....	744
30.4 Die reguläre Darstellung der $SU(2)$ .....	746
30.5 Unbegrenzte Anzahlen von AQIs und die Spezielle Relativitätstheorie ...	748
30.6 Rechnungen mit der Vaidya-Metrik .....	749
30.7 Zur Rotation von Galaxien .....	753
30.8 Vertauschungsrelationen mit Parabose-Operatoren .....	757
30.9 Bemerkungen zur Struktur der $SU(3)$ .....	758
<b>31 Danksagung .....</b>	<b>763</b>
<b>Index .....</b>	<b>765</b>



# Vorwort zur zweiten Auflage

Am 1. Juli 2023 wurde das Weltraumteleskop Euclid gestartet. Seitdem liefert es wunderschöne und sehr aufschlussreiche Bilder über einen großen Bereich des Universums. Die offizielle Webseite beginnt mit der Feststellung:

*„Euclid, our dark Universe detective, has a difficult task: to investigate how dark matter and dark energy have made our Universe look like it does today. 95 % of our cosmos appears to be made of these mysterious ‚dark‘ entities. But we don‘t understand what they are because their presence causes only very subtle changes in the appearance and motions of the things we can see.“<sup>1</sup>)*

*(Euclid, unser Detektiv für das dunkle Universum, hat eine schwierige Aufgabe: Er soll herausfinden, wie Dunkle Materie und Dunkle Energie unser Universum zu dem gemacht haben, was es heute ist. 95 % unseres Kosmos scheinen aus diesen mysteriösen „dunklen“ Wesenheiten zu bestehen. Aber wir verstehen nicht, was sie sind, weil ihre Anwesenheit nur sehr subtile Veränderungen im Aussehen und in den Bewegungen der Dinge verursacht, die wir sehen können.)*

Die Dunkle Energie und Dunkle Materie sind zwei zentrale Grundpfeiler für das Standardmodell der Kosmologie. Es wird als das  $\Lambda$ CDM-Modell bezeichnet. Dabei steht  $\Lambda$  (Lambda) für die sogenannte kosmologische Konstante. Sie kann aber auch die sogenannte Dunkle Energie darstellen. CDM ist Cold dark matter, also kalte Dunkle Materie. Über Dunkle Energie und Dunkle Materie, wird von den Mainstream-Kosmologen angemerkt, dass man bisher nicht versteht, was sie sind. *Das Standardmodell der Kosmologie* baut also zu 95 % auf etwas Unverstandenem auf.

Im Gegensatz zum kosmologischen Modell hat sich das *Standardmodell der Teilchenphysik* als erfolgreich erwiesen. Es hat zur Entdeckung des Higgs-Teilchens geführt.

---

<sup>1</sup> [https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Euclid/Euclid\\_s\\_first\\_images\\_the\\_dazzling\\_edge\\_of\\_darkness](https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Euclid/Euclid_s_first_images_the_dazzling_edge_of_darkness), vom 07.11.2023

Jetzt jedoch wird oft gesagt, man sei in einer Krise, denn man möchte gute Gründe für weitere neue Entdeckungen finden. Die Experimente sind nun so genau geworden, dass kleine Abweichungen vom Teilchen-Modell erkennbar werden. Sie haben aber zu keinen neuen Teilchen geführt. Nach den gängigen Hoffnungen der Teilchenphysik sollen die unbekannten 95 % im Universum mögliche Argumente für Sorten von „neuen Teilchen“ liefern. Es gibt eine Vielzahl von Hypothesen über sie und vielfältige Namen dafür, jedoch seit Jahrzehnten keinen experimentellen Nachweis.

Der Mainstream befindet sich offenbar in einer Sackgasse. Ein solcher Einwand wäre zu billig, wenn nicht zugleich mathematische und physikalische Strukturen vorgeschlagen werden, die etwas Besseres aufzeigen. Dazu gehört eine deutliche Reduzierung der freien Parameter, deren Anzahl auch im Standardmodell der Teilchenphysik zu groß ist. Das sind willkürlich festlegbare Größen, mit denen experimentelle Kurven an eine hypothetische Gleichung angepasst werden können. Ferner war eine Verbindung zwischen dem Einfachen, dem Großen und dem Kleinen als drei verschiedenen Beschreibungsbereichen der Natur notwendig gewesen. Das geschieht im Buch, u. a. auch mit einer ausführlichen Kritik am Standardmodell der Kosmologie und mit einer Begründung des Standardmodells der Teilchenphysik.

Die mathematische Struktur der Quantentheorie hat seit einem halben Jahrhundert einen Denkweg eröffnet, welcher völlig neue Vorstellungen ermöglicht. Diese erfordern allerdings einen neuen Blick auf manche der bisherigen Dogmen.

*Es war und ist ein Ziel des vorliegenden Buches, die Grundprinzipien der Quantentheorie verstehbar werden zu lassen und zugleich für die speziell Interessierten auch die mathematischen Grundlagen dafür aufzuzeigen.*

Die Quantentheorie ist die beste, weil genaueste Theorie, mit der wir Menschen die Naturvorgänge beschreiben. Nicht ein einziges experimentelles Ergebnis hat ihr widersprochen. Ihr Geltungsbereich ist universell. Er reicht von den einfachsten Strukturen, den abstrakten Quantenbits, zum gesamten kosmischen Raum und andererseits bis zu den kleinsten elementaren Teilchen. Als Theorie über das Wirken von Möglichkeiten konfrontiert uns die Quantentheorie mit Phänomenen, die im Bereich des Faktischen nicht vorkommen. Die Quantentheorie stellt die mathematische Struktur bereit, mit der das Entstehen von etwas Neuem, Anderem und Komplexen aus Einfachem erklärt werden kann. In vielen Fällen ist ihre hohe Genauigkeit nicht immer notwendig, da kann eine Theorie über Fakten genügen, wie es die klassische Physik ist.

Ich bin mir darüber im Klaren, dass im Buch zwei verschiedene Lesergruppen angeprochen werden sollen. Zum einen gibt es ein breites Interesse, die in der Schule teilweise unzureichend vermittelten Kenntnisse über die Wirklichkeit in der Natur weiter auszubauen. Für diese Leser finden sich im Buch sehr viele Stellen, die man ohne Studium der mathematischen Zusammenhänge verstehen kann.

Andererseits führt unter den gegenwärtigen Lehr- und Forschungsbedingungen die Beschäftigung mit der Physik und mit den Teilen der Naturwissenschaft, die wie Chemie und Biologie aus guten Gründen nicht mehr zur Physik gerechnet werden, dazu, dass Zeit und Kraft für ein Befassen mit den Grundlagen der Naturwissenschaften nur schwer erübrigter werden können. So wichtig auch die Anwendungen der naturwissenschaftlichen Erkenntnisse sind, so stammen doch diese Anwendungen aus Arbeiten an den Grundlagen von früheren Wissenschaftler-Generationen.

Ein heutiger Vorlauf in der Reflexion der Grundlagen ist eine Voraussetzung für kreative Wissenschaft von morgen. Da diese Reflektionen nicht auf philosophische Überlegungen beschränkt werden dürfen, habe ich es als notwendig empfunden, auch die Zusammenhänge zu verdeutlichen, die nur in der Sprache der Mathematik einfach formuliert werden können.

*Mancher Inhalt kann als eine Herausforderung angesehen werden. Denn hier wird gezeigt, dass aus der mathematischen Struktur des fundamentalen Teils der Naturwissenschaften, aus der Physik, geschlussfolgert werden muss, dass die Grundlage der Realität eine nichtmaterielle Struktur ist und dass sich aus dieser die materiellen Strukturen und deren Verhalten ableiten lassen.*

Wir erleben gegenwärtig noch eine gewisse Euphorie über kleinste materielle Teilchen, die wie gesagt mit den geheimnisvollen Namen Dunkle Materie und Dunkle Energie bezeichnet werden und für deren Existenz trotz Jahrzehntelanger intensiver Suche jeder experimentelle Hinweis fehlt. Der ausgebliebene Erfolg verführt leicht dazu, nur nach neuen größeren und aufwendigeren Experimenten und damit nach einem „mehr des Gleichen“ zu rufen. Die Vorstellung einer Alternative, nämlich auch nach neuen Ideen Umschau zu halten, wird nicht als ein hilfreicher Hinweis angesehen. Ich habe es erlebt, dass er als Provokation missdeutet wird.

In der Naturwissenschaft und somit auch in der Naturphilosophie werden gegenwärtig drei besonders wichtige Probleme betont. Sie zielen auf drei Bereiche, die scheinbar so weit voneinander entfernt sind, dass ein Zusammenhang zwischen ihnen auf den ersten Blick sehr unwahrscheinlich erscheint. Sie betreffen die Kosmologie, also das Größte und Umfangreichste, was man in der Naturwissenschaft untersuchen kann. Sie betreffen weiterhin die kleinsten elementaren Teilchen, also Dasjenige, was man als die Grundstrukturen der Materie bezeichnen kann. Und als drittes wird das Problem des Bewusstseins hinzugerechnet. Es ist dasjenige, was uns Menschen mit Sprache und Schrift zur Kommunikation befähigt und was damit die Voraussetzung für eine Möglichkeit von Naturwissenschaft und Naturphilosophie ist.

*Auf diese Probleme wird eine Antwort gegeben, die auf naturwissenschaftlich fundierten Erkenntnissen beruht.*

Während man in der Philosophie die vielfältigsten Theorien darüber entwickelt hat, was man unter „Erklären“ verstehen soll, verfolgt man in der Naturwissenschaft schon immer ein gleichermaßen nützliches wie einsichtiges Prinzip: Unter „Erklären“

versteht man den theoretischen oder tatsächlichen Aufbau von komplizierten und komplexen Strukturen aus einfachen Strukturen. Diese sollen letztlich so einfach sein, dass ein weiterer Erklärungsbedarf nicht ersichtlich ist. So pflegt man seit Jahrtausenden die Vorstellung, man könnte alles das, was uns in der Realität begegnet, letztendlich in kleinste Teile zerlegen. Diese sollen ihrerseits so klein und einfach sein, dass eine weitere Zerlegung bei ihnen nicht mehr nötig und möglich ist. Seit den alten Griechen bezeichnet man sie als Atome.

Die Geschichte der Naturwissenschaft zeigt, wie unerhört erfolgreich diese Idee von „atomaren Objekten“ gewesen ist. Jetzt aber ist Naturwissenschaft so genau geworden, dass die Erklärungskraft dieser Vorstellungen an ihr Ende gelangt ist. Die Schwierigkeiten, die gegenwärtig in der Kosmologie, in der Elementarteilchenphysik und in der Hirnforschung Probleme bereiten, sind verbunden mit den Vorstellungen über „kleinste materielle Teilchen“ als die *Letztgrundlage der Wirklichkeit*.

*Im Buch wird gezeigt, welche Lösungen sich mit der Quantentheorie ergeben haben.*

Schon in meiner Jugend wollte ich wissen, „was die Welt im Innersten zusammenhält“. Wie erwähnt sollten das damals die „einfachsten Bausteine der Natur“ sein. Mein Weg zum Studium der Theorie der Elementarteilchen war damit vorgezeichnet.

Dieser Bereich der Physik firmierte damals noch unter dem Begriff Hochenergiephysik. Allerdings hat sich damals niemand gefragt, wieso das Grundlegende und Einfachste mit den höchsten Energien zusammenhängen soll. Meine jahrzehntelange Befassung mit den Grundlagen der Physik und mit ihren mathematischen Strukturen führte mich zu anderen Vorstellungen. Die kleinen Teilchen sind zwar durchaus wichtig. Sie sind aber viel zu kompliziert, als dass sie tatsächlich die Basis für ein Verstehen der Wirklichkeit in ihrer vollen Breite bereitstellen könnten.

*Im Buch wird daher dasjenige ausführlich dargelegt, was zu den tatsächlichen Grundlagen der Quantentheorie und damit der gesamten Physik gehört.*

*Es sind nicht die kleinsten, sondern stattdessen die einfachsten Strukturen.*

Diese Aussage mag auf den ersten Blick simpel erscheinen. Aber eine solche Erkenntnis erfordert eine radikale Umkehr in den Vorstellungen über die Natur und damit des naturwissenschaftlichen Denkens. Die notwendige Veränderung erstreckt sich nicht nur auf die elementaren Teilchen, sondern auch auf die Kosmologie, auf die Wissenschaft, die sich mit der Entwicklung des Universums beschäftigt. So hat sie es auch ermöglicht, die Phänomene zu erklären, für die man die Dunkle Materie und die Dunkle Energie postuliert hatte. Sie lieferte nicht zuletzt auch eine Lösung für die Vorstellungen vom Bewusstsein.

Dass die räumlich kleinsten Teilchen die maximale Energiedichte erfordern, ist bekannt seitdem Max Planck die Quanten entdeckt hatte, also seit mehr als einem Jahrhundert. Die konsequente Schlussfolgerung besagt, dass das mathematisch und physikalisch Einfachste mit der geringsten Energiedichte und somit mit der größten Ausdehnung verbunden ist. Diese Einsicht ist Grundlage für das Verstehen der Physik.

Die gesuchten mathematisch einfachsten physikalischen Quantenstrukturen werden räumlich die maximale Ausdehnung besitzen. Sie sind so einfach, dass ihnen noch keinerlei Eigenschaft, also auch kein konkreter Ort im Kosmos zugeordnet werden kann. Sie haben auch sonst noch keine andere spezielle Eigenschaft, sie sind also noch frei von jeder konkreten Bedeutung. Die Mathematik der Quantentheorie zeigt dann, wie sich daraus auch die lokalisierten materiellen und energetischen Strukturen entwickeln können.

Ausgedehnte ganzheitliche Systeme werden in der Physik als „nichtlokal“ bezeichnet. In der Geschichte der Naturwissenschaften wird deutlich, dass die Beschreibungen der Natur eine immer abstraktere Form annehmen. Die Sprechweisen hingegen bleiben oft an den alten Vorstellungen hängen. Wir lassen noch immer „die Sonne aufgehen.“ Das Konkrete ist bildhaft und anschaulich, aber es erlaubt kaum Regeln und erst recht keine Naturgesetze. Diese erfordern mit immer größerem Geltungsbereich immer abstraktere Strukturen. Das bedeutet, dass die mathematisch abstraktesten Strukturen notwendig sind, um die Grundlagen zu erfassen.

*Es sei noch einmal betont, der Ausgangspunkt des Buches war die Mathematik der Quantentheorie. Sie führt zu den einfachsten Grundstrukturen. Aus denen lässt sich dasjenige rekonstruieren, was die Physik beschreibt.*

*Die einfachsten Quantenstrukturen sind mathematisch identisch mit denen, die als Quantenbits bezeichnet werden.*

Die zwei Begriffe „Bit“ und „Quantenbit“ sind weit in den öffentlichen Sprachgebrauch vorgedrungen. Die Möglichkeiten der Computer und vor allen diejenigen der Systeme der künstlichen Intelligenz werden zunehmend über Wissenschaft und Forschung hinaus auch in Wirtschaft, Politik und in den Medien wahrgenommen. Das Ignorieren der quantentheoretischen Grundlagen ist natürlich beim Quantencomputing unmöglich. Dass aber bereits schon das normale Computing ohne eine Technik auf Basis der Quantentheorie unmöglich wäre, wird selten betont.

Wichtig für das Verstehen des Lebens und noch wenig in seiner Bedeutung dargestellt wird die Tatsache, dass alle Prozesse einer biologischen Informationsverarbeitung von den Einzellern über die Pflanzen, Pilze und Tiere bis hin zum menschlichen Bewusstsein auf dem Austausch von Lichtquanten, den Photonen beruhen, also auf Quantenprozessen.

Wenn von Quantenbits gesprochen wird, so ist allerdings zu beachten, dass die Quantenbits als Quanteninformation im Computer als Eigenschaft von kleinen Teilchen erscheinen. Durch diese Anbindung an lokalisierte Objekte tritt das Quantenbit in diesem Fall selbst ebenfalls lokal auf.

*Die fundamentalen Quantenstrukturen, die AQIs, soll man sich hingegen nicht als Eigenschaft von etwas anderem vorstellen. Ein AQI, ein Abstraktes und Absolutes Bit von QuantenInformation, ist ein Quantenbit noch ohne jede Anbindung an etwas Lokales.*

Die von Einstein aufgezeigte Äquivalenz von Materie und Bewegung,  $E = mc^2$ , übersteigt jede anschauliche Vorstellung. Trotzdem gehört sie zu den experimentell immer wieder bestätigten Grundtatsachen. Diese Äquivalenz konnte mit den AQIs erweitert werden auf eine Struktur, die unter anderem auch als das erscheinen kann, was man üblicherweise als Information bezeichnet.

Eine Äquivalenz, wie z. B.  $E = mc^2$ , ist keine Gleichheit. Äquivalenz bedeutet einerseits, dass es Prozesse gibt, bei denen das eine in das andere umgewandelt werden kann. Sie bedeutet andererseits, dass die Unterscheidung in zwei verschiedene Erscheinungsformen sinnvoll und begründet ist und in vielen Fällen aus praktischen Gründen nicht aufgehoben werden soll.

Von den AQIs führt ein gerader Weg zu dem, was als Verschränkung und als Nichtlokalität bezeichnet wird. Verschränkungen führen aus einfachen Quantensystemen zu komplizierteren Quantensystemen, in denen diese einfachen Systeme nicht mehr als sichtbare Teile vorhanden sind. Verschränkungen verbinden die Ausgangsteile auf eine multiplikative Weise, sodass *das Ganze mehr wird als die bloße Summe seiner Teile*.

Ein AQI ist so wenig Information, dass es nicht einmal einen Ort markieren kann. Es ist ausgedehnt – nichtlokal – und zwar über den gesamten kosmischen Raum – und trotz der Ausdehnung teilelos. Im Unterschied zum üblichen Verständnis von „Information“ kann ein AQI auch keine Bedeutung vermitteln. Ein AQI ist noch bedeutungsfrei. Deshalb war ein neuer Begriff für die Menge aller AQIs notwendig: Protyposis.

Wenige Monate nach dem Erscheinen der ersten Auflage dieses Buches wurden drei Experimentalphysiker mit dem Nobelpreis für ihre Experimente in genau denjenigen Bereichen der Quantentheorie geehrt, die im Buch als ihre wesentlichen Aspekte herausgearbeitet worden waren. Der Nobelpreis wurde für Experimente im Zusammenhang mit Nichtlokalität und mit Verschränkung verliehen. Mit der Physik der AQIs werden derartige Versuche leichter verstehbar.<sup>2)</sup>

Wenn bei der Beschreibung dieser Experimente oft noch von „zwei Teilchen“ oder von „zwei Photonen“ gesprochen und geschrieben wird, so ist dies der jahrhunderte-langen Konzentration auf die kleinen Teilchen in der Ausbildung der Physiker geschuldet. Dabei wird aber ein anderer wesentlicher Aspekt der Quantentheorie ausgeschlossen. Die Quantentheorie zeigt auf, dass nicht nur in unserem menschlichen Leben, sondern auch bereits in der unbelebten Natur bloße Möglichkeiten reale Wirkungen hervorrufen können.

<sup>2</sup> Görnitz, T.: [https://www.academia.edu/92858403/Explaining\\_Nobel\\_Prize\\_Physics\\_2022](https://www.academia.edu/92858403/Explaining_Nobel_Prize_Physics_2022); [https://www.researchgate.net/publication/364648473\\_Der\\_Nobelpreis\\_Physik\\_2022\\_-Die\\_seit\\_langem\\_ausstehende\\_offentliche\\_Anerkennung\\_für\\_Experimente\\_welche\\_die\\_theoretischen\\_Aspekte\\_einer\\_grundlegenden\\_Eigenschaft\\_der\\_Quantenphysik\\_bestätigen](https://www.researchgate.net/publication/364648473_Der_Nobelpreis_Physik_2022_-Die_seit_langem_ausstehende_offentliche_Anerkennung_für_Experimente_welche_die_theoretischen_Aspekte_einer_grundlegenden_Eigenschaft_der_Quantenphysik_bestätigen)

In der Sprache der Physik spricht man von Superpositionen.

Die „zwei Quanten“, z. B. zwei Photonen, sind in ihrer Verschränkung bloße Möglichkeiten, sie dürfen nicht wie etwas Faktisches gedacht werden. Selbst wenn am Beginn und am Ende eines solchen Experimentes die gleichen Strukturen anzutreffen sind, so sind diese während ihrer Verschränkung zwischen Anfang und Ende nicht als eigenständige Teile des Ganzen vorhanden. Erst das *Erkennen des Ganzen als ein „mehr als die Summe der Teile und als etwas anderes als diese“* kann ein Verstehen bereits ohne Einschluss des gesamten mathematischen Apparates ermöglichen.

Der Einschluss der Quanteninformation als Grundlage in die Physik hatte es auch ermöglicht, die für das Verstehen des Lebens für lange Zeit als wichtig erachteten, aber nicht zur Naturwissenschaft gehörenden Begriffe wie „Lebenskraft“, „Entelechie“ oder „Elean vital“ abzulösen. Sie konnten ersetzt werden durch eine in die Naturwissenschaften eingebundene Quanteninformation, die zu Steuerungen fähig ist.

Die „Steuerung“ stammt aus der Schifffahrt. Der Steuermann nimmt Informationen aus der Umwelt und über das Schiff auf. Dann wird von ihm mit einem relativ verschwindenden Einsatz von Energie die Bewegung des Schiffes beeinflusst. Auch in der Technik versteht man unter Steuerung die Beeinflussung eines Gerätes unter vernachlässigbarem Energieeinsatz.

Ähnlich ist es in der Biologie. Die „Energiewährung“, das Adenosintriphosphat (ATP), und dessen „Recycling“ aus Adenosindiphosphat (ADP), betrifft eine Masse, die täglich etwa der Hälfte der Körpermasse gleichkommt. Die Informationen hingegen, die die betreffenden Prozesse auslösen und steuern, sind im Vergleich dazu winzig. Die Selbststabilisierung durch eine steuerungsfähige Quanteninformation ist ein zentraler Aspekt des Lebens. Diese Vorstellung kann jetzt aus der Metaphysik in die Physik übergeführt werden. Erst damit wurden auch die Grundlagen für ein naturwissenschaftliches Verstehen des Bewusstseins geschaffen – ein Verstehen, welches über eine Beschreibung der Verarbeitungsorte im Rahmen der Hirnphysiologie hinausgeht und das die Wirkung des Bewusstseins auf das Gehirn naturwissenschaftlich erklärbar gemacht hatte.<sup>3)</sup>

---

<sup>3</sup> Siehe z. B. Görnitz, T.; Görnitz, B. (2016) Von der Quantenphysik zum Bewusstsein: Kosmos, Geist und Materie, Springer, Heidelberg

## Vorrede zur ersten Auflage

Wir Menschen stehen gegenwärtig vor einer Situation, die ein grundlegendes Umdenken erforderlich macht. Eine Menschheit von ungefähr 8 Milliarden muss ihren Umgang mit den Gütern der Erde überdenken, wenn sie als Zivilisation überleben will. Dazu gehört auch die Verbesserung der Gestaltung der Beziehungen, eine gerechte Teilhabe an den materiellen und kulturellen Gütern sowie für jeden Menschen die Ermöglichung eines Bewusstseins, das kulturell und wissenschaftlich allseitig gebildet sein kann.

Energie und vor allem Materie lassen sich nicht „erzeugen“. Natürlich lassen sich verschiedene Erscheinungsformen ineinander umwandeln. Aber beispielsweise wird gegenwärtig darauf verwiesen, dass Bausand knapp wird, weil der Sand aus der Sahara für Beton nicht verwendet werden kann.

In der Tat nutzen wir für uns bisher nur einen geringen Anteil der Energie, die uns von der Sonne erreicht. Diese Energie betrifft nicht nur die Solarzellen, auch Wind und Wellen werden letztlich von der Sonne angetrieben. Für ihre Nutzung gibt es noch viel „Luft nach oben“.

Bei manchen chemischen Elementen jedoch, nehmen wir als Beispiel den Phosphor, sind die gut ausbeutbaren Vorkommen begrenzt. Phosphor ist wegen seines Anteils im Genom und als Bestandteil des Energielieferanten Adenosintriphosphat in der Zelle für jedes Lebewesen unersetzblich. Da Phosphor deswegen auch einen wichtigen Anteil im Dünger bildet, ist der frühere verschwenderische Umgang mit ihm bereits beträchtlich eingegrenzt worden. Die Wissenschaft hatte einen Einblick in Zusammenhänge ermöglicht, die nicht auf der Hand lagen. So hat die Reduzierung nicht nur bei den Wasch- und Reinigungsmitteln bereits zu einem Rückgang bei der durch zu viel Phosphor verursachten Eutrophierung von Gewässern geführt.

Die Menschheit ist konfrontiert mit der Aufgabe, ihr Handeln ändern zu müssen. Das wird jedoch nur dann möglich sein, wenn unser Verständnis der Wirklichkeit die Realität immer besser erfasst. Das wird nur mithilfe der Wissenschaft gelingen und es wird erleichtern, einen zu verschwenderischen Umgang mit den natürlichen Ressourcen einzugrenzen.

Auf der Basis von Grundlagenforschung sollte es möglich werden, auch die Folgen der Folgen sowie die Material-, Energie- und Informationsabläufe und -Kreisläufe bis in ihre globalen Zusammenhänge besser zu verstehen. Auch die scheinbar unerschöpflichen Vorkommen von Luft und Wasser sind bei Weitem nicht so ungefährdet, wie man das über lange Zeiten geglaubt hatte.

Da Materie nicht vermehrt werden kann, ist ein Wirtschaftsverhalten unmöglich, welches auf einem dauerhaft wachsenden Verbrauch von materiellen Gütern beruht.

Ein solcher wachsender Verbrauch wird jedoch bisher im Verstehen von „Wirtschaftswachstum“ als Grundpostulat vorausgesetzt und als allheilender Fetisch verstanden. Ebenso wenig ist auch fruchtbare Boden, der die Grundlage für die Ernährung darstellt, ohne weiteres zurückzugewinnen oder gar vermehrbar.

Es wird also ein neuer Blick auf die Wirklichkeit notwendig, der eine zu enge Sicht auf die Realität erweitert.

In vielen Darstellungen aus den Bereichen der Naturwissenschaft von der Physik bis zur Hirnforschung kann man den Eindruck gewinnen, dass es im Grunde neben der Realität des Materiellen nichts Weiteres gäbe, womit sich Naturwissenschaft befassten müsste. Damit jedoch bleiben die sozialen und geistesgeschichtlichen Einflüsse auf die Wirklichkeit und damit auch auf die Natur weitgehend im Hintergrund oder werden gänzlich ignoriert. Im Buch werden die grundlegenden Zusammenhänge der Wirklichkeit ausführlich reflektiert. Das erfolgt vor allem auf der Grundlage der Quantentheorie, der besten und genauesten Erfassung der Wirklichkeit.

Neben den naturwissenschaftlichen und naturphilosophischen Schwerpunkten sind in dem Text auch die mathematischen Zusammenhänge eingebaut. Es wird allerdings zu allen mathematischen Ausführungen eine breite verbale Darstellung gegeben, sodass ein Überblick über die grundlegenden Vorstellungen auch gewonnen werden kann, wenn man die mathematischen Fundierungen nur überfliegt.

Im Folgenden werden die Basisstrukturen der Quantentheorie ausgebreitet und aufbereitet. Mit ihnen wird diese angeblich „unverstehbare“ oder gar „verrückte“ Theorie begreifbar. Es geht also im Buch um ein Verstehen dessen, was Quantentheorie für unsere Sicht auf die Natur und auf uns selbst bedeutet. Wie ich aus eigener Erfahrung weiß, sind wegen der Fülle des zu vermittelnden Stoffes in der normalen Vorlesung über Quantenmechanik neben den mathematischen Grundlagen derartige Aspekte nur sehr schwer oder gar nicht unterzubringen.

Mit den quantentheoretischen Fundamenten wird eine naturwissenschaftlich begründete Sicht auf die gesamte Wirklichkeit vorgestellt. Sie umfasst Vorstellungen, welche von der kosmischen Entwicklung über die kleinsten Teilchen der Materie bis zur menschlichen Psyche reichen.

Gewiss sind in unserer gegenwärtigen Zivilisation viele Menschen davon überzeugt, dass eine Wende im Verhalten dringend geboten ist. Leider bewirken allein Apelle für ein ethisches Verhalten wenig. Das gilt besonders dann, wenn sie gegen einen scheinbar „wissenschaftlich begründeten“ Mainstream antreten müssen, der dem Psychischen und damit auch dem Geistigen eine weit nachgeordnete Rolle hinter der Realität des Materiellen zuweist. Zumindest können sowohl das Konsumverhalten als auch viele Vorstellungen über das innere Wesen des Menschen und seiner Einbettung in das kosmische Geschehen diesen Eindruck nicht entkräften.

Die Einsicht in einen Evolutionsprozess, der vom Beginn des Kosmos über das Leben bis zum menschlichen Bewusstsein geführt hat, zeigt klar, dass eine dualistische Welt-

sicht, also ein „Nebeneinander“ von Geist und Materie, zwar einen pragmatischen Umgang mit der Realität erleichtert und somit einen praktischen Nutzen haben kann, jedoch niemals eine fundamentale Bedeutung. Es muss eine gemeinsame Grundlage für beides geben – und genau diese Grundlage kann die Quantentheorie liefern. Das wird im Buch naturwissenschaftlich und auch naturphilosophisch begründet. Den zugrundeliegenden mathematischen und physikalischen Strukturen wollen wir uns im vorliegenden Text schrittweise nähern.

Vielen Menschen wird es vielleicht ähnlich wie mir ergehen. Technische Entwicklungen und wissenschaftliche Erkenntnisse erstaunen uns und erleichtern vieles im täglichen Leben. Die Ergebnisse der wissenschaftlichen Forschung ermöglichen es, schnell neue Impfstoffe zu entwickeln. Manche Krankheiten werden heilbar, denen wir bisher machtlos gegenüberstanden.

Andererseits machen wir uns berechtigte Sorgen um die nächsten Generationen und die globalen Ungleichheiten. Wir sind konfrontiert mit einer weltweiten Wirtschaftsweise, der man nicht ansehen kann, dass die Einsicht in die Beschränktheit der materiellen und energetischen Ressourcen auf der Erde bereits zum Leitfaden des ökonomischen Handelns geworden wäre.

Trotz der erwähnten technischen Anwendungen der Quantentheorie kann man dem Eindruck schwer ausweichen, dass das politische und ökonomische Handeln weitgehend noch auf einem Weltbild beruht, das seine naturwissenschaftlichen Grundüberzeugungen hauptsächlich aus den großen Entwicklungsfortschritten der klassischen Physik bezieht. Und noch immer gibt es umfangreiche Versuche, die Quantentheorie in diese mathematische Struktur einzupassen.

Bereits ein flüchtiger Blick auf die geistesgeschichtlichen Zusammenhänge im 20. Jahrhundert zeigt zwei entgegengesetzte Tendenzen.

Einerseits eine sich als materialistisch bezeichnende Utopie, die sich vor allem durch eine Verleugnung der Realität des Geistigen sowie durch die Unterdrückung der Bedürfnisse der Menschen nach Freiheit auszeichnete.

Andererseits kann man die Ansicht wahrnehmen, dass nicht nur unsere Vorstellungen und Anschaufungen unsere psychischen Konstruktionen seien. Das sind sie in der Tat. Wenn jedoch die materiellen oder biologischen Grundlagen ebenfalls zu lediglich sozialen oder psychischen Konstrukten erklärt werden, so wird damit ein Zugang zur Realität sehr erschwert oder gar unmöglich gemacht.

In der Wissenschaft sind wir daher herausfordert, eine Trennung zwischen Abbildern der Wirklichkeit und Zerrbildern zu verdeutlichen.

Gegenwärtig erleben wir in der westlichen Kultur einen gewaltigen Fortschritt in der Anwendung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse und zugleich im politischen Raum eine Überschätzung der materiellen, also ökonomischen Triebkräfte, die verbunden ist mit einer Unterschätzung von ideologischen und kulturellen, also geistigen Antrieben von Menschen.

Die Naturwissenschaft des 21. Jahrhunderts ermöglicht uns eine, wie oft im Feuilleton so schön formuliert wird, „kopernikanische Wende“ im Verständnis der Natur. (Dieser Ausdruck verschleiert, dass Kopernikus in seiner Zeit so wenig öffentlich wirkte, dass man es mehr als ein halbes Jahrhundert lang nicht für nötig befand, sein Buch durch die Inquisition verbieten zu müssen).

Dank der Entwicklungen in der Quantentheorie kann jetzt auch in der Naturwissenschaft akzeptiert werden, was uns in unserem alltäglichen Leben vollkommen selbstverständlich ist:

Nicht allein die faktischen materiellen Umstände, auch unsere gedanklichen Vorstellungen, unsere Erkenntnisse und Erwartungen sowie die noch nicht faktisch gewordenen Möglichkeiten, alle diese für uns bedeutungsvollen Informationen beeinflussen unser Handeln.

Diese Selbstverständlichkeiten können erst in der Naturwissenschaft des 21. Jahrhunderts den ihnen zukommenden gebührenden Platz erhalten und in dieser und in der Philosophie akzeptiert werden.

Die Quantentheorie hat zu der Erkenntnis geführt, dass die Grundlage der Realität durch die kosmische Evolution aus einer absoluten Quanteninformation geschaffen wurde und wird. Eine solche Quanteninformation, so zeigt sich, ist äquivalent zu Materie und Energie und bildet die eigentliche Grundlage der Wirklichkeit.

Unser Alltag füllt sich mehr und mehr mit Ereignissen und Gebrauchsgegenständen, welche vor nicht allzu langer Zeit als Zauberei empfunden worden wären oder bei denen man eine Berichterstattung als Märchen oder Lüge bezeichnet hätte. (Lüge deshalb, weil damals auch ein Begriff wie „Fake News“ noch nicht in aller Munde gewesen war.) Jules Vernes „Reise zum Mond“ war einst Science-Fiction, seit einem halben Jahrhundert ist es Vergangenheit und wohl bald wieder aktuell. Der Zauberspiegel: „Wer ist die Schönste im ganzen Land“ heißt heute vielleicht „Instagram“?

Ich glaube, dass wohl kaum ein Mensch, der diese technischen Geräte benutzt, dabei an „Quantentheorie“ denkt, einen Bereich der Physik, der seit einem Jahrhundert existiert und der das alles erst ermöglicht hat.

Vielen Menschen ist nicht bewusst, dass beispielsweise elektronische Uhren, Handys, Flachbildschirme, Steuerungssysteme für Pkws und Solarzellen sowie natürlich auch das Internet mit allen seinen guten und bedrohlichen Möglichkeiten ohne die Erkenntnisse aus der Quantentheorie vollkommen unmöglich sein würden.

Alle die Geräte in der Medizin und speziell in der Hirnforschung, bei denen man sogar ohne einen chirurgischen Eingriff umfangreiche Kenntnisse über Zustände und Vorgänge im Inneren des Körpers und auch im Gehirn erhalten kann, sind ebenfalls ohne Anwendungen aus der Quantentheorie undenkbar.

Die Quantentheorie hat mit ihren Ergebnissen nicht nur unseren Alltag verändert, sie erfordert auch eine Veränderung in der Art und Weise, wie wir über die Wirklichkeit nachdenken.

Auch in seriösen Darstellungen verwendet man oft als Grundlage für Erklärungen von Quantenphänomenen Bilder und Erfahrungen, die man an unbelebten Alltagsgegenständen gelernt hat. Und dann stellt man verwundert fest, dass die Quanten sich völlig anders verhalten können.

Was kann uns helfen, diejenigen Vorgänge in der Natur besser zu verstehen, bei denen das Wirken der Quanten berücksichtigt werden muss?

### **Ein Fazit liegt auf der Hand**

Der tatsächlichen Basis der Naturwissenschaften auf den Grund zu gehen, bedurfte einer intensiven Forschungsarbeit. Sie soll hier dargelegt werden. Auf dieser Grundlage können wir unsere Anschauungen ändern.

Nur das, was wir verstanden haben, kann uns helfen, besser zu reagieren. Alles, was wir nicht verstehen, vermittelt uns lediglich ein gewisses Gefühl von Ohnmacht.

Ein berühmter deutscher Philosoph hat einmal geschrieben:

*„Ich behaupte aber, daß in jeder besonderen Naturlehre nur so viel eigentliche Wissenschaft angetroffen werden könne, als darin Mathematik anzutreffen ist. Denn nach dem Vorhergehenden erfordert eigentliche Wissenschaft, vornehmlich der Natur, einen reinen Theil, der dem empirischen zum Grunde liegt, und der auf Erkenntniß der Naturdinge a priori beruht.“<sup>4)</sup>*

In dieser These von Immanuel Kant (1724–1804) wird viel behauptet und gegen sie wird sich sicherlich weiterhin viel Widerstand regen. Doch können wir heute, 200 Jahre später, erkennen, dass hinter dieser Behauptung mehr Zutreffendes liegt, als man damals wissen konnte.

Die einzelnen Wissenschaften betrachten Teilbereiche der Natur. Wenn es jedoch um die Grundlagen geht, dann ist „das Ganze“, der Kosmos, einzubeziehen. Heute erkennen wir im Kosmos eine Evolution von sehr einfachen Strukturen über das Leben bis zu einer Gesellschaft von Menschen mit Sprache und einem hochkomplexen Sozialsystem.

Die Mathematik als die Wissenschaft möglicher Strukturen ist ein unentbehrliches Gestaltungswerkzeug zumindest für diejenige Naturwissenschaft, die sich mit den einfachsten Strukturen beschäftigt, also für die Physik. Ohne Mathematik gibt es

<sup>4</sup> Kant, I. (1786) *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*, A VIII.

keine Physik. Man kann physikalische Strukturen sprachlich darstellen und erläutern. Das ist eine ständige Aufgabe der Wissenschaftler. Sie bleibt wichtig, u. a. auch um vielen Missbrauch in die Schranken zu weisen, der mit dem Begriff „Quanten“ getrieben wird. Allerdings ist ein wirkliches und tieferes Verstehen ohne die Mathematik wahrscheinlich unmöglich.

Ohne die physikalischen Grundlagen bleibt der Chemie das Erklären ihrer Beziehungsstrukturen und Bildungsgesetze verwehrt. Biologie wiederum bliebe ohne diese beiden Wissenschaften auf das Beschreiben von Erscheinungen und Verhaltensweisen beschränkt.

Auf der Basis der einfachen Strukturen entwickeln dann diese Naturwissenschaften und alle die weiteren Wissenschaften ihre jeweils eigenständigen Gesetze.

Je komplexer also die Strukturen werden, desto vielschichtiger werden auch die Versuche, mit mathematischer Unterstützung neue Zusammenhänge finden zu können. Schließlich ist das Finden von Korrelationen nicht dasselbe wie das Entdecken von tatsächlichen Abhängigkeiten und Ursächlichkeiten.

Vor allem die Biologie hatte bisher zu Recht darauf verwiesen, dass für sie ein naturwissenschaftliches Verstehen des Wirkens von Information notwendig ist.

Mit der hier dargelegten Grundlage der Quantentheorie erfolgt die Einordnung der Information in den Rahmen der naturwissenschaftlichen Fundamentalgrößen.

Die Quantentheorie ist der genaueste Teil der Physik. Diese große Genauigkeit hat zur Folge, dass bei einem Quantenteilchen, wie z. B. einem Elektron, für die mathematische Beschreibung seines Zustandes unendlich viele Zahlen notwendig sind. Das gilt bereits auch für masselose Objekte wie einem Lichtquant. Bereits das zeigt, dass die Quantenteilchen sehr komplexe Entitäten sind.

Im Gegensatz dazu genügen bei den mathematisch und physikalisch einfachsten aller möglichen Quantenstrukturen zwei Zahlen, um den Zustand einer solchen einfachstmöglichen Quantenstruktur festzulegen.

*Diese mathematisch und physikalisch einfachsten Strukturen sind absolute und noch bedeutungsfreie Bits von Quanteninformation, AQIs.*

Ein tatsächliches Fundament für die Quantentheorie und damit auch für die Physik und die übrigen Naturwissenschaften kann jetzt auf der Basis einer absoluten und kosmologisch begründeten Quanteninformation errichtet werden. Im Buch wird gezeigt, wie sich aus ihnen die komplexen Strukturen erzeugen lassen, welche die Physik beschreibt.

Diese Feststellung bedeutet eine ähnlich große Herausforderung an unsere Vorstellungskraft wie es der Übergang vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltbild gewesen sein mag. Aller Augenschein spricht für die Bewegung der Sonne um die Erde. Obwohl wir bis heute dieses Bild in der Sprache bewahrt haben, weil ein Sonnenauf-

gang so überzeugend ist und ein Sonnenuntergang so beeindruckend sein kann, nötigt uns die naturwissenschaftliche Beschreibung und Erklärung, diese Vorstellung umzukehren.

Im Mittelalter war es für viele Menschen noch nicht einmal erreichbar, lesen und schreiben lernen zu können. Jetzt hingegen ist es einfacher, so viel naturwissenschaftliches Verständnis erlernen zu können, dass man versteht, wieso die Erde um die Sonne läuft. Da sie auch um ihre eigene Achse rotiert, entsteht der Augenschein einer täglichen Bewegung der Sonne um die Erde.

Heute erkennen wir immer klarer: Hinter der offensichtlichen Realität des Materiellen wird durch die Naturwissenschaft eine dahinterstehende Quanteninformationsstruktur aufgezeigt.

Im Folgenden wird dargelegt, was auf diesem Wege bereits erreicht worden ist und was von den nachfolgenden Wissenschaftlergenerationen noch zu leisten ist.

Solche neue Einsicht erleichtert zugleich, sich von den über die Quantentheorie verbreiteten zu engen Vorstellungen von Quantenphysik als „Mikrophysik“ und als „Ensemblephysik“ zu verabschieden.

Damit wird Quantentheorie verstehbar – und aus einem tatsächlichen Verstehen ergeben sich neue fruchtbare Erkenntnisse.

Natürlich bleibt es zutreffend, dass im mikroskopisch Kleinen, bei den Atomen und Molekülen, ohne Quantentheorie keine vernünftigen Ergebnisse erhalten werden. Und ebenso bleibt es richtig, dass Wahrscheinlichkeitsaussagen nur mit Statistik überprüft werden können, also nur mit hinreichend großen Ensembles. Falsch werden diese Vorstellungen, wenn sie – wie früher vielfach üblich – verabsolutiert werden. So konnte man noch vor nicht zu langer Zeit in physikalischen Publikationen lesen, dass Aussagen über ein einzelnes Atom unsinnig seien. Seit einiger Zeit wird wie selbstverständlich mit einzelnen Atomen und Ionen experimentiert. Früher lag der Erklärungsschwerpunkt für Quantentheorie beim Durchgang vieler winziger Teilchen oder Lichtquanten durch einen engen Doppelspalt. Es ist an der Zeit, dass auch diejenigen Quantenexperimente in die Lehrbücher geraten, die sich mit Quantensystemen befassen, welche sich ohne eine Aufspaltung in Teile über weit mehr als tausend Kilometer ausdehnen.

Das Bild von „Quantentheorie als Mikrophysik“ hatte es bisher so schwer gemacht, neben den Vorstellungen von „Quanten als kleine Kugelchen“ auch Raum dafür zu öffnen, dass Quantenstrukturen in manchen Situationen als unermesslich weit ausgedehnt zu denken sind.

Während die neuen Bilder nicht leicht zu vermitteln sind, sind andererseits die mathematischen Strukturen seit langem bekannt. So wie Kepler die vorhandene Mathematik der Ellipsen verwenden konnte, um die alten Bilder von den kreisförmigen Planetenbewegungen abzulösen, so hilft die Mathematik auch jetzt, um besser zutreffende Vorstellungen über die Realität zu eröffnen.

In der Mathematik ist viel an notwendiger Vorarbeit geleistet worden. Sie würde allerdings gleichsam im luftleeren Raum der virtuellen Strukturen verbleiben, wenn sie nicht mit der Physik auf das Geschehen in der Natur angewendet wird. Ohne die Mathematik bleibt wiederum die Physik kraftlos und lediglich beschreibend. Sie kann dann nicht erklärend wirken. Zu dieser Erkenntnis sind auch philosophische Gedankengänge notwendig. Durch Reflexionen kann deutlich werden, was die verwendeten Begriffe und Strukturen bedeuten.

Einer meiner jüngeren Enkel hat mich gefragt, was „Baum“ bedeutet. Ich erklärte ihm zuerst, dass der „Baum“ ein Lebewesen ist. Dann begann ich mit dem ganzen Baum und zerlegte ihn in der Beschreibung in Stamm und Wurzeln, mit Rinde, Ästen, Blättern, Blüten und Früchten. Eine noch weitere Aufgliederung in Moleküle und Atome und zu noch Kleinerem würde für ihn wohl noch zu kompliziert werden.

Dieses Vorgehen passt zu einem bekannten, aber in der Weiterführung überraschenden Befund: Viele Philosophen und Physiker vertraten seit der Antike die Vorstellung, dass „Kleineres“ zugleich „Einfacheres“ sein würde.

Die Geschichte der Quantentheorie offenbart allerdings das Gegenteil zu dieser Vorstellung. Im Gegensatz zu ihr führt nach der Schwelle, die mit den chemischen Atomen gekennzeichnet werden kann, der immer weiter beschrittene Weg ins räumlich Kleine zu immer komplizierteren anstatt zu einfacheren Theorien.

Da man unter „Erklären“ in der Naturwissenschaft versteht, etwas Kompliziertes aus dem Einfachen aufzubauen oder zumindest daraus zu rekonstruieren, bedeutet ein „wirkliches Erklären“, mit dem „wirklich Einfachsten“ zu beginnen. Das sind die erwähnten AQIs.

Hier eine erste kurze Kennzeichnung:

Ein AQI ist so einfach, dass ihm keine Eigenschaft, also keine spezielle Bedeutung und auch kein spezieller Ort im Kosmos, zugeordnet werden kann. Es kann veranschaulicht werden wie eine Schwingung, die über den ganzen Raum ausgedehnt ist. Mathematisch und physikalisch sind AQIs als Quantenbits definierbar. Nur mit sehr vielen von ihnen werden spezielle Strukturen wie z. B. lokalisierte Teilchen möglich.

### Was lässt sich zuerst ganz allgemein zur Quantentheorie sagen?

Die Quantentheorie wurde erst notwendig und unabweisbar, als Experimente und Theorien sehr genau geworden waren.

- Die Quantentheorie erweist sich als die Physik des Genauen.

Der im Zusammenhang mit der Quantentheorie unglücklich gewählte Begriff der „Unschärfe“ erschwert diese Einsicht.

- Die Quantentheorie erweist sich als eine Physik der Beziehungen.<sup>5)</sup>  
Beziehungen begründen das Entstehen von etwas Neuem, von Ganzheiten, von Strukturen, welche mehr sind als die Summe ihrer Teile. Man kann sogar formulieren:
  - Beziehungsstrukturen werden zu Objektstrukturen und werden bei Lebewesen auch zu Bedeutungsstrukturen.  
Die Quantentheorie zeigt weiterhin, dass über die Fakten hinaus sogar Möglichkeiten, die noch keine Fakten geworden sind, bereits Wirkungen hervorrufen können.
  - Die Quantentheorie erweist sich als eine Physik der Möglichkeiten, die mathematisch als Wahrscheinlichkeiten erfasst werden können.  
Dass faktische Kräfte reale Wirkungen erzeugen, ist evident. Die Quantentheorie zeigt darüber hinaus, dass z. B. Elektronen sich anders verhalten, wenn sie die Möglichkeit haben, unkontrolliert und unbeobachtet durch zwei nebeneinander liegende Spalten fliegen zu können, als wenn sie durch Kontrolle zu einem faktischen Verhalten gezwungen werden und sie somit faktisch nur durch einen Spalt fliegen.
  - Das Wichtige an der Quantentheorie ist, dass sie keine Aussagen über faktische Zustände, sondern Aussagen über Möglichkeiten formuliert.  
Solange also das Elektron nicht in einen faktischen Zustand gezwungen wird, dann besitzt es die *Möglichkeit*, zur gleichen Zeit durch beide Spalten fliegen zu können. Die Wahrscheinlichkeiten dafür können berechnet werden – und das ist weder ein Widerspruch noch ist es unverständlich.

Hinter der Aussage über „Möglichkeiten“ steht die Tatsache, dass die Quantentheorie eine neue „Philosophie der Zeit“ erforderlich macht. Diese Änderung ist noch grundlegender als jene, die sich aus den beiden Relativitätstheorien ergeben haben.

Im Buch wird darüber reflektiert, was aus den Grundstrukturen der Quantentheorie gefolgert werden soll und kann.

Albert Einstein (1879–1955) hatte am Ende seines Forscherlebens die Vision, dass die Basis der Physik sich in einer Struktur zeigen könnte, die in ihrer konkreten Ausführung dem entspricht, was hier vorgestellt wird.

Carl Friedrich v. Weizsäcker (1912–2007) war der erste, der den Weg in ein solches Programm eröffnet hatte und der im deutschen Sprachraum darüber viel veröffentlichte. Viele Jahre später hat Archibald Wheeler (1911–2008) die im englischen

<sup>5)</sup> Görnitz, T. (1999) *Quanten sind anders: Die verborgene Einheit der Welt*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg

Sprachraum prägend gewordene These „It from Bit“ verkündet – allerdings ohne dabei aus dem zu engen Rahmen „Quantenphysik = Mikrophysik“ und den damit verbundenen Vorstellungen herauszutreten.

In eine solche Grundlegung ist nun ein halbes Jahrhundert an weiterer Forschungsarbeit eingeflossen. Das Buch will seine Leserinnen und Leser auf dem Weg mitnehmen, der von den naturwissenschaftlich erkennbaren Grundlagen der Wirklichkeit bis zu den gegenwärtigen Theorien führt.

Dabei wird gezeigt, wie weit und mit welchen Erfolgen das Programm, die Physik aus *kosmologisch begründeten absoluten Quantenbits* zu rekonstruieren, bereits durchgeführt worden ist.

Der Forscherdrang, immer besser verstehen zu wollen, was den Phänomenen zugrunde liegt, wie die Natur wirkt und wie wir das alles erklären können, ist der Hauptmotor in der Entwicklung der Naturwissenschaften. Glühendes Eisen strahlt. Max Planck (1858 – 1947) wollte verstehen, wie solche Strahlung zustande kommt. Die dafür notwendige Verbindung von Elektrodynamik und Thermodynamik führte ihn unausweichlich zur Quantentheorie.

Quantentheorie und Allgemeine Relativitätstheorie verbinden sich an den Schwarzen Löchern<sup>6)</sup>. Die dort notwendige Verkettung dieser beiden Theorien führte unausweichlich dazu, die *Quanteninformation* in die Physik einzuschließen.

Der *Einschluss der Quanteninformation als das Fundament in die Physik* bedeutet eine grundlegende Wende gegenüber derjenigen Naturwissenschaft, in der ich selbst und die meisten meiner Kollegen ausgebildet wurden.

Daraus folgt eine Schwierigkeit beim Schreiben dieses Buches. Es werden allseitig kreative neue Ideen gefordert und zugleich wird gewünscht, dass sie sehr einfach – sozusagen mund- bzw. denkgerecht – dargeboten werden. Sie sollen fantasievoll sein, aber auch die etablierten Gedanken bestätigen.

Um eine solche Quadratur des Kreises zu bewältigen ist ein Blick auf die Mathematik hilfreich. Die Quadratur des Kreises ist unmöglich, sie würde erfordern, unendlich viele Stellen von „π“ zu berücksichtigen. Zugleich kommen wir zu der Einsicht, dass eine solche Unmöglichkeit doch näherungsweise immer so gut erledigt werden kann, wie es die Umstände erfordern. Daher wird an vielen Stellen des Buches neben den zugrundeliegenden mathematischen Strukturen der neuen Physik zugleich ausführlich dargelegt, wie sie verstanden werden können.

<sup>6)</sup> Sie werden auch als Black Hole bezeichnet, oder auch nur kurz BH.



# 1

# Reale und mögliche Strukturen als Triebkraft der Natur

*Die Mathematik ist die Wissenschaft denkbbarer logischer Strukturen.*

*Die Physik ist die Wissenschaft realisierbarer Strukturen.*

Die Strukturen, die in der Natur reale Wirkungen hervorrufen können und die von der Physik erfasst werden, umfassen – und das ist eine historisch neue Einsicht aus der Quantentheorie – neben den Fakten auch die Möglichkeiten, die noch nicht faktisch geworden sind. Mit „Möglichkeiten“ ist dabei nicht dasjenige gemeint, was bereits als Fakten vorliegt, uns aber unbekannt ist. Es ist evident, dass wir Menschen uns auch nach den Möglichkeiten richten, die vorhanden sind oder die wir erwarten. Überraschend dürfte es aber sein, dass auch Möglichkeiten wirksam werden, die aus der Umgebung des betrachteten Quantenobjektes resultieren, und dass dies zu den Grundeigenschaften der Natur gehört, welche die Quantentheorie beschreibt. So verhalten sich beispielsweise Elektronen oder Photonen unterschiedlich beim Durchgang durch zwei nebeneinanderliegende Spalten: Das Verhalten richtet sich danach, ob die Möglichkeit besteht, unkontrolliert hindurchgelangen zu können, oder ob diese Möglichkeit durch eine Kontrolle beseitigt wird, weil festgestellt wird, durch welchen der Spalten sie faktisch geflogen sind. In Abschnitt 10.5 werden wir das ausführlicher betrachten.

*In diesem Sinne ist die Physik die Wissenschaft derjenigen mathematisch darstellbaren Strukturen, die reale Wirkungen erzeugen können.*

Was man in der Mathematik konstruieren kann, das ist viel umfassender als die physikalische Realität. Viele Strukturen der Mathematik werden nach bisheriger Kenntnis nicht realisiert. Mit den mathematischen Strukturen lassen sich nicht nur faktische Geschehnisse modellieren, sondern auch die Entwicklungen von physikalischen Möglichkeiten. So können die Prognosen für Möglichkeiten auch dazu verhelfen, die Realisierung von unerwünschten Möglichkeiten zu verhindern, also ihr „Faktisch-Werden“ zu vermeiden. Das kann z. B. zur „Paradoxie der Prophylaxe“ führen: Unein-

sichtige Menschen erklären nach dem Erfolg einer Prophylaxe, dass sie überflüssig gewesen sei.

Die Forderung von Wirkungsmöglichkeit wird an die Mathematik nicht gestellt. Von manchen mathematischen Theorien ist zumindest gegenwärtig eine Anwendung in einem physikalischen Modell nicht zu erkennen. Allerdings hat es in der Geschichte der Physik immer wieder überraschende Anwendungen von mathematischen Methoden gegeben, die bis dahin nur in der Mathematik benutzt wurden. Ein bekanntes Beispiel ist die Riemannsche Geometrie, die Bernhard Riemann (1826–1866) als eine reine mathematische Erkenntnis gestartet hatte. Nachdem Albert Einstein (1879–1955) die Feinheiten dieser mathematischen Strukturen von seinem Freund, dem Mathematiker Marcel Grossmann (1878–1936) erfahren hatte, erwiesen sie sich als der Schlüssel zum Verstehen der Gravitation.

In der Physik finden sich viele Theorien. Diese haben jeweils einen Anwendungsbereich und beziehen sich auf viele ähnliche Fälle. Die Theorien werden zumeist als Differentialgleichungen formuliert. Durch die verschiedenen Anfangsbedingungen werden beliebig viele Situationen erfasst.

*Theorien handeln nicht von einem Fall, sondern von vielen Fällen.*

Im vorliegenden Buch geht es nicht nur um Gesetze, sondern auch um den Begriff „Prinzip“.

Die Redewendung „im Prinzip“ wird im Alltag oft so verwendet, dass das Gemeinte gerade nicht erfüllbar ist, aber eigentlich erfüllbar sein sollte. In philosophischen Zusammenhängen und auch hier im Buch ist eine solche Abschwächung nicht intendiert.

Als Prinzipien (griech.: ἀρχή, arché – Anfang, Prinzip, Ursprung, Plural: archai) kann dasjenige bezeichnet werden, was den Theorien zugrunde liegt. Prinzipien sind das, was die Theorien erst ermöglicht.

Während die Theorien logisch geschlossene Strukturen sein sollen, kann das von den Prinzipien nicht verlangt werden. Platons „ungeschriebene Lehre“ handelt von den Archai. Weizsäcker hatte mich auf das 1993 erschienene Buch von G. Reale und die vorausgehenden Arbeiten von Krämer und Gaiser aufmerksam gemacht.<sup>1)</sup> Diese Prinzipien bei Platon sind das „Eine“ und die „unbegrenzte Zweiheit“. Der „Aufstieg“ steuert auf das „Eine“. Von dort erfolgt der „Abstieg“ in die „unbegrenzte Zweiheit“, in die Realität mit ihrer Vielfältigkeit.

In den Diskussionen mit Weizsäcker waren wir zu dem Schluss gekommen, dass die Archai vor der Idee der Logik kommen, dass sie der Logik zugrundeliegen. Damit

<sup>1</sup> Gaiser, K. (1998) *Platons ungeschriebene Lehre. Studien zur systematischen und geschichtlichen Begründung der Wissenschaften in der Platonischen Schule*, 3. Auflage, Klett-Cotta, Stuttgart; Reale, G. (1993)

*Zu einer neuen Interpretation Platons: Eine Auslegung der Metaphysik der großen Dialoge im Lichte der „ungeschriebenen Lehren‘*, Ferdinand Schöningh, Paderborn

müssen sie also nicht der Logik der Fakten unterliegen. Deshalb wohl ist diese Lehre nicht aufgeschrieben worden, denn das „Eine“ und die „unbegrenzte Zweiheit“ formen einen logischen Widerspruch, wenn sie zugleich als Fakten gedacht werden.

Wir können das Ganze, das Eine, erst in seiner Zerlegung in Vielheiten begreifen und erklären, denn eine Theorie bezieht sich auf vieles. Über ein Unikat sind aber Einsichten möglich.

Mit einer Formel wird eine Beziehung zwischen Strukturen aufgezeigt, die zuvor als Verschiedenes verstanden wurden. Ein gutes Beispiel dafür ist die berühmteste Formel der Physik:  $E = mc^2$ . Sie zeigt die Äquivalenz zwischen Materie und Energie. Diese beiden Größen waren bis dahin als etwas völlig Verschiedenes interpretiert worden.

Man kann also Beziehungen zwischen physikalischen Größen in einer Formel verdeutlichen und damit Äquivalenzen aufklären. Andere Formeln, die Differentialgleichungen, ermöglichen die Berechnung von zeitlichen Veränderungen von Systemen für viele verschiedene Ausgangssituationen.

In allen diesen Fällen ist es wichtig, dass viele verschiedene Situationen oder Fälle und nicht nur ein einziger Spezialfall betrachtet wird. Schließlich ist eine Formel als Ausdruck für eine Gesetzmäßigkeit nur für eine Vielheit sinnvoll und nicht für das „Eine“.

Im Buch geht es zuerst um fundamentale Einsichten über das Ganze. Daraus ergeben sich dann für bestimmte Bereiche der Realität sehr erfolgreiche und sehr bewährte Theorien. So wird im Folgenden gezeigt, wie aus dem *Prinzip der Prototypsis* die bewährten Theorien der Physik für bestimmte Teilbereiche der Erscheinungen im Kosmos hergeleitet werden können.

Die Prototypsis als die Grundlage der Physik ist die Gesamtheit der in der Vorrede bereits erwähnten einfachsten Strukturen, die Gesamtheit der absoluten und noch bedeutungsfreien Bits von Quanteninformation, der AQIs.

Wir haben diesen Begriff „Prototypsis“ gewählt, um die Verwechslung der absoluten Quanteninformation, der AQIs, mit demjenigen Informationsbegriff zu vermeiden, der, wie im Alltag üblich, bereits mit einer speziellen Bedeutung gedacht wird. Die Prototypsis ist also bedeutungsoffen oder bedeutungsfrei im Gegensatz zu den Qubits des Quantencomputers.

Zur Wortbedeutung dieses ungebräuchlichen Begriffes:

Prototypsis stammt aus dem Altgriechischen. Der Wortstamm τύπτω (typto) bedeutet: „schlagen, auch z. B. eine Münze prägen“; προτύπτω (protopto) „vorwärtsdringen, vorbrechen“; τυπώ (typoo) „eindrücken, prägen“; προτυπώ (prototypoo) „eine Vorstellung von etwas Zukünftigem geben“; προτύποσις (protopsis) „das Vorgeprägte, das Sich-Ausprägende, Sich-Entwickelnde“.

Die AQIs der Prototypsis, die das Kernstück des Buches bilden, sollen bereits hier kurz vorgestellt werden:

Die AQIs sind die einfachsten Quantenstrukturen.  
Aus den AQIs lassen sich alle komplexen Strukturen konstruieren.  
Ein AQI kann als eine „kosmische Grundschwingung“ visualisiert werden.  
Die Zustände eines AQIs spannen einen lediglich zweidimensionalen komplexen Raum  $C^2$  auf.  
Da ein AQI die mathematische Struktur eines Qubits hat, aber noch keine spezielle Bedeutung haben kann, war für die Gesamtheit aller AQIs ein neuer Begriff notwendig: Prototypsis.  
Wie sich die AQIs der Prototypsis zu einer Kosmologie und zu den speziellen Strukturen im Kosmos formt, zu Atomen, Photonen und zu bedeutungsvoller Information, ist Gegenstand der folgenden Kapitel.

## 1.1 Einstein und Weizsäcker über die Grundlagen der Naturwissenschaft

Gleichsam als Quintessenz seines Forscherlebens über die Feldtheorien in der Physik beendete Albert Einstein (1879–1955) die letzte von ihm redigierte Ausgabe seines Buchs „The Meaning of Relativity“ mit der folgenden Feststellung:

*„One can give good reasons why reality cannot at all be represented by a continuous field. From the quantum phenomena it appears to follow with certainty that a finite system of finite energy can be completely described by a finite set of numbers (quantum numbers). This does not seem to be in accordance with a continuum theory and must lead to an attempt to find a purely algebraic theory for the description of reality. But nobody knows how to obtain the basis of such a theory.“<sup>2</sup> (Man kann gute Gründe dafür anführen, warum die Realität überhaupt nicht durch ein kontinuierliches Feld dargestellt werden kann. Aus den Quantenphänomenen scheint mit Sicherheit zu folgen, dass ein endliches System endlicher Energie vollständig durch eine endliche Menge von Zahlen (Quantenzahlen) beschrieben werden kann. Dies scheint nicht im Einklang mit einer Kontinuumstheorie zu stehen und muss zu dem Versuch führen, eine rein algebraische Theorie zur Beschreibung der Wirklichkeit zu finden. Aber niemand weiß, wie man die Grundlage einer solchen Theorie erhalten kann.)*

<sup>2</sup> Einstein, A. (1954) *The Meaning of Relativity*, 6<sup>th</sup> ed., Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA, Appendix II D, S. 164

Einstein meinte offenbar eine Struktur, die eher mit den ganzen Zahlen verwandt ist als mit den reellen Zahlen (dem Kontinuum, wie die Feldtheorien).

Wenn Einstein nach seinem kreativen Forscherleben mit Schwerpunkt auf den Feldtheorien Derartiges publiziert, dann sollte dies Anlass für gründliches Nachdenken sein. *Was Einstein hiermit verlangt, das ist nicht weniger, als die Physik in ihren Grundlagen neu zu bedenken.*

Kontinuierliche Feldtheorien sind mathematische Strukturen, in denen unendlich kleine und unendlich große Werte auf gleichsam „angeborene Weise“ miteingeschlossen sind. In der Natur jedoch und in ihrer physikalischen Beschreibung sind „Unendlichkeiten“ ein Hinweis darauf, dass die betreffende Theorie sich in ihrer Idealisierung zu weit von der Natur entfernt hat. In der Natur, die wir beobachten können, existiert nichts unendlich Großes – und auch nichts unendlich Kleines.

Selbstverständlich weiß Einstein um die große Bedeutung der Feldtheorien. Zu denen gehören nicht nur die sehr erfolgreichen Strukturen seiner Allgemeinen Relativitätstheorie und der Maxwell'schen Elektrodynamik, sondern auch die quantentheoretischen Beschreibungen elektromagnetischer Phänomene in der Quantenelektrodynamik oder der Quantenchromodynamik.

Einstein wusste natürlich, dass die in der Physik verwendeten theoretischen Unendlichkeiten unverzichtbar und hilfreich sind. Man benötigt sie vor allem im „Nenner eines Bruches“. Denn damit wird es möglich, etwas zu null werden zu lassen, was zur Beschreibung der betreffenden Situation nichts Nutzbringendes beitragen kann. Einstein mag jedoch geahnt haben, dass den in der Physik verwendeten „Unendlichkeiten“ noch etwas anderes zugrundeliegen muss – nämlich eine „endliche Struktur“.

In der Mathematik kann man das „unendlich“ Große aus den ganzen Zahlen erzeugen. Die ganzen Zahlen verkörpern das einfachste Beispiel von dem, was Einstein mit „algebraischer Theorie“ meint. Der Übergang von diesen zum Kontinuum der reellen Zahlen geschieht in der Mathematik mithilfe von Grenzprozessen, von „Limes-Strukturen“. Denn das Unendliche kann nur als Grenzprozess behandelt werden, als Gesetzmäßigkeit über ein Verhalten z. B. von Zahlenfolgen.

### **Kann das Unendliche auch für die Physik gelten?**

Im Unterschied zu den mathematischen Größen kann ein physikalischer Messwert „Unendlich“ für uns Menschen nicht existieren!

„Prinzipiell“ kann man immer weiter zählen, „prinzipiell“ kann man Brüche – also das Verhältnis zweier ganzer Zahlen – immer kleiner werden lassen.

Erst mit den Grenzwertbildungen gegen „unendlich groß“ und „unendlich klein“ werden viele Strukturen erkennbar, weil man damit in der jeweiligen Situation Unwesentliches ausblenden, also „verschwinden“ lassen kann.

Für einen Milliardär ist wahrscheinlich der Unterschied zwischen einem Dollar und einem Cent oft uninteressant. Er wird auf diese Information verzichten. Ein anderes

möglichen Beispiel wäre, an einem Punkt der Kurve den Unterschied zwischen dieser Kurve und der Tangente zu ignorieren. Wenn ich einen Stadtplan verwende, dann wird damit der Unterschied zwischen der Erdkugel und einer Tangential-Fläche an diese Kugeloberfläche zu Null gemacht.

Es wird also zweierlei erkennbar:

Einerseits erlauben die Übergänge zu Grenzwerten das Ausschließen von unwichtigen Teilaspekten. Andererseits gibt es in der Natur keine tatsächlichen Unendlichkeiten. Es steht also die Aufgabe an, einerseits „algebraische“, d. h. diskrete Strukturen zu suchen. Sie haben dann eine gewisse Ähnlichkeit mit den ganzen Zahlen. Und andererseits muss man dann daraus Limes-Strukturen konstruieren, um sich das in der Natur Vorfindliche so zu vereinfachen, dass es für uns einer mathematischen Beschreibung zugänglich wird.

Fast zur gleichen Zeit, in der Einstein seine obige These formulierte, entwickelte Carl Friedrich v. Weizsäcker in den Artikeln über „Komplementarität und Logik“ die ersten Überlegungen, um die Quantentheorie auf der Basis von „einfachen Alternativen“ zu begründen.<sup>3)</sup>

In dieser Zeit sah man den Unterschied zwischen Quantentheorie und klassischer Physik vor allem in dem, was von Niels Bohr (1885–1962) als „Komplementarität“ bezeichnet wurde.

Mit dem Begriff der Komplementarität wird auf die Tatsache verwiesen, dass in der Quantentheorie eine gleichzeitige Messung von Ort und Impuls eines Teilchens nicht möglich ist, weil beide Größen gemäß Theorie nicht gleichzeitig existieren. Hingegen beruht die klassische Physik auf der Vorstellung, dass zur gleichen Zeit für ein Teilchen ein wohldefinierter Ort und eine wohldefinierte Geschwindigkeit existieren würden. Diese so fruchtbaren und erfolgreichen Vorstellungen aus der klassischen Physik sind allerdings keineswegs selbstverständlich. Darauf hatte der antike Philosoph Zenon von Elea (490–430 v. Chr.) bereits vor zweieinhalb Jahrtausenden hingewiesen.<sup>4)</sup>

In populären Darstellungen wird Komplementarität gelegentlich am Beispiel der beiden Seiten einer Münze illustriert. Von diesen kann immer nur eine gesehen werden. Ich halte die damit vermittelte bildliche Vorstellung für recht unglücklich gewählt. Sie vermittelt den Eindruck, als könnten beide komplementäre Aspekte zur gleichen Zeit faktisch existieren, aber nur nicht erkannt werden. Das trifft nicht zu. Komplementäre Eigenschaften existieren gleichzeitig stets nur als Möglichkeiten. Die beiden Seiten einer Münze hingegen als Fakten.

<sup>3)</sup> Hempel, C. G.; Weizsäcker, C. F. v. (1955) *Komplementarität und Logik I*, Naturwiss. 42, S. 521–529, S. 545–555, (1958) *Komplementarität und Logik II*, Z. f. Naturforschung 13a, S. 245

<sup>4)</sup> siehe z. B. Görnitz, T. (2020) *Das Wirken der Quanten – Band 1: Antworten auf die großen Fragen der Physik*, DAS NEUE DENKEN, München

*Komplementäre Eigenschaften erscheinen als zugleich notwendige Charakterisierungen eines Systems, die jedoch in der betreffenden theoretischen Beschreibung niemals gleichzeitig faktisch werden können.*

Als anschauliches Beispiel verwendete Niels Bohr (1885 – 1962) gelegentlich die Komplementarität zwischen Liebe und Gerechtigkeit. Sie sind beide im Zusammenleben der Menschen wichtig, wenn ein gutes soziales Miteinander resultieren soll. Jedoch streng genommen schließen sie *im Rahmen der klassischen Logik* einander aus.

Bohr war für die jungen Quantenphysiker wie Werner Heisenberg (1901 – 1976), Wolfgang Pauli (1900 – 1958) und viele andere so etwas wie eine „Vaterfigur“. Wie Weizsäcker gern berichtete, hatte Bohr die Fähigkeit, in einer freundlichen Art und Weise die Argumente seiner Gesprächspartner so lange zu hinterfragen, bis alle Schwächen der Argumentation aufgedeckt waren. Dabei half ihm seine Fähigkeit, zwischen einer Paradoxie und einem Widerspruch zu unterscheiden.

Ein Widerspruch behauptet, dass zwei sich ausschließende Aussagen (z. B. „Ein Dreieck hat vier Seiten“ und „Ein Dreieck hat nicht vier Seiten“) zugleich faktisch zutreffen. Eine Paradoxie hingegen ist „παρά, neben“ der „δόξα, Meinung“. Sie kann unerwartet, unglaublich, ja widersprüchlich erscheinen.

 Paradoxe Aussagen über Möglichkeiten erscheinen dann als Widersprüche, wenn sie als Fakten formuliert oder gedacht werden.

Ein Beispiel, das wir später noch genauer betrachten werden (siehe Abschnitt 9.5), ist die oft zu lesende Behauptung über den Doppelspaltversuch: „Das Quantenteilchen fliegt durch beide nebeneinanderliegende Spalten“. Der Widerspruch verschwindet, wenn man die Aussage auf Möglichkeiten bezieht: „Das Quantenteilchen hatte die Möglichkeit, zur gleichen Zeit durch beide nebeneinanderliegende Spalten zu fliegen.“

 Eine paradoxe Aussage wird zu einem Widerspruch, wenn man mit ihr zugleich die Vorstellung verbindet, dass Möglichkeiten stets und ausschließlich auf Unkenntnis über Fakten beruhen.

Aus dem Doppelspaltversuch (Abschnitt 10.5) wird deutlich, dass er auch unser Wissen über die Struktur der Zeit erweitert. Anstelle der Vorstellung einer lückenlosen Aneinanderreihung von faktischen Zeitpunkten zeigt die Quantentheorie, dass zwischen zwei Fakten, in diesem Beispiel zwischen dem Aussenden des Teilchens und seinem Registrieren am Bildschirm, in diesem Versuch kein weiteres Faktum postuliert werden darf. Ein Eingriff, um ein Faktum zu erzwingen, verändert oder zerstört das Experiment. In den Kapiteln 8 und 9 wird dargelegt, wie wir aus der Quantentheorie lernen können, dass die Struktur der Zeit raffinierter ist, als oft gedacht wird, und dass sie differenzierter betrachtet werden muss.

Quantentheorie kann interpretiert werden als eine Änderung der Logik, welche die komplementären Aspekte jeder fundamentalen Naturbeschreibung berücksichtigt.

Weizsäcker konzentrierte sich bei seinen Überlegungen auf den Zusammenhang von Komplementarität mit Logik – und in der Logik gibt es „einfache Alternativen“.

*„Die Quantenlogik der einfachen Alternative führt zu einer Mannigfaltigkeit von Zuständen, die der Gesamtheit der Richtungen im dreidimensionalen reellen Raum zugeordnet werden kann...“*

*Ich möchte vermuten, dass die mathematischen Eigenschaften des wirklichen physikalischen Raumes auf diese Weise aus der Komplementaritätslogik folgen.“<sup>5)</sup>*

Was steckt hinter dieser Vorstellung?

Einerseits verweist Weizsäcker darauf, dass jede beliebige Fragestellung durch eine Abfolge von einfachen Fragen beendet werden kann. Einfache Fragen erfordern und erwarten als Antworten lediglich „ja“ oder „nein“. Auch jedes experimentelle Ergebnis kann in eine Abfolge von „Ja-Nein-Angaben“ eingegrenzt werden.

Andererseits verbindet Weizsäcker diese Trivialität mit der sehr kühnen Behauptung, dass sich aus der Grundstruktur der Quantentheorie eine der bis dahin ungeklärten Fragen der Physik – die der Begründung der Dreidimensionalität der Realität – lösen lassen würde.

## 1.2 Ein wenig Mathematik

Ein paar mathematische Begriffe sollen so weit erläutert werden, dass es für das Verständnis hilfreich ist.

### 1.2.1 Raum

Vielleicht wird man sich fragen, wieso man um die drei Dimensionen Länge, Breite und Höhe so viel Aufhebens macht. Man weiß und sieht es doch, dass es so ist.

Dass der Raum, in dem wir leben, mit Länge, Breite und Höhe drei Dimensionen hat, das war über Jahrtausende keine Frage, über die man nachgedacht hätte. Auch bei der Entwicklung der Mechanik war das selbstverständlich. Allerdings musste man in ihr für jedes Teilchen je drei eigene Koordinaten für dessen Orte und Geschwindigkeiten einführen.

---

<sup>5</sup> Hempel, C. G.; Weizsäcker, C. F. v. (1955), S. 552

Die Mathematiker erkannten bald, dass man eine solche Struktur als einen Raum mit vielen Dimensionen verstehen kann. Bei einem Teilchen ergeben Ort plus Geschwindigkeit einen mathematischen sechsdimensionalen Raum. Bei mehreren Teilchen erhalten wir einen Raum mit insgesamt sechsmal so viel Dimensionen, wie es beteiligte Teilchen gibt.

Die mathematischen Vorstellungen gehen also weit über „Länge, Breite und Höhe“ hinaus. Trotzdem sind diese mathematischen Abstraktionen auch für physikalische Vorstellungen äußerst nützlich. Die berühmte Mathematikerin Emmy Noether (1882–1935) prägte den Begriff der „abstrakten Anschauung“, der auch für manche physikalische Probleme hilfreich ist.

Die Entwicklung ging weiter. Die Mathematiker zeigten, dass man die Erkenntnisse über gekrümmte Flächen, wie z. B. die Oberfläche einer Kugel, auch auf Räume mit mehr Dimensionen als nur die zwei einer Fläche übertragen kann. Der Raumbegriff wurde immer mehr auch zu einem Werkzeug in der Physik und die Vorstellungen über Dimensionen wurden immer allgemeiner.

Es ergab sich daher eine Verallgemeinerung des Raumbegriffes, von der man normalerweise in der Schule nichts hört.

Die vielfachen Verallgemeinerungen und ihre Nützlichkeit ließen schließlich doch bei manchen Physikern die nachdenkliche Frage auftreten, weshalb wir der Überzeugung sind, in einer dreidimensionalen Welt zu leben.

Man könnte manche der gegenwärtigen Modelle der Physik so karikieren: Der Raum ist elfdimensional. Das ist so evident, dass man es nicht begründen muss. Und dann zeigt sich, dass sich sieben Dimensionen so stark einrollen, dass wir bisher von ihnen noch nichts bemerken konnten und nur die vierdimensionale Raumzeit bemerkbar ist.

Wenn wir das alles bedenken, dann kann man überlegen, welche rationalen Gründe es gibt, dass der Raum drei und die Zeit eine Dimension besitzt.

Mit dieser kurzen Schilderung sollte deutlich werden, wieso „Raum“ mit seinen Verallgemeinerungen und seinen vielfältigen Bedeutungen mit zu den am häufigsten benutzten Begriffen in der Physik gehört. Es soll daher kurz skizziert werden, was mit Begriffen wie Raum, Vektoren usw. gemeint ist. Wer sich allerdings solchen eher mathematischen Spezialitäten noch nicht zuwenden will, kann die Kästen überblättern.

## 1.2.2 Einige weitere mathematische Begriffe

### Vektoren

Noch lange nach den Zeiten von Euklid (ca. 300 v. Chr.) war mit „Raum“ der dreidimensionale Raum (mit Länge, Breite und Höhe) gemeint, in dem wir leben. Auch waren Zeichnen und Rechnen voneinander getrennt, also Geometrie und Algebra.

René Descartes (1596 – 1650) erfand das Koordinatensystem. Das war genial. Es ermöglichte damit auch eine rechnende („die analytische“) Geometrie. Seitdem wird in der Mathematik der Begriff „Raum“ sehr häufig und für sehr verschiedene Entitäten verwendet.

Mit dem Koordinatensystem können Vektoren (Pfeile) definiert werden. Sie definieren ihren Endpunkt durch ein Zahlentupel. Bei der Addition wird das Ende eines Vektors an die Spitze des anderen angefügt.

### Superposition

Bei einem Quantensystem werden den verschiedenen Zuständen Vektoren zugeordnet. So, wie man verschiedene Möglichkeiten miteinander kombinieren kann, kann man wie in Bild 1.1 einen Vektor aus anderen Vektoren aufbauen oder auch in andere zerlegen. In der Mathematik spricht man dabei von der Summe der Vektoren. In der Quantentheorie verwendet man den Begriff der Superposition oder auch der „Überlagerung“ dafür.

Mit der Superposition wird bei einem Quantensystem darauf hingewiesen, dass mit einem konkreten Zustand stets auch die Möglichkeit von anderen Zuständen gegeben ist.

Nicht nur in der Mathematik, auch in der Physik wurde der abstrakte mathematische Raumbegriff immer umfassender verwendet. Schließlich ergab sich die Frage, welche Dimension der „Realität“ zuzusprechen ist. So gibt es gegenwärtig in der Physik nicht nur die Vorstellung, dass einige der mathematischen Dimensionen etwas mit der Realität zu tun haben könnten, sondern auch Vorschläge, nach diesen „verborgenen Dimensionen“ experimentell zu suchen. Mir ist nicht bekannt, dass das erfolgreich war.

Weizsäckers These war, dass bereits aus der mathematisch einfachsten Quantenstruktur die Dreidimensionalität der Realität folgt.

# Index

## Symbolen

- 17 Kamele 655
- $\pi$  247f.
- $\Lambda$ CDM-Kosmologie 359

## A

- Abel, Henrik 330
- Absicht 635
- Absichten 696
- Absolute Bits von QuantenInformation 37
- Absolute, das 37
- absolute Information 103
- Abstammung des Menschen 23
- Abstraktion 281, 302, 633f.
- Abstraktionsstufen 638
- AdS-Modelle 383
- Agostini, Pierre 374
- Ähnliches 22, 66
- algebraic theory 4
- Algorithmus 198
- Al-Khalili, Jim 289
- All-Aussage 711
- Allgemeine Relativitätstheorie 35, 97, 362, 419
- Allgemeine Relativitätstheorie, Vakuum-Lösung 109

- Allmacht 20
- Alter des Kosmos 230
- Alternative, einfache 6
- Alternativlosigkeit 251
- Ambivalenz 76, 137
- Amplitude 151
- Analogien 640
- Anästhetika 686
- Anderson, Carl David 731
- Anderson, Philip Warren 174
- Anordnung, räumliche 654
- Anti-de-Sitter-Modelle 383
- Anti-de-Sitter-Universum 109
- Antigravitation 366, 451
- Antimaterie 520, 532, 731
- Antiteilchen 54
- antiunitär 510
- Anti-Ur 510, 539
- Approximation 210, 508, 553, 678
- a priori 226
- AQI XXIX, XXXI, 3, 35ff., 53ff., 67, 114ff., 120, 148ff., 241, 281, 298, 402, 503, 725
- Äquivalenz 148
- Arbeit 100
- archaí 710
- Archetypen 242
- Aristarch von Samos 86f., 222
- Aristoteles 16, 52, 229, 239, 710

- Arndt, Markus 185  
 Aromatizität 42  
 Aspect, Alain 166, 171, 179, 545  
 Assoziation 634  
 Astronomia Nova 360  
 Astronomie, griechische 222  
 Ätherdruck 604  
 Ätherwind 203  
 Atom 27, 148  
 – stabiles 41  
 Atombombe 242  
 Atomist 148  
 Atomkern 43, 56, 599  
 Atommodell 474  
 a-tomas 146  
 Atomuhr 207  
 ATP 679  
 Attraktor 632  
 Auge 678  
 Augustinus 216  
 Aussenden von Information 300  
 Axiom 89, 226, 709  
 Axiomensystem 226  
 Axon 678
- B**
- Baars, Bernard J. 694  
 Babylon 202  
 Backward Causation 16  
 Bacon, Francis 89  
 Beamen 190  
 Beckenstein-Hawking-Entropie 485  
 Beck, Friedrich 686  
 Beckmann, Franz 372  
 Bedeutung 52, 80, 152, 161, 177f., 280, 299, 653  
 Bedeutungsfreiheit 120  
 Bedeutungsstrukturen XXXII  
 Bedeutungszuordnung 280  
 Bedingung a priori 225  
 Bekenstein-Hawking-Entropie 347, 473  
 Bekenstein, Jacob 93, 99f., 105f., 114f., 422, 475ff., 484, 582  
 Bell, John 166, 181  
 Benennung 280  
 Beobachter 268, 279, 289, 292, 302, 305  
 Beobachtung 21, 159  
 Bertalanffy, Ludwig von 641  
 Beschleuniger 145, 545  
 Beschleuniger-Experiment 296  
 Beschleunigung 230, 406  
 Beschreibung 271, 657  
 Bessel, Friedrich Wilhelm 87  
 Bethe, Hans 253, 591  
 Bewegung 148  
 Bewegung an sich 27  
 Bewegungen, natürliche 81  
 Bewegungsgruppe 506  
 Bewertung 179, 633  
 Bewusstsein 75, 78, 130, 134, 144, 199, 268, 273, 289, 302, 672, 685  
 Bewusstsein, Definition 690  
 Bewusstseinsinhalte 78, 691  
 Beziehung 702  
 Beziehungsstruktur 75, 667, 702  
 Bezugssystem 34, 204  
 Bifurkation 195, 290  
 Big Bang 215, 358, 388, 402  
 Big Bounce 388  
 Big Crunch 366  
 Bindung, chemische 164  
 Bindungsverhalten 681  
 Biologie XXIX, 51  
 Biomoleküle 79  
 Bismarck, Otto v. 372  
 Bit 688  
 Black Hole 95, 99, 145, 155, 298, 421f., 451, 459, 483  
 Black Hole, rotierendes 459  
 Black Hole, supermassives 461  
 Bloch, Felix 120  
 Bloch-Kugel 119  
 Blome, Hans-Joachim 388  
 Bogoljubov, Nikolai Nikolajewitsch 601  
 Böhm 520  
 Bohm, David 733  
 Bohmsche Mechanik 269, 734

Bohr, Niels 6, 85, 173, 212, 474  
Bojowald, Martin 388  
Boltzmann, Ludwig 88, 101, 104  
Boltzmann-Statistik 520, 525  
Bolyai, János 227, 405  
Boost 506  
Bornschen Regel 734  
Börse 703  
Bose-Einstein-Kondensat 295  
Bose-Einstein-Statistik 501  
Bose-Erzeugungsoperator 512  
Bose, Satyendranath 504  
Bose-Statistik 557  
Bose-Vernichtungsoperator 512  
Boson 45, 512  
Bottom-up-Wirkung 636  
Brahe, Tycho 359, 372  
Brillouin, Léon Nicolas 477  
Brout, Robert 592  
Bruch 244  
Brückengesetz 72, 235, 309  
Brukner, Časlav 212  
Bruno, Giordano 255  
Buchstaben 688

## C

Cantor, Georg 244ff.  
Carnot, Sadi 477  
Cartan, Élie Joseph 573  
Casimir, Hendrik 555  
Casimir-Operator 537, 555  
Castell, Lutz 332  
Cauchy, Augustin-Louis 246  
Cauchy-Riemannsche-Differentialgleichung 563  
causa finalis 16  
Cellarius, Andreas 87, 359  
CERN 557  
Chadwick, James 731  
Chaos 658  
Chaos, deterministisches 24, 172  
ChatGPT 143  
Chemie XXIX, 41

Chlor 43  
Christodoulou, Demetrios 477  
Clauser, John 171, 179, 545  
Clausius, Rudolf 100, 104  
CO<sub>2</sub> 651  
Codierung 584  
Compton-Wellenlänge 108, 475  
Computer 117, 198  
Contergan 57  
Coulomb, Charles Augustin de 39  
Coulombfeld 39, 269  
Coulombkraft 43  
CP-Invarianz 520, 597f.  
CPT-Invarianz 399, 520, 579, 596  
CPU 129  
CP-Verletzung 598  
Crick, Francis 51  
C-Transformation 596

## D

Daly, Herman 727  
Dämon, Laplacescher 213  
Dampfmaschine 100  
Darstellung, irreduzible 506  
Darstellung, reguläre 348  
Darwin, Charles 23, 652  
de-Broglie-Bohm-Interpretation 735  
de Broglie, Louis 301, 733  
Decodierung 584, 638, 668  
deduktiv-nomologisches Modell 61  
Deep learning 144  
Deep Space Nine 96  
Dekohärenz 285ff., 295  
de Lagrange, Joseph-Louis 564  
delayed choice 212  
Delta-Funktion 71  
Denkgesetz 241  
Descartes, René 10, 233, 541  
De-Sitter-Gruppe 509, 516  
De-Sitter-Kosmos 510, 607  
De-Sitter-Raum 520  
de Sitter, Willem 499, 509  
Determiniertheit 214, 253

- Deutsche Physik 256  
Dezimalbrüche 243  
Diagonalverfahren 244  
Dichotomie 52  
Dichteänderung 547  
Dichtematrix 120, 157, 286, 553  
Dichteoperator 157, 286, 553  
Dielektron 37  
Diffeomorphismusinvarianz 425  
Differentialgleichung 171, 209  
Differentialgleichung, nichtlineare 172  
Dimension 12, 248  
Dimensionsanalyse 13  
Dinosaurier 676  
Diphoton 166f., 191  
Dirac, Paul 15, 71, 113, 400, 426, 532, 731  
Dirac-See 533  
direktes Produkt 17, 568  
direkte Summe 568  
dissipative Strukturen 50  
Distributionen 71  
Diversität 640  
Dixmier, Jacques 516  
DNA 661  
Dobzhansky, Theodosius 652  
Dokument 266  
Doppelpulsar 424  
Doppelspalt 258  
Doppelspalt-Experiment 82  
doxa, Meinung 235  
Drehimpuls 13, 474  
Drehung 506  
Driesch 231  
Drieschner, Michael 233, 336  
Druck 362, 423, 552  
Druck, homogener 461  
Druck, isotroper 461  
Druck, kosmologischer 454  
Druck, negativer 367  
Dualismus 52, 676  
du Bois-Reymond, Emil 199, 225  
Duftmarken 702  
Dunkle Energie 358, 367, 424, 440, 451  
Dunkle Materie 358, 424, 440, 451, 454, 472  
dynamische Schichtenstruktur 29, 83, 193ff., 198, 554, 661, 667, 710, 733  
Dyson, Freeman J. 356
- E**
- Ebbesen, Thomas 46  
Eccles, John 686  
Eco-Evo-Devo 664  
Eddington-Akkretionsrate 450  
Eddington, Arthur 96, 449  
Eddington-Finkelstein-Koordinaten 98, 475  
Eddington-Limit 451  
EEG 131, 289, 680, 686  
Ehlers, Jürgen 366, 419  
Eigen, Manfred 632  
Eigenschaft 48, 52ff., 75, 121  
Eigenschaft, von Objekten 132  
Eine, das 2  
eingefrorene Zustände 103  
Einheit 200, 710  
Einheit des Bewusstseins 681  
Einstein, Albert XXXII, 2ff., 22, 37, 85f., 148, 173, 195, 204ff., 230, 252, 255f., 301, 366, 382f., 389, 402, 405, 420, 426, 504, 547f., 554, 591, 609, 653, 725  
Einstein-Fahrstuhl 424  
Einsteinium 280  
Einstein-Kosmos 343, 407  
Einstein-Kreuz 471  
Einstein-Podolski-Rosen-Phänomene 545  
Einweg-Quantencomputer 125  
Einzelfall 74  
Einzeller 79, 633  
Eisen 55  
Elektrodynamik 543  
Elektromagnetismus 547  
Elektronen 600  
Elektronenradius, klassischer 605  
Element 600

- Elementarladung 605  
Elementarteilchen 149, 615  
Elementarteilchenphysik 155, 233, 561  
Elementarteilchentheorie 176  
Elementarvolumen 586  
Elemente 651  
Ellipsen 361  
Ellis, George 393  
Emergenz 72, 75, 309, 666  
Emergenz, schwache 644  
Emergenz, starke 644  
Emission, virtuelle 300  
Empfindungen 637  
Empirie 199, 227f., 289  
Empirie-Problem 308, 446  
Endcrash 457  
Endknall 452  
Endknall-Kosmologie 366  
Endkollaps 366  
Energetische Quanten 36  
Energie 36, 100  
Energiebedingung, dominante 393  
Energiebedingung, schwache 393  
Energiebedingung, starke 393  
Energie des Gravitationsfeldes 424  
Energiedichte 362f.  
– kosmologische 454  
Energiedichte-Druck-Tensor 364  
Energie, kinetische 56  
Energiekonzentration 369  
Energie, negative 109  
Energiesatz 383  
Englert, Berthold-Georg 737  
Englert, François 592  
Ensemble-Eigenschaft 552  
Ensemblephysik XXX  
Entartungsdruck 363  
Entelechie 357, 660  
Entropie 50, 100ff., 477, 484ff., 552  
Entropie, absolute 103  
Entropie, Änderung 102  
Entropie, Export von 636  
Entropie, negative 477  
Enzym 47, 655  
Epigenetik 663  
EPR 170  
EPR-Experimente 545  
EPR-Korrelationen 254  
Erbgut 67  
Ereignisse 278  
Erfahrung 199, 222  
Erinnerung 137  
Erkenntnis 708  
Erkenntnis a priori 225  
Erklären 15, 61ff., 216, 657  
Erklärung 175  
Erklärung des Lebens 79  
Erklärungslücke 136  
Erster Hauptsatz 312  
Erzeugen von Quantenteilchen 64  
Erzeugungs- und Vernichtungs-  
Operatoren 38  
Euklid 10, 228, 709  
Euler, Leonhard 746  
Everett, Hugh III. 741  
Evo-Devo 663f.  
Evolution 52, 67, 662  
Evolution, kosmische 25, 74  
Evolutionstheorie, synthetische 663  
Ewigkeit 216  
Expansion des Kosmos 294  
Experiment 21, 223, 229  
Experimentator 252  
Exponentialabbildung 549  
Exziton 45, 155
- F**
- Fake News XXVII  
Fakten 38, 290  
Faktisch-Werden 1, 296  
Faktum 305  
Falschfarbenbild 91  
Fantasie 639, 653  
Faserbündel 335, 568  
Faserung 335  
Fehlfaltung 57  
Feldquanten 29, 65, 174, 511, 564

- Feldtheorie 5  
 Felsen 653  
 Fermi-Dirac-Statistik 501, 505  
 Fermi, Enrico 45, 356  
 Fermi-Erzeugungsoperator 512  
 Fermion 332  
 Fermionen 45, 505  
 Fermi-Statistik 557  
 Fermi-Vernichtungsoperator 512  
 Fernwirkung 736  
 Fernwirkungstheorie 405  
 festgelegt 640  
 Festkörper 43  
 Festkörperphysik 41f.  
 Festkörpertheorie 64  
 Feynman-Integral 329  
 Feynman, Richard P. 174  
 Film 213  
 Finitismus, offener 320  
 Finkelstein, David 96, 100  
 Firmware 129  
 Fisher, Ronald 662  
 Fittler, Robert 247  
 Fixsternparalaxe 87, 405  
 Fließgleichgewicht 50, 195, 632, 661  
 FLRW-Kosmos 379, 459  
 Flüssigkeit, ideale 364  
 Fock-Darstellung 555  
 Fock, Wladimir Alexandrowitsch 32, 554  
 Fördermittel 455  
 Form 52, 140, 160, 632  
 Formel 3  
 Form, konkrete 77  
 Formkonstanz 715  
 Foucault, Léon 87  
 Fourier, Joseph 249  
 Fourier-Reihen 337  
 Freedman, Stuart J. 182  
 Freie Energie 100  
 Freiheit 256  
 Freiheitsgrad 101, 252  
 Frequenz 151  
 Freud, Sigmund 23  
 Friedmann, Alexander 364, 499  
 Friedmann Gleichungen 411  
 Froschschenkel 686  
 Führungsfeld 735  
 fundamentalen Wechselwirkungen 39  
 Funktion, analytische 563
- G**
- Gaiser, Konrad 2  
 Galaxie 452  
 Galilei, Galileo 21, 87, 223, 359  
 Galvani, Luigi 686  
 Ganze, das 37  
 Ganzheit 16, 164, 168, 296, 703  
 Gas, ideales 101, 312  
 Gastruloide 665  
 Gauß, Carl Friedrich 227, 405  
 Gedächtnis 634  
 Gedächtnis, holografisches 697  
 Gedanke 76, 689  
 Gedanken 672, 688  
 Gedankenexperiment 21, 89  
 Gedanken im Gehirn 134  
 Gefühl 76, 138  
 Gegenwart, ausgedehnte 143, 164, 205, 210f.  
 Geheimdienst 281  
 Geheimnis des Lebens 661  
 Gehirn 125, 132, 289, 300  
 Geist 52  
 Geistige Tätigkeit 302  
 Gell-Mann-Matrizen 574  
 Gell-Mann, Murray 600  
 Gen 661  
 Genauigkeit 25  
 Genom 661  
 Genzel 93  
 Geodäte 405  
 Geometrie, euklidische 227f.  
 Geometrie, hyperbolische 228, 405  
 Geometrie, nichteuklidische 405  
 Geometrie, sphärische 227, 405  
 Georgiev, Danko D. 686  
 Gerlach, Walther 738

- Gesamtheit des Empfindens 638  
Gesamtensorraum 515  
Geschwindigkeit 97  
Gesetz 22, 66, 74, 223  
Gesetzmäßiges 241  
Gestalt 54, 140f., 160, 659  
Gewissheit, absolute 228  
Ghez 93  
Gilgamesch-Epos 241  
Gitterzellen 302  
Gleiches 22, 66  
Gleichgewicht 49  
Gluon 69, 155, 549f., 570, 577, 600, 732  
Gödel, Kurt 200, 214, 226ff., 233, 355  
Goethe, Johann Wolfgang v. 40, 88, 146,  
  199  
Goseck 698  
GPS-System 424  
Gradienten 627  
Graudenz, Dirk 333  
Gravitation 35, 39, 91, 230, 406, 547, 558  
Gravitationsfeld 208, 383  
Gravitationskollaps 113  
Gravitationskonstante 112, 230, 343  
Gravitationslinse 471  
Gravitationswellen 86, 405  
Gravitonen 300, 422  
Green, Herbert Sydney 526  
Greensche Zerlegung 526  
Grenzwert 6, 246  
Grolle, Johann 92  
Grossmann, Marcel 2  
Gründe 252  
Grundlegung der Naturwissen-  
  schaft 322  
Grundschwingung 149  
Grundzustand 99, 467  
Grundzustandsenergie 98  
Gruppe 210, 246  
Gruppe, diskrete 330  
Gruppe, kommutative 330  
Gruppe, kompakte 348  
Gruppe, kontinuierliche 330  
Gruppe, Liesche 330  
Gruppe, nichtkommutative 330  
Gruppenstruktur 210  
Gruppen, unitäre 330  
GULAG 256  
Gültigkeitsbereich 271  
Guralnik, Gerald S. 592  
GUT 549, 595  
Guzmán 468
- H**
- H2O 70  
Haag, Rudolf 293, 366  
Haber-Bosch-Verfahren 636  
Hadronen 571, 731  
Hagen, C. Richard 592  
Haken, Hermann 632  
Halbgruppe 210, 246  
Haldane, John Scott 50  
Halteproblem 228  
Hardware 129  
Hauptsatz, Erster 362  
Hawking, Stephen 93, 104, 419, 422  
Hawking-Strahlung 105  
Hawking-Temperatur 114, 481  
Heisenberg 249  
Heisenbergsches Urfeld 176  
Heisenbergsche Unbestimmtheits-  
  relation 97  
Heisenberg, Werner 7, 23, 26, 89, 173,  
  256, 336, 371, 400, 557, 725  
Hempel, Carl Gustav 61  
henadisch 563  
Heraklit 66, 710  
Herodot 214  
Higgs-Feld 362  
Higgs, Peter 592  
Higgs-Teilchen 65, 69, 88, 145, 362, 601  
Hilbert, David 13, 226, 249, 337, 406  
Hilbert-Raum 13, 249, 555  
Hipler, Franz 372  
Hippocampus 302  
Hirnphysiologie 199  
Hirntod 131, 289

Hochenergiephysik 64, 545  
Hochkulturen 708  
Hochtemperatur-Supraleiter 281  
Hologramm 110, 697  
Homöostase 635  
Homunkulus 634  
Hopf-Faserung 335  
Hopf, Heinz 335  
Horizont 96, 299, 463, 466f., 474  
Horizont, Oberfläche 107  
Horizont-Problem 446  
Hormon 678  
Hoyle, Fred 402  
Hubble, Edwin 205, 255  
Hubble-Konstante 432  
Hubble-Parameter 432  
Huygens, Christiaan 40  
Hylemorphismus 53  
Hypothesen 21, 256

## I

IceCube 145  
Ich, das 675  
Idealisierung 209, 503  
Ideen, platonische 710  
identisch 66  
Identität des Ununterscheidbaren 37  
Ideologie 703  
Illusion 136, 213, 252  
Impuls 97  
indefinite Metrik 382  
induktive Verallgemeinerung 21  
induktiv-statistische Erklärung 63  
Inflation 358, 367, 447  
Inflaton 447  
Information 36, 279  
Information, abgespeicherte 138  
Information, absolute 53  
Information als Eigenschaften 135  
Information, bedeutungsfreie 653  
Information, bedeutungsvolle XXVII, 48,  
  130, 638, 662f., 667  
Informationen, verschränkte 659

Informationsparadox 298, 483, 492  
Informationsstruktur 75  
Informationsverarbeitung 51, 679  
Informationsverarbeitung, biologische  
  129, 677  
Informationsverarbeitung, intelligente  
  130, 632  
Informationsverarbeitung, technische  
  und biologische 130  
Inhalt 160  
Inhalt, materieller 52  
Inhomogenität 547  
İnönü, Erdal 510  
Integrationskonstante 365  
Intentionalität 635  
Internet 143, 702  
Interpretation 734  
Interpretationen der Quantentheorie  
  723  
Interpretationsproblem 269  
Intuition, physikalische 406  
Ion 124  
Irreversibles 293  
ISO(3,1) 506  
ISS 424  
It from Bit 99, 105f., 148  
It from Quantumbit 108

## J

Jahr 202  
James-Webb-Teleskop 74  
Jaynes, Edwin Thompson 477  
Jet 459, 467  
Jetzt-Zeitpunkt 230  
Joos, Erich 287  
Jordan, Pascual 113  
Jung, Carl Gustav 241  
Jupiter-Monde 359

**K**

- Kaluza, Theodor 14  
kanonisch konjugiert 63, 97  
Kant, Immanuel *XXVIII*, 149, 214, 224ff., 231, 238  
Katabolismus 633  
Katalysator 47, 654  
Katalysator, organochemischer 655  
Katze, grau 22  
Katze, Schrödingers 195  
Kauffman, Stuart A. 641  
Kaufmann, Walter 603  
Kausalität 20, 117  
Keilschrift 241  
Keim von Subjektivität 78, 690  
Kekulé, August 42  
Kenntnisnahme 77  
Kenntnis, objektive 78  
Kepler, Johannes 87, 229, 404, 452  
Kernphysik 599  
Kerr-Lösung 459  
Kerr, Roy 459, 483  
KI 141  
Kibble, Tom 592  
Kiefer, Claus 273, 492  
kinetische Energie 98  
Kiselev 469  
klassische Mechanik 101  
Klauder, John R 544  
Kleinert, Andreas 372  
Kleinheit 25  
Klein, Oskar 14  
Klimaproblematik 209  
Knöllchenbakterien 636  
Kochen 277  
Kochen, Simon 278  
Kognition 675, 684  
Koinzidenzproblem 445  
Kollaps 287, 364  
Komet von 1577 361  
Kommunikation 656  
Kommutator 329  
Kompartiment 660  
Komplementarität 6f., 76, 236  
Komplexes 280  
Komplexität 641, 658, 685  
Komplexkonjugation 510, 533  
Konfigurationsraum 13  
Konsistenzüberlegung 22  
Kontext 136  
Kontinuum 30, 35, 339  
Kontinuumsmodell für Materie 104  
Kontraktionsphase 366  
Kontrolle 258  
Koordinaten-Kosmos 556  
Kopenhagener Deutung 270  
Kopenhagener Interpretation 289  
kopernikanische Wende *XXVII*, 87  
Copernicus, Nikolaus 87, 223, 359, 372, 404  
Körperfunktion, basale 131  
Korrelate des Bewusstseins 675  
Korrelation 166  
kosmischer Druck 383  
Kosmologie 215, 307, 310, 419, 457  
kosmologische Konstante 358, 366, 383, 407, 447, 509  
kosmologischer Term 440  
kosmologisches Prinzip 446  
Kosmos 65, 204  
Kosmos, beschleunigt expandierender 366  
Kraft 543, 714  
Kraftfeld 29, 548  
Kraftfelder, elektromagnetische 659  
Kraftquanten 36, 504, 557  
Krall, Stephan 625, 660, 723  
Krämer, Hans Joachim 2  
Kränkung 23  
Krausz, Ferenc 375  
Kreativität 143  
Krüger, Ralf 689, 695  
Krümmungsänderung 547  
Krümmungsskalare 519  
Kruskal-Koordinaten 98  
Kruskal, Martin 100  
Kuhn, Thomas 23

Kultur 73  
 Kunst 698  
 Künstliche Intelligenz 141  
 Kurlbaum, Ferdinand 62

**L**

Labor 507  
 Ladung 499, 592  
 Ladung, elektrische 390  
 Lagrangedichte 564  
 Laguerre-Polynome 529  
 Lamarck, Jean-Baptiste de 663  
 Landau, Lev Davidovich 604  
 Lange, Axel 664, 667  
 Längeneinheit 337  
 Längeneinheit, fundamentale 368  
 Langzeitgedächtnis 697  
 Laplace, Pierre-Simon de 213  
 Leben 194f., 242, 653  
 Lebendiges 75, 371  
 Lebenskraft 660  
 Lebenspraxis 268  
 Lebesgue, Henri Léon 348  
 Lebewesen 48f., 67, 195, 280, 584  
 Leguminosen 636  
 Leibniz, Gottfried Wilhelm 37, 171, 225,  
     246, 504  
 Lemaître, Georges 255, 364, 499  
 Lepton 600, 608  
 Leptonen-Familienstruktur 608  
 Lernen 635  
 Lernfähigkeit 22  
 Le Verrier, Urbain 229  
 LHC 64, 145, 557  
 L'Huillier, Anne 374  
 Libet, Benjamin 695  
 Lichtgeschwindigkeit 96, 204, 343, 488  
 Lichtquanten 88, 548  
 Lichtquanten, virtuelle 40  
 Lie-Algebra 549  
 Lie-Gruppe 549  
 Lie, Sophus 330, 499  
 Lifshitz, Evgeny Mikhailovich 604

Limes, quasiklassischer 108  
 List, Benjamin 655  
 Lobatschewski, Nikolai 227, 405  
 Löcher 155  
 Loch, virtuelles Teilchen 64  
 Locked-in-Patienten 675  
 Logarithmen 119  
 Logik 176, 228, 241, 708  
 Lokalisation 148, 300  
 Lokalität 424  
 Lorentzgruppe 332, 509  
 Lorentzgruppe, inhomogene 506  
 Lorentz, Hendrik Antoon 204, 499, 601  
 Lorentztransformation 426  
 Lorentz-Vakuum 300, 531ff., 555  
 Lösung, kosmologische 421  
 Lösungskurve 171  
 Lüders, Gerhart 596  
 Luhmann, Niklas 703  
 Luther, Martin 372  
 Lyre, Holger 561

**M**

Mach, Ernst 21, 88, 104, 435  
 Machtstrukturen 255  
 MacMillan, David 655  
 Magneten 571  
 Magnetismus 361  
 Majorana, Ettore 595  
 Majorana-Teilchen 595  
 Makromolekül 677  
 Mannigfaltigkeit 12, 232  
 Mannigfaltigkeit, pseudoeuklidisch 12  
 Marxismus-Leninismus 256  
 Masse 85, 333  
 Maßeinheitensystem 112  
 Masse, schwere und träge 35  
 Materie 36, 148, 520  
 Materiedichte 247  
 Materielle Quanten 36  
 Materiequanten 557  
 Materiewelle 733  
 Mathematik 1

- Matos 468  
Matrix 18  
Matrizenmechanik 26, 249  
Maxwell, James Clerk 325, 547  
Maxwellsche Gesetze 225  
Maxwellsche Gleichungen 39  
Maxwells Dämon 477  
Mayr, Ernst 652  
McFadden, Johnjoe 289  
Mechanik 40, 503  
Mechanik, Newtonsche 89  
Medina, Rodrigo 604  
Melia, Fulvio 433, 449  
Membran, semipermeable 660  
Merkur 360, 420  
Merkur-Bahn 229  
Meson 571  
Messanordnung 170  
Messergebnis 168f., 267  
Messprozess 202, 211, 265  
Messung 73, 77, 210, 218, 279, 297, 672  
Messung, unscharfe 283  
Messvorgang 283  
Metabolismus 632  
Metapher 150  
Metaphysik 239, 403  
metastabil 635  
Meter 343  
Methode, deduktive 89  
Methode, induktive 89  
Metrik, indefinite 11  
Michelangelo 716  
Michelson, Albert 203, 426  
Michelson-Morley-Experiment 204  
Mikrophysik XXX, 25, 155, 422  
Mikroporen 651  
Mini-Black-Hole 616  
Minkowski, Hermann 12, 382, 499  
Minkowski-Metrik 425  
Minkowski-Raum 11, 382, 508, 579  
Mitochondrien 656  
Möglichkeiten, wirkende 157  
Molekül 41, 56  
Moleküle, Eigenschaften von 654  
Monat 202  
Monismus 676  
Monismus, informationeller 714  
Monom 513, 520  
monomaterialistischer Fehlschluss 541, 715  
Monopol 571  
Monopole, magnetische 145  
Mooresches Gesetz 345  
Morley, Edward 203, 426  
Moser, Edvard 302  
Moser, May-Britt 302  
Motive 696  
Mott, Nevill Francis 174  
Moylan 520  
Mozart, Wolfgang Amadeus 716  
Mpc 432  
Münchhausen 719  
Musik 639  
Mutationen 663  
Myon 600, 731  
Myon-Neutrino 600  
Mysterium 201, 676
- N**
- NaCl 43  
Näherung 66  
Näherungscharakter 164  
Nanopartikel 370  
Nanoteilchen 43  
Natrium 43  
Natur 73  
Naturalismus 213  
Naturgesetz 20, 24, 68, 100, 117, 210  
Naturkonstante 112, 343  
Naturkonstante, fundamentale 113  
Naturwissenschaft 14, 73  
Nazidiktatur 256  
Neandertaler 702  
Nebenklasse 572  
Necker-Würfel 133  
Neddermeyer, Seth Henry 731  
negativer Druck 457, 604

- Neptun 230  
 Netzhaut 678  
 Netzwerk 117  
 Neue Physik 541  
 Neumann, J. v. 276  
 Neuron 133  
 neuronales Netz 134  
 Neutrino 146, 595, 731  
 Neutrino-Oszillation 600  
 Neutron 731  
 Neutronenstern 363  
 Newton, Isaac 15, 40, 84ff., 171, 203, 214, 223ff., 229, 361, 405f.  
 Newton, T. D. 516  
 Nichtdeterminiertheit 268  
 nicht-kommutative Multiplikation 537  
 Nichtkommutativität 267  
 Nichtlinearität 118  
 Nichtlokalität 164, 268, 305, 633, 688  
 Nichtmaterielles 140, 237  
 Nichts 216  
 Nichtseiende 216  
 Nichtumkehrbarkeit 293  
 Nichtvertauschbarkeit 76, 164  
 Nobelpreis für Physik 93  
 Noble, Denis 661  
 Noether, Emmy 9, 499, 549  
 Noether-Theorem 549  
 Non-cloning-Theorem 639  
 Non-Standard-Analyse 247  
 Norm 333  
 Null-Menge 551  
 Núñez 468
- O**
- Objekt 53, 503  
 Objekt, elementares 22, 54, 161  
 Objekt, frei bewegbares 27  
 Objektivierbarkeit 77f.  
 Objekt, klassisches 657  
 Objektstrukturen XXXII  
 Oersted, Hans Christian 21  
 O'Keefe, John 302
- Oppenheimer, Robert 120  
 Oppenheim, Paul 61  
 Optik 40  
 Optimierungsproblem 123  
 Optionen 82  
 Optionen überdenken 681  
 Orbital 42  
 Ordnung 65  
 Organisation 636  
 Ort 97  
 Ort, möglicher 476  
 Ortelius, Abraham 708  
 Ortsraum 336  
 Ostwald, Wilhelm 104
- P**
- Panpsychismus 673  
 Parabose-Operatoren 527  
 Parabose-Ordnung 525  
 Parabose-Statistik 505  
 Paradoxie 1, 7, 170, 216, 529  
 Parallaxe 360  
 Parallelenaxiom 227, 405  
 Parameter 72  
 Parität 234  
 Paritätsverletzung 597  
 Parmenides 235, 297, 710  
 Pauli-Matrizen 568  
 Pauli-Prinzip 586  
 Pauli, Wolfgang 7, 225, 242, 596f., 731  
 Peano 226  
 Penrose, Roger 93, 96, 184, 388, 419, 476, 688, 713  
 Penzlin, Heinz 50, 637  
 Periheldrehung 230, 420  
 Perpetuum mobile 312  
 Perry, Malcom 93  
 Persönlichkeitsmerkmale 690  
 Phänomene, psychische 77  
 Phasenraum 13  
 Philosophie 240  
 Phonon 64  
 Photon 132, 289, 300, 549, 679

- Photonen, reale 662  
Photonen, verschrankte 679  
Photonen, virtuelle 71, 131, 662  
Physikalismus 74, 77  
Physik der Beziehungen XXXII  
Physik der Möglichkeiten XXXII  
Physik des Genauen XXXI  
Physik, klassische 213  
Physik, neue 14  
Pietschmann, Herbert 369  
Pionier-Quantenmechanik 552  
Pixel 133  
Planck-Einheiten 367, 475  
Planck-Energie 616  
Planck-Fläche 379  
Planck-Länge 107ff., 113, 344, 485, 545, 609  
Planck-Masse 344  
Planck, Max XXXIII, 25, 88, 173, 208, 225, 341ff., 368, 475, 548, 725  
Plancksche Formel 68, 148  
Planck-Zeit 344, 610  
Platon 2, 200, 710  
Podolsky, Boris 22, 166  
Poincaré-Gruppe 332, 504ff., 527, 555, 566, 615  
Poincaré, Henri 499, 538, 604  
Poisson-Klammer 329  
Polarisation 120  
Polariton 30, 44ff., 155, 552  
Polariton-Laser 47  
Polaritons 48  
Popper, Karl 21, 712f.  
Populationsgenetik 662  
Positronen 600  
Positronium 45, 54  
Pospiech, Gesche 184  
Post-Darwinsche Informationsweitergabe 698  
Potenzial 211  
Potenzialität 16, 173, 563  
Potenzmenge 151, 338  
Prä-Bedeutung 178, 660  
Präparation 173, 210  
Pribram, Karl 697  
Priester, Wolfgang 388  
Prigogine, Ilya 50  
Primas, Hans 279, 294, 552  
Prinzip, holographisches 109  
Prinzip, kosmologisches 248  
Prion 57  
Problem, unentscheidbares 226  
Produkt, direktes 159  
Produkt, direktes, von Gruppen-darstellungen 342  
Prognose 224, 269  
Prophylaxe 1  
Proportionalitätskonstante 230  
Protein 47  
Proton 145, 585  
Prototypsis 3, 22, 77, 116, 140, 148, 151, 208, 233ff., 239, 253, 279ff., 311, 440, 484f.  
Prototypsis-Kosmologie 423, 462  
Prozess, individueller 212  
Prozess, realer 209  
Psyche 75  
Psychische, das 74ff.  
Psychosomatik 688f.  
psychosomatische Zusammenhänge 648  
P-Symmetrie 597  
Ptolemäus 87, 360  
P-Transformation 596  
Punktteilchen 15, 27, 64, 68, 175, 370, 475, 503, 735  
Pythagoras 11, 84, 243, 709

## Q

- Qualia 77f., 690  
Quanten 297  
Quantenalgorithmen, variationelle 128  
Quantenbit 27, 36, 70, 77, 163, 280, 545  
Quantencomputer 117, 198  
Quantencomputing 119f.  
Quanteneichfeldtheorie 547  
Quantenelektrodynamik 548

- Quantenfeld 30, 362, 370  
 Quantenfeldtheorie 29, 64, 155, 562  
 Quantengleichgewicht 736  
 Quantengravitationseffekte 113  
 Quanteninformation 51, 177, 289  
 Quanteninformation, absolute *XXVII*, 53  
 Quanteninformationsstruktur XXX  
 Quanten-Kosmologie 428  
 Quantenmechanik 27, 38, 41, 269, 551  
 Quantenpotenzial 735  
 Quantenprozesse 289  
 Quantenpunkt 370  
 Quantenradierer 281  
 Quantenschaum 107  
 Quanten-Schmetterlings-Effekt 172  
 Quantensprung 375  
 Quantenstrukturen, einfache 555  
 Quantensystem, abgeschlossenes 206  
 Quantenteilchen 27, 585  
 Quantenteilchen, masselose 27  
 Quantentheorie 93, 113, 419  
 Quantenvakuum der Teilchen 598  
 Quanten, virtuelle 64, 548  
 Quanten-Zeno-Effekt 297, 640  
 Quantenzustand 78, 169  
 quantische Parallelverarbeitung 695  
 Quantisierung 38, 511  
 Quantisierung, kanonische 63  
 Quantisierung, zweite 53, 563  
 Quark 69, 155, 505, 550, 570, 577, 600, 732  
 Quark-Antiquark-Paar 571  
 Quark-Gluon-Plasma 174  
 Quasare 461  
 Quasipartikel 30  
 Quasiteilchen 44, 49, 64, 174, 533  
 Qubit, bedeutungsvolles 75  
 Quintessence 468  
 Quintessenz 367
- R**
- Rahaman 469  
 Ramadan 202  
 Ramanujan, Srinivasa 716  
 Ramírez 468  
 Rauch, Helmut 184  
 Raum 8  
 Raum, unendlicher 203  
 Raum-Zeit-Geometrie 424  
 Rauschen 135, 657  
 Reale, Giovanni 2  
 Realexistenz 714  
 Realismus, naiver 86  
 Realität XXX, 148, 210  
 Reduktion 148  
 Redundanz 658  
 Reflexion 80, 253, 634  
 Reflexionsstufen 685  
 Reflexivität 634  
 Regel 22, 66  
 Regelfähigkeit 24  
 Regress, infiniter 634  
 Reibung 209  
 Reissner-Nordström-Metrik 606  
 Reiz 633, 678  
 Relativitätstheorie 207, 532  
 Relativitätstheorie, Allgemeine 93, 96, 113, 204f., 428  
 Relativitätstheorie, Spezielle 64, 113, 206  
 Religion 215  
 Repräsentationsstufe 638  
 Resonanz, quantische 150  
 Resultat 121  
 reversibel 121  
 Reversibilität 209  
 Revolution, wissenschaftliche 23  
 Riemann, Bernhard 2, 86, 405  
 Riemannsche Geometrie 2  
 RNA 660  
 RNA-Welt 661  
 Robertson, Howard 364, 499  
 Robinson, Abraham 247  
 Roboterarm 134

- Rømer, Ole 203  
Rosen, Nathan 22, 166  
Rotationsgeschwindigkeit 455  
Rotverschiebung 255, 449  
Rubens, Heinrich 62  
Rubin, Vera 452  
Rückkopplung 141, 633  
Rückquantisierung 422  
Ruhmasse 266  
Rupf- und Stopf-Operatoren 512, 521
- S**
- S3 149  
Schall 76  
Schalldruck 636  
Schaltkreis 675  
Schelling, Friedrich Wilhelm 717  
Scherer, Irmgard 40, 149, 718  
Schlüssel, abhörsicher 192  
Schmetterlingseffekt 172, 420  
Schmidt, Erhard 276, 285  
Schreiber, Ulrich 637  
Schrift 67, 371, 702  
Schrödinger, Erwin 26, 139, 173, 195, 544  
Schrödinger-Gleichung 26, 249  
Schrödingers Kätzchen 197  
Schrödingers Katze 22  
schwache Wechselwirkung 39  
Schwartz, Laurent 71  
Schwarzes Loch 91, 104, 247, 344, 364, 469  
Schwarzschild, Karl 96, 99, 421, 483  
Schwarzschildkoordinaten 475  
Schwarzschild-Radius 475  
Schwebung 680  
Schwere 35, 85, 558  
Schwerkraft 35  
Schwinger, Julian 174  
Science-Fiction 14  
Scully, Marian 737  
Sehen 289  
Sehvorgang 132  
Seiendes 216
- Selbst, das 675  
Selbstorganisation 704  
Shannon, Claude 477  
Sicherheit, beweisbare 233  
Signal 633  
Singularität 94, 288, 419, 473  
Sinus 151  
Slipher, Vesto 255  
Smolin, Lee 115  
 $SO(2)$  509  
 $SO(3)$  509  
 $SO(3,1)$  509  
 $SO(3,2)$  509  
 $SO(4)$  509  
 $SO(4,1)$  509*f.*, 607  
Software 129  
Sonnenfinsternis 86, 209, 214  
Soziologie 703  
Spalt 28  
Spekulation 238  
Spencer-Brown, George 703  
Spezialfall 266  
Spezielle Relativitätstheorie 34  
Spiegelungssymmetrie 233  
Spin 36, 55, 333, 735  
Spinoren 332  
Sprache 67*f.*, 80, 636, 698  
Sprachentwicklung 679  
SQUID 124  
Stalin, Josef 256  
Standardmodell der Kosmologie 357  
starke Wechselwirkung 39  
Stein 653  
Steinhardt, Paul 447  
Stern, Otto 42, 653, 738  
Steuerung 48  
Stochastik 172, 658  
Stoff 543  
Stoff-Quanten 36  
Stonehenge 698  
Storch 167  
Störung 283  
Strahlenoptik 29  
Straumann, Norbert 561

- Strings 107  
String-Theorie 14  
Ström 517f.  
Strom des Psychischen 135  
Strominger, Andrew 92, 613  
Struktur 1, 237  
Struktur, einfachste 70  
Strukturelle Quanten 36  
Strukturen, komplexe 57  
Strukturformel 164  
Strukturquanten 38  
Struktur, räumliche 371  
Struktur, soziale 702  
Struminsky, Boris Vladimirovich 601  
Subjektivität 51, 672  
Subjektivität der Qualia 690  
Subjektivitäts-Keim 672  
Summe, direkte 342  
Superauswahlregel 551, 656  
Superdeterminismus 252ff.  
Supernova 471  
Supernova-Explosion 145  
Superposition 10, 76, 118ff.  
Superstrings 107  
Suprafluidität 295  
Supraleitung 295  
Susskind, Leonard 482  
Süssmann, Georg 366, 737  
Symbiose 636, 656  
Symbolbildung 585  
Symmetrie 209  
Symmetriegruppe 548  
Synergetik 632  
System 238  
Systemeigenschaft 639, 718  
Systemtheorie 652
- T**  
Tachyonen 507  
Takahashi, Reiji 516  
Tangentialraum 509  
Tauon 600  
Tauon-Neutrino 600
- Tavkhelidze, Albert Nikiforovich 601  
Taylor-Reihen 337  
Technik 73, 199  
Teilchen 12, 17, 236, 333, 570, 607, 615  
Teilchen-Antiteilchen-Paar 105, 532  
Teilchenbeschleuniger 456  
Teilchen, elementarer 22  
Teilchen-Modell 520  
Teilchen, stabiles 116  
Teilchenvakuum 616  
Teilchen-Vakuum 38  
Teilchen, virtuelle 38  
Teilchenzahl 101  
Teileloses 164  
Teilelosigkeit 164  
Teilstrukturen 236  
Teleportation 190  
Temperatur 100, 552  
Temperatur, absolute 178  
Tensor 16  
Tensorprodukt 17f., 54ff., 235, 568, 645  
Tensorrang 513  
Tensorraum 513  
Thales von Milet 214  
Thallium 281  
Theorie 2  
Theorie, abgeschlossene 23, 89  
Theorie des Genauen 116  
Thermodynamik 73, 100  
Thermodynamische Wahrscheinlichkeit 102  
Thomas, Llewellyn Hilleth 516  
t'Hooft, Gerard 582  
T-Invarianz 400, 598f.  
Tipler, Frank 366  
Tischlerei 544  
Tomonaga, Sin-Itiro 174  
Top-Down-Wirkung 636  
Träger, energetischer 67  
Träger, materieller 67  
Trägerwechsel 75  
Trägheit 35, 85  
Translation 506

transzendent 231  
Transzendentales 232  
Transzendentes 199f.  
Triangulierung 303  
Triester Theorie 278  
T-Transformation 596  
Tunneleffekt 165, 686  
Turing, Alan 226ff.  
Typen von Quanten 36

**U**

U(1)-Eichung 560  
überabzählbar 555  
überabzählbar unendlich 245  
Übergangsstruktur 239  
Überlichtgeschwindigkeit 254  
Uhr 204  
Umeichungen 559  
Umlaufgeschwindigkeit 462  
Umwelt 136  
unbegrenzte Zweiheit 710  
Unbelebtes 256, 653  
Unendlich 5  
Unendliches 227, 308  
Unendlichkeit 5, 297  
Unendlichkeit, unphysikalische 35  
Unikat 273  
Universum 273  
Universum, holografisches 346  
Uniware 129f., 138, 637, 673, 689  
Unkenntnis 101, 172  
Unordnung 102  
Unschärfe 291  
Ununterscheidbarkeit, lokale 230  
Unwesentliches 5, 309  
Unwissen 257, 290  
Unwissenheit 281  
Ur 176, 511, 520  
Ur-Alternative 105, 114, 119f., 153, 176  
Ur-Hauch 599  
Urknall 217  
Urobjekt 176  
Ursache 212, 252

Ursache, geistige 696  
Urteil a priori 226  
Ur-Theorie 428

**V**

Vaidya-Metrik 462  
Vaidya, Prahalad Chunnilal 459, 462, 466  
Vakuum 64, 105, 533  
Vakuum der AQIs 528f.  
Vakuum der Teilchen 531  
Vakuumenergie 98, 448  
Vakuum-Energiedichte 440  
Vakuum-Lösung 483, 509  
Van Vleck, John Hasbrouck 174  
Variable 72  
Venus 360  
Venus von Willendorf 698  
Verallgemeinerung, induktive 22  
Vernichten von Quantenteilchen 64  
Vernichtungs-Operator 329  
Verschränkung 139, 167, 544, 551, 658  
Verständnis von Materie, vorquantentheoretisches 677  
Verstehen 177  
Vertauschungsregel 511  
Viel-Elektronen-System 37  
Viele Welten 269  
Viele-Welten-Interpretation 734  
Vierer-Ur 510  
Viren 79  
Virtualitätsphänomen 571  
Virus 161, 653  
von Jolly, Johann 225  
von-Neumann-Algebra 552ff.  
Vorhersage 83  
Vulkan 230, 712

**W**

Waddington,Conrad 663  
 Wahrnehmung 76, 136, 678  
 Wahrnehmung von Fakten 136  
 Wahrscheinlichkeit 101, 118  
 Wahrscheinlichkeitstheorie 82*f.*  
 Wahrscheinlichkeit, thermodynamische 102, 331  
 Walker, Arthur 364, 499  
 Wallace, Alfred Russel 652  
 Walter, Herbert 737  
 Walther, Philip 212  
 Wärme 100, 104, 209  
 Wasserdampf 57  
 Weaver, Warren 477  
 Wechselwirkung 236, 336  
 Wechselwirkung, biologische 558  
 Wechselwirkung, elektromagnetische 39, 558  
 Wechselwirkungsstärke 557  
 Weinberg, Steven 177  
 Weismann, August 663  
 Weismannismus 256  
 Weißer Zwerg 363  
 Weiss, Paul Alfred 641  
 Weizsäcker, Carl Friedrich v. XXXII, 6*ff.*, 37, 85, 105, 148, 153, 224, 233, 253*ff.*, 278, 293, 317*f.*, 327, 332, 366, 425, 473, 502, 510, 557, 585, 591, 609, 653, 725  
 Welcher-Weg 281  
 Welle, elektromagnetische 40  
 Wellen 152  
 Wellen, elektromagnetische 659  
 Wellenerscheinungen 27  
 Wellenfunktion 149, 211, 286  
 Wellenoptik 29  
 Welle-Teilchen-Dualismus 27, 258  
 Weltbild 88, 404  
 Weltbild, geozentrisches XXIX, 23, 116  
 Weltbild, heliozentrisches XXIX, 23, 116  
 Werner, Eric 705  
 Wheeler, John Archibald XXXII, 96, 99, 105*ff.*, 178, 374, 378, 476, 545, 609

Widerspruch 7  
 Widerspruchsfreiheit 200, 226  
 Wiederholbarkeit 223  
 Wigner, Eugene 238, 325, 499, 506, 510, 527, 615, 669, 746  
 Wirklichkeit 257, 672  
 Wirkung 212  
 Wirkung, gravitative 363  
 Wirkungsausbreitung 76  
 Wirkungsquantum 26, 109, 343, 727  
 Wissen 176, 268, 279, 289  
 Wissenschaft 1  
 Wittgenstein, Ludwig 80  
 Wort 688  
 Würfel 287  
 Wurmloch 96*f.*

**Z**

Zahlenfolge 246  
 Zahlen, komplexe 83  
 Zahl, imaginäre 562  
 Zahl, irrationale 243*ff.*  
 Zahl, komplexe 246  
 Zauberei XXVII  
 Zaun, Harald 185  
 Zeh, Heinz-Dieter 285*ff.*  
 Zeilinger, Anton 171, 179, 493, 545, 582*f.*  
 Zeit 265  
 Zeitfreiheit 137, 164  
 Zeitlosigkeit 200, 212  
 Zeitpfeil 20, 210  
 Zeitspiegelung 234  
 Zeitstruktur 288  
 Zeitumkehr 209  
 Zeit, unendliche 203  
 Zeitvariable 211  
 Zeitverlauf 104  
 Zeit, zyklische 382  
 Zellulärer Automat 109  
 Zenon 297  
 Zenon von Elea 6  
 Zentrum der Milchstraße 95

- Zerfall, radioaktiver 39  
Zufall 82, 696  
Zufälligkeit 172  
Zustand 102, 297  
Zustand, aktueller 672  
Zustände, eingefrorene 667  
Zustände, verschränkte 139  
Zustand, gemischter 286  
Zustand, kohärenter 18, 139, 545  
Zustandsgleichung, kosmologische 384  
Zustandsraum 12  
Zustand, stationärer 562  
Zustandsvektor 13  
Zustand, verschränkter 18  
Zwang 83  
Zweiheit, unbegrenzte 2, 200  
Zweiter Hauptsatz 49, 104, 311  
Zwei-Zustands-System 120  
Zwickly, Fritz 452  
Zwillingsparadox 206