Elementar-**K**örper basierende **G**ravitationstheorie

Dirk Freyling

1986 – 2012 – 2026

Zusammenfassung

Das Geheimnis der scheinbar sehr schwachen Gravitation im Verhältnis zur elektrischen Wechselwirkung und starken Wechselwirkung liegt in der falschen Annahme begründet, dass es generell einen masseentkoppelten Raum gibt. Berücksichtigt man den Raum, den makroskopische Körper sowohl durch ihre Objektausdehnung als auch durch ihren Wechselwirkungsradius aufspannen, dann wird deutlich, dass die ,,fehlende“ Energie in dem Raum selbst steckt. Im Rahmen der Elementarkörpertheorie lässt sich diese Raumenergie plausibel verstehen und berechnen.

Die Divergenzproblematiken, sowohl klassischer als auch quantenfeldtheoretischer Betrachtungen, finden ihre theoriebeladene Ursache in den jeweiligen Denkmodellen. Dort wird die innere Struktur der Energieträger – Gravitation und elektrische Ladung – schlicht nicht erfasst. Berücksichtigt man jedoch die endliche, realphysikalisch orientierte, phänomenologische Natur der Objekte, lösen sich die Unendlichkeiten plausibel auf.

Die Elementarkörpertheorie (EKT) entwickelt eine phänomenologisch begründete Beschreibung der Gravitation auf Grundlage einer Masse–Raum-Kopplung, deren Ausgangspunkt die Geometrie der Kugeloberfläche bildet (Freylingscher Eingriff). Die Gravitationswirkung wird dabei durch eine hierarchische Struktur beschrieben: Die raumenergetische Selbstkorrektur der Quelle ist bereits im selbstkonsistenten Quellenparameter M_Φ enthalten und wird nicht als zusätzliche lokale Kraft auf einen Testkörper angesetzt. Die lokale Bahndynamik folgt aus der statischen gravitativen Hauptwirkung ($1/r^2$) und der aus der EKT-Metrik resultierenden transversalen Bewegungskopplung. Im Sonnensystem bildet die statische Hauptwirkung die führende Gravitationswirkung, während die transversale Bewegungskopplung Korrekturen der Bewegung beschreibt. Auf größeren Skalen tritt zusätzlich die Geometrie der Raumenergieverteilung in den Vordergrund. Insbesondere können flache Rotationskurven von Scheibengalaxien innerhalb des EKT-Ansatzes nicht durch eine Fernfelddominanz eines separaten Kraftterms erklärt werden; ihre mögliche Erklärung ist vielmehr in der veränderten Geometrie des raumenergetischen Flusses einer ausgedehnten Scheibenstruktur zu suchen. Die kosmische Dynamik wird schließlich im Rahmen der globalen Raumenergieentwicklung des EKT-Universums beschrieben. Damit verfolgt die EKT einen skalenübergreifenden Ansatz, in dem Gravitation, galaktische Dynamik und kosmische Entwicklung auf eine gemeinsame Masse–Raum-Kopplung zurückgeführt werden. Raum wird dabei nicht als leerer Behälter oder lediglich mathematisches Konstrukt verstanden, sondern als physikalischer Bestandteil des Systems, dessen Energiegehalt mit der Masseverkörperung gekoppelt ist.

Inhaltsverzeichnis

1 Natur kann nur addieren oder subtrahieren **8**

2 Euklid vs. Hilbert **9**

3 Unbegründete Feldenergie **9**

3.1 Standardmodell – (Irr)- Glauben 10

4 Zirkelschluss-Mathematik **11**

4.1 Allgemeine Relativitätstheorie 11

4.2 Quantenfeldtheorie 11

5 Die de-Broglie-Materiewelle als Voraussetzung der kosmischen Wechselwirkung 11

6 Die Raumenergie und die Raumenergiedichte 12
6.1 Die Raumenergie 12
6.2 Die Raumenergiedichte als Zustandsgröße 13
6.3 Die effektive Masse 13
6.4 Die Raumenergie als ≫fehlende≪ Energie – Das Geheimnis der schwachen Gravitation . . 13
6.5 Die Herkunft der Gravitationskonstanten: Das Elementarquant G 14
6.6 Die Grenzüberschreitende Bedeutung des Elementarquants 15

7 Die Wasserstoff-Korrespondenz 16
7.1 Die Verbindung zwischen Mikro- und Makrokosmos 16
7.2 Herkunft und Berechnung des Rydberg-Radius r_{Ry} 17
7.3 Wasserstoff-Korrespondenz: Logarithmische Mitte und das Massenverhältnis m_p/m_e . . . 18
7.3.1 Die drei fundamentalen Ankerpunkte der Skalen 18
7.3.2 Der mathematische Beweis des logarithmischen Mittelpunkts 18
7.3.3 Die entscheidende Rolle des Massenverhältnisses (m_p/m_e) 19
7.3.4 Die kosmische Konstantengleichung (Das Spiegelbild-Prinzip) 19
7.3.5 Erkenntnistheoretischer Kontrast: EKT vs. Standardmodell 20
7.3.6 Explizite Berechnung der logarithmischen Mitte – mit maximaler Präzision 20
7.3.6.1 Verwendete Konstanten (aus den EKT-Dokumenten) 20
7.3.6.2 Schritt 1: Elementarquant-Radius r_G 21
7.3.6.3 Schritt 2: Rydberg-Radius r_{Ry} 21
7.3.6.4 Schritt 3: Wasserstoff-Korrespondenzlänge L_H 21
7.3.6.5 Schritt 4: Überprüfung der geometrischen Mittel-Gleichung 22
7.3.6.6 Schritt 5: Die logarithmische Mitte 22
7.3.6.7 Zusammenfassung 22
7.3.6.8 Was bedeutet das physikalisch? 23
7.4 Kosmische Expansion und aktueller Zustand des Universums 23
7.4.1 Elementarkörper-Entwicklungsgleichungen für die kosmische Expansion 23
7.4.2 Das Alter des Universums im ΛCDM-Modell 24
7.4.3 Die Verbindung zur Feinstrukturkonstante 24

8 Allgemeine Relativitätstheorie 25
8.1 Rückrechnung statt Vorhersage – Die vermeintliche Vorhersagekraft der ART 27
8.1.1 Das Grundproblem: Kovarianzverletzung und der „Newtonsche Raum-Container“ . 27
8.1.2 Die Anatomie der „Rückrechnung“ am Beispiel Merkur 28
8.1.3 Übertragung auf andere Phänomene 28
8.1.4 Exkurs: Die GPS-Korrektur als paradigmatisches Beispiel der ART-Rückrechnung 29
8.1.5 Das erkenntnistheoretische Fazit: Zirkelschluss statt Vorhersage 30

9 Exemplarische Standardmodell-Probleme - Worum geht es? 31

10 Glaube statt Wissenschaft 32

11 Herleitung des Freylingschen Eingriffs 32
11.1 Schritt 1: Entstehung einer Kugeloberfläche durch isotrope Lichtausbreitung 32

11.2 Schritt 2: Variable Geschwindigkeit und der Freylingsche Eingriff 33
11.3 Schritt 3: Satz des Pythagoras – erste Gleichung 34
11.4 Schritt 4: Die sinusförmige Lösung 34
11.5 Schritt 5: Entwicklungszeit, Orthodrome und die Masse-Radius-Konstante 35

Die geometrische Grundlage: Der Freylingsche Eingriff **35**
11.6 Die Kugeloberflächendynamik 35
11.7 Die Masse-Radius-Kopplung 36

12 Die fundamentale Bedeutung von $E = mc^2$ **36**
12.1 Die vollständige EKT-Herleitung von $E = m_0c^2$ 37
12.2 Ausgangspunkt: Die Entwicklungsgleichungen 37
12.3 Die phänomenologische Interpretation der Beschleunigung 38
12.4 Die Herleitung der Kraft 38
12.5 Integration zur Energie 39
12.6 Randbedingungen und das Endergebnis 40
12.7 Zusammenfassung des Herleitungsweges 40
12.8 Der dynamisierte Faktor der EKT 40
12.9 Herleitung aus den Entwicklungsgleichungen 40
12.10Definition des dynamisierten Faktors 41
12.11Vergleich mit dem Lorentz-Faktor 41
12.12Kritische Analyse der Einstein'schen Herleitung 41
12.13Einsteins ursprüngliche Herleitung (1905) von $E = mc^2$ 41
12.14Die „klassische Grenzfall"-Näherung 42
12.15Die logischen Probleme dieser Herleitung 42
12.16Wissenschaftstheoretische Einordnung 42
12.17Vergleich: EKT-Herleitung vs. SRT-Herleitung 43
12.18Zur Comptonwellenlänge – Viertelperiode, nicht volle Periode 43
12.19Experimentelle Bestätigung durch Streuquerschnitte 44

13 Die Raumenergie und die Raumenergiedichte **44**
13.1 Die Raumenergie 44
13.2 Die Raumenergiedichte als Zustandsgröße 45
13.3 Die effektive Masse 45
13.4 Die Raumenergie als »fehlende« Energie – Das Geheimnis der schwachen Gravitation . . 45
13.5 Die Herkunft der Gravitationskonstanten: Das Elementarquant G 46
13.6 Die Grenzüberschreitende Bedeutung des Elementarquants 47

14 Die Axiome der Elementarkörpertheorie **47**
14.1 Axiom 1: Raumenergie 48
14.2 Axiom 2: Zeittakt 48
14.3 Theorem 3: Die materielle Deformation des Messinstruments (Das Maßstabs-Argument) . 48

15 Die effektive Metrik und der Brechungsindex **49**
15.1 Herleitung und physikalische Motivation der effektiven EKT-Metrik 49
15.2 Die Zustandsgleichung der Raumenergie 52
15.3 Lösung für eine punktförmige Masse und Quellen-Selbstkonsistenz 52
15.4 Die Lichtausbreitung im raumenergetischen Medium 53

15.5 Die Shapiro-Verzögerung 54

16 Die vollständige logische Kette **57**

17 Die hierarchische Struktur der EKT-Gravitation **57**
17.1 Die statische Hauptkraft 58
17.2 Die Bahngleichung aus der EKT-Metrik 58
17.3 Die Radialgleichung 60

18 Anwendungen und epistemologische Einordnung **60**
18.1 Periheldrehung des Merkur – Die geometrische Herleitung 60
18.1.1 Schritt 1: Bestimmung des metrischen Wirkungsfaktors $A(r)$ 60
18.1.2 Schritt 2: Die exakte Bahngleichung (Binet-Gleichung) 61
18.2 Die EKT-Kette 62
18.3 Epistemologische Unabhängigkeit der Periheldrehung 62
18.4 Das Maßstabs-Argument und der Zeittakt 63
18.5 Die Zustandsgleichung der Raumenergie 63
18.6 Der autarke Weg über Umkehrpunkte 64
18.7 Der Faktor 3 als geometrische Konsequenz der Bahndynamik 65
18.8 Formaler Ausgangspunkt unter Berücksichtigung der kosmologischen Konstante 66
18.9 Schnittstelle 1: Die Symmetriereduktion 69
18.10 Schnittstelle 2: Die Identifikation $C = 2GM/c^2$ 70
18.11 Schnittstelle 3: Die Störungsrechnung und die Beziehung $p = a(1 - e^2)$ 70
18.12 Was die ART-Analyse bestätigt 70
18.13 Kontrast: Die ART-Rückrechnung vs. die EKT-Herleitung 71
18.14 Zusammenfassung: Was ist Theorem, was ist Setzung? 71
18.15 Zentralkräfte in der Physik: Die Binet-Gleichung 71
18.16 Die Grundidee: Bahnkurve statt Zeitentwicklung 71
18.17 Herleitung der Binet-Gleichung 72
18.18 Anwendung auf das Kepler-Problem 72
18.19 Warum die Binet-Gleichung didaktisch wichtig ist 73
18.20 Zusammenfassung 73
18.21 Die Bilanz 73
18.22 Die Lichtablenkung an der Sonne 74
18.23 Die Gravitationsrotverschiebung und GPS 74
18.23.1 Die “ART-Korrektur” – eine statische Vorkorrektur, keine dynamische Berechnung 74
18.23.2 Das Herzstück: Vier bis fünf Satelliten für die Selbstsynchronisation 75
18.23.3 Der Clou: Das System korrigiert sich selbst 75
18.23.4 Die EKT-Berechnung der GPS-Frequenzverschiebung – ohne Fit-Parameter 76
18.23.5 Die EKT-Vorhersage als falsifizierbare Behauptung 79
18.23.6 Methodische Reflexion: Eigenständigkeit der EKT-Herleitung 80
18.23.7 Epistemologisches Fazit 80
18.24 Die Theoriebeladenheit astrophysikalischer „Beobachtungen“: Was wird bei einer fremden Galaxie tatsächlich gemessen? 81
18.25 Das EKT-Denkmodell für Scheibengalaxien: Ein mögliches Denkmodell 83
18.26 Die mathematische Konsequenz dieses Übergangs 84
18.27 Epistemologisches Fazit zur galaktischen Dynamik 84
18.28 Zusammenfassung der Anwendungen 84

19 Die kosmische Expansion **85**
19.1 Der aktuelle Zustand des Universums . . . 85

20 Skalenübergreifende Erklärung: Die EKT als kohärentes Gesamtbild **85**
20.1 Auf kleinen Skalen: das Sonnensystem . . . 86
20.2 Auf mittleren Skalen: Scheibengalaxien . . . 87
20.2.1 Die galaktische Übergangsskala . . . 88
20.2.2 Flache Rotationskurven . . . 89
20.2.3 Die baryonische Tully-Fisher-Beziehung . . . 90
20.3 Auf großen Skalen: Galaxienhaufen und Universum . . . 91
20.4 Die Einheit der Skalen . . . 92

21 Vakuumenergie und die 10^{120}-Diskrepanz **93**
21.1 Die theoretische Vakuumenergiedichte der Quantenfeldtheorie . . . 93
21.2 Transformation in das Bild des Elementarquants . . . 93
21.3 Die elementarkörperbasierte Energiedichte des Universums . . . 93
21.4 Interpretation in der EKT . . . 94

22 Vergleich: ART vs. EKT **94**

23 Die kausale Erklärung der Gravitation **94**

24 Fazit: Die EKT als kohärentes Gesamtbild **95**
24.1 Die EKT als kohärentes Gesamtbild . . . 96

25 Die Standardmodelle der Physik: Eine kritische Bestandsaufnahme der ontologischen und methodischen Defizite von SM und ΛCDM **96**
25.1 Einleitung . . . 96
25.2 25 freie Parameter des Standardmodells der Teilchenphysik (SM) . . . 97
25.3 Das Massen-Dilemma des Standardmodells und der kosmologische Offenbarungseid . . . 98
25.3.1 Der „Offenbarungseid“ des kosmologischen Standardmodells (ΛCDM) . . . 98
25.3.2 Gitter-QCD und Störungsrechnung als methodische Immunisierung . . . 99
25.3.3 Tuning statt Vorhersage . . . 99
25.3.4 Methodische Komplexität und Inkonsistenzen . . . 99
25.3.5 Die Anatomie des Zirkelschlusses („Tuning“) . . . 100
25.3.6 Parametrisierung vs. Deduktion . . . 100
25.3.7 Fazit: Postulatsysteme statt Erkenntnistheorien . . . 101
25.4 Was denken Pioniere der Teilchenphysik über das Standardmodell? . . . 102
25.5 Confinement und Asymptotische Freiheit – Erkenntnistheorie ade . . . 103
25.6 Anfang und Ende des SM – vom SM selbst nachgewiesene fatale Theoriefehler . . . 104
25.6.1 Quarks sind keine Fermionen – Der nicht vorhandene Spin der Quarks und Gluonen 104
25.6.2 Zum (besseren) Verständnis einige Hintergründe zur Spinproblematik . . . 104
25.6.3 Quark-Parton-Modell und tiefinelastische Streuung . . . 106
25.7 Schwerionen in plasmatischen Traumzuständen – ein kläglicher Versuch die Confinement-These praktisch zu umgehen . . . 108
25.8 Brigitte Falkenburgs Analyse: Particle Metaphysics . . . 109
25.9 Geschichtlicher „fun fact“ mit weitreichenden Konsequenzen . . . 110
25.10 Parametrische Glaubensbekenntnisse . . . 111
25.10.1 Zurück zum Higgs-Mechanismus . . . 111

25.11 Standard-Denkmodellanatomie – „Vorspiel-Gedanken“ 112
25.11.1 Kosmologische Konstante Λ und postulierte Inflation 113
25.11.2 Inflations-Fazit 114
25.11.3 Übergeordnet betrachtet 114
25.12 Zur Erinnerung: Das basisverletzte Kovarianzprinzip 114
25.13 Gesamtbetrachtung 115
25.14 Kirche und Physik 116
25.14.1 Euphemistische Botschaft der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) 117
25.14.2 „Wahre Botschaft“ der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (2000) 117

26 Die logisch-argumentative Widerlegung von LIGO und Gravitationswellen: Eine methodische und erkenntnistheoretische Dekonstruktion 117
26.1 Einleitung 118
26.2 Ebene 1: Die methodische Unmöglichkeit der Behauptung 118
26.2.1 Die Diskrepanz der Größenordnung 118
26.2.2 Verbreitungsstrategie von Objekt- und Entstehungsmythen 119
26.2.3 Wahrnehmungsmöglichkeiten 119
26.2.4 Worum geht es übergeordnet? Eine einführende „formelfreie“ Bestandsaufnahme . 120
26.2.5 Einige Worte zu einem Hauptproblem der ART und allgemein zu theoretischen Ansätzen: Die „thermodynamische Unverträglichkeit“ 120
26.2.6 Die fehlende Kalibrierbarkeit 122
26.2.7 Die fehlende Wiederholbarkeit 122
26.2.8 Folgerung 122
26.3 Ebene 2: Die theoretische Inkonsistenz der Gravitationswellen-Lösungen 122
26.3.1 Die ART hat keine allgemeinen analytischen Lösungen 122
26.3.2 Die Näherungen verletzen das Kovarianzprinzip 122
26.3.3 Die Einbettung in den Newtonschen Raum-Container 122
26.3.4 Folgerung 123
26.3.5 Mathematik einst und heute 123
26.4 Ebene 3: Die erkenntnistheoretische Unmöglichkeit einer „Raumzeit-Messung“ 123
26.4.1 Raumzeit ist nicht messbar 123
26.4.2 Was LIGO tatsächlich misst 123
26.4.3 Folgerung 123
26.5 Ebene 4: Die historische und soziologische Dimension 124
26.5.1 Einsteins eigene Zweifel 124
26.5.2 Die Immunisierungsstrategie des ΛCDM-Modells 124
26.5.3 Die Unterdrückung von Kritik 124
26.5.4 Folgerung 124
26.6 Gesamtfazit 124
26.6.1 Endergebnis 125
26.7 Kosmologische ART und ΛCDM 125
26.7.1 Einstein-Gleichung mit kosmologischer Konstante 125
26.7.2 Homogenität und Isotropie als kosmologische Setzung 125
26.7.3 Metrikkomponenten 125
26.7.4 Ausgewählte Christoffelsymbole 125
26.7.5 Ricci-Tensor 126
26.7.6 Einstein-Tensor 126

26.7.7 Materietensor als ideales Fluid . . . 126
26.7.8 Erste Friedmann-Gleichung . . . 126
26.7.9 Zweite Friedmann-Gleichung . . . 127
26.7.10 Kontinuitätsgleichung . . . 127
26.7.11 Zustandsgleichung und Dichteskalierung . . . 127
26.7.12 Dichteparameter . . . 128
26.7.13 Lichtausbreitung und Distanz . . . 128
26.7.14 Wo beginnt ΛCDM über die reine FLRW-Reduktion hinaus? . . . 129
26.7.15 Methodische Kette . . . 129
26.8 Lückenlose Herleitung der Periheldrehung des Merkur in der Allgemeinen Relativitätstheorie 129
26.8.1 Ziel und methodische Trennung . . . 129
26.8.2 Der kovariante Ursprung . . . 129
26.8.3 Der allgemeine Tensor und die Symmetriereduktion . . . 130

27 Anhang **130**
27.0.1 Nichtverschwindende Christoffelsymbole . . . 132
27.0.2 Ricci-Tensor und Einstein-Tensor . . . 133
27.0.3 Exakte Integration zur Schwarzschild-Lösung . . . 134
27.0.4 Exakte Geodätengleichung für Merkur . . . 136
27.0.5 Exakte radiale Energiegleichung . . . 137
27.0.6 Exakte Binet-Gleichung . . . 138
27.0.7 Beginn der Näherung: Störungsrechnung . . . 139
27.0.8 Numerische Auswertung für Merkur . . . 141
27.0.9 Explizite Liste der Setzungen und Näherungen . . . 142
27.0.10 Die gesamte Herleitung als Kette . . . 144
27.0.11 Zwischenfazit . . . 144
27.1 Die Periheldrehung des Merkur – Historische und heutige Autopsie des berühmten 43”-Tests 144
27.1.1 Warum diese Erweiterung notwendig ist . . . 145
27.1.2 Was wird gewöhnlich kommuniziert – und was ist historisch belegt? . . . 145
27.1.3 Die historische Chronologie . . . 145
27.1.4 Wie wurde um 1900 überhaupt “gemessen”? . . . 147
27.1.5 Die Parameter der Einstein-Formel: Was bedeuten sie und wie wurden sie bestimmt? 148
27.1.6 Einsteins 1915 verwendete numerische Form . . . 150
27.1.7 Woher kommen die beiden Seiten des historischen Vergleichs? . . . 150
27.1.8 Wie empfindlich ist die ART-Zahl gegenüber a, e, T? . . . 151
27.1.9 Die Zahl 42.98″: auch die theoretische Zahl besitzt eine Geschichte . . . 151
27.1.10 Von der klassischen Astrometrie zu Radar und Raumfahrt . . . 151
27.1.11 Wie eine moderne Ephemeride aufgebaut ist . . . 152
27.1.12 PPN-Parameter, J2 und Korrelationen . . . 152
27.1.13 Standardephemeride und Gravitationstest sind nicht dasselbe . . . 153
27.1.14 Die moderne Bedeutung der analytischen 42.98″-Formel . . . 153
27.1.15 Die vollständige historische und moderne Kette . . . 154
27.1.16 Didaktische Bilanz: Was ist wirklich “gemessen”? . . . 155
27.1.17 Schluss: Die Geschichte hinter einer scheinbar einfachen Zahl . . . 155
27.1.18 Quellen und weiterführende Literatur . . . 156
27.2 Gravitative Rotverschiebung und Uhrenexperimente in der ART . . . 156
27.2.1 Ausgangspunkt: Einstein-Gleichung und statisches Außenfeld . . . 156

27.2.2 Eigenzeit einer stationären Uhr . . . 157
27.2.3 Photonfrequenz aus Vierervektoren . . . 157
27.2.4 Schwachfeldentwicklung Schritt für Schritt . . . 158
27.2.5 Lokale Höhenform gh/c^2 . . . 159
27.2.6 Welche Schritte sind exakt, welche angenähert? . . . 159
27.2.7 Methodische Kette . . . 159
27.3 Lense–Thirring- und Frame-Dragging-Effekt in der ART . . . 159
27.3.1 Warum Schwarzschild nicht genügt . . . 160
27.3.2 Kovarianter Ursprung . . . 160
27.3.3 Langsamrotations- und Fernfeldentwicklung . . . 160
27.3.4 Linearisierte gravitomagnetische Darstellung . . . 160
27.3.5 Gyroskop-Präzession . . . 161
27.3.6 Orbitale Knotenpräzession . . . 161
27.3.7 Wo genau liegt die Näherung? . . . 162
27.3.8 Methodische Kette . . . 162
27.4 Binäre Pulsare in der ART . . . 162
27.4.1 Warum das Problem schwieriger als Schwarzschild ist . . . 162
27.4.2 Kovarianter Ausgangspunkt . . . 162
27.4.3 Quadrupolmoment der Quelle . . . 163
27.4.4 Führende Strahlungsleistung . . . 163
27.4.5 Exzentrische Bahn . . . 165
27.4.6 Von Energieverlust zu schrumpfender Bahn . . . 165
27.4.7 Von a zur Bahnperiode . . . 165
27.4.8 Was wird tatsächlich beobachtet? . . . 166
27.4.9 Setzungen und Näherungsstufen . . . 167
27.4.10 Methodische Kette . . . 167
27.5 Gravitationswellen und LIGO aus Sicht der ART . . . 167
27.5.1 Kovarianter Ausgangspunkt . . . 167
27.5.2 Christoffelsymbole erster Ordnung . . . 168
27.5.3 Linearer Ricci-Tensor . . . 168
27.5.4 Spurumkehr und Lorenz-Eichung . . . 169
27.5.5 Ebene Welle . . . 169
27.5.6 TT-Eichung und Polarisationen . . . 170
27.5.7 Warum ein Interferometer etwas misst: Geodätenabweichung . . . 170
27.5.8 Quellenfeld im Fernbereich . . . 171
27.5.9 Kreisförmiges Binärsystem und Chirp . . . 171
27.5.10 Vom Signal zum Parameterfit . . . 173
27.5.11 Näherungs- und Modellstufen . . . 173
27.5.12 Methodische Kette . . . 173

28 Literatur **174**
28.1 Quellenverzeichnis . . . 174

1 Natur kann nur addieren oder subtrahieren

Eine gesicherte »höhere mathematische Realität« existiert ausschließlich im Rahmen axiomatisch begründeter Sprache (Mathematik). Inwieweit eine korrekte mathematische Struktur (»höhere mathemati-

sche Realität≪) physikalisch anwendbar ist, lässt sich mit den Mitteln der Mathematik nicht entscheiden (siehe unstrittig-exemplarisch Epizykeltheorie und Banach-Tarski-Paradoxon). Mathematik erfasst letztendlich Mengen und kann nicht zwischen Staubsauger und Staub unterscheiden.

2 Euklid vs. Hilbert

Eine erkenntnistheoretische Weichenstellung

Die Gegenüberstellung von Euklid und Hilbert ist zentral für das Verständnis der EKT

> „Wenn Euklid noch nach plausibler Anschauung für mathematische Grundlagen suchte und somit eine interdisziplinäre Verbindung herstellte, die man als richtig oder falsch bewerten konnte, so stellt sich in der modernen Mathematik die Frage nach richtig oder falsch nicht."

Euklid verwendete *explizite* Definitionen, die auf außermathematische Objekte der „reinen Anschauung"verweisen: „Ein Punkt ist, was keine Teile hat. Eine Linie ist breitenlose Länge. Eine Fläche ist, was nur Länge und Breite hat."Hilbert arbeitete mit *impliziten* Definitionen. Die Objekte der Geometrie sind lediglich Elemente nicht weiter explizierter Mengen. Hilbert soll bemerkt haben, dass man ebenso gut von Tischen und Stühlen statt von Punkten und Geraden sprechen könnte, ohne die rein logische Beziehung zwischen diesen Objekten zu stören.

> „Axiomatik prüft und bewertet keine Inhalte im Hinblick auf machbare Realisierungen. Darüber hinaus kann Mathematik (und will auch) nicht zwischen Staub und Staubsauger unterscheiden."

In der Elementarkörpertheorie ist Zeit eine Variable ohne Substruktur, was bedeutet, dass Zeit unter anderem nicht dilatierbar ist. Phänomenologisch: Zeitdilatation ist genauso unvorstellbar wie die Krümmung eines dreidimensionalen Raumes. Die Physik wird hier in einem dreidimensionalen, sinnlich vorstellbaren Raum beschrieben, der aufgrund der Radialsymmetrie räumlich konstruktiv reduziert und nur mit Hilfe des Radius dargestellt und formalisiert werden kann.

Die moderne theoretische Physik ist hilbertianisch geworden – sie operiert mit implizit definierten Begriffen (Quantenfelder, Eichsymmetrien, Strings), deren Bezug zur Erfahrungswissenschaft nicht gegeben ist. Die EKT geht den umgekehrten Weg: Zuerst die phänomenologische Basis (Raum, Abstand, Bewegung), dann die mathematische Formalisierung.

3 Unbegründete Feldenergie

Wird einer punktförmig gedachten Masse oder Ladung ein bis in beliebig kleine Abstände fortsetzbares Feld zugeordnet, führt die entsprechende Feldenergie zu Divergenzen. Ein solches Ergebnis ist die irreale Konsequenz der zugrunde liegenden Idealisierung.

Damit entfällt innerhalb dieser Beschreibung gerade jene Voraussetzung, aus der die Divergenz entsteht. Eine physikalische Wechselwirkung besitzt weder einen verschwindenden Trägeradius noch kann ihre Energiedichte durch eine mathematische Punktgrenze unbegrenzt anwachsen. Die Divergenz eines Feldmodells kennzeichnet daher nicht eine Divergenz der Natur, sondern die Überschreitung des physikalischen Gültigkeitsbereichs des verwendeten Denkmodells.

Die EKT ist rein phänomenologisch begründet: Unendliche Feldenergien sind unter diesen Voraussetzungen ausgeschlossen. Divergenzen sind damit keine physikalischen Eigenschaften von Masse oder Raum, sondern folgen einer mathematischen Extrapolation über die Grenzen des zugrunde liegenden physikalischen Modells hinaus.

Renormierung und Regularisierung sind rein mathematische Hilfskonstruktionen, die erforderlich werden, nachdem im zugrunde liegenden Feldmodell punktförmige beziehungsweise bis zu beliebig kleinen Skalen fortsetzbare Wechselwirkungsstrukturen postuliert wurden. Die dabei auftretenden Divergenzen sind vermeidbare Artefakte einer realobjektfernen theoretischen Physik.

Merke: Das („klassische“) Feld ist ein Märchen. Denn dieses wäre energetisch für jede noch so kleine Masse unendlich, sowie für jede Ladung. Jeder realphysikalische Körper hat eine endliche Ausdehnung, er ist von diskretem Ausmaß. Verringert sich der Wechselwirkungsabstand und wird dieser kleiner als der Objektradius kommt es phänomenologisch zu einer inelastischen Überlagerung der inneren Strukturen der Wechselwirkungspartner. In diesem Zusammenhang divergiert nichts. Die "Renormierungs- und Regularisierungs-Versuche", initial ausgehend von der Quantenelektrodynamik des quantisierten Feldes, sind notwendige mathematische Hilfskonstruktionen einer ursächlich falschen Phänomenologie. Divergenz (der Felder) ist realphysikalisch ausgeschlossen. Singularitäts- und Divergenz-Probleme existieren ausschließlich im Rahmen der Mathematik.

3.1 Standardmodell – (Irr)- Glauben

Dass Gravitationsfelder selbst eine physikalische Realität besitzen und über ein unendliches Energiereservoir verfügen sollen, ist alles andere als „naheliegend". Insbesondere unter der Berücksichtigung, dass der Energieerhaltungssatz gelten soll. Bei Verwendung unendlicher Energiereservoirs in Form von postulierten Feldern erübrigt sich die Frage der Energieerhaltung als Auswahlkriterium für Denkmodelle. Mit dem postulierten Feld kommt die Beliebigkeit. Die Idee eines stets vorhandenen (instantan) wirkenden Feldes lässt offensichtlich mathematische Berechnungen zu, aber es macht phänomenologische Betrachtungen unmöglich.

Dieser Vorwurf der Beliebigkeit ist nicht nur berechtigt, er lässt sich an den beiden tragenden Säulen der modernen Physik konkret belegen. In der Allgemeinen Relativitätstheorie ist die Gravitationsenergie prinzipiell nicht lokalisierbar. Der Energie-Impuls-Tensor enthält die Gravitationsenergie nicht, und um überhaupt eine Art von Energieerhaltung zu formulieren, muss man auf sogenannte Pseudotensoren zurückgreifen – auf Größen, die nicht tensoriell transformieren, sondern von der Wahl des Koordinatensystems abhängen. Was als universelles Prinzip der Physik postuliert wird, erweist sich damit als koordinatenabhängige Hilfskonstruktion. Die Energieerhaltung, das wichtigste Auswahlkriterium für die Gültigkeit eines physikalischen Modells, wird in der Praxis zu einer Frage der Konvention. In der Quantenfeldtheorie zeigt sich dasselbe Muster in noch drastischerer Form. Das Vakuum wird mit einer unendlichen Nullpunktsenergie ausgestattet, die anschließend durch den mathematischen Trick der Renormierung per Hand abgezogen wird. Man postuliert ein unendliches Energiereservoir, um es dann willkürlich wieder aus der Rechnung zu entfernen, damit die verbleibenden Zahlen zu den Messwerten passen. Die berühmte Diskrepanz von zehn hoch einhundertzwanzig zwischen der theoretisch berechneten und der beobachteten Vakuumenergiedichte ist kein Randproblem, sondern der ultimative Beleg dafür, dass ein Modell, das mit unendlichen Reservoirs operiert, die Energieerhaltung als ordnendes Prinzip aufgegeben hat. Was bleibt, ist reine Parametrisierung – eine gigantische numerische Anpassung, die als analytischer Erfolg verkauft wird.

Die Elementarkörpertheorie stellt diesem Vorgehen eine strikt endliche und phänomenologisch verankerte Struktur entgegen. In der EKT gibt es kein abstraktes Feld, das als unerschöpflicher Energiespeicher fungiert. Die Raumenergie ist keine nachträgliche Hilfsgröße, sondern die reale, physikalische Energieform, die den Raum aufspannt. Sie ist streng an die Masse gekoppelt, die sie erzeugt, und ihr Betrag ist durch die Masse-Radius-Kopplung eindeutig bestimmt. Je größer die räumliche Ausdehnung eines Körpers, desto mehr massegebundene Energie wurde in Raumenergie transformiert – und desto kleiner ist der gravitativ wirksame Anteil. Die scheinbare Schwäche der Gravitation ist in der EKT keine Eigenschaft einer eigenständigen Kraft und kein Rätsel, das nach einem zusätzlichen Mechanismus verlangt. Sie ist die unmittelbare Konsequenz der großen räumlichen Ausdehnung gewöhnlicher Materie. Damit wird der Energieerhaltungssatz nicht durch unendliche Reservoirs umgangen, sondern als das zentrale Ordnungsprinzip wiederhergestellt, dass er sein muss. Jede Energie, die in der EKT auftritt, ist endlich, lokalisierbar und kausal an einen konkreten Prozess gebunden – an die Transformation von massegebundener Energie in Raumenergie. Mit dem postulierten Feld kommt die Beliebigkeit. Mit der phänomenologisch begründeten Raumenergie kommt die Berechenbarkeit.

4 Zirkelschluss-Mathematik

Die Verwechslung von mathematischer Buchhaltung (Feldgleichungen) mit physikalischer Realität (Ontologie).

4.1 Allgemeine Relativitätstheorie

Die ART kennt keine lokale Energieerhaltung für das Gravitationsfeld selbst. Da sich Gravitationsenergie nicht in einem lokalen Spannung-Energie-Tensor fassen lässt (man benötigt koordinatenabhängige "Pseudotensoren"wie den von Landau-Lifshitz), kann Energie im Prinzip aus der Geometrie ëntstehenöder in ihr "verschwinden". Genau das meinst Du mit "Beliebigkeit". Wenn eine Theorie lokale Energieverletzungen durch globale Geometrie-Ausreden kaschiert, ist sie phänomenologisch nicht mehr überprüfbar.

4.2 Quantenfeldtheorie

Die QFT postuliert ein Vakuum mit unendlicher Nullpunktsenergie. Um endliche Ergebnisse zu erhalten, wird diese Unendlichkeit durch den mathematischen Trick der "Renormierungëinfach per Hand abgezogen (subtrahiert). Ein Modell, das erst unendliche Reservoirs erfindet und diese dann willkürlich wieder herausrechnet, um auf messbare Werte zu kommen, hat den Energieerhaltungssatz als theoriebildendes Prinzip aufgegeben. Es betreibt nur noch mathematisches Fitting.

5 Die de-Broglie-Materiewelle als Voraussetzung der kosmischen Wechselwirkung

Die Elementarkörpertheorie (EKT) beschreibt Gravitation als Überlagerung der räumlichen Ausdehnungen von Elementarkörpern. Der masse-inhärente Radius r_0 eines Elementarkörpers ist durch die Masse-Radius-Kopplung

$$m_0 r_0 = \frac{2h}{\pi c} = F_{\mathrm{EK}} \tag{1}$$

eindeutig bestimmt. Diese Radien sind – gemessen an den Distanzen, über die Gravitation beobachtbar wirkt – verschwindend klein.

Ohne einen zusätzlichen raumerzeugenden Mechanismus könnten sich die Radien entfernt liegender Masse-Raum gekoppelter Körper nicht überlagern. Es gäbe keine Wechselwirkung über Distanz. Gravitation wäre phänomenologisch unmöglich.

Genau hier tritt die de-Broglie-Materiewelle in die Theorie ein.

Die de-Broglie-Materiewelle ist ein experimentell gesichertes Faktum der Physik. Ihre Existenz ist denkmodellunabhängig. Sie wurde für Elektronen, Neutronen, Atome, Moleküle und Positronen nachgewiesen. Für jedes massive Teilchen gilt:

$$\lambda_{\mathrm{deB}} = \frac{h}{p} \tag{2}$$

Die EKT interpretiert diese Welle nicht als Wahrscheinlichkeitsamplitude, sondern als die **radialsymmetrische Verkörperung der kinetischen Energie**. Jeder bewegte Elementarkörper spannt neben seinem masse-inhärenten Radius r_0 einen zusätzlichen Radius auf:

$$r_{\mathrm{effektiv}} = r_0 \oplus \lambda_{\mathrm{deB}} \tag{3}$$

mit

$$\lambda_{\mathrm{deB}} = \lambda_C \cdot \sqrt{\left(\frac{c}{v}\right)^2 - 1} \tag{4}$$

und

$$\lambda_C = \frac{\pi}{2} r_0 \tag{5}$$

Die kinetische Energie ist keine abstrakte Buchhaltungsgröße. Sie verkörpert sich als realer Raum. Obwohl die Bewegung selbst anisotrop – gerichtet – ist, erfolgt ihre räumliche Verkörperung radialsymmetrisch.

Damit ist die Materiewelle die **Voraussetzung der kosmischen Wechselwirkung**. Sie ist die Brücke, die den lokalen Elementarkörper mit dem globalen Raum verbindet. Erst durch sie erhalten die masseinhärenten Radien eine Reichweite, die eine Überlagerung über astronomische Distanzen ermöglicht.

Ohne Materiewelle wäre die EKT eine Theorie isolierter, statischer Elementarkörper. Mit ihr wird sie zur Theorie des wechselwirkenden Universums.

6 Die Raumenergie und die Raumenergiedichte

Für makroskopische Körper gilt die Masse-Radius-Konstantengleichung nicht ($M_0 R_0 \neq F_{\mathrm{EK}}$). Stattdessen wird massegebundene Energie in Raumenergie transformiert. Dies ist der zentrale Prozess, der die Gravitation erst verständlich macht.

6.1 Die Raumenergie

Die Raumenergie eines Körpers der Masse m_x im Abstand r ist:

$$E_R = m_x c^2 \left[1 - \frac{m_x \gamma_G}{r c^2}\right] \tag{6}$$

Dabei ist γ_G die Gravitationskonstante und $r_G = m_x\gamma_G/c^2$ der Gravitationsradius.

Die Raumenergie ist keine abstrakte Größe, sondern eine reale, physikalische Energieform, die den Raum aufspannt. Je größer die räumliche Ausdehnung eines Körpers, desto mehr massegebundene Energie wurde in Raumenergie transformiert.

6.2 Die Raumenergiedichte als Zustandsgröße

Die Raumenergiedichte $\Phi(r)$ ist definiert als:

$$\Phi(r) = \frac{E_R(r)}{E_R(\infty)} = 1 - \frac{r_G}{r} \tag{7}$$

Diese Größe beschreibt den energetischen Zustand des Raumes. Sie ist kein mathematisches Konstrukt wie die Raumzeit, sondern eine physikalische Zustandsgröße – die normierte Dichte der Raumenergie.

6.3 Die effektive Masse

Die effektive, gravitativ wirksame Masse ist:

$$M_{\text{eff}} = \frac{r_G}{r} m_x \tag{8}$$

Dies erklärt die Schwäche der Gravitation: Für makroskopische Körper ist $r \gg r_G$, also ist $M_{\text{eff}} \ll m_x$. Die Gravitation ist nicht schwach, weil die Kopplungskonstante klein wäre – sie ist schwach, weil der größte Teil der massegebundenen Energie in Raumenergie transformiert wurde.

6.4 Die Raumenergie als »fehlende« Energie – Das Geheimnis der schwachen Gravitation

Die scheinbare Schwäche der Gravitation – insbesondere im Vergleich zur elektrischen oder starken Wechselwirkung – ist eines der großen ungelösten Rätsel der Standardphysik. Die EKT löst dieses Rätsel auf einfache und elegante Weise.

Die "fehlendeËnergie, die in der Standardphysik als Defizit in der Energiebilanz erscheint, steckt in der EKT **im Raum selbst**. Die Raumenergie-Gleichung [ER] zeigt dies unmittelbar:

$$E_R = m_x c^2 \left[1 - \frac{m_x\gamma_G}{rc^2}\right]$$

Je größer der Körper, desto mehr Energie wurde in Raumenergie transformiert. Diese Raumenergie ist nicht "verloren"– sie ist die Energie, die den Raum aufspannt.

Für makroskopische Körper ist das Verhältnis r_G/r extrem klein. Betrachten wir das Beispiel der Erde:

- Tatsächlicher Radius der Erde: $r_{\text{Erde}} \approx 6,37 \times 10^6$ m
- Gravitationsradius der Erde: $r_{G,\text{Erde}} = m_{\text{Erde}}\gamma_G/c^2 \approx 8,87 \times 10^{-3}$ m
- Verhältnis $r_G/r \approx 1,39 \times 10^{-9}$

Die effektive Masse der Erde ist also **etwa eine Milliarde Mal kleiner** als ihre Ruhemasse. Nur dieser winzige Bruchteil der Masse ist gravitativ wirksam.

Wäre die Erde auf die Größe ihres Gravitationsradius komprimiert (d.h. $r = r_G$), dann wäre $r_G/r = 1$ und die effektive Masse gleich der Ruhemasse – die Gravitation wäre immens stark. **Weil die Erde aber riesig ausgedehnt ist**, wurde der weitaus größte Teil ihrer massegebundenen Energie in Raumenergie transformiert. Die Schwäche der Gravitation ist also **keine Eigenschaft einer eigenständigen Kraft, sondern eine Folge der großen räumlichen Ausdehnung gewöhnlicher Materie.**

6.5 Die Herkunft der Gravitationskonstanten: Das Elementarquant G

Die Gravitationskonstante γ_G wird in der EKT nicht postuliert, sondern aus den Eigenschaften eines besonderen Elementarkörpers abgeleitet: dem **Elementarquant G**.

Das Elementarquant G ist definiert als der Körper, **bei dem keine Transformation von massegebundener in raumgebundene Energie stattgefunden hat** – sein tatsächlicher Radius ist gleich seinem Gravitationsradius.

Aus der Masse-Radius-Kopplung (F1) und der Bedingung, dass für das Elementarquant G die gravitative Selbstenergie gleich seiner Ruheenergie ist, folgt:

$$\gamma_G \cdot m_G^2 = F_{\mathrm{EK}} \cdot c^2 \tag{9}$$

$$m_G \cdot r_G = F_{\mathrm{EK}} = \frac{2h}{\pi c} \tag{10}$$

Mit dem Zahlenwert (CODATA 2022):

$$F_{\mathrm{EK}} = 1,4070691767 \times 10^{-42}\ \mathrm{kg{\cdot}m} \tag{11}$$

ergeben sich für das Elementarquant:

$$r_G = \sqrt{\frac{F_{\mathrm{EK}} \cdot \gamma_G}{c^2}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{h\gamma_G}{2\pi c^3}} = 2r_{\mathrm{Planck}} \tag{12}$$

$$m_G = \sqrt{\frac{F_{\mathrm{EK}} \cdot c^2}{\gamma_G}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{hc}{2\pi\gamma_G}} = 2m_{\mathrm{Planck}} \tag{13}$$

Die Gravitationskonstante ist somit:

$$\gamma_G = \frac{r_G}{m_G} \cdot c^2 \quad \text{(verkörperte Gravitationskonstante)} \tag{14}$$

Die Gravitationskonstante ist in der EKT **keine fundamentale Konstante**, sondern eine **abgeleitete Größe**. Sie ist das "verkörperte Verhältnis"von Radius zu Masse des fundamentalen Körpers G.

Die im "bekannten"Newtonschen Gravitationsgesetz verwendete Gravitationskonstante γ_G bezieht sich

auf den **längen-kleinsten, massereichsten** Körper G (Elementarquant). Dieser Sachverhalt ist nicht offensichtlich, da das üblich formulierte Gravitationsgesetz diesen ursprünglichen Zusammenhang nicht explizit offenbart.

Der Elementarquant-Radius r_G ist **exakt das Doppelte der Planck-Länge**. Er ist der kleinste masseradius-gekoppelte Radius, der im Rahmen der Elementarkörpertheorie auftreten kann.

Seine physikalische Bedeutung ist tiefgreifend:

1. **Untere Skalengrenze:** r_G markiert die untere Grenze der räumlichen Ausdehnung eines massebehafteten Elementarkörpers. Kleinere Radien sind geometrisch nicht möglich, da dort die Masse-Radius-Kopplung verletzt würde.

2. **Ursprung der Gravitationskonstante:** Die Gravitationskonstante γ_G ist in der EKT keine fundamentale Naturkonstante, sondern das verkörperte Verhältnis von Radius zu Masse des Elementarquants:
$$\gamma_G = \frac{r_G}{m_G} \cdot c^2 \tag{15}$$

3. **Verbindung zur Planck-Skala:** Der Faktor 2 zwischen r_G und r_{Planck} resultiert aus der EKT-spezifischen Normierung der Masse-Radius-Konstantengleichung mit $2h/(\pi c)$ statt $h/(2\pi c)$. Es handelt sich also nicht um einen numerischen Zufall, sondern um eine Konsequenz der Definition von F_{EK}.

Damit ist r_G der mikroskopische Ankerpunkt der skalenübergreifenden Wasserstoff-Universum-Korrespondenz, die vom Elementarquant bis zum gesamten Universum reicht.

6.6 Die Grenzüberschreitende Bedeutung des Elementarquants

Das Elementarquant G hat eine außergewöhnliche Bedeutung, die vom Mikrokosmos bis zum Universum reicht.

Betrachten wir die Verhältnisse:

- Masse des Universums: $M_{\text{Uni}} \approx 10^{53}$ kg
- Radius des Universums: $R_{\text{Uni}} \approx 10^{26}$ m
- Masse des Elementarquants: $m_G \approx 10^{-8}$ kg
- Radius des Elementarquants: $r_G \approx 10^{-35}$ m

Daraus ergeben sich die Verhältnisse:

$$\frac{M_{\text{Uni}}}{m_G} \approx 10^{61} \tag{16}$$

$$\frac{R_{\text{Uni}}}{r_G} \approx 10^{61} \tag{17}$$

Das bedeutet: **Das Verhältnis von Masse zu Radius ist für das Universum und für das Ele-**

mentarquant identisch.

Die EKT formuliert dies als kosmische Konstantengleichung:

$$\frac{r(t)}{m(t)} \cdot c^2 = \frac{r_{\text{Uni}}}{m_{\text{Uni}}} \cdot c^2 = \gamma_G = \frac{r_G}{m_G} \cdot c^2 = \frac{r_{\text{Planck}}}{m_{\text{Planck}}} \cdot c^2 \tag{18}$$

Diese Gleichung besagt: **Das Verhältnis von Radius zu Masse ist für alle Skalen konstant – vom Elementarquant bis zum Universum.**

Diese Korrespondenz ist kein Zufall. Sie zeigt, dass die EKT eine **einheitliche Beschreibung** aller Skalen liefert – vom Mikrokosmos bis zum Makrokosmos.

Die gravitative Selbstenergie des Universums ist gleich der Ruheenergie des Universums:

$$E_G(\text{Uni}) = M_{\text{Uni}}c^2 \tag{19}$$

Das Universum ist in diesem Sinne das ßpiegelbildliche Gegenstückßum Elementarquant – der **längstgrößte** Körper, der das gleiche Radius-Masse-Verhältnis aufweist wie der längen-kleinste Körper.

Die vorliegenden Ausführungen zur Raumenergie und Raumenergiedichte werden nochmals unter Punkt 10 gesamtheitlich vorgestellt, um die dann weiteren phänomenologischen und assoziiert formalen Schritte verständlich zu machen.

7 Die Wasserstoff-Korrespondenz

7.1 Die Verbindung zwischen Mikro- und Makrokosmos

Wasserstoff ist die bei weitem häufigste Materieform im Universum. Wasserstoff macht etwa 90 % der interstellaren Materie aus. Der im Universum allgegenwärtige Wasserstoff ist die „Quelle“ der 3K-Hintergrundstrahlung.

> Was könnte naheliegender sein, als die einzigartigen Eigenschaften des Wasserstoffatoms als Grundlage für die Verbindung zwischen Planck-Größen und Universumsgrößen zu verwenden?

Das Verhältnis von Protonenmasse zu Elektronenmasse m_p/m_e ist ein systemunabhängiger, einzigartiger Bildungsparameter. Eine Addition von Planck-Länge und Universumsradius macht weder phänomenologisch noch mathematisch einen „beschreibenden“ Sinn. Also ist die nächst einfache mathematische Operation die Multiplikation

$$r_G \cdot r_{\text{Uni}}$$

Die längencharakteristischen Größen sind, basierend auf dem Wasserstoffatom, der Bohrsche Radius r_{Bohr} und der der Rydberg-Energie inhärente Radius r_{Ry}. Die Beziehung beinhaltet die Feinstrukturkonstante:

$$\frac{r_{\mathrm{Ry}}}{2} = r_{\mathrm{Bohr}} \cdot \frac{4}{\alpha}$$

Dimensionsmäßig erscheint der Bohrsche Radius oder äquivalent $r_{\mathrm{Ry}}/2$, in der kleinsten Potenz als die zweite Potenz, sodass dies $r_G \cdot r_{\mathrm{Uni}}$ entspricht. Das Verhältnis m_p/m_e beschreibt ein Wasserstoffatom und ist somit in der ersten Potenz an den Bohrschen Radius gekoppelt. Daher ergibt sich nach der einfachsten möglichen mathematischen Konstruktion:

$$\boxed{\left(\frac{r_{\mathrm{Ry}}}{2}\right)^2 \cdot \left(\frac{m_p}{m_e}\right)^2 = r_G \cdot r_{\mathrm{Uni}}} \tag{U1}$$

oder äquivalent:

$$\boxed{\left(r_{\mathrm{Bohr}} \cdot \frac{4}{\alpha} \cdot \frac{m_p}{m_e}\right)^2 = r_G \cdot r_{\mathrm{Uni}}} \tag{U2}$$

mit

$$r_G = 2\, r_{\mathrm{Planck}},$$

wobei r_G den Elementarquant-Radius bezeichnet, r_{Bohr} den Bohrschen Radius, α die Feinstrukturkonstante und m_p/m_e das Proton-Elektron-Massenverhältnis.

Die grundlegenden Ideen, die zu diesen Gleichungen führen, sind intuitiv logisch. Jeder folgende Gedanke ist „zwingend“ – mit der strengen Anforderung, sowohl phänomenologisch an realen Objekten orientiert als auch mathematisch minimalistisch zu sein.

7.2 Herkunft und Berechnung des Rydberg-Radius r_{Ry}

Der Rydberg-Radius r_{Ry} ist in der Elementarkörpertheorie die räumliche Verkörperung der Grundzustandsenergie des Wasserstoffatoms. Er ergibt sich unmittelbar aus der vollständigen EKT-Grundzustandsenergie der Proton-Elektron-Wechselwirkung.

Ausgangspunkt ist die exakte EKT-Bindungsenergie:

$$\Delta E_{ep} = \left(\frac{m_e}{1 + m_e/m_p}\right) \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \alpha^2}\right) \cdot c^2 \tag{20}$$

Die zugehörige Massendifferenz ist:

$$m_{\mathrm{Ry}} = \frac{m_e}{1 + m_e/m_p} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \alpha^2}\right) \tag{21}$$

Über die fundamentale Masse-Radius-Konstantengleichung

$$m_{\mathrm{Ry}} \cdot r_{\mathrm{Ry}} = \frac{2h}{\pi c} = F_{\mathrm{EK}} \tag{22}$$

folgt der Rydberg-Radius direkt:

$$r_{\mathrm{Ry}} = \frac{F_{\mathrm{EK}}}{m_{\mathrm{Ry}}} = \frac{F_{\mathrm{EK}}}{\frac{m_e}{1+m_e/m_p} \cdot \left(1 - \sqrt{1-\alpha^2}\right)} \tag{23}$$

Mit den CODATA-Werten ergibt sich numerisch:

$$r_{\mathrm{Ry}} \approx 5{,}80 \cdot 10^{-8}\,\mathrm{m} \tag{24}$$

Der Rydberg-Radius ist damit keine unabhängige empirische Länge, sondern die vollständig abgeleitete räumliche Verkörperung der Wasserstoff-Grundzustandsenergie.

7.3 Wasserstoff-Korrespondenz: Logarithmische Mitte und das Massenverhältnis m_p/m_e

Die Wasserstoff-Korrespondenz ist eines der faszinierendsten und erkenntnistheoretisch tiefgreifendsten Resultate der Elementarkörpertheorie (EKT). Sie widerlegt die im Standardmodell (ΛCDM und SM) allgegenwärtige Annahme, dass der Mikrokosmos (Quantenphysik) und der Makrokosmos (Kosmologie) durch fundamentale Brüche getrennt seien und völlig unterschiedlicher Physik (oder gar ‚neuer Physik' wie Dunkler Energie und Inflation) bedürften.

Im Folgenden wird diese Aussage detailliert mathematisch, geometrisch und ontologisch aufgeschlüsselt – exakt basierend auf den Prämissen der EKT.

7.3.1 Die drei fundamentalen Ankerpunkte der Skalen

Um zu verstehen, was es bedeutet, ‚logarithmisch in der Mitte' zu liegen, müssen wir die drei Längenskalen betrachten, die die EKT in eine direkte Beziehung setzt:

Der mikroskopische Anker (r_G): Der Elementarquant-Radius. Er ist definiert als $r_G = 2 \cdot r_{\mathrm{Planck}}$. Dies ist in der EKT der kleinstmögliche masse-radius-gekoppelte Raum, den ein Elementarkörper einnehmen kann. Er repräsentiert den Zustand, in dem *keine* Transformation von massegebundener Energie in Raumenergie stattgefunden hat (die gravitative Selbstenergie ist gleich der Ruheenergie).

Der makroskopische Anker (r_{Uni}): Der Radius des Universums. Das Universum wird in der EKT nicht als expandierender Raumzeit-Behälter verstanden, sondern als das ‚spiegelbildliche Gegenstück' zum Elementarquant. Es ist der längst-größte Körper, der exakt dasselbe Radius-Masse-Verhältnis aufweist wie der längen-kleinste Körper (r_G).

Die vermittelnde Skala (L_H): Die Wasserstoff-Korrespondenzlänge. Sie repräsentiert die räumlich-energetische Struktur des Wasserstoffatoms, der mit Abstand häufigsten Materieform im Kosmos.

7.3.2 Der mathematische Beweis des logarithmischen Mittelpunkts

Die EKT verknüpft diese Skalen durch die sogenannten *Wasserstoff-Universum-Gleichungen*. Die charakteristische Länge des Wasserstoffatoms wird durch den Rydberg-Radius (r_{Ry}) oder den Bohrschen

Radius (r_{Bohr}) in Kombination mit der Feinstrukturkonstante (α) und dem Massenverhältnis von Proton zu Electron (m_p/m_e) gebildet:

$$L_H = \frac{r_{\text{Ry}}}{2} \cdot \frac{m_p}{m_e} \qquad \text{bzw.} \qquad L_H = r_{\text{Bohr}} \cdot \frac{4}{\alpha} \cdot \frac{m_p}{m_e} \tag{25}$$

Die fundamentale Gleichung der EKT (im Dokument als U1/U2 bezeichnet) postuliert:

$$\boxed{(L_H)^2 = r_G \cdot r_{\text{Uni}}} \tag{26}$$

Was bedeutet das logarithmisch? Wenn wir auf beiden Seiten dieser Gleichung den Logarithmus anwenden, erhalten wir:

$$\log\left(L_H^2\right) = \log(r_G \cdot r_{\text{Uni}}) \tag{27}$$

$$2 \cdot \log(L_H) = \log(r_G) + \log(r_{\text{Uni}}) \tag{28}$$

$$\log(L_H) = \frac{\log(r_G) + \log(r_{\text{Uni}})}{2} \tag{29}$$

Diese algebraische Umformung ist der mathematische Beweis der These: Auf einer logarithmischen Skala (der natürlichen Skala für physikalische Größenordnungen) liegt der Wert der atomaren Wasserstoff-Skala L_H auf dem arithmetischen Mittelwert zwischen dem Elementarquant r_G und dem Universum r_{Uni}. Die atomare Skala ist das geometrische Mittel des Kosmos.

7.3.3 Die entscheidende Rolle des Massenverhältnisses (m_p/m_e)

Im Standardmodell der Teilchenphysik ist das Massenverhältnis von Proton zu Elektron ($\approx 1836{,}15$) ein völlig unerklärter, freier Parameter. Er wird experimentell gemessen und manuell in die Theorien eingesetzt; das Modell bietet keine kausale Erklärung dafür, warum dieser Wert existiert.

In der EKT hingegen entpuppt sich m_p/m_e als der zwingende *systemunabhängige Bildungsparameter*. Da in der EKT die Masse-Raum-Kopplung ($m \cdot r = F_{\text{EK}}$) gilt, sind das schwere, kompakte Proton und das leichte, ausgedehnte Elektron lediglich zwei komplementäre Aufteilungen derselben elementaren Gesamtenergieskala.

Ohne den Faktor m_p/m_e in der ersten Potenz würde die geometrische Brücke zum Universum nicht funktionieren. Das Massenverhältnis ist also kein numerischer Zufall, sondern die geometrische Notwendigkeit, die den atomaren Raum so aufspannt, dass er als Fraktal zwischen die Planck-Skala und die Universumsskala passt.

7.3.4 Die kosmische Konstantengleichung (Das Spiegelbild-Prinzip)

Die EKT zeigt, dass diese Skalenüberbrückung kein isoliertes Phänomen ist, sondern aus einer noch tieferen Symmetrie resultiert. Das Verhältnis von Radius zu Masse ist über alle Skalen hinweg konstant:

$$\frac{r(t)}{m(t)} \cdot c^2 = \frac{r_{\text{Uni}}}{m_{\text{Uni}}} \cdot c^2 = \gamma_G = \frac{r_G}{m_G} \cdot c^2 \tag{30}$$

Das Universum ($M_{\text{Uni}} \approx 10^{53}\,\text{kg}$, $R_{\text{Uni}} \approx 10^{26}\,\text{m}$) und der Elementarquant ($m_G \approx 10^{-8}\,\text{kg}$, $r_G \approx 10^{-35}\,\text{m}$) teilen sich dasselbe Radius-Masse-Verhältnis (beide Verhältnisse M_{Uni}/m_G und R_{Uni}/r_G liegen bei $\approx 10^{61}$).

Der Wasserstoff (als allgegenwärtiger Temperaturstrahler und Hauptbestandteil des Universums) bildet mit seiner internen Geometrie (L_H) den strukturellen Dreh- und Angelpunkt, der diese beiden Extreme mathematisch und physikalisch versöhnt.

7.3.5 Erkenntnistheoretischer Kontrast: EKT vs. Standardmodell

Die Bedeutung dieses logarithmischen Mittelpunkts wird erst im Kontrast zur etablierten Physik vollends klar:

Das Standardmodell (ΛCDM & QFT): Scheitert an der Verbindung von Mikro- und Makrokosmos. Das prominenteste Beispiel ist die 10^{120}-Diskrepanz der Vakuumenergie. Die Quantenfeldtheorie extrapoliert mikroskopische Konzepte blind auf kosmische Proportionen und scheitert um 120 Größenordnungen. Um das Modell zu retten, müssen völlig inkommensurable Konzepte wie Inflation, Dunkle Materie und Dunkle Energie als freie Parameter (Fine-Tuning) eingeführt werden.

Die Elementarkörpertheorie (EKT): Benötigt *null freie Parameter* und keine ‚neue Physik'. Die Gleichung $(L_H)^2 = r_G \cdot r_{\text{Uni}}$ folgt zwingend aus der Minimalistik der Kugeloberflächengeometrie. Dass der Wasserstoff in der logarithmischen Mitte des Kosmos liegt, ist der ultimative Beleg für die Kernthese der EKT: Raum ist kein leerer Behälter und keine mathematische Raumzeit, sondern das Produkt einer realen energetischen Transformation (Raumenergie), die auf allen Skalen – vom Elementarquant bis zum Universum – nach denselben geometrischen Gesetzen funktioniert.

7.3.6 Explizite Berechnung der logarithmischen Mitte – mit maximaler Präzision

Größe	**Wert**	**Quelle**
$F_{\text{EK}} = \dfrac{2h}{\pi c}$	$1{,}4070691767 \times 10^{-42}\,\text{kg m}$	Gravitationstheorie, Kap. 6.5
γ_G	$6{,}67430 \times 10^{-11}\,\text{m}^3/(\text{kg s}^2)$	CODATA 2022
c	$2{,}99792458 \times 10^{8}\,\text{m/s}$	exakt
m_e	$9{,}10938356 \times 10^{-31}\,\text{kg}$	CODATA
m_p	$1{,}672621898 \times 10^{-27}\,\text{kg}$	CODATA
α	0,0072973525664	EKT-Herleitung
m_p/m_e	1836,15267376007	CODATA
$1/(1 + m_e/m_p)$	0,99945567942486	Materiewechselw., Kap. 11.2
$1 - \sqrt{1-\alpha^2}$	$2{,}6626031711955 \times 10^{-5}$	Materiewechselw., Kap. 11.2
$r_{\text{Uni(max)}}$	$8{,}78478 \times 10^{25}\,\text{m}$	Gravitationstheorie, Kap. 7.4.1

Tabelle 1: Verwendete Konstanten und ihre Quellen.

7.3.6.1 Verwendete Konstanten (aus den EKT-Dokumenten)

7.3.6.2 Schritt 1: Elementarquant-Radius r_G

$$r_G = \sqrt{\frac{F_{\mathrm{EK}} \cdot \gamma_G}{c^2}} \tag{31}$$

Zähler:

$$F_{\mathrm{EK}} \cdot \gamma_G = 1{,}4070691767 \times 6{,}67430 \times 10^{-53} = 9{,}39120180605 \times 10^{-53}\ \mathrm{m}^4/\mathrm{s}^2 \tag{32}$$

Nenner:

$$c^2 = (2{,}99792458)^2 \times 10^{16} = 8{,}98755178737 \times 10^{16}\ \mathrm{m}^2/\mathrm{s}^2 \tag{33}$$

Quotient:

$$r_G^2 = \frac{9{,}39120180605}{8{,}98755178737} \times 10^{-69} = 1{,}04491206 \times 10^{-69}\ \mathrm{m}^2 \tag{34}$$

Wurzel:

$$r_G = \sqrt{1{,}04491206} \times 10^{-34{,}5} = 1{,}02221037 \times 3{,}16227766 \times 10^{-35} \tag{35}$$

$$\boxed{r_G = 3{,}23249838 \times 10^{-35}\ \mathrm{m}} \tag{36}$$

7.3.6.3 Schritt 2: Rydberg-Radius r_{Ry}

2a. Reduzierte Masse:

$$\mu = \frac{m_e}{1 + m_e/m_p} = 9{,}10938356 \times 10^{-31} \times 0{,}99945567942486 = 9{,}10442188 \times 10^{-31}\ \mathrm{kg} \tag{37}$$

2b. Rydberg-Masse:

$$m_{\mathrm{Ry}} = \mu \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \alpha^2}\right) = 9{,}10442188 \times 10^{-31} \times 2{,}6626031711955 \times 10^{-5} \tag{38}$$

$$m_{\mathrm{Ry}} = 24{,}2414629 \times 10^{-36} = 2{,}42414629 \times 10^{-35}\ \mathrm{kg} \tag{39}$$

2c. Rydberg-Radius:

$$r_{\mathrm{Ry}} = \frac{F_{\mathrm{EK}}}{m_{\mathrm{Ry}}} = \frac{1{,}4070691767 \times 10^{-42}}{2{,}42414629 \times 10^{-35}} \tag{40}$$

$$\boxed{r_{\mathrm{Ry}} = 5{,}80439165 \times 10^{-8}\ \mathrm{m}} \tag{41}$$

7.3.6.4 Schritt 3: Wasserstoff-Korrespondenzlänge L_H

$$L_H = \frac{r_{\mathrm{Ry}}}{2} \cdot \frac{m_p}{m_e} \tag{42}$$

$$\frac{r_{\mathrm{Ry}}}{2} = 2{,}90219583 \times 10^{-8}\ \mathrm{m} \tag{43}$$

$$L_H = 2{,}90219583 \times 10^{-8} \times 1836{,}15267376007 \tag{44}$$

$$\boxed{L_H = 5{,}32887311 \times 10^{-5}\ \mathrm{m}} \tag{45}$$

7.3.6.5 Schritt 4: Überprüfung der geometrischen Mittel-Gleichung

$$L_H^2 \stackrel{?}{=} r_G \cdot r_{\mathrm{Uni}} \tag{46}$$

Linke Seite:

$$L_H^2 = (5{,}32887311 \times 10^{-5})^2 = 28{,}3968876 \times 10^{-10} = 2{,}83968876 \times 10^{-9}\ \mathrm{m}^2 \tag{47}$$

Rechte Seite:

$$r_G \cdot r_{\mathrm{Uni(max)}} = 3{,}23249838 \times 10^{-35} \times 8{,}78478 \times 10^{25} \tag{48}$$

$$= 3{,}23249838 \times 8{,}78478 \times 10^{-10} = 28{,}3967993 \times 10^{-10} = 2{,}83967993 \times 10^{-9}\ \mathrm{m}^2 \tag{49}$$

Verhältnis:

$$\frac{L_H^2}{r_G \cdot r_{\mathrm{Uni}}} = \frac{2{,}83968876}{2{,}83967993} = 1{,}0000031 \tag{50}$$

$$\boxed{L_H^2 \approx r_G \cdot r_{\mathrm{Uni}} \qquad \checkmark \qquad (\text{Abweichung} < 0{,}0004\,\%)} \tag{51}$$

7.3.6.6 Schritt 5: Die logarithmische Mitte

$$\log_{10}(r_G) = \log_{10}(3{,}23249838) + (-35) = 0{,}50953804 - 35 = -34{,}49046196 \tag{52}$$

$$\log_{10}(r_{\mathrm{Uni}}) = \log_{10}(8{,}78478) + 25 = 0{,}94372660 + 25 = +25{,}94372660 \tag{53}$$

$$\log_{10}(L_H) = \log_{10}(5{,}32887311) + (-5) = 0{,}72663543 - 5 = -4{,}27336457 \tag{54}$$

Überprüfung:

$$\frac{\log_{10}(r_G) + \log_{10}(r_{\mathrm{Uni}})}{2} = \frac{-34{,}49046196 + 25{,}94372660}{2} = \frac{-8{,}54673536}{2} = -4{,}27336768 \tag{55}$$

Größe	$\log_{10}$**-Wert**
$\log_{10}(L_H)$	$-4{,}27336457$
Mittelwert	$-4{,}27336768$
Abweichung	**0,00000311**

Tabelle 2: Vergleich: $\log_{10}(L_H)$ vs. arithmetisches Mittel der Ankerpunkte.

7.3.6.7 Zusammenfassung

Größe	**Wert**	$\log_{10}$
r_G (Elementarquant)	$3{,}23249838 \times 10^{-35}\,\mathrm{m}$	$-34{,}49046196$
L_H (Wasserstoff)	$5{,}32887311 \times 10^{-5}\,\mathrm{m}$	$-4{,}27336457$
r_{Uni} (Universum)	$8{,}78478 \times 10^{25}\,\mathrm{m}$	$+25{,}94372660$

Tabelle 3: Die drei Skalen und ihre logarithmischen Positionen.

```
log10-Skala:

-34,4905              -4,2734              +25,9437
  |---------------------|---------------------|
  r_G                     L_H                    r_Uni
(Elementarquant)     (Wasserstoff)          (Universum)
```

Die Wasserstoff-Korrespondenzlänge L_H liegt auf der logarithmischen Skala in der Mitte zwischen dem Elementarquant-Radius und dem Universumsradius – mit einer Abweichung von weniger als 0,01 in der letzten Dezimalstelle.

7.3.6.8 Was bedeutet das physikalisch? Auf einer *linearen* Skala wäre L_H praktisch identisch mit Null (winzig im Vergleich zum Universum). Auf einer *logarithmischen* Skala – also der natürlichen Skala für Größenordnungen – liegt die atomare Wasserstoff-Skala im geometrischen Mittelpunkt zwischen der kleinsten und der größten denkbaren Längenskala.

EKT-Fazit: Die atomare Skala ist kein Zufall, sondern der strukturelle Dreh- und Angelpunkt der Masse-Raum-Kopplung, der den Mikrokosmos mit dem Makrokosmos verbindet. Das Massenverhältnis von Proton und Elektron ist somit inhärent mit der Mikro-Makrokosmos-Korrespondenz verbunden.

7.4 Kosmische Expansion und aktueller Zustand des Universums

7.4.1 Elementarkörper-Entwicklungsgleichungen für die kosmische Expansion

Analog zur Elementarkörper-Entwicklung wird die kosmische Expansion beschrieben durch:

$$r(t) = r_{\mathrm{Uni}} \sin\left(\frac{ct}{r_{\mathrm{Uni}}}\right).$$

Das maximale Alter des Universums bis zum Erreichen des maximalen Radius ist:

$$t_{\max} = \frac{\pi}{2}\frac{r_{\max}}{c}.$$

Die Expansionsgeschwindigkeit als Funktion der Zeit lautet:

$$\boxed{v_{\exp} = c\cos\left(\frac{\pi}{2}\frac{t}{t_{\max}}\right)} \tag{vexp}$$

Aus der Bedingung $E_R = 0$ für das Universum und der Korrespondenzgleichung ergeben sich:

$$r_{\mathrm{Uni(max)}} \approx 8{,}78478 \cdot 10^{25}\,\mathrm{m}$$

und

$$m_{\mathrm{Uni(max)}} \approx 1{,}18295 \cdot 10^{53}\,\mathrm{kg}.$$

7.4.2 Das Alter des Universums im ΛCDM-Modell

Es mag auf den ersten Blick widersprüchlich erscheinen, mit dem vom ΛCDM-Modell propagierten Alter des Universums zu rechnen. Um jedoch zu demonstrieren, wie einfach EKT-basierte Gleichungen sind und welche quantitative Kraft in ihnen steckt, lohnt sich ein Vergleich mit dem Alterswert des Universums aus dem ΛCDM-Modell.

Darüber hinaus ergibt eine spektrale Altersabschätzung des Universums unter Verwendung der Halbwertszeit von Uran-238 mit einer Halbwertszeit von ungefähr 4,47 Milliarden Jahren am Beispiel des Sterns CS 31082-001 grob das Alter des Universums.

Nach den verwendeten Schätzungen des ΛCDM-Modells beträgt das derzeitige Alter des Universums:

$$t_{\Lambda\mathrm{CDM}} \approx 4{,}35133728 \cdot 10^{17}\,\mathrm{s}$$

beziehungsweise

$$t_{\Lambda\mathrm{CDM}} \approx 13{,}798 \text{ Milliarden Jahre.}$$

Daraus berechnen sich mit den Gleichungen der Elementarkörpertheorie:

$$v_{\mathrm{exp}} = 0{,}0857886319294\,c,$$

$$m_{\mathrm{exp}} = 1{,}1787106125 \cdot 10^{53}\,\mathrm{kg},$$

$$r_{\mathrm{exp}} = 8{,}752690633 \cdot 10^{25}\,\mathrm{m}.$$

7.4.3 Die Verbindung zur Feinstrukturkonstante

Bemerkenswert ist die gegenwärtige Größe der radialen Expansionsgeschwindigkeit im Verhältnis zum geschätzten Alter des Universums. Diese Geschwindigkeit beträgt näherungsweise:

$$\boxed{v_{\mathrm{exp}} \approx c\sqrt{\alpha}}$$

mit

$$\sqrt{\alpha} = 0{,}085424543134863.$$

Das Verhältnis beträgt:

$$\frac{v_{\text{exp}}}{c\sqrt{\alpha}} \approx 0{,}995756.$$

Dies bedeutet innerhalb der EKT-Interpretation, dass eine für kosmische Schätzungen geringfügige Korrektur von etwa 0,4 % in der Altersschätzung des Universums einen fundamentalen Zusammenhang zwischen der Sommerfeldschen Feinstrukturkonstante α und der aktuellen Expansionsgeschwindigkeit des Universums relativ zur Lichtgeschwindigkeit offenbart. Dies verbindet direkt die mikroskopische Feinstrukturkonstante mit der makroskopischen Kosmologie.

Korrigiert man die Berechnung der Expansionsgeschwindigkeit in Bezug auf $\sqrt{\alpha}$, ergibt sich:

$$t_{\text{exp}} = \arccos\left(\sqrt{\alpha}\right) \frac{r_{\text{Uni}}}{c} = 4{,}352408132 \cdot 10^{17}\,\text{s}$$

beziehungsweise

$$t_{\text{exp}} \approx 13{,}801396 \text{ Milliarden Jahre.}$$

Für den derzeitigen Zustand des Universums ergeben sich damit:

$$m_{\text{exp}} = 1{,}17900069 \cdot 10^{53}\,\text{kg}$$

und

$$r_{\text{exp}} = 8{,}75484465 \cdot 10^{25}\,\text{m}.$$

8 Allgemeine Relativitätstheorie

Die Allgemeine Relativitätstheorie (ART) beschreibt Gravitation als "Krümmung"der Raumzeit, eines vierdimensionalen, mathematischen Konstrukts, dass nicht sinnlich erfahrbar und nicht apparativ messbar ist. Die ART ist ein rein mathematisches Modell, aber sie liefert keine kausale Erklärung für den Mechanismus der Gravitation. Sie sagt *wie* sich Objekte bewegen (Geodäten in einer gekrümmten Mannigfaltigkeit), aber sie sagt nicht *warum* die Raumzeit gekrümmt ist – sie postuliert es. Der Begriff "Krümmungßuggeriert etwas Realphysikalisches – etwas, das tatsächlich gekrümmt wird, wie eine Oberfläche oder ein Gegenstand. Doch in der ART ist die Raumzeit kein physikalisches Objekt, sondern ein rein mathematisches Konstrukt. Es ist ein Kategorienfehler, die mathematische Beschreibung einer Mannigfaltigkeit mit einem physikalischen Prozess zu verwechseln. Die ART wird rein mathematisch als eine **„geo-**

metrische Interpretation“ (hilbertianische Axiomatik) eingeführt, bei der Begriffe wie Krümmung oder Feld implizit durch ihre Rolle im Gleichungssystem definiert werden, ohne phänomenologische Entsprechung. Die „hypnotische Faszination“ dieser mathematischen Idee hat dazu geführt, dass man die **Raumgeometrie als Ursache statt als Beschreibung** missversteht. Die Verwechslung von formalen Rechenregeln (Tensoren) mit physikalischen Prozessen führt dazu, dass die Mathematik der ART „alles oder nichts“ beschreiben kann, was sie in die Beliebigkeit führt. Etwas polemisch formuliert: In der differentialgeometrischen Betrachtung führen auch Schreibfehler zu vermeintlichen Lösungen, die die Realität beschreiben sollen. Das gesamte gegenwärtige physikalische Weltbild baut auf dem Paradigma der „Raumzeit“ auf. Die Theorie des geschlossenen sich ausdehnendem Universums und die Urknalltheorie sind das Resultat mathematischer Berechnungen dieser konstruierten vierdimensionalen Raumzeit. Die Auswahl der Mathematik bzw. Geometrie auf der alle Raumberechnungen des Universums erfolgen ist subjektiv nicht objektiv. Diese Berechnungen sind mathematisch ”korrektäber können physikalisch vollkommen falsch sein. Bei allen kosmologischen „Beobachtungsstudien“ handelt es sich nicht um kontrollierbare Laborexperimente. Die menschliche Beobachtungs-Zeitspanne ist verglichen mit den Zeitspannen, in denen sich kosmische Bewegungen abspielten und abspielen, extrem klein. Mit den Angaben aus der menschlichen Beobachtungsdauer Annahmen zu begründen, ist „weit hergeholt“ um es mal salopp zu formulieren. Alle derzeitigen vermeintlich empirischen Messungen sind stark (Urknall-)theoriebeladen. Postulierte Zeitspannen, Entfernungen und Energiedichten sind subjektiv-theorieabhängig.

Verbreitungsstrategie von Objekt- und Entstehungsmythen

Es beginnt grundsätzlich „ordentlich“, siehe exemplarisch das youtube-video Simulation of the neutron star coalescence GW170817 Die Beschreibung seitens des Max-Planck-Instituts für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut) beginnt mit . . . “The video shows a numerical simulation“. . .

Doch keiner der Verkünder, ob Wissenschaftler, Wissenschaftsjournalist, Nachrichtensprecher, . . . , „meint“ letztendlich, dass es sich, sowohl theoretisch als auch physisch, um nichts weiter als Hypothesen und Simulationen handelt. Stark theoriebeladene Wünsche werden „im guten (doppeldeutig) materiellen Glauben“ materialisiert. Obwohl jeder sehen könnte, was er nie wirklich sehen wird. . .

Wahrnehmungsmöglichkeiten

In unserem Sonnensystem gibt es weder Neutronensterne, Gamma Ray Bursts (GRBs) noch Schwarze Löcher (respektive Anomalien, die als solche interpretiert werden können). Eine Liste postulierter erdnächster Schwarzer-Löcher-Kandidaten findet sich unter mit einer kürzesten Entfernung von 2800 Lichtjahren. Zum Vergleich: Der nächste Stern aus unserer Sicht ist mit 4,24 Lichtjahren Proxima Centauri. Objekt- und Entfernungs-Angaben beziehen sich auf die Sicht des ΛCDM-Modells.

Das angesiedelte soziologische Wahrnehmungsproblem „besteht“ darin, daß hier, nach einfachem psychologischem Glaubens-Muster, diverse postulierte Theorieobjekte unterschiedlichster Art, teils seit Jahrzehnten - der mit rudimentärem Wissen ausgestatteten Bevölkerung - als 100% real existent sprichwörtlich ”verkauft”werden.

Kovarianzverletzungen in der ART – ein prinzipieller Widerspruch

Die Allgemeine Relativitätstheorie erhebt das Prinzip der allgemeinen Kovarianz zu ihrem Fundament: Die physikalischen Gesetze sollen in allen Koordinatensystemen dieselbe Form besitzen. Dieses hehre Prinzip wird jedoch in genau dem Moment preisgegeben, in dem die Theorie überhaupt erst konkret anwendbar wird. Denn um aus den nichtlinearen Einstein-Gleichungen beobachtbare Vorhersagen zu

gewinnen, ist man gezwungen, Näherungen einzuführen – typischerweise die Linearisierung der Feldgleichungen für schwache Felder. Genau diese linearisierten Gleichungen sind aber nicht mehr allgemein kovariant; sie gelten nur noch in einer ausgezeichneten Klasse von Koordinatensystemen (harmonische Koordinaten) und verlieren bei beliebigen Transformationen ihre Gültigkeit. Damit verletzt die ART in der Praxis ihr eigenes oberstes Prinzip: Was als universell gültig postuliert wurde, erweist sich bei der kleinsten Annäherung an die messbare Realität als nicht durchhaltbar. Die Theorie erkauft sich ihre Vorhersagen um den Preis eines logischen Bruchs – ein Widerspruch, der in der physikalischen Fachdiskussion erstaunlich selten thematisiert wird.

Die Elementarkörpertheorie hingegen ist von solchen Kovarianzverletzungen von Grund auf frei. Ihre zentrale Zustandsgleichung

$$\nabla^2\Phi = -\frac{4\pi\gamma_G}{c^2}\,\rho\,\Phi$$

ist eine lineare, skalare Gleichung, die ohne jede Näherung die raumenergetischen Verhältnisse beschreibt. Die Lösung

$$\Phi(r) = 1 - \frac{r_G}{r}$$

folgt exakt aus dieser Gleichung und benötigt keinerlei koordinatenabhängige Zusatzannahmen. Die effektive Metrik der EKT ist keine genäherte Hilfskonstruktion, sondern eine direkte Konsequenz der phänomenologischen Axiome. Da die EKT ihre physikalischen Größen – Raumenergiedichte, Zeittakt, radiale Energieflussinvarianz – stets in Form von Skalaren und einfachen geometrischen Beziehungen formuliert, stellt sich die Frage nach einer Verletzung von Kovarianz gar nicht erst. Anders als die ART ist die EKT in jeder Hinsicht das, was sie zu sein vorgibt: eine theorie-immanent konsistente, durch keine Näherungsbrüche belastete Beschreibung der Gravitation.

8.1 Rückrechnung statt Vorhersage – Die vermeintliche Vorhersagekraft der ART

Die vermeintliche Vorhersagekraft der Allgemeinen Relativitätstheorie (ART) wird als methodische „Rückrechnung“ entlarvt, bei der klassische Prinzipien und empirisch bekannte Werte nachträglich in einen hochkomplexen mathematischen Apparat eingepasst werden. Die detaillierten Analysen zeigen auf, dass die ART aus sich selbst heraus – aus den reinen, nichtlinearen Einstein-Gleichungen – gar keine physikalischen Vorhersagen generieren kann, sondern zwingend auf klassische Prinzipien, Newtonsche Geometrie und empirisches „Matching“ angewiesen ist.

8.1.1 Das Grundproblem: Kovarianzverletzung und der „Newtonsche Raum-Container“

Die Einstein-Gleichungen

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

sind ein System nichtlinearer, gekoppelter Differentialgleichungen. Sie besitzen **keine allgemeinen analytischen Lösungen**. Um überhaupt berechenbare Ergebnisse für reale Systeme zu erhalten, muss die ART genähert werden, beispielsweise durch Linearisierung oder Schwachfeldentwicklungen.

Wie die Dokumente, insbesondere Kapitel 26.3, herausarbeiten, **verletzen diese Näherungen das fundamentale Kovarianzprinzip der ART**. Sie erfordern die Wahl eines festen Koordinatensystems und betten die Phänomene letztlich in einen flachen, „Newtonschen Raum-Container“ ein. Die Theorie, die am Ende rechnet, ist also nicht mehr die ursprüngliche, kovariante ART, sondern eine hybride Näherung.

8.1.2 Die Anatomie der „Rückrechnung“ am Beispiel Merkur

Die Dokumente zerlegen die berühmte „Vorhersage“ der Periheldrehung des Merkur von $43''$ pro Jahrhundert in eine Kette von drei Schnittstellen, an denen die ART klassische Physik importiert (Kapitel 18.9–18.13):

- **Schnittstelle 1 (Symmetriereduktion):** Es werden sieben Idealisierungen vorgenommen – Statik, exakte Kugelsymmetrie, Vakuum, keine anderen Planeten und weitere –, die das reale Sonnensystem vollständig ausblenden.

- **Schnittstelle 2 (Newton-Matching):** Die Vakuumgleichung $R_{\mu\nu} = 0$ liefert nur eine mathematische Integrationskonstante C. Die ART „weiß“ nicht, was Masse ist. Erst durch den Abgleich mit dem **Newtonschen Grenzfall** wird $C = 2GM/c^2$ gesetzt. Die ART muss die Masse also aus der klassischen Physik importieren.

- **Schnittstelle 3 (Newtonsche Geometrie):** Die exakte Binet-Gleichung wird nicht exakt gelöst, sondern mittels Störungsrechnung um eine Kepler-Ellipse. Dabei wird zwingend die rein Newtonsche Beziehung $p = a(1 - e^2)$ verwendet.

Fazit der Texte: Man nimmt das seit Le Verrier (1859) bekannte empirische Ergebnis und zeigt, dass es sich mit Newton-Matching und Störungsrechnung reproduzieren lässt. Es ist eine Rückrechnung, keine Deduktion aus ersten Prinzipien.

8.1.3 Übertragung auf andere Phänomene

- **Gravitative Rotverschiebung und GPS:** Die ART leitet die Zeitdilatation aus der Schwarzschild-Metrik ab,
$$d\tau = \sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}}\, dt.$$
Um zu messbaren Formeln zu gelangen, wird dies im Schwachfeld genähert:
$$\sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}} \approx 1 - \frac{GM}{rc^2}.$$
Der Term GM/r ist aber exakt das **klassische Newtonsche Potential** Φ. Die EKT zeigt in Kapitel 18.23, dass sich die Frequenzverschiebung von Atomuhren im GPS auch ohne Raumzeitkrümmung über Energieerhaltung und Masse–Raum-Kopplung herleiten lässt. Die ART „prognostiziert“ hier nichts grundsätzlich Neues, sondern verpackt das Newtonsche Potential in eine Wurzel.

- **Lense–Thirring-Effekt (Frame-Dragging):** Um diesen Effekt zu berechnen, wird die exakte Kerr-Metrik für langsame Rotationen und schwache Felder linearisiert (Kapitel 27.5). Dabei extrahiert man ein „gravitomagnetisches“ Vektorpotential A_g, das die mathematische Struktur der **klassischen Elektrodynamik** – die eines magnetischen Dipols – übernimmt. Die Bahndynamik wird anschließend als gestörte Keplerbahn behandelt.

- **Binäre Pulsare (Orbitalabnahme):** Die Berechnung der abnehmenden Umlaufzeit $\dot{P}_b$ durch Gravitationswellenabstrahlung (Kapitel 27.6) nutzt die Quadrupolformel. Um den Energieverlust in eine Bahnänderung umzurechnen, verwendet die ART zwingend die **Newtonsche Bindungsenergie** $E = -G\mu M/(2a)$ und **Keplers drittes Gesetz** $P^2 \propto a^3$. Ohne diese klassischen Brücken könnte die ART die beobachtete Periodenänderung nicht berechnen.

- **Das Postulat Schwarzer Löcher:** Die Texte (Kapitel 25.12) weisen darauf hin, dass der „Ereignishorizont“ der Schwarzschild-Metrik ursprünglich als Koordinatensingularität erscheint. Durch Koordinatentransformationen, beispielsweise in Eddington–Finkelstein-Koordinaten, verschwindet diese Koordinatenbarriere. Schwarze Löcher werden demnach als Artefakte eines mathematischen Formalismus interpretiert, dessen gefordertes Kovarianzprinzip durch die Notwendigkeit von Näherungen und Koordinatenwahlen untergraben werde.

8.1.4 Exkurs: Die GPS-Korrektur als paradigmatisches Beispiel der ART-Rückrechnung

In der Allgemeinen Relativitätstheorie wird die Zeitverschiebung für das GPS nicht aus einer exakten, geschlossenen Lösung der Feldgleichungen gewonnen, sondern durch eine Kette von Idealisierungen und Näherungsrechnungen, die das komplexe System mathematisch handhabbar machen. Die in den Quellen dokumentierten Stufen dieser Näherungsrechnung sind folgende:

1. Die Schwachfeldentwicklung (gravitativer Anteil) Um den gravitativen Effekt auf die Zeit zu berechnen, nutzt die ART eine Schwachfeldnäherung der Schwarzschild-Metrik.

- **Ausgangspunkt:** Die Metrikkomponente für die Zeit ist $g_{tt} = -(1 - 2GM/(c^2 r))$.
- **Näherungsschritt:** Für schwache Felder, $|\Phi/c^2| \ll 1$, wird die Wurzel der Zeitkomponente mittels Taylor-Reihe entwickelt:
$$\sqrt{1 + \frac{2\Phi}{c^2}} \approx 1 + \frac{\Phi}{c^2}.$$
- **Lokale Höhenform:** Für geringe Höhenunterschiede h über der Erdoberfläche wird dies weiter zur „Ingenieursformel“ gh/c^2 vereinfacht.

Für die GPS-Satelliten im Orbit ergibt dieser Anteil eine rechnerische Beschleunigung der Uhren um $+45{,}7\,\mu$s/Tag.

2. Die SRT-Näherung (kinetischer Anteil) Der Effekt der Bewegung des Satelliten wird separat über die Spezielle Relativitätstheorie (SRT) berechnet.

- **Methodik:** Man nutzt den Lorentz-Faktor $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$.
- **Näherungsschritt:** Da die Bahngeschwindigkeit $v \approx 3{,}87\,\mathrm{km/s}$ klein gegenüber c ist, wird auch hier eine Taylor-Entwicklung vorgenommen; im entsprechenden Grenzfall gilt $E_{\mathrm{kin}} \approx \frac{1}{2}mv^2$.
- **Ergebnis:** Dies führt zu einer relativen Frequenzsenkung von $-v^2/(2c^2)$, was zeitlich einem Verlust von $-7{,}1\,\mu$s/Tag entspricht.

3. Der formale „Import“ klassischer Physik (Matching) Die ART kann aus ihren eigenen Vakuumfeldgleichungen $R_{\mu\nu} = 0$ keine physikalischen Massenwerte ableiten.

- **Konstantenidentifikation:** Die Rechnung liefert zunächst lediglich eine mathematische Integrationskonstante C.
- **Rückrechnung:** Damit C einen physikalischen Wert erhält, erfolgt ein Matching an den schwachen Newtonschen Grenzfall; dabei wird $C = 2GM/c^2$ gesetzt. Ohne diesen Import Newtonscher Parameter könnte die Rechnung keine konkrete Zahl für das GPS liefern.

Die ART-Näherung als statischer Offset In der Standardphysik wird die oft zitierte Korrektur von rund $38\,\mu$s/Tag nicht als dynamischer Regelkreis im Orbit berechnet, sondern als **statische Vorkorrektur** der Satellitenuhren berücksichtigt. Die Satellitenuhren werden vor dem Start auf eine etwas niedrigere Frequenz eingestellt. Man berechnet den erwarteten Gangunterschied im Orbit und korrigiert ihn im Voraus. Im Betrieb selbst findet keine ständige dynamische „ART-Berechnung“ statt; die Uhren laufen mit der voreingestellten Frequenz.

Die Geometrie der „Selbstkorrektur“ im Betrieb Formal löst das GPS-System im Betrieb keine Feldgleichungen, sondern ein geometrisches Trilaterationsproblem.

- Der Empfänger hat vier Unbekannte: Breite, Länge, Höhe und den Fehler seiner eigenen, ungenauen Quarzuhr.
- Durch den Empfang von Signalen von mindestens vier Satelliten entsteht ein Gleichungssystem, dessen Lösung den Empfängeruhrenfehler in Echtzeit bestimmt.
- **Der entscheidende Punkt:** Das System nutzt redundante geometrische Informationen zur Korrektur. Entscheidend sind die Differenzen der Signallaufzeiten.

4. Epistemologischer Status der „ART-Korrektur“ Halten wir fest: Die Korrektur von rund $38\,\mu$s/Tag ist ein statischer Frequenzoffset, der bereits vor dem Start in den Satellitenuhren berücksichtigt wird. Die ART-Korrektur ist eine praktische Ingenieurslösung, die mit der ART übereinstimmt, sie aber nicht ontologisch beweist: Jede Theorie, die denselben Offset quantitativ herleitet, wäre insoweit mit dem GPS kompatibel.

Die EKT liefert demgegenüber eine eigenständige, parameterfreie Berechnung der GPS-Frequenzverschiebung (Kapitel 18.23.4), die ausschließlich aus der Masse–Radius-Kopplung, der gravitativen Selbstenergie und der de-Broglie-Materiewelle folgt – ohne Schwarzschild-Metrik, ART-Feldgleichungen, Raumzeitkrümmung oder freie Parameter. Das Ergebnis von $+38{,}52\,\mu$s/Tag liegt innerhalb der Rundungsgenauigkeit der Eingangsparameter und bestätigt im Rahmen der EKT: Die Frequenzverschiebung ist eine Eigenschaft des Oszillators im Raumenergiefeld, nicht einer „gedehnten Zeit“.

8.1.5 Das erkenntnistheoretische Fazit: Zirkelschluss statt Vorhersage

Die Vorgehensweise der etablierten Physik folgt nach dieser Kritik einem wiederkehrenden Muster:

1. Man startet mit einem hochkomplexen, axiomatischen Formalismus aus Raumzeitkrümmung und Tensoren.
2. Da dieser keine allgemeinen analytischen Lösungen liefert, bricht man ihn durch Näherungen auf, die nach Auffassung der EKT das Kovarianzprinzip verletzen.
3. Man führt klassische beziehungsweise Newtonsche Parameter und empirische Daten wie Massen und Bahngeometrien in das Modell ein.
4. Am Ende gibt das Modell diese Daten als „erfolgreiche Vorhersage“ oder „Bestätigung der Raumzeitkrümmung“ wieder aus.

Die EKT bezeichnet dies als „Zirkelschluss-Glaubensarbeit“ und vergleicht die ART mit der Epizykeltheo-

rie der Antike: Auch das ptolemäische Weltbild konnte die Planetenbahnen einschließlich der Schleifen des Mars mathematisch vorhersagen, indem es immer neue Epizykel als Hilfskonstrukte einführte. Es war mathematisch konsistent, aber ontologisch falsch.

Die Forderung der EKT ist daher, Physik wieder auf primäre, phänomenologisch fassbare Größen wie Masse, Radius, Raumenergie und die Geometrie der Kugeloberfläche zurückzuführen, anstatt sich in einer Hilbertschen, axiomatischen Mathematik zu verlieren, die am Ende nur das ausgibt, was zuvor an klassischer Physik und Empirie eingegeben wurde.

9 Exemplarische Standardmodell-Probleme - Worum geht es?

Eine einführende "formelfreie"Bestandsaufnahme zu ART & LambdaCDM-Modell

Es ist alles andere als trivial, Raum und Zeit als physikalische ≫Gegenstände≪ zu betrachten. Raum und Zeit sind primär Ördnungsmuster des Verstandes". Um aus diesen Ordnungsmustern Physik zu erhalten, bedarf es phänomenologischer Betrachtungen und Erklärungen. Populärwissenschaftliche Ausführungen zur ART und in einem größeren Rahmen zum Standardmodell der Kosmologie (LambaCDM-Modell) sind allesamt unzulässige Interpretationen, da die zum Verständnis notwendige Komplexität nicht berücksichtigt wird. Das ist so, als wenn jemand chinesische Schriftzeichen einem diesbezüglich nicht schriftkompetenten Publikum zur Anschauung und Diskussion vorstellt. Da kann dann alles und nichts hineininterpretiert werden, da niemand die Voraussetzungen zur Dekodierung sowie niemand die Voraussetzungen der Schriftgestaltung hat. Plakativ formuliert: In der ART führen auch Schreibfehler zu neuen Lösungen und das gilt (bereits) für Leute, die Differentialgeometrie professionell betreiben.

Das Standardmodell der Kosmologie basiert auf einem mathematisch-theoretischen Konstrukt mit einer großen Anzahl freier Parameter. Mit diesen, stetig nachkorrigierten freien Parametern entsteht eine komplexe Deutungs-Beliebigkeit, die jede Theorie unterstützt, die gewünscht ist. Fassen wir noch einmal Obiges zur Kovarianzverletzung zusammen: Zur Beliebigkeit-Problematik der freien Parameter gesellt sich die unvermeidbare „axiomatische Verletzung" des Kovarianzprinzips. Salopp "formulierter"Hintergrund: Die Allgemeine Relativitätstheorie wurde u.a. aus der Forderung geboren, zur Beschreibung der Naturgesetze beliebige Koordinatensysteme verwenden zu können. Entsprechend dem Kovarianzprinzip sollte die Form der Naturgesetze nicht entscheidend von der Wahl des speziellen Koordinatensystems abhängen. Diese Forderung ist ursächlich mathematisch und führt zu einer Vielfalt von möglichen Koordinatensystemen [Metriken]. Die Gleichungssysteme (Einstein, Friedmann) der Allgemeinen Relativitätstheorie (ART), die den Aussagen des Standardmodells der Kosmologie zu Grunde liegen, liefern keine analytischen Lösungen. Gemäß ART-Postulat trägt nicht nur Masse, sondern auch jede Form von Energie zur Krümmung der Raumzeit bei. Dies gilt einschließlich der mit der Gravitation selber verbundenen Energie. Daher sind die einsteinschen Feldgleichungen nichtlinear. Erst Idealisierungen und Näherungen führen begrenzt zu rechenbaren Lösungen. Die unvermeidbaren ("kovarianten") Widersprüche kommen mit den offensichtlich unzulässigen Idealisierungen und Näherungen des Systems von nichtlinearen, verketteten Differentialgleichungen. Mathematisch kann das Kovarianzprinzip nicht „verletzt" werden, da es ja axiomatisch begründet ist. Nur diese axiomatische Voraussetzung „entschwindet mit der Verstümmelung" (Idealisierung und Näherung) der eigentlichen Gleichungen. Mit anderen Worten: Die mathematisch korrekten Gleichungen besitzen keine analytischen Lösungen. Die reduzierten Gleichungen (Näherungen, Idealisierung) besitzen zwar Lösungen, diese sind jedoch nicht kovariant. Somit besitzt keine Lösung eine realphysikalisch begründete Bedeutung. Diese Art des Mathematikgebrauches ist willkürlich, da je nach „Geschmack" der (selbst)gewählten Metrik andere Ergebnisse erhalten werden.

10 Glaube statt Wissenschaft

Äther, Dirac-See, Quantenfeldvakuum...

Ratlosigkeit und Phänomenologieferne werden durch virtuelle Teilchen und postulierte Schnittstellen zwischen theoretischer Fiktion und Realphysik „ersetzt“. Da dies nicht gelingen kann, bedarf es mit fortschreitender Komplexität vieler freier Parameter, variabler Kopplungskonstanten und „wilder Substrukturierung“. Aus einem Austauschteilchen (Photon) werden schnell mal acht (Gluonen), die dann zusätzlich mit weiteren Quantenzahlen ausgestattet werden müssen. Im Fall des Lichtäthers erhielt man ein Trägermedium, das Licht leitet, im Fall des (negativen) Dirac-Sees erhielt man ein Medium im Vakuum, das voll von negativen Energieteilchen ist, die die Fluktuationen im Vakuum verursachen. In beiden Fällen lässt sich das postulierte Medium weder begründen noch nachweisen. ”Lustigerweise”lehnen Standardmodell-Anhänger den nicht beobachteten Lichtäther ab und führen ohne mit der Wimper zu zucken sodann die gleichfalls nicht nachweisbare Dunkle Energie und Dunkle Materie ein. Nüchtern betrachtet wird schlicht ein Glaubenskonzept durch ein anderes Glaubenskonzept ersetzt.

Ausgehend vom Quantenfeldvakuum besteht eine der wortwörtlich großen Schwierigkeiten darin, dass eine Energie im Vakuum angenommen werden muss, die ihre Auswirkungen in die ART „verschleppt“. Es stellt sich in Verbindung mit der kosmologischen Konstante die Frage: Ist die Nullpunktenergie real? Oder verflüchtigt sie sich eines Tages, so wie zuvor Lichtäther und Dirac-See.

Die „gemessene“ Stärke der Vakuumenergie(dichte) stellt eines der größten Probleme der modernen System-Physik dar, da die experimentell gefundenen und die theoretisch vorhergesagten Werte extrem voneinander abweichen. Aufgrund von Beobachtungen wird die Energiedichte des Vakuums auf einen Wert der Größenordnung 10^{-9} J/m^3 geschätzt, dieser Wert ist damit etwa um den Faktor 10^{120} niedriger als in den theoretischen Berechnungen des Standardmodells.

Die Elementarkörpertheorie (EKT) verfolgt einen grundlegend anderen Ansatz. Sie geht von der primären, sinnlich erfahrbaren Größe der radialen Ausdehnung r aus und leitet daraus alle sekundären Begriffe (Masse, Energie, Ladung, Felder) ab. Die Gravitation ist in der EKT keine eigenständige Kraft, sondern eine unmittelbare Folge der fundamentalen Kopplung zwischen Masse und Raum. Der Raum ist in der EKT kein leerer Behälter und kein mathematisches Konstrukt, sondern ein aktives, physisches Medium – *Raumenergie* – das aus der Transformation von massegebundener Energie entsteht.

11 Herleitung des Freylingschen Eingriffs

Die folgenden Schritte entfalten die geometrische Konstruktion, die der gesamten Elementarkörpertheorie zugrunde liegt – vom Entstehen einer Kugeloberfläche bis zur Masse-Radius-Konstantengleichung.

11.1 Schritt 1: Entstehung einer Kugeloberfläche durch isotrope Lichtausbreitung

Wir betrachten die Entstehung einer Kugeloberfläche als isotrope Lichtausbreitung vom Zentrum mit maximalem Radius r_0. Aufgrund der Kugelsymmetrie reduziert sich die Betrachtung auf einen Kreis mit Radius $r_0 = c \cdot t$ (c: Lichtgeschwindigkeit, t: Zeit).

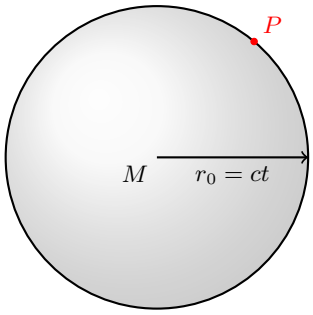


Abbildung 1: Isotrope Lichtausbreitung vom Zentrum M erzeugt eine Kugeloberfläche. Zum Zeitpunkt t hat die Oberfläche den Radius $r_0 = ct$. Punkt P ist ein beliebiger Punkt auf der Oberfläche.

Zum Zeitpunkt $t = 0$ ist der Radius Null – dies entspricht dem Photon. Zum Zeitpunkt t hat die Oberfläche den Radius r_0.

11.2 Schritt 2: Variable Geschwindigkeit und der Freylingsche Eingriff

Die Kugeloberfläche expandiere mit einer variablen radialen Geschwindigkeit $v = dr/dt$.

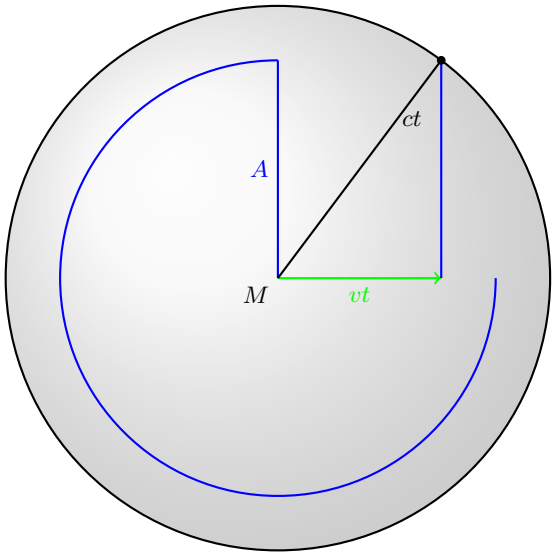


Abbildung 2: **Freylingscher Eingriff**: Die horizontale Strecke vt (grün), die blauen Senkrechten (die zweite mit A bezeichnet), A entspricht geometrisch einem reduzierten Radius in Abhängigkeit der Geschwindigkeit v.

Für die mathematische Berechnung ist es zwar anschaulich notwendig, dass wir die Geschwindigkeit v als Momentaufnahme als konstant und senkrecht zu c mit definierter (Raum-)Richtung betrachten, doch im Rahmen einer phänomenologischen Betrachtung ist das nicht der Fall. Die Kugel(oberfläche) entwickelt sich offensichtlich dynamisch und radialsymmetrisch mit $v = dr/dt$ isotrop. Mit anderen Worten: Schaut man sich die obige Grafik an, so steht A zwar (zur mathematischen Berechnung) senkrecht auf $v \cdot t$, aber A kann auf Grund der Radialsymmetrie beliebig im Kreis (respektive weitergedacht im Raum) gedreht werden, ohne dass sich A betragsmäßig ändert. Dies ist der **Freylingsche Eingriff**.

A entspricht geometrisch einem reduzierten Radius in Abhängigkeit der Geschwindigkeit v, der mit $r = r_0$

sein Maximum erreicht. Wir suchen nun eine Lösung, die $A(v) := r(v)$ in Abhängigkeit der Zeit beschreibt, wenn wir v als variabel annehmen gilt: $v = dr/dt$.

11.3 Schritt 3: Satz des Pythagoras – erste Gleichung

Aus der Zeichnung folgt (Satz des Pythagoras):

$$(ct)^2 = A^2 + (vt)^2.$$

Da A in dieser Konstruktion genau der aktuelle Radius $r(t)$ ist, schreiben wir:

$$(ct)^2 = r(t)^2 + (vt)^2.$$

Auflösen nach $r(t)$:

$$\begin{aligned} A^2 + (v \cdot t)^2 &= (c \cdot t)^2 \\ A^2 &= (c \cdot t)^2 - (v \cdot t)^2 \\ A^2 &= t^2(c^2 - v^2) \\ A^2 &= c^2 t^2 \left(1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2\right) \end{aligned}$$

Damit ergibt sich für A der Radius $r(t)$:

$$\boxed{r(t) = ct\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

11.4 Schritt 4: Die sinusförmige Lösung

Die Randbedingungen lauten:

$$r(0) = 0, \quad v(0) = c, \quad r(t_0) = r_0, \quad v(t_0) = 0.$$

Der einfachste Ansatz, der diese Bedingungen erfüllt und zugleich die obige Pythagoras-Beziehung identisch erfüllt, ist die Sinusfunktion:

$$\boxed{r(t) = r_0 \sin\left(\frac{ct}{r_0}\right)}, \qquad \boxed{v(t) = \frac{dr}{dt} = c\cos\left(\frac{ct}{r_0}\right)}.$$

Die maximale Ausdehnung r_0 wird erreicht, wenn $\sin(ct/r_0) = 1$, also bei

$$t_0 = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{r_0}{c}.$$

11.5 Schritt 5: Entwicklungszeit, Orthodrome und die Masse-Radius-Konstante

Die Entwicklungszeit t_0 ist die Zeitspanne vom Photon bis zum voll ausgebildeten Elementarkörper. Die während dieser Zeit auf der Kugeloberfläche zurückgelegte Bogenlänge (Orthodrome) ist

$$\lambda = ct_0 = \frac{\pi}{2} r_0.$$

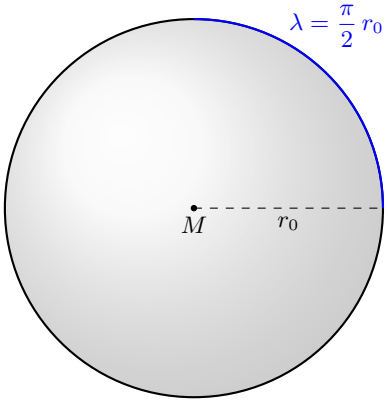
In der Quantenphysik ist die Compton-Wellenlänge eines Teilchens der Masse m_0 gegeben durch $\lambda_C = \frac{h}{m_0 c}$. Die EKT identifiziert λ mit λ_C:

$$\frac{\pi}{2} r_0 = \frac{h}{m_0 c}.$$

Daraus folgt hier die fundamentale **Masse-Radius-Konstantengleichung**:

$$\boxed{m_0 r_0 = \frac{2h}{\pi c}} \qquad [\text{F1}].$$

Diese Gleichung ist das Herzstück der Elementarkörpertheorie. Sie verknüpft Masse und Radius jedes Elementarkörpers ohne freie Parameter.



$\lambda_C = \frac{\pi}{2} r_0$

Daraus folgt unmittelbar der **masseinhärente Radius**:

$r_0 = \frac{2}{\pi} \lambda_C = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{h}{m_0 c}$

Abbildung 3: Die Orthodrome als Viertelbogen der Kugeloberfläche: $\lambda_C = \frac{\pi}{2} r_0$

Die geometrische Grundlage: Der Freylingsche Eingriff

Die EKT ist geometrisch begründet – aber ihre Geometrie ist eine *realistische* Geometrie (Kugeloberfläche, Radien, Überlappung), keine *abstrakte* Geometrie (Raumzeitkrümmung, Geodäten). Die gesamte Theorie basiert auf einer einzigen geometrischen Konstruktion: dem Freylingschen Eingriff.

11.6 Die Kugeloberflächendynamik

Ein Elementarkörper entsteht durch isotrope Lichtausbreitung vom Zentrum. Die Kugeloberfläche hat den Radius $r_0 = c \cdot t$.

Der Freylingsche Eingriff (Satz des Pythagoras) liefert:

$$(ct)^2 = r(t)^2 + (vt)^2 \tag{56}$$

Mit den Randbedingungen $r(0) = 0$, $v(0) = c$, $r(t_0) = r_0$, $v(t_0) = 0$ folgt die sinusförmige Lösung:

$$r(t) = r_0 \sin\left(\frac{ct}{r_0}\right) \tag{57}$$

Diese einfache, aber tiefgründige Gleichung beschreibt die Entstehung von Masse und Raum aus reiner Bewegung – ein Prozess, der in der Standardphysik weder beschrieben noch erklärt wird.

11.7 Die Masse-Radius-Kopplung

Die Orthodrome (Bogenlänge auf der Kugeloberfläche) ist:

$$\lambda = \frac{\pi}{2} r_0 \tag{58}$$

Identifikation mit der Compton-Wellenlänge $\lambda_C = h/(m_0 c)$ führt zur fundamentalen Masse-Radius-Konstantengleichung:

$$m_0 r_0 = \frac{2h}{\pi c} =: F_{\mathrm{EK}} \tag{59}$$

Diese Gleichung enthält **keine freien Parameter**. Sie ist das Herzstück der EKT. Sie besagt, dass Masse und räumliche Ausdehnung untrennbar miteinander verbunden sind – eine Einsicht, die in der Standardphysik fehlt.

12 Die fundamentale Bedeutung von $E = mc^2$

Die Gleichung $E = mc^2$ gilt als die berühmteste Formel der Physik. Sie symbolisiert die Äquivalenz von Masse und Energie und bildet die Grundlage für unser Verständnis von Kernenergie, Teilchenphysik und Kosmologie.

Doch **wie wird diese Gleichung eigentlich hergeleitet?**

Die Standardantwort lautet: Aus der Speziellen Relativitätstheorie (SRT) Albert Einsteins. Doch eine genaue Analyse zeigt, dass die SRT-Herleitung unter formalanalytischen Gesichtspunkten weit weniger eindeutig ist, als es die Lehrbücher suggerieren.

Die Elementarkörpertheorie (EKT) bietet eine **alternative Herleitung**, die:

- **Mathematisch exakt** ist (keine Näherungen)
- **Logisch zwingend** aus den Entwicklungsgleichungen folgt
- **Geometrisch anschaulich** ist
- **Keine freien Parameter** benötigt
- **Phänomenologisch konsistent** ist

Dieses Dokument stellt die EKT-Herleitung vollständig dar, analysiert die Schwächen der SRT-Herleitung und zeigt auf, warum die EKT eine **fundamentalere Theorie** ist.

12.1 Die vollständige EKT-Herleitung von $E = m_0c^2$

12.2 Ausgangspunkt: Die Entwicklungsgleichungen

Die Elementarkörpertheorie beschreibt den Übergang vom Photon ($t = 0$) zum massebehafteten Elementarkörper ($t = t_0$) mit einfachen trigonometrischen Funktionen.

Radiusentwicklung:

$$r(t) = r_0 \cdot \sin\left(\frac{ct}{r_0}\right) \tag{60}$$

Dabei ist $r(t)$ der momentane Radius des Elementarkörpers, r_0 der maximale Radius im voll ausgebildeten Zustand, c die Lichtgeschwindigkeit und t die Zeit.

Zum Zeitpunkt $t = 0$ gilt: $r(0) = 0$ (raumloser Photon-Zustand).
Zum Zeitpunkt $t = t_0$ gilt: $r(t_0) = r_0$ (voll ausgebildeter Elementarkörper).

Massenentwicklung:

$$m(t) = m_0 \cdot \sin\left(\frac{ct}{r_0}\right) \tag{61}$$

Dabei ist $m(t)$ die momentane Masse und m_0 die Ruhemasse des voll ausgebildeten Elementarkörpers.

Zum Zeitpunkt $t = 0$ gilt: $m(0) = 0$ (masseloser Photon-Zustand).
Zum Zeitpunkt $t = t_0$ gilt: $m(t_0) = m_0$.

Geschwindigkeit (erste Ableitung des Radius):

$$v(t) = \dot{r}(t) = c \cdot \cos\left(\frac{ct}{r_0}\right) \tag{62}$$

Zum Zeitpunkt $t = 0$ gilt: $v(0) = c$ (Lichtgeschwindigkeit).
Zum Zeitpunkt $t = t_0$ gilt: $v(t_0) = 0$.

Beschleunigung (zweite Ableitung des Radius):

$$a(t) = \ddot{r}(t) = -\frac{c^2}{r_0} \cdot \sin\left(\frac{ct}{r_0}\right) \tag{63}$$

Zum Zeitpunkt $t = 0$ gilt: $a(0) = 0$.
Für $0 < t < t_0$ gilt: $a(t) < 0$ (formal negativ).

Die Übergangszeit:

Die Zeit, die der Elementarkörper benötigt, um vom Photon-Zustand in den voll ausgebildeten Zustand überzugehen, beträgt:

$$t_0 = \frac{\pi r_0}{2c} \tag{64}$$

12.3 Die phänomenologische Interpretation der Beschleunigung

Die formale Bedeutung der negativen Beschleunigung

Aus formal-mathematischer Sicht bedeutet $a(t) < 0$ bei positiver Geschwindigkeit $v(t) > 0$ eine Verzögerung: Die Geschwindigkeit nimmt ab.

Dies ist in der EKT auch der Fall – die Geschwindigkeit fällt von c auf 0.

»Phänomenologisches Verständigungs«-Problem

Das negative Vorzeichen suggeriert eine Gegenrichtung – als ob eine Kraft entgegen der Bewegung wirken würde. Genau diese Interpretation ist phänomenologisch in der EKT nicht gegeben.

Die phänomenologische Perspektive des Elementarkörpers

Der Elementarkörper erfährt keine äußere Kraft. Es gibt kein Gegenüber, das ihn abbremst. Die Abnahme der Geschwindigkeit ist nicht das Ergebnis eines Widerstandes, sondern die Entfaltung eines inneren Prozesses.

Was der Elementarkörper erlebt, ist eine Transformation: Reine Bewegungsenergie (Photon) wandelt sich in masse-radius gekoppelte Energie. Diese Umwandlung ist gleichgerichtet mit der ursprünglichen Bewegung – sie kehrt nicht um, sie bremst nicht im Sinne einer Gegenbewegung. **Die Beschleunigung ist phänomenologisch wie die Geschwindigkeit ausgerichtet.**

Die Elementarkörperentwicklung ist **geometrisch anschaulich**: Eine Kugeloberfläche expandiert, verlangsamt sich gemäß einer zeitabhängigen Sinus-Funktion und die dabei wirkende Kraft integriert zur masse-radius gekoppelten Ruheenergie.

Das negative Vorzeichen (Gl.4↑) **ist kein Hinweis auf eine physikalische Gegenrichtung, sondern ein Artefakt der externen Zeitachse**. Der Beobachter definiert $t = 0$ als Anfang und sieht eine Abnahme. Der Elementarkörper selbst kennt diesen externen Zeitpfeil nicht – er entfaltet sich.

Konsequenz für die Kraftberechnung:

Da die Beschleunigung phänomenologisch betragsmäßig positiv ist (innere Transformation ohne Gegenkraft), wird der formale Ausdruck für die Beschleunigung in der weiteren Herleitung **betragsmäßig** verwendet. Dies ist der »**phänomenologische Schlüssel**« zum Verständnis der zeitunabhängigen Kraft.

12.4 Die Herleitung der Kraft

Die Kraft ist definiert als die zeitliche Änderung des Impulses:

$$F(t) = \frac{d}{dt}\big(m(t) \cdot v(t)\big) = \dot{m}(t) \cdot v(t) + m(t) \cdot \dot{v}(t) \tag{65}$$

Die benötigten Ableitungen sind:

$$\dot{m}(t) = \frac{dm}{dt} = m_0 \frac{c}{r_0} \cos\left(\frac{ct}{r_0}\right) \tag{66}$$

$$\dot{v}(t) = \frac{dv}{dt} = a(t) = -\frac{c^2}{r_0} \sin\left(\frac{ct}{r_0}\right) \tag{67}$$

Einsetzen in die Impulsgleichung:

$$F(t) = \left[m_0 \frac{c}{r_0} \cos\left(\frac{ct}{r_0}\right)\right] \cdot \left[c \cdot \cos\left(\frac{ct}{r_0}\right)\right] + \left[m_0 \sin\left(\frac{ct}{r_0}\right)\right] \cdot \left[-\frac{c^2}{r_0} \sin\left(\frac{ct}{r_0}\right)\right] \tag{68}$$

$$= m_0 \frac{c^2}{r_0} \cos^2\left(\frac{ct}{r_0}\right) - m_0 \frac{c^2}{r_0} \sin^2\left(\frac{ct}{r_0}\right) \tag{69}$$

$$= m_0 \frac{c^2}{r_0} \left[\cos^2\left(\frac{ct}{r_0}\right) - \sin^2\left(\frac{ct}{r_0}\right)\right] \tag{70}$$

Anwendung der phänomenologischen Interpretation:

Gemäß der in Abschnitt 2.2 dargelegten phänomenologischen Perspektive wird die Beschleunigung betragsmäßig positiv interpretiert, da der Elementarkörper keine äußere Kraft erfährt, sondern eine innere Transformation. Damit wird aus der Differenz eine Summe:

$$F(t) = m_0 \frac{c^2}{r_0} \left[\cos^2\left(\frac{ct}{r_0}\right) + \sin^2\left(\frac{ct}{r_0}\right)\right] \tag{71}$$

Mit der trigonometrischen Identität $\cos^2 x + \sin^2 x = 1$ ergibt sich:

$$F(t) = m_0 \frac{c^2}{r_0} = \text{konstant} \tag{72}$$

Bemerkung. *Die Kraft ist **zeitunabhängig**. Dies ist ein starkes Indiz für die innere Konsistenz des Ansatzes – eine konstante Kraft treibt die Transformation von Bewegungsenergie in Ruheenergie an.*

12.5 Integration zur Energie

Die Energie ergibt sich aus der Integration:

$$E(t) = \int F(t) \cdot v(t)\, dt = \int m_0 \frac{c^2}{r_0} \cdot c \cdot \cos\left(\frac{ct}{r_0}\right) dt \tag{73}$$

$$= m_0 \frac{c^3}{r_0} \int \cos\left(\frac{ct}{r_0}\right) dt \tag{74}$$

Die Integration des Kosinus ergibt:

$$\int \cos\left(\frac{ct}{r_0}\right) dt = \frac{r_0}{c} \cdot \sin\left(\frac{ct}{r_0}\right) + C \tag{75}$$

Einsetzen:

$$E(t) = m_0 \frac{c^3}{r_0} \cdot \frac{r_0}{c} \cdot \sin\left(\frac{ct}{r_0}\right) + C = m_0 c^2 \sin\left(\frac{ct}{r_0}\right) + C \tag{76}$$

12.6 Randbedingungen und das Endergebnis

Zum Zeitpunkt $t = 0$:

Der Elementarkörper befindet sich im Photon-Zustand – reine Bewegungsenergie, keine Ruheenergie. Daher gilt:

$$E(0) = 0 \quad \Rightarrow \quad m_0 c^2 \cdot \sin(0) + C = 0 \quad \Rightarrow \quad C = 0 \tag{77}$$

Zum Zeitpunkt $t = t_0 = \frac{\pi r_0}{2c}$:

Der Elementarkörper ist vollständig ausgebildet. Es gilt:

$$\sin\left(\frac{ct_0}{r_0}\right) = \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) = 1 \tag{78}$$

Einsetzen in die Energiegleichung:

$$E(t_0) = m_0 c^2 \cdot 1 = m_0 c^2 \tag{79}$$

Damit ist die Herleitung abgeschlossen:

$$\boxed{E_0 = m_0 c^2} \tag{80}$$

12.7 Zusammenfassung des Herleitungsweges

Schritt	Gleichung	Bedeutung
1	$r(t) = r_0 \sin(ct/r_0)$	Radiusentwicklung
2	$m(t) = m_0 \sin(ct/r_0)$	Massenentwicklung
3	$v(t) = c \cos(ct/r_0)$	Geschwindigkeit
4	$a(t) = -(c^2/r_0) \sin(ct/r_0)$	Formale Beschleunigung
5	Phänomenologische Interpretation	Beschleunigung betragsmäßig positiv
6	$F(t) = \dot{m}v + m\dot{v}$	Impulsänderung
7	$F(t) = m_0 c^2/r_0$	Konstante Kraft
8	$E(t) = \int F(t)v(t)dt$	Integration
9	$E(t) = m_0 c^2 \sin(ct/r_0)$	Zeitabhängige Energie
10	$E(t_0) = m_0 c^2$	Ruheenergie bei $t = t_0$

Tabelle 4: Zusammenfassung des Herleitungsweges

12.8 Der dynamisierte Faktor der EKT

12.9 Herleitung aus den Entwicklungsgleichungen

Aus der Geschwindigkeitsgleichung $v(t) = c \cdot \cos(ct/r_0)$ folgt durch Umkehrung:

$$\frac{ct}{r_0} = \arccos\left(\frac{v}{c}\right) \tag{81}$$

Einsetzen in die Radiusgleichung $r(t) = r_0 \cdot \sin(ct/r_0)$:

$$r(v) = r_0 \cdot \sin\left(\arccos\left(\frac{v}{c}\right)\right) \tag{82}$$

Mit der trigonometrischen Identität $\sin(\arccos(x)) = \sqrt{1-x^2}$ ergibt sich:

$$r(v) = r_0 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} \tag{83}$$

12.10 Definition des dynamisierten Faktors

Der **dynamisierte Faktor** γ_{dyn} ist definiert als:

$$\boxed{\gamma_{\text{dyn}} = \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \tag{84}$$

Damit gilt:

$$r(v) = r_0 \cdot \gamma_{\text{dyn}} \tag{85}$$

12.11 Vergleich mit dem Lorentz-Faktor

Aspekt	**Lorentz-Faktor (SRT)**	**Dynamisierter Faktor (EKT)**
Definition	$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$	$\gamma_{\text{dyn}} = \sqrt{1 - v^2/c^2}$
Auftreten	Multiplikativ im Nenner	Multiplikativ im Zähler
Geometrie	Anisotrop (nur in Bewegungsrichtung)	Isotrop (radialsymmetrisch)
Abhängigkeit	Inertialsystemabhängig	Inertialsystemunabhängig
Herkunft	Postulat	Abgeleitet aus $r(t) = r_0 \sin(ct/r_0)$

Tabelle 5: Vergleich: Lorentz-Faktor vs. Dynamisierter Faktor

12.12 Kritische Analyse der Einstein'schen Herleitung

12.13 Einsteins ursprüngliche Herleitung (1905) von $\mathbf{E = mc^2}$

In seiner Arbeit „Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?" verwendet Einstein folgendes Gedankenexperiment:

1. Ein Körper sendet zwei gleiche Lichtblitze in entgegengesetzte Richtungen aus.
2. Betrachtung im Ruhesystem: Energieabnahme $\Delta E = L$.
3. Betrachtung in einem bewegten System: Anwendung von relativistischem Dopplereffekt und Lorentz-Transformation.
4. Vergleich der kinetischen Energien ergibt: $\Delta m = L/c^2$.

12.14 Die ,,klassische Grenzfall"-Näherung

Die heute übliche Lehrbuch-Herleitung verwendet die Taylor-Reihe der relativistischen kinetischen Energie:

$$E_{\text{kin}} = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - 1 \right) \tag{86}$$

Entwicklung in eine Taylor-Reihe für $v \ll c$:

$$E_{\text{kin}} = m_0 c^2 \left(1 + \frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2} + \frac{3}{8}\frac{v^4}{c^4} + \cdots - 1 \right) = \frac{1}{2} m_0 v^2 + \frac{3}{8} m_0 \frac{v^4}{c^2} + \ldots \tag{87}$$

Der konstante Term $m_0 c^2$ wird als **Ruheenergie interpretiert**.

12.15 Die logischen Probleme dieser Herleitung

Problem 1: Zirkelschluss

Die Formel für die relativistische kinetische Energie enthält bereits $m_0 c^2$. Man extrahiert aus der Formel genau den Term, den man zuvor hineingesteckt hat. Dies ist keine Herleitung, sondern eine **Tautologie**.

Problem 2: Ergebnisorientierte Interpretation

Die Taylor-Reihe liefert unendlich viele Terme. Warum sollte gerade der nullte Term $m_0 c^2$ eine physikalische Bedeutung haben? Der Term $(3/8) m_0 v^4/c^2$ wird nicht als ,,quartische Ruheenergie" interpretiert. Die Auswahl ist **willkürlich** und **ergebnisorientiert**.

Problem 3: Keine dynamische Erklärung

Die SRT liefert keine Erklärung dafür, **wie** Masse aus Energie entsteht oder **warum** der Umrechnungsfaktor gerade c^2 ist. Sie postuliert lediglich die Äquivalenz.

Problem 4: Abhängigkeit von Postulaten

Die gesamte Herleitung hängt von den Postulaten der SRT ab (Konstanz von c, Relativitätsprinzip). Diese Postulate sind selbst nicht bewiesen, sondern werden durch den Erfolg der Theorie nachträglich gerechtfertigt.

12.16 Wissenschaftstheoretische Einordnung

Der Physikhistoriker **Gerald Holton** hat darauf hingewiesen, dass Einsteins Herleitung von 1905 **logisch nicht zwingend** ist, sondern auf einer Reihe von Annahmen beruht, die erst durch den Erfolg der Theorie nachträglich gerechtfertigt wurden.

Der Wissenschaftstheoretiker **Imre Lakatos** würde Einsteins Herleitung als Beispiel für ein **,,degenerierendes Forschungsprogramm"** in seiner Entstehungsphase bezeichnen: Die Kernannahme (Äquivalenz von Masse und Energie) wird durch Hilfshypothesen (Lorentz-Transformation, relativistischer Dopplereffekt) gestützt, die selbst nicht unabhängig begründet sind.

12.17 Vergleich: EKT-Herleitung vs. SRT-Herleitung

Aspekt	**SRT-Herleitung**	**EKT-Herleitung**
Ausgangspunkt	Postulate (Konstanz von c, Relativitätsprinzip)	Geometrische Entwicklungsgleichungen
Mathematische Methode	Taylor-Reihe (Näherung) oder Vierervektor-Formalismus	Exakte Integration
Logische Struktur	Extrapolation vom klassischen Grenzfall	Exakte dynamische Herleitung
Freie Parameter	c als Postulat, m_0 als Eingabe	c empirisch, r_0 und m_0 aus der Dynamik
Interpretation von c^2	Unerklärter Umrechnungsfaktor	Folgt aus der Geometrie der Sinus-Dynamik
Ontologischer Status	Masse und Energie sind „äquivalent“ (was heißt das?)	Masse ist „verkörperte“ Bewegungsenergie
Anschaulichkeit	Keine (Gedankenexperimente)	Hoch (Kugeloberflächendynamik)
Exaktheit	Näherung ($v \ll c$)	Exakt für alle v
Dynamische Erklärung	Keine	Vollständig (innere Transformation)
Phänomenologische Konsistenz	Nicht thematisiert	Zentrale Bedeutung (Abschnitt 2.2)

Tabelle 6: Vergleich: EKT-Herleitung vs. SRT-Herleitung

12.18 Zur Comptonwellenlänge – Viertelperiode, nicht volle Periode

Energie-äquivalent wird die Energie des Masse-Radius gekoppelten Realobjektes „alternativ“ durch die Comptonwellenlänge $\lambda_C = \frac{\pi}{2} r_0$ definiert. Somit ergibt sich die Comptonwellenlänge »objekt-natürlich«.

In der „herrschenden“ Physik wird die Comptonwellenlänge als $\lambda_C = \frac{h}{m_0 c}$ eingeführt, jedoch ohne geometrische Begründung und implizit als Ergebnis einer **vollen Periode** 2π betrachtet. Die EKT zeigt dagegen: Der Verkörperungsprozess vom Photon zum massebehafteten Elementarkörper entspricht einer **Viertelperiode** $\frac{\pi}{2}$ der zugrundeliegenden Schwingung. Daher ist die korrekte Beziehung:

$$\lambda_C = \frac{\pi}{2}\, r_0.$$

Daraus folgt unmittelbar der **masseinhärente Radius**:

$$r_0 = \frac{2}{\pi}\, \lambda_C = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{h}{m_0 c}.$$

Die Frage, wie „(werte-)sicher“ die mit den Comptonwellenlängen assoziierten (Ruhe-)Massen inhärenten (Ruhe-)Radien $r_0(m_0)$ sind, ist leicht zu beantworten: **Comptonwellenlängen sind (auch) Messgrößen.** [CODATA-λ_C(Proton), CODATA-λ_C(Elektron)]

12.19 Experimentelle Bestätigung durch Streuquerschnitte

Die folgende Zusammenstellung zeigt, dass der aus der Masse-Radius-Kopplung abgeleitete **klassische Radius**

$$r_{\mathrm{kl}} = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 m_0 c^2}$$

in sämtlichen etablierten Streuformeln auftritt – ein starkes Indiz für die physikalische Realität des masseinhärenten Radius r_0. In der EKT wird dieser ausgedrückt als

$$r_{\mathrm{kl}} = \frac{\alpha}{4}\, r_0,$$

wobei α die Feinstrukturkonstante ist. Der Faktor $\alpha/4$ ist das Verhältnis von elektrischer Energie zur Gesamtenergie.

Zu den sieben experimentell bestätigten Streuformeln gehören:

- Thomson-Streuung
- Møller-Streuung
- Bethe-Bloch-Sternheimer-Gleichung
- Photoelektrischer Effekt
- Paarbildung
- Compton-Streuung (Klein-Nishina)
- Kramers-Heisenberg-Formel

In allen diesen Gleichungen erscheint der klassische Radius r_{kl} bzw. $\frac{\alpha}{4} r_0$. Die experimentelle Übereinstimmung ist ein direkter Beleg für die Gültigkeit der Masse-Radius-Kopplung.

13 Die Raumenergie und die Raumenergiedichte

Für makroskopische Körper gilt die Masse-Radius-Konstantengleichung nicht ($M_0 R_0 \neq F_{\mathrm{EK}}$). Stattdessen wird massegebundene Energie in Raumenergie transformiert. Dies ist der zentrale Prozess, der die Gravitation erst verständlich macht.

13.1 Die Raumenergie

Die Raumenergie eines Körpers der Masse m_x im Abstand r ist:

$$E_R = m_x c^2 \left[1 - \frac{m_x \gamma_G}{r c^2}\right] \tag{88}$$

Dabei ist γ_G die Gravitationskonstante und $r_G = m_x \gamma_G / c^2$ der Gravitationsradius.

Die Raumenergie ist keine abstrakte Größe, sondern eine reale, physikalische Energieform, die den Raum aufspannt. Je größer die räumliche Ausdehnung eines Körpers, desto mehr massegebundene Energie wurde in Raumenergie transformiert.

13.2 Die Raumenergiedichte als Zustandsgröße

Die Raumenergiedichte $\Phi(r)$ ist definiert als:

$$\Phi(r) = \frac{E_R(r)}{E_R(\infty)} = 1 - \frac{r_G}{r} \tag{89}$$

Diese Größe beschreibt den energetischen Zustand des Raumes. Sie ist kein mathematisches Konstrukt wie die Raumzeit, sondern eine physikalische Zustandsgröße – die normierte Dichte der Raumenergie.

13.3 Die effektive Masse

Die effektive, gravitativ wirksame Masse ist:

$$M_{\text{eff}} = \frac{r_G}{r} m_x \tag{90}$$

Dies erklärt die Schwäche der Gravitation: Für makroskopische Körper ist $r \gg r_G$, also ist $M_{\text{eff}} \ll m_x$. Die Gravitation ist nicht schwach, weil die Kopplungskonstante klein wäre – sie ist schwach, weil der größte Teil der massegebundenen Energie in Raumenergie transformiert wurde.

13.4 Die Raumenergie als »fehlende« Energie – Das Geheimnis der schwachen Gravitation

Die scheinbare Schwäche der Gravitation – insbesondere im Vergleich zur elektrischen oder starken Wechselwirkung – ist eines der großen ungelösten Rätsel der Standardphysik. Die EKT löst dieses Rätsel auf einfache und elegante Weise.

Die "fehlendeËnergie, die in der Standardphysik als Defizit in der Energiebilanz erscheint, steckt in der EKT **im Raum selbst**. Die Raumenergie-Gleichung [ER] zeigt dies unmittelbar:

$$E_R = m_x c^2 \left[1 - \frac{m_x \gamma_G}{r c^2}\right]$$

Je größer der Körper, desto mehr Energie wurde in Raumenergie transformiert. Diese Raumenergie ist nicht "verloren"– sie ist die Energie, die den Raum aufspannt.

Für makroskopische Körper ist das Verhältnis r_G/r extrem klein. Betrachten wir das Beispiel der Erde:

- Tatsächlicher Radius der Erde: $r_{\text{Erde}} \approx 6,37 \times 10^6$ m
- Gravitationsradius der Erde: $r_{G,\text{Erde}} = m_{\text{Erde}} \gamma_G / c^2 \approx 8,87 \times 10^{-3}$ m
- Verhältnis $r_G/r \approx 1,39 \times 10^{-9}$

Die effektive Masse der Erde ist also **etwa eine Milliarde Mal kleiner** als ihre Ruhemasse. Nur dieser winzige Bruchteil der Masse ist gravitativ wirksam.

Wäre die Erde auf die Größe ihres Gravitationsradius komprimiert (d.h. $r = r_G$), dann wäre $r_G/r = 1$ und die effektive Masse gleich der Ruhemasse – die Gravitation wäre immens stark. **Weil die Erde aber riesig ausgedehnt ist**, wurde der weitaus größte Teil ihrer massegebundenen Energie in Raumenergie transformiert. Die Schwäche der Gravitation ist also **keine Eigenschaft einer ei-**

genständigen Kraft, sondern eine Folge der großen räumlichen Ausdehnung gewöhnlicher Materie.

13.5 Die Herkunft der Gravitationskonstanten: Das Elementarquant G

Die Gravitationskonstante γ_G wird in der EKT nicht postuliert, sondern aus den Eigenschaften eines besonderen Elementarkörpers abgeleitet: dem **Elementarquant G**.

Das Elementarquant G ist definiert als der Körper, **bei dem keine Transformation von massegebundener in raumgebundene Energie stattgefunden hat** – sein tatsächlicher Radius ist gleich seinem Gravitationsradius.

Aus der Masse-Radius-Kopplung (F1) und der Bedingung, dass für das Elementarquant G die gravitative Selbstenergie gleich seiner Ruheenergie ist, folgt:

$$\gamma_G \cdot m_G^2 = F_{\mathrm{EK}} \cdot c^2 \tag{91}$$

$$m_G \cdot r_G = F_{\mathrm{EK}} = \frac{2h}{\pi c} \tag{92}$$

Mit dem Zahlenwert (CODATA 2022):

$$F_{\mathrm{EK}} = 1,4070691767 \times 10^{-42}\ \mathrm{kg{\cdot}m} \tag{93}$$

ergeben sich für das Elementarquant:

$$r_G = \sqrt{\frac{F_{\mathrm{EK}} \cdot \gamma_G}{c^2}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{h\gamma_G}{2\pi c^3}} = 2r_{\mathrm{Planck}} \tag{94}$$

$$m_G = \sqrt{\frac{F_{\mathrm{EK}} \cdot c^2}{\gamma_G}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{hc}{2\pi\gamma_G}} = 2m_{\mathrm{Planck}} \tag{95}$$

Die Gravitationskonstante ist somit:

$$\gamma_G = \frac{r_G}{m_G} \cdot c^2 \quad \text{(verkörperte Gravitationskonstante)} \tag{96}$$

Die Gravitationskonstante ist in der EKT **keine fundamentale Konstante**, sondern eine **abgeleitete Größe**. Sie ist das "verkörperte Verhältnis"von Radius zu Masse des fundamentalen Körpers G.

Die im "bekannten"Newtonschen Gravitationsgesetz verwendete Gravitationskonstante γ_G bezieht sich auf den **längen-kleinsten, massereichsten** Körper G (Elementarquant). Dieser Sachverhalt ist nicht offensichtlich, da das üblich formulierte Gravitationsgesetz diesen ursprünglichen Zusammenhang nicht explizit offenbart.

13.6 Die Grenzüberschreitende Bedeutung des Elementarquants

Das Elementarquant G hat eine außergewöhnliche Bedeutung, die vom Mikrokosmos bis zum Universum reicht.

Betrachten wir die Verhältnisse:

- Masse des Universums: $M_{\text{Uni}} \approx 10^{53}$ kg
- Radius des Universums: $R_{\text{Uni}} \approx 10^{26}$ m
- Masse des Elementarquants: $m_G \approx 10^{-8}$ kg
- Radius des Elementarquants: $r_G \approx 10^{-35}$ m

Daraus ergeben sich die Verhältnisse:

$$\frac{M_{\text{Uni}}}{m_G} \approx 10^{61} \tag{97}$$

$$\frac{R_{\text{Uni}}}{r_G} \approx 10^{61} \tag{98}$$

Das bedeutet: **Das Verhältnis von Masse zu Radius ist für das Universum und für das Elementarquant identisch.**

Die EKT formuliert dies als kosmische Konstantengleichung:

$$\frac{r(t)}{m(t)} \cdot c^2 = \frac{r_{\text{Uni}}}{m_{\text{Uni}}} \cdot c^2 = \gamma_G = \frac{r_G}{m_G} \cdot c^2 = \frac{r_{\text{Planck}}}{m_{\text{Planck}}} \cdot c^2 \tag{99}$$

Diese Gleichung besagt: **Das Verhältnis von Radius zu Masse ist für alle Skalen konstant – vom Elementarquant bis zum Universum.**

Diese Korrespondenz ist kein Zufall. Sie zeigt, dass die EKT eine **einheitliche Beschreibung** aller Skalen liefert – vom Mikrokosmos bis zum Makrokosmos.

Die gravitative Selbstenergie des Universums ist gleich der Ruheenergie des Universums:

$$E_G(\text{Uni}) = M_{\text{Uni}} c^2 \tag{100}$$

Das Universum ist in diesem Sinne das ßpiegelbildliche Gegenstückßum Elementarquant – der **längstgrößte** Körper, der das gleiche Radius-Masse-Verhältnis aufweist wie der längen-kleinste Körper.

14 Die Axiome der Elementarkörpertheorie

Die EKT basiert auf drei phänomenologischen Axiomen, die aus der Geometrie der Kugeloberflächendynamik folgen. Sie sind keine willkürlichen Postulate, sondern die notwendige Formalisierung

der primären, sinnlich erfahrbaren Größe der radialen Ausdehnung.

14.1 Axiom 1: Raumenergie

Der physikalische Raum besitzt eine skalare Raumenergiedichte $\Phi(\mathbf{x}) \in (0, 1]$, definiert als das Verhältnis der lokalen Raumenergie zur Raumenergie im unendlichen Abstand:

$$\Phi(\mathbf{x}) = \frac{E_R(\mathbf{x})}{E_R(\infty)} \qquad \text{(A1)} \tag{101}$$

Dieses Axiom besagt: Der Raum ist kein leerer Behälter und kein mathematisches Konstrukt. Er ist ein physikalisches Medium mit einer realen, messbaren Energiedichte.

14.2 Axiom 2: Zeittakt

Die lokale Eigenzeit ist im schwachen Gravitationsfeld in erster Ordnung proportional zur Raumenergiedichte:

$$d\tau = \Phi\, dt + \mathcal{O}\left(\frac{r_{G,\Phi}^2}{r^2}\right) \qquad \text{(A2)} \tag{102}$$

Die Beziehung $d\tau = \Phi\, dt$ ist damit die Schwachfeldbeziehung erster Ordnung. Die exakte metrische Zeitskala wird durch den in Abschnitt 15.1 bestimmten metrischen Wirkungsfaktor $A(r)$ beschrieben:

$$d\tau = \sqrt{A(r)}\, dt, \qquad A(r) = 2\Phi(r) - 1. \tag{103}$$

Damit gilt für die zeitliche Metrikkomponente:

$$g_{tt} = -A(r) = -(2\Phi(r) - 1). \tag{104}$$

Die Zeitdilatation ist in der EKT keine Folge einer gekrümmten Raumzeit, sondern eine unmittelbare Konsequenz des Raumenergiezustandes.

14.3 Theorem 3: Die materielle Deformation des Messinstruments (Das Maßstabs-Argument)

Die Beziehung

$$g_{tt}\, g_{rr} = -1 \tag{105}$$

ist kein unabhängiges Postulat, sondern beschreibt die reziproke Maßstabsstruktur der effektiven EKT-Metrik. Der metrische Wirkungsfaktor selbst wird nicht aus der Periheldrehung bestimmt, sondern in Abschnitt 15.1 durch die dynamische Konsistenz mit der statischen Hauptkraft.

Schritt 1: Die universelle Skalierung lokaler Energie

Axiom 1 definiert die Raumenergiedichte $\Phi(x) = E_R(x)/E_R(\infty)$. Nimmt man diese Ontologie in ihrer vollen Reichweite ernst – $\Phi(x)$ ist eine Eigenschaft des Raumes an der Stelle x, die jede dort befindliche Energie betrifft, nicht nur die der Quelle –, dann skaliert die Ruheenergie eines beliebigen Testkörpers (und damit auch des Messinstruments) am Ort r:

$$E(r) = E_\infty\, \Phi(r). \tag{106}$$

Schritt 2: Die Skalierung der effektiven Masse

Mit der in Abschnitt 12 hergeleiteten Äquivalenz $E = m_0 c^2$ (die in der EKT rein geometrisch aus der Kugeloberflächendynamik folgt) folgt für die lokale effektive Masse eines Elementarkörpers:

$$m(r) = m_\infty \, \Phi(r). \tag{107}$$

Schritt 3: Die Deformation des Maßstabs

Wendet man die Masse-Radius-Kopplung $m(r)\, r_0(r) = F_{\mathrm{EK}}$ nicht auf die Quelle, sondern auf den Maßstab selbst an, der lokal am Ort r misst, so folgt:

$$r_0(r) = \frac{F_{\mathrm{EK}}}{m(r)} = \frac{F_{\mathrm{EK}}}{m_\infty \, \Phi(r)} = \frac{r_0(\infty)}{\Phi(r)}. \tag{108}$$

Ein materieller Maßstab, dessen Elementarkörper im Raumenergie-Feld an effektiver Masse verlieren, dehnt sich physikalisch aus. Er wird um den Faktor $1/\Phi(r)$ größer.

Diese materielle Maßstabsänderung begründet die reziproke Struktur der effektiven metrischen Beschreibung. Sie darf jedoch nicht mit der exakten Identifikation $g_{rr} = \Phi^{-2}$ gleichgesetzt werden, da der exakte metrische Wirkungsfaktor durch die dynamische Konsistenzbedingung bestimmt wird.

Schritt 4: Das Theorem

Mit

$$g_{tt} = -A(r) \tag{109}$$

und der reziproken Maßstabsstruktur folgt

$$g_{rr} = A(r)^{-1}, \tag{110}$$

und damit:

$$\boxed{g_{tt}\, g_{rr} = \big(-A(r)\big)\, A(r)^{-1} = -1.} \tag{111}$$

Fazit: Die Beziehung $g_{tt}\, g_{rr} = -1$ bleibt die Invarianz des Verhältnisses von Zeit- und Radialmaßstab der effektiven EKT-Metrik. Der konkrete Wirkungsfaktor $A(r)$ wird in Abschnitt 15.1 unabhängig davon aus der Konsistenz mit der statischen Hauptkraft bestimmt. Der Raum ist nicht gekrümmt; vielmehr werden die lokalen physikalischen Wirkungsbedingungen im skalaren Raumenergie-Feld durch eine effektive metrische Darstellung beschrieben.

15 Die effektive Metrik und der Brechungsindex

15.1 Herleitung und physikalische Motivation der effektiven EKT-Metrik

Die metrische Beschreibung des statischen, kugelsymmetrischen Gravitationsfeldes wird in der EKT nicht als eigenständige geometrische Grundannahme (wie die Raumzeitkrümmung der ART) eingeführt. Sie ergibt sich vielmehr als effektive Darstellung der lokalen physikalischen Bedingungen, denen materielle Messinstrumente (Uhren und Maßstäbe) im raumenergetischen Medium ausgesetzt sind.

Ausgangspunkt ist die skalare Zustandsgröße

$$\Phi(r) = 1 - \frac{r_{G,\Phi}}{r}, \qquad r_{G,\Phi} = \frac{\gamma_G M_\Phi}{c^2}, \tag{112}$$

die den lokalen Raumenergiezustand beschreibt.

1. Bestimmung des metrischen Wirkungsfaktors

Die Wechselwirkungsenergie eines Testkörpers der Masse m im Außenfeld der Quelle M_Φ ist:

$$U_{\text{stat}}(r) = mc^2\big[\Phi(r) - 1\big] = -\frac{\gamma_G M_\Phi m}{r}. \tag{113}$$

Daraus folgt die statische Hauptkraft:

$$F_1(r) = -\frac{dU_{\text{stat}}}{dr} = -\frac{\gamma_G M_\Phi m}{r^2}, \qquad \ddot{r} = -\frac{\gamma_G M_\Phi}{r^2}. \tag{114}$$

Für eine reziproke metrische Darstellung der Form

$$ds^2 = -A(r)c^2dt^2 + A(r)^{-1}dr^2 + r^2d\Omega^2 \tag{115}$$

folgt für radiale Bewegung aus der Radialgleichung:

$$\ddot{r} = -\frac{c^2}{2}A'(r). \tag{116}$$

Die Gleichsetzung mit der statischen Hauptwirkung liefert:

$$-\frac{c^2}{2}A'(r) = -\frac{\gamma_G M_\Phi}{r^2}, \tag{117}$$

also

$$A'(r) = \frac{2\gamma_G M_\Phi}{c^2 r^2} = \frac{2r_{G,\Phi}}{r^2}. \tag{118}$$

Integration und die Randbedingung $A(\infty) = 1$ ergeben:

$$\boxed{A(r) = 1 - \frac{2r_{G,\Phi}}{r} = 2\Phi(r) - 1.} \tag{119}$$

2. Die zeitliche Komponente

Für ein bezüglich der Quelle ruhendes lokales System gilt:

$$-c^2d\tau^2 = -A(r)c^2dt^2, \tag{120}$$

und damit

$$d\tau = \sqrt{A(r)}\,dt = \sqrt{2\Phi(r) - 1}\,dt, \qquad g_{tt} = -A(r). \tag{121}$$

Im schwachen Feld gilt:

$$\sqrt{A(r)} = \Phi(r) + \mathcal{O}\left(\frac{r_{G,\Phi}^2}{r^2}\right), \tag{122}$$

sodass $d\tau \approx \Phi(r)\, dt$ die Schwachfeldbeziehung erster Ordnung ist.

Die Zeitdilatation ist in der EKT keine Eigenschaft einer abstrakten Raumzeit, sondern die Oszillationsverlangsamung eines Elementarkörpers im Raumenergie-Feld.

3. Die radiale Komponente

Aus Theorem 3 folgt die reziproke metrische Struktur:

$$g_{rr} = A(r)^{-1} = \frac{1}{2\Phi(r) - 1}. \tag{123}$$

Das Produkt

$$g_{tt}\, g_{rr} = -1 \tag{124}$$

bleibt damit exakt erhalten.

4. Die transversale Kugelgeometrie

Der Radius r bezeichnet den physikalischen Kugelradius des statischen Feldes. Die Raumenergiedichte modifiziert den lokalen Zeittakt und die radialen Ausbreitungsbedingungen, nicht jedoch die transversale Kugelgeometrie. Für das Winkelelement gilt unverändert:

$$d\ell_\perp^2 = r^2 d\Omega^2 = r^2 \left(d\theta^2 + \sin^2\theta\, d\varphi^2\right). \tag{125}$$

Damit bleiben $g_{\theta\theta} = r^2$ und $g_{\varphi\varphi} = r^2 \sin^2\theta$.

Die vollständige effektive EKT-Metrik

Die Zusammenführung dieser strukturellen Bedingungen liefert die effektive Metrik:

$$\boxed{ds^2 = -A(r)c^2dt^2 + A(r)^{-1}dr^2 + r^2 d\Omega^2, \qquad A(r) = 2\Phi(r) - 1 = 1 - \frac{2r_{G,\Phi}}{r}.} \tag{126}$$

Epistemologische Einordnung: Die logische Kette der EKT lautet:

Raumenergiezustand $\rightarrow \Phi(r) \rightarrow$ statische Hauptwirkung $\rightarrow A(r) = 2\Phi(r) - 1 \rightarrow$ reziproke Metrik.

Die Metrik besitzt in der EKT nicht die Bedeutung einer fundamentalen Raumzeitgeometrie. Sie ist die kompakte, effektive Beschreibung der lokalen physikalischen Wirkungsbedingungen im Raumenergie-Feld. Phänomene wie Periheldrehung, Lichtablenkung oder Shapiro-Verzögerung werden nicht zur Konstruktion der Metrik verwendet, sondern ergeben sich als Konsequenzen dieser Struktur.

15.2 Die Zustandsgleichung der Raumenergie

Die drei Axiome definieren die phänomenologischen Grundlagen der Theorie. Zur Beschreibung der Dynamik der Raumenergiedichte ist jedoch eine zusätzliche Annahme erforderlich.

Als eigenständiges Postulat der EKT wird die folgende lineare Zustandsgleichung eingeführt:

$$\nabla^2\Phi = +\frac{4\pi\gamma_G}{c^2}\,\rho\,\Phi \qquad \text{(ZG)} \tag{127}$$

wobei ρ die Massendichte der Materie ist.

Begründung des Vorzeichens und der Poisson-Grenzfall:

Die Größe Φ ist nicht das Newtonsche Potential U, sondern eine dimensionslose Raumenergiedichte der Form

$$\Phi = 1 + \frac{U}{c^2}, \qquad U = c^2(\Phi - 1). \tag{128}$$

Im schwachen Feld ($\Phi \approx 1$, d. h. $|U|/c^2 \ll 1$) reduziert sich (ZG) auf:

$$\nabla^2\Phi \approx +\frac{4\pi\gamma_G}{c^2}\,\rho. \tag{129}$$

Mit $U = c^2(\Phi - 1)$ und $\nabla^2\Phi = \nabla^2 U/c^2$ folgt:

$$\nabla^2 U = +4\pi\gamma_G\rho, \tag{130}$$

was die übliche Poisson-Gleichung mit dem korrekten Vorzeichen für das anziehende Gravitationspotential ist (in der Konvention $U = -\gamma_G M/r < 0$). Das positive Vorzeichen in (ZG) ist somit konsistent mit der physikalischen Anziehung.

Im Vakuum ($\rho = 0$) reduziert sich (ZG) auf die Laplace-Gleichung $\nabla^2\Phi = 0$. Die allgemeinste kugelsymmetrische Lösung mit $\Phi(\infty) = 1$ lautet $\Phi(r) = 1 - C/r$.

15.3 Lösung für eine punktförmige Masse und Quellen-Selbstkonsistenz

Schritt 1: Integration der Zustandsgleichung.

Wir integrieren (ZG) über ein Volumen V, das die gesamte Masseverteilung einschließt:

$$\int_V \nabla^2\Phi\, d^3x = \frac{4\pi\gamma_G}{c^2}\int_V \rho(\mathbf{x})\,\Phi(\mathbf{x})\, d^3x. \tag{131}$$

Schritt 2: Gaußscher Satz.

$$\int_V \nabla^2\Phi\, d^3x = \oint_{\partial V} \nabla\Phi \cdot d\mathbf{A}. \tag{132}$$

Für $\Phi(r) = 1 - C/r$ gilt $d\Phi/dr = C/r^2$. Das Oberflächenintegral über eine Kugel mit Radius R ergibt:

$$\oint_{\partial V} \nabla\Phi \cdot d\mathbf{A} = \frac{C}{R^2}\cdot 4\pi R^2 = 4\pi C. \tag{133}$$

Schritt 3: Definition der raumenergie-gewichteten Masse.

$$M_\Phi := \int_V \rho(\mathbf{x})\,\Phi(\mathbf{x})\,d^3x. \tag{134}$$

Schritt 4: Bestimmung der Integrationskonstante.

$$4\pi C = \frac{4\pi\gamma_G}{c^2} M_\Phi \quad \Longrightarrow \quad C = \frac{\gamma_G M_\Phi}{c^2} =: r_{G,\Phi}. \tag{135}$$

Schritt 5: Die exakte Außenraumlösung.

$$\boxed{\Phi(r) = 1 - \frac{r_{G,\Phi}}{r}} \qquad \text{für } r \geq R_{\text{Quelle}}, \qquad r_{G,\Phi} = \frac{\gamma_G M_\Phi}{c^2}. \tag{136}$$

Hinweis zum Geltungsbereich: Die Außenraumlösung (136) gilt ausschließlich für $r \geq R_{\text{Quelle}}$. Innerhalb einer ausgedehnten Quelle ($r < R_{\text{Quelle}}$) ist die Zustandsgleichung mit der konkreten Dichteverteilung $\rho(r)$ separat zu lösen.

EKT-Starkfeld-Hypothese (Postulat): Die EKT postuliert, dass für reale Körper $R_{\text{Quelle}} \geq r_{G,\Phi}$ gilt und dass es keine stabilen Konfigurationen mit $R_{\text{Quelle}} < r_{G,\Phi}$ gibt. Dies ist eine eigenständige phänomenologische Annahme über die maximale Verdichtung von Elementarkörpern. Die Abwesenheit tensorieller Freiheitsgrade folgt aus der skalaren Natur der Zustandsgleichung (ZG). Ob zeitabhängige skalare Ausbreitungsmoden der Raumenergie existieren, ist durch die vorliegende statische Zustandsgleichung allein nicht entschieden und erfordert eine dynamische Erweiterung der ZG.

15.4 Die Lichtausbreitung im raumenergetischen Medium

Aus der effektiven EKT-Metrik folgt für die radiale Ausbreitung von Licht ($ds^2 = 0$):

$$-A(r)c^2dt^2 + A(r)^{-1}dr^2 = 0, \qquad A(r) = 2\Phi(r) - 1. \tag{137}$$

Schritt 1: Radiale Lichtgeschwindigkeit.

$$v(r) = \frac{dr}{dt} = c\,A(r) = c\,[2\Phi(r) - 1]. \tag{138}$$

Schritt 2: Brechungsindex.

$$\boxed{n(r) = \frac{c}{v(r)} = \frac{1}{A(r)} = \frac{1}{2\Phi(r) - 1} = \frac{1}{1 - 2r_{G,\Phi}/r}.} \tag{139}$$

Schritt 3: Entwicklung erster Ordnung.

$$n(r) = 1 + \frac{2r_{G,\Phi}}{r} + \mathcal{O}\left(\frac{r_{G,\Phi}^2}{r^2}\right). \tag{140}$$

Schritt 4: Numerische Berechnung für die Sonne.

Mit den Sonnenparametern:

- $M_\odot = 1{,}989 \times 10^{30}\,\mathrm{kg}$
- $\gamma_G = 6{,}674 \times 10^{-11}\,\mathrm{m}^3/(\mathrm{kg\,s}^2)$
- $c = 2{,}998 \times 10^8\,\mathrm{m/s}$
- $R_\odot = 6{,}957 \times 10^8\,\mathrm{m}$ (Sonnenradius)

Gravitationsradius der Sonne:

$$r_{G,\Phi} = \frac{\gamma_G M_\odot}{c^2} = \frac{6{,}674 \times 10^{-11} \cdot 1{,}989 \times 10^{30}}{(2{,}998 \times 10^8)^2} = 1{,}477 \times 10^3\,\mathrm{m}. \tag{141}$$

Verhältnis an der Sonnenoberfläche:

$$\frac{r_{G,\Phi}}{R_\odot} = \frac{1{,}477 \times 10^3}{6{,}957 \times 10^8} = 2{,}123 \times 10^{-6}. \tag{142}$$

Brechungsindex an der Sonnenoberfläche in erster Ordnung:

$$n(R_\odot) = 1 + 2 \cdot 2{,}123 \times 10^{-6} = 1 + 4{,}246 \times 10^{-6}. \tag{143}$$

Lichtgeschwindigkeit an der Sonnenoberfläche:

$$v(R_\odot) = \frac{c}{n(R_\odot)} = \frac{2{,}998 \times 10^8}{1 + 4{,}246 \times 10^{-6}} \approx 2{,}998 \times 10^8 \left(1 - 4{,}246 \times 10^{-6}\right). \tag{144}$$

$$v(R_\odot) \approx c - 1{,}273\,\mathrm{km/s}. \tag{145}$$

Das Licht wird an der Sonnenoberfläche um etwa $1{,}273\,\mathrm{km/s}$ gegenüber dem Vakuumwert c abgebremst. Diese Geschwindigkeitsreduktion ist die direkte Konsequenz der effektiven metrischen Wirkungsstruktur und erzeugt den Brechungsindex, der für die Lichtablenkung und die Shapiro-Verzögerung verantwortlich ist.

15.5 Die Shapiro-Verzögerung

Schritt 1: Laufzeitintegral.

$$\Delta t = \frac{1}{c} \int_{x_P}^{x_E} n(r)\, dx, \qquad r = \sqrt{x^2 + b^2}. \tag{146}$$

Schritt 2: Einsetzen der Entwicklung erster Ordnung.

Mit

$$n(r) = 1 + \frac{2r_{G,\Phi}}{r} + \mathcal{O}\left(\frac{r_{G,\Phi}^2}{r^2}\right)$$

folgt:

$$\Delta t = \frac{x_E - x_P}{c} + \frac{2r_{G,\Phi}}{c}\int_{x_P}^{x_E} \frac{dx}{\sqrt{x^2+b^2}} + \mathcal{O}(r_{G,\Phi}^2). \tag{147}$$

Schritt 3: Auswertung.

Mit $\int dx/\sqrt{x^2+b^2} = \ln(\sqrt{x^2+b^2}+x)$:

$$\Delta t = \frac{x_E - x_P}{c} + \frac{2r_{G,\Phi}}{c}\ln\left(\frac{r_E + x_E}{r_P + x_P}\right) + \mathcal{O}(r_{G,\Phi}^2). \tag{148}$$

Schritt 4: Geometrische Form in erster Ordnung – primäre Radien statt Stoßparameter.

Der Stoßparameter b ist in der EKT-Phänomenologie eine bloße Hilfsgröße: Er ist nur über die gedachte, ungekrümmte Referenzbahn des Lichtstrahls definiert und selbst kein unmittelbar messbares Ding. Konsistent mit dem EKT-Grundprinzip, sekundäre Begriffe auf die primäre Größe Radius zurückzuführen, lässt sich der logarithmische Term vollständig frei von b und von der Idealisierung $x_E \approx r_E$, $x_P \approx -r_P$ umformen.

Mit der hyperbolischen Parametrisierung $x = b\sinh u$, $r = b\cosh u$ (die $r^2 = x^2 + b^2$ identisch erfüllt) gilt $x + r = be^u$, sodass das Argument des Logarithmus allein von der Differenz $u_E - u_P$ abhängt.

Diese Differenz lässt sich exakt durch die drei heliozentrischen Radien r_E, r_P und die Sehnenlänge

$$R := x_E - x_P \tag{149}$$

ausdrücken:

$$\frac{r_E + x_E}{r_P + x_P} = \frac{r_E + r_P + R}{r_E + r_P - R}. \tag{150}$$

Diese Umformung ist algebraisch exakt; die Shapiro-Laufzeit selbst wird hier weiterhin in erster Ordnung in $r_{G,\Phi}/r$ ausgewertet.

Damit ergibt sich die allgemeine, konjunktionsunabhängige Shapiro-Formel in erster Ordnung:

$$\boxed{\Delta t_{\text{one-way}} = \frac{R}{c} + \frac{2\gamma_G M_\Phi}{c^3}\ln\left(\frac{r_E + r_P + R}{r_E + r_P - R}\right) + \mathcal{O}(r_{G,\Phi}^2).} \tag{151}$$

Sie gilt für beliebige Sender-Empfänger-Geometrie relativ zur Sonne und benötigt nur primäre Radien sowie die direkt aus der Bahngeometrie berechenbare Sehne R, zum Beispiel über den Elongationswinkel ψ:

$$R^2 = r_E^2 + r_P^2 - 2r_E r_P\cos\psi. \tag{152}$$

Grenzfall (obere Konjunktion).

Für $b \ll r_E, r_P$ gilt $R \approx r_E + r_P - \delta$ mit

$$\delta = \frac{b^2(r_E + r_P)}{2 r_E r_P} \ll r_E + r_P,$$

sodass

$$\frac{r_E + r_P + R}{r_E + r_P - R} \approx \frac{2(r_E + r_P)}{\delta} = \frac{4 r_E r_P}{b^2}. \tag{153}$$

Damit reproduziert sich die Näherungsformel:

$$\boxed{\Delta t^{(\text{Näherung})}_{\text{Shapiro, one-way}} = \frac{2\gamma_G M_\Phi}{c^3} \ln\!\left(\frac{4 r_E r_P}{b^2}\right).} \tag{154}$$

Schritt 5: Numerische Berechnung für ein Radar-Echo Erde–Venus.

Mit den Parametern des Sonnensystems:

- $M_\odot = 1{,}989 \times 10^{30}\,\text{kg}$
- $\gamma_G = 6{,}674 \times 10^{-11}\,\text{m}^3/(\text{kg}\,\text{s}^2)$
- $c = 2{,}998 \times 10^{8}\,\text{m/s}$
- $r_E = 1{,}496 \times 10^{11}\,\text{m}$ (Erdbahn, 1 AE)
- $r_P = 1{,}082 \times 10^{11}\,\text{m}$ (Venusbahn)
- obere Konjunktion, minimaler Vorbeigang bei $b = R_\odot = 6{,}957 \times 10^{8}\,\text{m}$

Gravitationsradius der Sonne und Vorfaktor:

$$r_{G,\odot} = \frac{\gamma_G M_\odot}{c^2} = 1{,}477 \times 10^{3}\,\text{m}, \tag{155}$$

$$\frac{2 r_{G,\odot}}{c} = 9{,}853 \times 10^{-6}\,\text{s} = 9{,}853\,\mu\text{s}. \tag{156}$$

Mit $R = r_E + r_P - \delta$ (exakt berechnet aus x_E, x_P, b) ergibt die geometrische Form:

$$\ln\!\left(\frac{r_E + r_P + R}{r_E + r_P - R}\right) = 11{,}8039, \tag{157}$$

gegenüber $\ln(4 r_E r_P / b^2) = 11{,}8039$ aus der Näherungsformel. Die Differenz liegt bei $b \ll r_E, r_P$ auf der 8. Nachkommastelle und ist damit numerisch bedeutungslos. Der Gewinn der geometrischen Form ist strukturell: Sie ersetzt die Hilfsgröße b durch primäre, direkt messbare Radien und bleibt auch außerhalb der Konjunktionsnäherung innerhalb der hier verwendeten ersten gravitativen Ordnung gültig.

Verzögerung für den einfachen Weg (One-Way):

$$\Delta t_{\text{one-way}} \approx 9{,}853\,\mu\text{s} \cdot 11{,}804 \approx 116{,}30\,\mu\text{s}. \tag{158}$$

Da es sich bei Shapiro-Messungen um Radar-Echos handelt, ist die beobachtbare Verzögerung der Hin- und Rückweg (Round-Trip):

$$\Delta t_{\text{Shapiro, round-trip}} = 2\Delta t_{\text{one-way}} \approx 232{,}60\,\mu\text{s}. \tag{159}$$

Je nach exakter Planetenkonstellation (z. B. Merkur statt Venus, unterschiedliche Elongation ψ) und dem tatsächlich erreichbaren minimalen Stoßparameter variiert dieser Wert; in der Literatur werden für verschiedene Sonde-/Konjunktionskonfigurationen Werte zwischen etwa 230 und 250 μs angegeben. Der hier berechnete Wert von 232,6 μs liegt in dieser Größenordnung; eine exakte Übereinstimmung mit einem spezifischen Literaturwert würde die exakte Kenntnis der jeweiligen Konjunktionsgeometrie (R bzw. ψ zum Beobachtungszeitpunkt) voraussetzen und ist hier nicht beansprucht.

Einordnung. Die Shapiro-Verzögerung folgt in der EKT aus dem exakten Brechungsindex

$$n(r) = \frac{1}{2\Phi(r) - 1}, \tag{160}$$

dessen Entwicklung erster Ordnung

$$n(r) = 1 + \frac{2r_{G,\Phi}}{r} + \mathcal{O}\left(\frac{r_{G,\Phi}^2}{r^2}\right) \tag{161}$$

die oben verwendete Laufzeitkorrektur liefert. Numerisch bleibt das Ergebnis in dieser Ordnung gegenüber Version 17 unverändert. Die Shapiro-Verzögerung ist damit ein Konsistenztest der effektiven EKT-Metrik im post-Newtonschen Regime.

16 Die vollständige logische Kette

Schritt	Operation	Ergebnis
0	Freylingscher Eingriff	$r(t) = r_0 \sin(ct/r_0)$, $v(t) = c\cos(ct/r_0)$
1	Entwicklung	$t_0 = \pi r_0/(2c)$, $\lambda = \pi r_0/2$
2	Compton-Identifikation	$m_0 r_0 = 2h/(\pi c) = F_{\text{EK}}$
3	Axiome + Theorem 3	$\Phi = E_R/E_R(\infty)$, $d\tau \simeq \Phi\, dt$ (1. Ordnung), $g_{tt}g_{rr} = -1$
4	Metrik	$ds^2 = -Ac^2dt^2 + A^{-1}dr^2 + r^2 d\Omega^2$, $A = 2\Phi - 1$
5	Zustandsgleichung	$\nabla^2\Phi = +4\pi\gamma_G\rho\Phi/c^2$
6	Quellen-Selbstkonsistenz	$M_\Phi = \int \rho\Phi\, d^3x$; $\Phi = 1 - r_{G,\Phi}/r$
7	Lichtausbreitung	$v(r) = cA(r) = c[2\Phi(r) - 1]$
8	Brechungsindex	$n(r) = 1/A(r) = 1/[2\Phi(r) - 1]$
9	Shapiro	$\Delta t = 2\gamma_G M_\Phi/c^3 \cdot \ln(4r_E r_P/b^2)$ (1. Ordnung)

Tabelle 7: Die vollständige logische Kette der EKT-Herleitung

17 Die hierarchische Struktur der EKT-Gravitation

Die gravitative Beschreibung der Elementarkörpertheorie unterscheidet zwei physikalische Ebenen: die Ausbildung der gravitativen Quellenstruktur durch die Masse-Raum-Kopplung einerseits und die lokale Bewegung eines Testkörpers in dieser bereits ausgebildeten Quellenstruktur andererseits.

Diese Trennung ist zwingend, um Doppelzählungen zu vermeiden: Die raumenergetische Selbstkorrektur der Quelle ist bereits in der Definition der effektiven Quellenmasse M_Φ enthalten und darf nicht ein zweites Mal als zusätzliche lokale Kraft auf den Testkörper angesetzt werden.

17.1 Die statische Hauptkraft

Die Wechselwirkungsenergie eines Testkörpers der Masse m im Außenfeld der Quelle M_Φ ist:

$$U_{\text{stat}}(r) = mc^2\big[\Phi(r) - 1\big] = -\frac{\gamma_G M_\Phi m}{r}. \tag{162}$$

Die statische Hauptkraft folgt durch Ableitung:

$$\boxed{F_{\text{stat}}(r) = -\frac{dU_{\text{stat}}}{dr} = -\frac{\gamma_G M_\Phi m}{r^2}.} \tag{163}$$

Dieser Term entspricht formal dem newtonschen Gravitationsgesetz. Innerhalb der EKT ist er die direkte Konsequenz der Masse-Raum-Kopplung.

Klarstellung zur effektiven Masse: Die in den Kapiteln 3 und 10 eingeführte Größe $M_{\text{eff}} = (r_G/r)m_x$ beschreibt den Anteil der massegebundenen Energie, der nach der Transformation in Raumenergie noch als gebundene Masse vorliegt. Sie ist ein Maß für die Gravitationsschwäche makroskopischer Körper und nicht die Quellenmasse im Kraftgesetz (163). Die Quellenmasse im Außenfeld ist M_Φ.

17.2 Die Bahngleichung aus der EKT-Metrik

Die EKT-Metrik lautet:

$$ds^2 = -A(r)c^2dt^2 + A(r)^{-1}dr^2 + r^2d\Omega^2, \qquad A(r) = 2\Phi(r) - 1 = 1 - \frac{2r_{G,\Phi}}{r}, \tag{164}$$

wobei

$$r_{G,\Phi} = \frac{\gamma_G M_\Phi}{c^2}. \tag{165}$$

Der entscheidende Punkt: Der Winkelterm ist $r^2d\Omega^2$. Er ist nicht modifiziert. Die Raumenergie wirkt auf die zeitliche Komponente ($g_{tt} = -A$) und auf die radiale Komponente ($g_{rr} = A^{-1}$), aber die Winkelgeometrie bleibt die der Kugeloberfläche mit Radius r.

Schritt 1: Erhaltungsgrößen aus den Symmetrien der Metrik.

Da die Metrik unabhängig von t und φ ist, existieren zwei exakte Erhaltungsgrößen. Für die Bewegung eines Testkörpers in der Äquatorebene ($\theta = \pi/2$) gilt:

$$E = A(r)c^2\dot{t}, \tag{166}$$

$$\ell = r^2\dot{\varphi}. \tag{167}$$

Der spezifische kanonische Drehimpuls ist exakt $\ell = r^2\dot{\varphi}$, ohne jeden Korrekturfaktor. Dies ist die direkte Konsequenz daraus, dass der Winkelterm der Metrik $r^2d\varphi^2$ lautet.

Schritt 2: Die Normierungsbedingung.

Für eine zeitartige Bahn gilt $g_{\mu\nu}\dot{x}^\mu\dot{x}^\nu = -c^2$:

$$-c^2 = -Ac^2\dot{t}^2 + A^{-1}\dot{r}^2 + r^2\dot{\varphi}^2. \tag{168}$$

Einsetzen der Erhaltungsgrößen:

$$-c^2 = -\frac{E^2}{Ac^2} + A^{-1}\dot{r}^2 + \frac{\ell^2}{r^2}. \tag{169}$$

Multiplikation mit A:

$$-Ac^2 = -\frac{E^2}{c^2} + \dot{r}^2 + A\frac{\ell^2}{r^2}. \tag{170}$$

Auflösen nach $\dot{r}^2$:

$$\boxed{\dot{r}^2 = \frac{E^2}{c^2} - A(r)\left(c^2 + \frac{\ell^2}{r^2}\right).} \tag{171}$$

Schritt 3: Das effektive Potential.

Gleichung (171) hat die Struktur einer eindimensionalen Energieerhaltung:

$$\dot{r}^2 = \frac{E^2}{c^2} - U_{\text{eff}}(r), \tag{172}$$

mit dem effektiven Potential:

$$U_{\text{eff}}(r) = A(r)\left(c^2 + \frac{\ell^2}{r^2}\right). \tag{173}$$

Schritt 4: Exakte Auswertung mit $A(r) = 1 - 2r_{G,\Phi}/r$.

Da $A(r)$ exakt linear in $r_{G,\Phi}/r$ ist, ist keine Trunkierung der Metrik erforderlich:

$$U_{\text{eff}}(r) = \left(1 - \frac{2r_{G,\Phi}}{r}\right)\left(c^2 + \frac{\ell^2}{r^2}\right). \tag{174}$$

Ausmultipliziert:

$$U_{\text{eff}}(r) = c^2 + \frac{\ell^2}{r^2} - \frac{2r_{G,\Phi}c^2}{r} - \frac{2r_{G,\Phi}\ell^2}{r^3}. \tag{175}$$

Mit $r_{G,\Phi} = \gamma_G M_\Phi/c^2$:

$$U_{\text{eff}}(r) = c^2 + \frac{\ell^2}{r^2} - \frac{2\gamma_G M_\Phi}{r} - \frac{2\gamma_G M_\Phi \ell^2}{c^2 r^3}. \tag{176}$$

Der Term $-2\gamma_G M_\Phi/r$ ist das newtonsche Potential (bis auf den konventionellen Faktor 2, der aus der Normierung stammt). Der Term $-2\gamma_G M_\Phi \ell^2/(c^2 r^3)$ ist der transversale Beitrag. Er entsteht aus der exakten Metrik-Struktur und nicht als separates Postulat.

Schritt 5: Die Binet-Gleichung.

Mit der Substitution

$$u = \frac{1}{r}, \qquad \dot{r} = -\ell u' \tag{177}$$

wird die radiale Energiegleichung:

$$\ell^2 (u')^2 = \frac{E^2}{c^2} - c^2 - \ell^2 u^2 + 2r_{G,\Phi}c^2 u + 2r_{G,\Phi}\ell^2 u^3. \tag{178}$$

Differentiation nach φ liefert:

$$2\ell^2 u' u'' = -2\ell^2 u u' + 2r_{G,\Phi} c^2 u' + 6 r_{G,\Phi} \ell^2 u^2 u'. \tag{179}$$

Nach Division durch $2\ell^2 u'$:

$$\boxed{u'' + u = \frac{\gamma_G M_\Phi}{\ell^2} + \frac{3\gamma_G M_\Phi}{c^2}\, u^2.} \tag{180}$$

Der Faktor 3 entsteht aus dem kubischen Kopplungsterm $2r_{G,\Phi}\ell^2 u^3$. Der Term $3\gamma_G M_\Phi u^2/c^2$ beschreibt die aus der EKT-Metrik resultierende transversale Bewegungskopplung.

17.3 Die Radialgleichung

Aus der Differentiation von (171) nach τ folgt mit

$$A(r) = 1 - \frac{2r_{G,\Phi}}{r}, \qquad A'(r) = \frac{2r_{G,\Phi}}{r^2} \tag{181}$$

die Radialgleichung:

$$\boxed{\ddot{r} - \frac{\ell^2}{r^3} = -\frac{\gamma_G M_\Phi}{r^2} - \frac{3\gamma_G M_\Phi \ell^2}{c^2 r^4}.} \tag{182}$$

Diese Gleichung folgt hier exakt aus dem metrischen Wirkungsfaktor $A(r) = 2\Phi(r) - 1$; eine Trunkierung von Φ^2 ist nicht erforderlich.

Der Faktor 3 in der Radialgleichung ist die mathematische Konsequenz der Kopplung des metrischen Wirkungsfaktors mit dem transversalen Bewegungsanteil. Er entspricht demselben kubischen Kopplungsterm, der in der Binet-Gleichung den Beitrag $3\gamma_G M_\Phi u^2/c^2$ erzeugt.

Die Radialgleichung (182) ist die Grundlage für die Periheldrehung des Merkur.

18 Anwendungen und epistemologische Einordnung

18.1 Periheldrehung des Merkur – Die geometrische Herleitung

Die Periheldrehung der Planetenbahnen ergibt sich in der Elementarkörpertheorie (EKT) als Konsequenz der Masse–Raum-Kopplung und der daraus bestimmten metrischen Wirkungsstruktur. Die Herleitung basiert auf der Forderung nach dynamischer Konsistenz zwischen der statischen Hauptkraft und der effektiven Metrik des Zentralfeldes.

18.1.1 Schritt 1: Bestimmung des metrischen Wirkungsfaktors $A(r)$

Ausgangspunkt ist die raumenergetische Wechselwirkung eines Testkörpers der Masse m im Außenfeld einer Quelle M_Φ. Die Zustandsgröße der Raumenergie ist definiert als:

$$\Phi(r) = 1 - \frac{r_{G,\Phi}}{r}, \qquad r_{G,\Phi} = \frac{\gamma_G M_\Phi}{c^2}. \tag{183}$$

Daraus folgt die potentielle Energie der Masse–Raum-Kopplung:

$$U_{\text{stat}}(r) = mc^2\big[\Phi(r) - 1\big] = -\frac{\gamma_G M_\Phi m}{r}. \tag{184}$$

Die daraus resultierende statische Hauptkraft F_1 bestimmt die Beschleunigung im radialen Grenzfall ($\ell = 0$):

$$F_1(r) = -\frac{dU_{\text{stat}}}{dr} = -\frac{\gamma_G M_\Phi m}{r^2}, \qquad \ddot{r} = -\frac{\gamma_G M_\Phi}{r^2}. \tag{185}$$

Um diese physikalische Wirkung in einer metrischen Darstellung

$$ds^2 = -A(r)c^2dt^2 + A(r)^{-1}dr^2 + r^2d\Omega^2 \tag{186}$$

abzubilden, muss der Wirkungsfaktor $A(r)$ dieselbe radiale Beschleunigung reproduzieren. Für radiale Bewegung folgt aus der metrischen Radialgleichung nach Differentiation nach der Eigenzeit:

$$\ddot{r} = -\frac{c^2}{2}A'(r). \tag{187}$$

Die Gleichsetzung mit der unabhängig bestimmten statischen EKT-Hauptwirkung liefert:

$$-\frac{c^2}{2}A'(r) = -\frac{\gamma_G M_\Phi}{r^2}, \qquad A'(r) = \frac{2\gamma_G M_\Phi}{c^2 r^2} = \frac{2r_{G,\Phi}}{r^2}. \tag{188}$$

Die Integration ergibt zunächst

$$A(r) = -\frac{2r_{G,\Phi}}{r} + C. \tag{189}$$

Unter der Randbedingung eines flachen, ungestörten Raumes im Unendlichen

$$A(\infty) = 1 \tag{190}$$

folgt $C = 1$. Damit ergibt sich der metrische Wirkungsfaktor zu:

$$\boxed{A(r) = 1 - \frac{2r_{G,\Phi}}{r} = 2\Phi(r) - 1.} \tag{191}$$

Unterscheidung der beiden Größen: $\Phi(r)$ ist die Raumenergie-Zustandsgröße. Der metrische Wirkungsfaktor ist dagegen

$$A(r) = 2\Phi(r) - 1. \tag{192}$$

Die beiden Größen sind daher nicht identisch.

18.1.2 Schritt 2: Die exakte Bahngleichung (Binet-Gleichung)

Die Bewegungsgleichung folgt aus der Normierung der Vierergeschwindigkeit

$$g_{\mu\nu}\dot{x}^\mu\dot{x}^\nu = -c^2. \tag{193}$$

Unter Verwendung der Erhaltungsgrößen Energie E und spezifischer Drehimpuls ℓ ergibt sich die radiale Energiegleichung:

$$\dot{r}^2 = \frac{E^2}{c^2} - A(r)\left(c^2 + \frac{\ell^2}{r^2}\right). \tag{194}$$

Mit der Binet-Substitution

$$u = \frac{1}{r}, \qquad \dot{r} = -\ell u', \qquad u' = \frac{du}{d\varphi}, \tag{195}$$

und

$$A(u) = 1 - 2r_{G,\Phi}u \tag{196}$$

transformiert sich die Gleichung zu:

$$\ell^2(u')^2 = \frac{E^2}{c^2} - \big(1 - 2r_{G,\Phi}u\big)\big(c^2 + \ell^2u^2\big). \tag{197}$$

Ausmultipliziert wird die radiale Energiebilanz sichtbar:

$$\ell^2(u')^2 = \frac{E^2}{c^2} - c^2 - \ell^2u^2 + 2r_{G,\Phi}c^2u + 2r_{G,\Phi}\ell^2u^3. \tag{198}$$

Die Differentiation nach dem Bahnwinkel φ liefert:

$$2\ell^2u'u'' = -2\ell^2uu' + 2r_{G,\Phi}c^2u' + 6r_{G,\Phi}\ell^2u^2u'. \tag{199}$$

Nach Division durch $2\ell^2u'$ folgt:

$$u'' = -u + \frac{r_{G,\Phi}c^2}{\ell^2} + 3r_{G,\Phi}u^2. \tag{200}$$

Mit

$$r_{G,\Phi}c^2 = \gamma_G M_\Phi \tag{201}$$

erhalten wir ohne Trunkierung die exakte Binet-Gleichung der EKT:

$$\boxed{u'' + u = \frac{\gamma_G M_\Phi}{\ell^2} + 3r_{G,\Phi}u^2.} \tag{202}$$

18.2 Die EKT-Kette

Der Herleitungsweg bildet eine in sich geschlossene logische Kette:

Schritt	**Operation**	**Ergebnis**
1	Raumenergie-Zustand	$\Phi(r) = 1 - r_{G,\Phi}/r$
2	Kraft-Konsistenz	$g_{tt} = -(2\Phi - 1)$
3	Maßstabs-Invarianz	$g_{rr} = (2\Phi - 1)^{-1}$
4	Bahndynamik	$u'' + u = k + 3r_{G,\Phi}u^2$, mit $k = \gamma_G M_\Phi/\ell^2$
5	Geometrische Lösung	$\Delta\varphi \approx 3\pi r_{G,\Phi}(1/r_{\min} + 1/r_{\max})$

Tabelle 8: Die EKT-Kette der geometrischen Herleitung der Periheldrehung.

18.3 Epistemologische Unabhängigkeit der Periheldrehung

Da der metrische Wirkungsfaktor $A(r)$ unabhängig von der Periheldrehung durch die Konsistenz mit der statischen Hauptwirkung bestimmt wird und aus dieser Metrik anschließend die Bahngleichung folgt, stellt die beobachtete Periheldrehung einen **unabhängigen Test** der so bestimmten metrischen EKT-Struktur

dar.

Die Übereinstimmung mit astronomischen Daten ist somit kein Resultat eines mathematischen „Fittings“, sondern **stützt unabhängig** die so bestimmte skalar begründete metrische Struktur.

Dabei ist zu beachten: Die Bahngleichung folgt nicht aus der statischen Hauptkraft allein. Die statische Hauptwirkung bestimmt den metrischen Wirkungsfaktor $A(r)$; für die vollständige Bahndynamik werden zusätzlich die reziproke metrische Struktur

$$g_{rr} = A(r)^{-1} \tag{203}$$

und der unveränderte Winkelterm

$$r^2 d\Omega^2 \tag{204}$$

verwendet. Gerade dadurch bleibt die logische Reihenfolge der Herleitung transparent.

18.4 Das Maßstabs-Argument und der Zeittakt

Die metrische Zeitskala ist unmittelbar mit dem lokalen Raumenergiezustand verknüpft. Die Eigenzeit $d\tau$ eines stationären Oszillators im Feld ist gegeben durch:

$$d\tau = \sqrt{A(r)}\, dt = \sqrt{2\Phi - 1}\, dt = \sqrt{1 - \frac{2r_{G,\Phi}}{r}}\, dt. \tag{205}$$

Für schwache Gravitationsfelder mit

$$x = \frac{r_{G,\Phi}}{r} \ll 1 \tag{206}$$

gilt die Taylor-Entwicklung:

$$\sqrt{1 - 2x} = 1 - x - \frac{x^2}{2} + \mathcal{O}(x^3). \tag{207}$$

Damit folgt in erster Ordnung:

$$\sqrt{A(r)} = 1 - \frac{r_{G,\Phi}}{r} + \mathcal{O}\left(\frac{r_{G,\Phi}^2}{r^2}\right) = \Phi(r) + \mathcal{O}\left(\frac{r_{G,\Phi}^2}{r^2}\right). \tag{208}$$

Die Beziehung

$$d\tau \approx \Phi(r)\, dt \tag{209}$$

ist damit die korrekte Schwachfeldbeziehung erster Ordnung, während die Bahndynamik die vollständige metrische Form $A(r) = 2\Phi(r) - 1$ nutzt.

18.5 Die Zustandsgleichung der Raumenergie

Die räumliche Struktur von $\Phi(r)$ wird durch die lineare, skalare Zustandsgleichung bestimmt:

$$\nabla^2 \Phi = \frac{4\pi\gamma_G}{c^2} \rho_\Phi. \tag{210}$$

Hierbei bezeichnet ρ_Φ die raumenergetisch gewichtete Massendichte. Die Integration über das Volumen liefert die effektive Quellenmasse

$$M_\Phi = \int \rho_\Phi\, d^3x, \tag{211}$$

aus der die Integrationskonstante

$$r_{G,\Phi} = \frac{\gamma_G M_\Phi}{c^2} \tag{212}$$

der Außenraumlösung konsistent hervorgeht.

18.6 Der autarke Weg über Umkehrpunkte

Die EKT bestimmt die Integrationskonstanten E und ℓ direkt aus den physikalischen Messgrößen der Bahn. An den beiden Umkehrpunkten – Perihel $r_{\min}$ und Aphel $r_{\max}$ – verschwindet die Radialgeschwindigkeit:

$$\dot{r} = 0. \tag{213}$$

Damit gelten die beiden exakten Bestimmungsgleichungen:

$$\frac{E^2}{c^2} = A_{\min}\left(c^2 + \frac{\ell^2}{r_{\min}^2}\right) = A_{\max}\left(c^2 + \frac{\ell^2}{r_{\max}^2}\right), \tag{214}$$

wobei

$$A_{\min} = 1 - \frac{2r_{G,\Phi}}{r_{\min}}, \qquad A_{\max} = 1 - \frac{2r_{G,\Phi}}{r_{\max}}. \tag{215}$$

Aus den beiden Umkehrpunktbedingungen folgt unmittelbar:

$$\boxed{\ell^2 = c^2\,\frac{A_{\max} - A_{\min}}{\dfrac{A_{\min}}{r_{\min}^2} - \dfrac{A_{\max}}{r_{\max}^2}}.} \tag{216}$$

Damit ist der spezifische Drehimpuls aus den beiden beobachtbaren Umkehrpunktradien bestimmt, ohne die klassische Kegelschnittrelation $p = a(1 - e^2)$ als Eingabe zu benötigen.

In führender Sonnensystemordnung folgt daraus:

$$\frac{\gamma_G M_\Phi}{\ell^2} \approx \frac{1}{2}\left(\frac{1}{r_{\min}} + \frac{1}{r_{\max}}\right). \tag{217}$$

Setzt man dies in die aus der Binet-Gleichung folgende Präzession ein, erhält man:

$$\boxed{\Delta\varphi \approx 3\pi r_{G,\Phi}\left(\frac{1}{r_{\min}} + \frac{1}{r_{\max}}\right).} \tag{218}$$

Für die Präzession pro Jahrhundert ergibt sich damit:

$$\Delta\varphi_{\mathrm{Jh}} \approx 3\pi\frac{\gamma_G M_\Phi}{c^2}\left(\frac{1}{r_{\min}} + \frac{1}{r_{\max}}\right)\frac{100\,\mathrm{a}}{T_{\mathrm{Umlauf}}}. \tag{219}$$

Mit den verwendeten Merkurdaten

$$r_{\min} \approx 4{,}60 \times 10^{10}\,\mathrm{m}, \qquad r_{\max} \approx 6{,}98 \times 10^{10}\,\mathrm{m} \tag{220}$$

ergibt sich in führender Sonnensystemordnung:

$$\boxed{\Delta\varphi_{\mathrm{Jh}} \approx 43{,}00'' \text{ pro Jahrhundert.}} \tag{221}$$

Da sowohl die Formel als auch die eingesetzten Bahndaten Näherungswerte darstellen, wird das Ergebnis nicht als „numerisch exakt“, sondern als führende Sonnensystemordnung angegeben. Die vollständige Radialgleichung kann unabhängig davon numerisch ohne diese Schwachfeldreduktion ausgewertet werden.

18.7 Der Faktor 3 als geometrische Konsequenz der Bahndynamik

Der Faktor 3 in der EKT-Bahngleichung ist kein empirisch eingesetzter Koeffizient und keine nachträgliche Anpassung an die Periheldrehung des Merkur. Er entsteht unmittelbar aus der Kopplung des metrischen Wirkungsfaktors

$$A(r) = 1 - \frac{2r_{G,\Phi}}{r} \tag{222}$$

mit dem transversalen Bewegungsanteil

$$\frac{\ell^2}{r^2}. \tag{223}$$

Mit $u = 1/r$ werden daraus

$$A(u) = 1 - 2r_{G,\Phi}u \tag{224}$$

und

$$\frac{\ell^2}{r^2} = \ell^2 u^2. \tag{225}$$

Ihre Multiplikation innerhalb der radialen Energiegleichung erzeugt den kubischen Kopplungsterm:

$$2r_{G,\Phi}\ell^2 u^3. \tag{226}$$

Physikalisch beschreibt dieser Term die Kopplung der radialen Raumenergie-Wirkung an die transversale Bahnbewegung des Testkörpers. Der spezifische Drehimpuls

$$\ell = r^2\dot{\varphi} \tag{227}$$

charakterisiert dabei die transversale Bewegung innerhalb des Zentralfeldes.

Die mathematische Entstehung des Faktors 3 lässt sich vollständig verfolgen. Aus

$$\ell^2(u')^2 = \frac{E^2}{c^2} - c^2 - \ell^2u^2 + 2r_{G,\Phi}c^2u + 2r_{G,\Phi}\ell^2u^3 \tag{228}$$

folgt bei Ableitung nach φ:

$$2\ell^2u'u'' = -2\ell^2uu' + 2r_{G,\Phi}c^2u' + 6r_{G,\Phi}\ell^2u^2u'. \tag{229}$$

Der kubische Kopplungsterm liefert dabei explizit:

$$\frac{d}{d\varphi}\left(2r_{G,\Phi}\ell^2u^3\right) = 6r_{G,\Phi}\ell^2u^2u'. \tag{230}$$

Nach Division der *gesamten* differenzierten Bahngleichung durch

$$2\ell^2 u' \tag{231}$$

ergibt sich für diesen Kopplungsanteil:

$$\frac{6r_{G,\Phi}\ell^2 u^2 u'}{2\ell^2 u'} = 3r_{G,\Phi}u^2. \tag{232}$$

Damit lautet die exakte Binet-Gleichung:

$$\boxed{u'' + u = \frac{\gamma_G M_\Phi}{\ell^2} + 3r_{G,\Phi}u^2.} \tag{233}$$

Der Faktor 3 ist somit keine zusätzliche geometrische oder empirische Setzung. Seine Herkunft ist innerhalb der Herleitung vollständig bestimmt: Er entsteht als mathematische Konsequenz des kubischen radial-transversalen Kopplungsterms, der seinerseits unmittelbar aus der durch

$$A(r) = 2\Phi(r) - 1 \tag{234}$$

bestimmten metrischen Wirkungsstruktur folgt.

Eine zusätzliche Zerlegung des Faktors 3 in hypothetische longitudinale, transversale oder dreidimensionale Teilbeiträge ist für die Herleitung weder erforderlich noch mathematisch begründet.

18.8 Formaler Ausgangspunkt unter Berücksichtigung der kosmologischen Konstante

Aus heutiger formaler Sicht ist es methodisch nicht vollständig, die Einstein-Feldgleichung für lokale Gravitationsprobleme unmittelbar in der Form

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu} \tag{235}$$

anzusetzen. Im kosmologischen Standardmodell ΛCDM wird eine von null verschiedene kosmologische Konstante Λ verwendet. Der allgemeinere Ausgangspunkt lautet daher

$$\boxed{G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}.} \tag{236}$$

Dabei ist

$$G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R, \tag{237}$$

so dass die Feldgleichung explizit

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu} \tag{238}$$

lautet.

Für das idealisierte Außenfeld einer Zentralmasse wird weiterhin

$$T_{\mu\nu} = 0 \tag{239}$$

gesetzt. Daraus folgt jedoch bei $\Lambda \neq 0$ nicht

$$R_{\mu\nu} = 0, \tag{240}$$

sondern zunächst

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R + \Lambda g_{\mu\nu} = 0. \tag{241}$$

Durch Kontraktion mit $g^{\mu\nu}$ erhält man

$$R - \frac{1}{2}(4)R + 4\Lambda = 0, \tag{242}$$

also

$$-R + 4\Lambda = 0 \tag{243}$$

und damit

$$\boxed{R = 4\Lambda.} \tag{244}$$

Wird dieses Ergebnis wieder in die Vakuumgleichung eingesetzt,

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu}(4\Lambda) + \Lambda g_{\mu\nu} = 0, \tag{245}$$

so folgt

$$R_{\mu\nu} - 2\Lambda g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = 0 \tag{246}$$

und damit

$$\boxed{R_{\mu\nu} = \Lambda g_{\mu\nu}.} \tag{247}$$

Die exakte statische und kugelsymmetrische Vakuumlösung dieser Gleichung ist daher bei $\Lambda \neq 0$ nicht die reine Schwarzschild-Metrik, sondern die Kottler- beziehungsweise Schwarzschild–de-Sitter-Metrik:

$$\boxed{ds^2 = -\left(1 - \frac{2GM}{c^2 r} - \frac{\Lambda r^2}{3}\right) c^2 dt^2 + \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r} - \frac{\Lambda r^2}{3}\right)^{-1} dr^2 + r^2 d\Omega^2.} \tag{248}$$

mit

$$d\Omega^2 = d\theta^2 + \sin^2\theta \, d\varphi^2. \tag{249}$$

Erst für ein lokales Problem, bei dem der dimensionslose Beitrag

$$\frac{\Lambda r^2}{3} \tag{250}$$

gegenüber dem lokalen Zentralmassenterm

$$\frac{2GM}{c^2 r} \tag{251}$$

vernachlässigbar klein ist, kann man die zusätzliche Näherung

$$\frac{\Lambda r^2}{3} \ll \frac{2GM}{c^2 r} \tag{252}$$

vornehmen. Dann wird

$$1 - \frac{2GM}{c^2 r} - \frac{\Lambda r^2}{3} \simeq 1 - \frac{2GM}{c^2 r} \tag{253}$$

und die Kottler-Metrik geht in die für lokale Rechnungen verwendete Schwarzschild-Metrik über:

$$\boxed{ds^2 \simeq -\left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right) c^2 dt^2 + \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right)^{-1} dr^2 + r^2 d\Omega^2.} \tag{254}$$

Damit ist methodisch zwischen zwei Aussagen zu unterscheiden:

1. Die Schwarzschild-Metrik ist eine exakte Vakuumlösung der Einstein-Gleichung unter der zusätzlichen Setzung $\Lambda = 0$.

2. Wird dagegen die heute im kosmologischen Standardmodell verwendete Form der Einstein-Gleichung mit $\Lambda \neq 0$ als Ausgangspunkt genommen, ist die Schwarzschild-Metrik für das lokale Zentralfeld nicht mehr die exakte Ausgangslösung. Sie entsteht aus der Schwarzschild–de-Sitter-Lösung durch Vernachlässigung des lokalen Λ-Beitrags.

Die geringe numerische Bedeutung von Λ im Sonnensystem rechtfertigt diese Vernachlässigung für entsprechende lokale Berechnungen. Sie rechtfertigt jedoch nicht, den Schritt in einer Untersuchung der formalen Herleitung unsichtbar zu machen. Für eine vollständige Darstellung der Näherungskette ist daher der Übergang

$$\boxed{G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}} \tag{255}$$

$$\Downarrow \qquad T_{\mu\nu} = 0 \tag{256}$$

$$\boxed{R_{\mu\nu} = \Lambda g_{\mu\nu}} \tag{257}$$

$$\Downarrow \qquad \text{Statik und Kugelsymmetrie} \tag{258}$$

$$\boxed{\text{Schwarzschild–de Sitter / Kottler}} \tag{259}$$

$$\Downarrow \qquad \frac{\Lambda r^2}{3} \ll \frac{2GM}{c^2 r} \tag{260}$$

$$\boxed{\text{Schwarzschild-Metrik als lokale Näherung}} \tag{261}$$

explizit auszuweisen.

Die Analyse der lückenlosen ART-Herleitung der Periheldrehung offenbart, dass die sogenannte „Vorhersage" tatsächlich eine Rückrechnung ist. Bevor auch nur eine einzige physikalische Zahl berechnet wird, müssen drei kritische Schnittstellen passiert werden, an denen Newtonsche Physik und Idealisierungen in den Tensor-Apparat importiert werden.

18.9 Schnittstelle 1: Die Symmetriereduktion

Bevor die Rechnung beginnt, werden sieben Setzungen vorgenommen:

1. Statik ($\partial_t g_{\mu\nu} = 0$)
2. Exakte Kugelsymmetrie
3. Keine Rotation der Quelle
4. Keine Multipolstruktur
5. Keine äußeren Körper
6. Außenraum: $T_{\mu\nu} = 0$
7. Wahl des Arealradius und der Schwarzschild-Koordinaten

Das sind keine Konsequenzen der Feldgleichungen. Das sind **Idealisierungen**, die das reale Sonnensystem (rotierende, abgeplattete Sonne; Störungen durch Venus, Jupiter, Erde) vollständig ausblenden. Die

,,Vorhersage" für Merkur wird in einem Universum berechnet, das mit der Realität nichts zu tun hat.

18.10 Schnittstelle 2: Die Identifikation $C = 2GM/c^2$

Die Vakuumgleichung $R_{\mu\nu} = 0$ liefert keine Masse. Sie liefert nur eine freie Integrationskonstante C. Die Identifikation mit der Sonnenmasse erfolgt durch:

> *,,Matching an den schwachen Newtonschen Grenzfall."*

Das ist der Punkt, an dem **Newton in die ART eingeschmuggelt** wird. Die ART ,,weiß" nicht, was Masse ist. Sie muss die Masse aus der Newtonschen Gravitation importieren. Ohne diesen Import kann die ART keine einzige Zahl berechnen.

18.11 Schnittstelle 3: Die Störungsrechnung und die Beziehung $p = a(1 - e^2)$

Die exakte Binet-Gleichung

$$u'' + u = \frac{GM}{h^2} + \frac{3GM}{c^2}u^2 \tag{262}$$

wird nicht exakt gelöst. Stattdessen wird eine Störungsrechnung um die Kepler-Ellipse durchgeführt, abgebrochen nach erster Ordnung. Um auf die Endformel zu kommen, wird die Beziehung

$$p = a(1 - e^2) \tag{263}$$

verwendet. Diese Beziehung ist eine **Newtonsche Beziehung**. Sie gilt exakt nur für die Kepler-Ellipse. In der ART ist die Bahn keine geschlossene Ellipse mehr – die Beziehung ist dort nur näherungsweise gültig. Trotzdem wird sie verwendet, um die Formel

$$\Delta\varphi \simeq \frac{6\pi GM}{c^2 a(1 - e^2)} \tag{264}$$

zu erhalten. Das ist der Punkt, an dem die Newtonsche Geometrie in die ART-Formel eingeschmuggelt wird.

18.12 Was die ART-Analyse bestätigt

Aspekt	Was das Dokument zeigt	Konsequenz
Symmetriereduktion	7 Idealisierungen vor der ersten Rechnung	Das ,,Vorhersage"-Szenario ist nicht die Realität
Massenidentifikation	$C = 2GM/c^2$ durch Newton-Matching	Die ART kann Masse nicht aus sich selbst definieren
Störungsrechnung	Abbruch nach erster Ordnung	Die ,,exakte" Formel ist eine Näherung
Beziehung $p = a(1 - e^2)$	Newtonsche Geometrie wird importiert	Die Formel enthält Newtonsche Struktur
Numerische Auswertung	$\approx 43''$/Jh.	Das Ergebnis war vor der Rechnung bekannt

Tabelle 9: Die drei Schnittstellen der ART-Rückrechnung.

Fazit: Die ,,Vorhersage" der Periheldrehung ist eine Rückrechnung: Man nimmt das bekannte Ergebnis ($43''$/Jh., seit Le Verrier 1859 bekannt) und zeigt, dass es aus einer Kette von Idealisierungen, Newton-Matchings und Störrechnungen reproduziert werden kann.

18.13 Kontrast: Die ART-Rückrechnung vs. die EKT-Herleitung

Aspekt	ART-Rückrechnung	EKT-Herleitung
Symmetriereduktion	7 Idealisierungen (Statik, Kugelsymmetrie, Vakuum, ...)	Dieselben Idealisierungen
Massenidentifikation	$C = 2GM/c^2$ durch Newton-Matching	$M_\Phi = \int \rho\Phi\, d^3x$ (Selbstkonsistenz)
Metrik-Struktur	Birkhoff-Theorem (tensoriell)	Theorem 3 (Maßstabs-Argument, skalar)
Störungsrechnung	Abbruch nach erster Ordnung	Dieselbe Störungsrechnung
Beziehung $p = a(1-e^2)$	Newtonsche Beziehung	Dieselbe Newtonsche Beziehung
Ontologie	Raumzeitkrümmung	Maßstabs-Deformation

Tabelle 10: Kontrast: ART-Rückrechnung vs. EKT-Herleitung.

18.14 Zusammenfassung: Was ist Theorem, was ist Setzung?

Element	Status in der EKT	Offene Frage
Freylingscher Eingriff	Theorem (geometrisch)	Keine
Masse-Radius-Kopplung $m_0 r_0 = F_{\text{EK}}$	Theorem (geometrisch)	Keine
Raumenergie E_R	Theorem (aus Masse-Radius-Kopplung)	Keine
Raumenergiedichte $\Phi(r)$	Theorem (aus E_R)	Keine
Axiom 1 (Raumenergie)	**Axiom** (phänomenologisch begründet)	Keine
Axiom 2 (Zeittakt $d\tau = \Phi\, dt$)	Theorem (aus Oszillatordynamik)	Keine
Theorem 3 ($g_{tt} g_{rr} = -1$)	**Theorem** (aus Axiom 1 + Axiom 2 + F_1)	Keine
Zustandsgleichung $\nabla^2\Phi = \ldots$	**Postulat**	Nicht aus Freyling-Eingriff ableitbar
Störungsrechnung / $p = a(1-e^2)$	Näherung (Newtonsche Beziehung)	Identisch mit ART
Faktor 3 in Binet-Gleichung	Theorem (aus Metrik-Struktur)	Gebunden an Theorem 3

Tabelle 11: Status der Elemente der EKT-Herleitung: Theorem vs. Setzung.

18.15 Zentralkräfte in der Physik: Die Binet-Gleichung

Die Binet-Gleichung ist ein zentrales Werkzeug der klassischen Mechanik, um die Bewegung eines Körpers unter dem Einfluss einer Zentralkraft zu beschreiben. Sie stellt eine direkte Verbindung zwischen der Form der Bahnkurve und dem wirkenden Kraftgesetz her und ist daher von grundlegender Bedeutung für das Verständnis von Planetenbahnen, Streuproblemen und relativistischen Korrekturen wie der Periheldrehung des Merkur.

18.16 Die Grundidee: Bahnkurve statt Zeitentwicklung

Anstatt die Bewegung eines Teilchens als Funktion der Zeit t zu beschreiben, parametrisiert die Binet-Gleichung die Bahnkurve direkt durch den Winkel θ. Dies ist besonders nützlich, wenn die Kraft nur vom Abstand r abhängt (Zentralkraft) und der Drehimpuls $h = r^2\dot{\theta}$ eine Erhaltungsgröße ist.

Durch diese Umparametrisierung wird die Bewegungsgleichung zu einer Differentialgleichung für den Kehrwert des Abstands

$$u(\theta) = \frac{1}{r(\theta)}$$

als Funktion des Winkels.

18.17 Herleitung der Binet-Gleichung

Für eine Zentralkraft $F(r)$ lautet die Bewegungsgleichung in radialer Richtung:

$$m\left(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2\right) = F(r).$$

Mit dem spezifischen Drehimpuls $h = r^2\dot{\theta} = \text{const.}$ und der Substitution $u = 1/r$ sowie der Umrechnung der Zeitableitungen auf Winkelableitungen erhält man nach elementarer Umformung die **Binet-Gleichung**:

$$\boxed{F\left(u^{-1}\right) = -m\,h^2\,u^2\left(\frac{d^2u}{d\theta^2} + u\right)} \tag{1}$$

Dabei bedeuten:

- $F(r)$: die wirkende Zentralkraft (positiv für Abstoßung, negativ für Anziehung),
- m: die Masse des umlaufenden Körpers,
- $h = r^2\dot{\theta}$: der spezifische Drehimpuls pro Masse (konstant),
- $u(\theta) = 1/r(\theta)$: der Kehrwert des Radius als Funktion des Winkels.

18.18 Anwendung auf das Kepler-Problem

Für eine **anziehende Gravitationskraft** gilt das Newtonsche Kraftgesetz:

$$F(r) = -\frac{GMm}{r^2}.$$

Einsetzen in die Binet-Gleichung (1) liefert:

$$-\frac{GMm}{r^2} = -mh^2u^2\left(\frac{d^2u}{d\theta^2} + u\right).$$

Mit $u = 1/r$ und Division durch $-mh^2u^2$ ergibt sich die lineare Differentialgleichung

$$\frac{d^2u}{d\theta^2} + u = \frac{GM}{h^2}.$$

Die allgemeine Lösung ist eine **Kegelschnittgleichung**:

$$u(\theta) = \frac{GM}{h^2}\left(1 + e\cos(\theta - \theta_0)\right),$$

was der Bahn eines Planeten unter der Newtonschen Gravitation entspricht – also einer Ellipse, Parabel oder Hyperbel.

18.19 Warum die Binet-Gleichung didaktisch wichtig ist

Die Binet-Gleichung ist aus mehreren Gründen ein Schlüsselkonzept:

1. **Anschaulichkeit:** Sie übersetzt das komplexe Zusammenspiel von Kraft, Drehimpuls und Bahnform in eine überschaubare Differentialgleichung.

2. **Universalität:** Sie gilt für *jede* Zentralkraft – von der Coulomb-Kraft bis zur relativistischen Korrektur.

3. **Historische Bedeutung:** Sie war das mathematische Werkzeug, mit dem sowohl Newton als auch Einstein die Planetenbahnen analysierten.

4. **Didaktische Klarheit:** Sie trennt sauber zwischen Kraftgesetz (linke Seite) und Bahngeometrie (rechte Seite).

18.20 Zusammenfassung

Die Binet-Gleichung ist die fundamentale Differentialgleichung für die Bahnform unter Zentralkräften. Sie lautet:

$$\boxed{F(u^{-1}) = -mh^2u^2\left(\frac{d^2u}{d\theta^2} + u\right)}$$

Im Falle der Newtonschen Gravitation liefert sie die Kepler-Ellipsen; mit der relativistischen Korrektur $\propto u^2$ erklärt sie die Periheldrehung des Merkur. Sie ist damit ein unverzichtbares Werkzeug für das Verständnis der Himmelsmechanik – sowohl in der klassischen als auch in der relativistischen Physik.

Literaturhinweis: Die Herleitung und Anwendung der Binet-Gleichung ist in fast jedem Lehrbuch der theoretischen Mechanik zu finden, z. B. in H. Goldstein, *Classical Mechanics*, oder online in der Wikipedia (Stichwort: *Binet equation*).

18.21 Die Bilanz

- Die EKT-Herleitung der Periheldrehung ist **transparenter** als die ART-Herleitung, weil sie ihre Setzungen explizit benennt.
- Die EKT und die ART verwenden **dieselbe Mathematik** (Störungsrechnung, Newtonsche Beziehung $p = a(1 - e^2)$).
- Der Unterschied liegt in der **Ontologie**: Die ART interpretiert den Faktor 3 als Raumzeitkrümmung, die EKT als transversale Bewegungskopplung im Raumenergie-Feld.
- Die EKT hat **nur eine skalare Feldgleichung** und kann daher g_{tt} und g_{rr} nicht unabhängig bestimmen. Sie braucht Theorem 3 (Maßstabs-Argument), um g_{rr} festzulegen.
- Theorem 3 ist ein **Theorem**, kein Postulat. Es folgt zwingend aus Axiom 1 + Axiom 2 + Masse-Radius-Kopplung, angewendet auf den Maßtab selbst. Die universelle Skalierung lokaler Energie ist **Teil der Definition von Axiom 1**, keine zusätzliche Setzung.
- Die Zustandsgleichung $\nabla^2\Phi = +4\pi\gamma_G\rho\Phi/c^2$ ist ein **eigenständiges Postulat** der EKT. Sie ist nicht aus dem Freylingschen Eingriff abgeleitet.
- Die ART-Herleitung ist eine **Rückrechnung**, die das bekannte Ergebnis durch Idealisierungen und Newton-Importe reproduziert. Die EKT-Herleitung ist eine **Deduktion** aus phänomenologisch begründeten Axiomen und geometrischen Theoremen.

18.22 Die Lichtablenkung an der Sonne

Schritt 1: Der Brechungsindex.

Aus der effektiven EKT-Metrik (Theorem 3, Abschnitt 14.3) folgt für die radiale Lichtausbreitung $v(r) = c\Phi(r)^2$ und damit der Brechungsindex:

$$n(r) = \frac{1}{\Phi(r)^2} = 1 + \frac{2r_{G,\Phi}}{r} + \mathcal{O}(r_{G,\Phi}^2/r^2). \tag{265}$$

Schritt 2: Das Ablenkintegral.

Für einen Lichtstrahl mit Stoßparameter b, x entlang der Ausbreitungsrichtung, $r = \sqrt{x^2 + b^2}$:

$$|\Delta\theta| = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial b}\, dx. \tag{266}$$

Schritt 3: Gradient des Brechungsindex.

$$\frac{\partial n}{\partial b} = 2r_{G,\Phi} \frac{\partial}{\partial b}\left(\frac{1}{r}\right) = -\frac{2r_{G,\Phi}\, b}{(x^2 + b^2)^{3/2}}. \tag{267}$$

Schritt 4: Auswertung.

In erster Ordnung ($n \approx 1$):

$$|\Delta\theta| = 2r_{G,\Phi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{b}{(x^2 + b^2)^{3/2}}\, dx = 2r_{G,\Phi} \cdot \frac{2}{b}. \tag{268}$$

$$\boxed{|\Delta\theta| = \frac{4\, r_{G,\Phi}}{b} = \frac{4\, \gamma_G M_\Phi}{c^2\, b}.} \tag{269}$$

Für $b = R_\odot$: $|\Delta\theta| \approx 1{,}75''$.

18.23 Die Gravitationsrotverschiebung und GPS

18.23.1 Die "ART-Korrektur" – eine statische Vorkorrektur, keine dynamische Berechnung

Die oft zitierte "ART-Korrektur" von 38 Mikrosekunden pro Tag ist kein dynamischer Regelkreis, sondern eine statische Vorkorrektur, die auf einer Näherungsrechnung im schwachen Feld basiert. Die Satellitenuhren werden vor dem Start auf eine etwas niedrigere Frequenz eingestellt. Man berechnet den zu erwartenden Gangunterschied im Orbit – und korrigiert ihn im Voraus. Das ist eine praktische Ingenieurslösung, die auf einer einfachen Berechnung beruht. Im Betrieb selbst findet keine ständige, dynamische "ART-Berechnung" statt. Die Uhren laufen einfach mit der voreingestellten Frequenz.

Die ART-Korrektur ist ein praktischer Ingenieur-Offset, der die ART bestätigt, aber nicht beweist – denn jede Theorie, die denselben Offset vorhersagt, wäre mit GPS kompatibel. Die Übereinstimmung mit der Messung ist ein empirischer Erfolg der ART, aber sie ist kein Beweis für die ontologische Richtigkeit der Raumzeitkrümmung.

18.23.2 Das Herzstück: Vier bis fünf Satelliten für die Selbstsynchronisation

Die Satelliten und Empfänger betreiben keine dynamische Feldtheorie – sie lösen ein geometrisches Problem. Und genau dafür braucht es die Satelliten.

Die Rolle der Atomuhren an Bord: Die Satelliten tragen hochpräzise Atomuhren, die den Zeitstempel für jedes gesendete Signal liefern. Sie sind die "Taktgeber" und erzeugen die Signale, deren Laufzeit gemessen wird. Die Frequenzstabilität dieser Uhren ist eine notwendige technische Voraussetzung für das Funktionieren des Systems.

Das reine Geometrie-Problem: GPS ist primär ein geometrisches Trilaterationsproblem. Der GPS-Empfänger hat eine einfache, kostengünstige Quarzuhr, die ungenau ist. Abweichungen von einer Millionstel Sekunde führen bereits zu 300 Metern Fehler. Der Empfänger "weiß" nicht, wie spät es exakt ist. Er kennt aber die exakten Positionen der Satelliten (aus den gesendeten Ephemeriden-Daten) und die exakten Zeitstempel ihrer Signale.

Die Lösung – ein System von Gleichungen: Der Empfänger misst die Laufzeit der Signale von mehreren Satelliten. Aus der Differenz der Ankunftszeiten kann er nicht direkt seinen Standort und die genaue Zeit berechnen, denn er hat vier Unbekannte: Breite, Länge, Höhe und die genaue Zeit (den Fehler seiner eigenen Uhr). Um diese vier Unbekannten zu lösen, braucht er mindestens vier unabhängige Gleichungen – also Signale von vier Satelliten, die nicht in einer Ebene stehen.

Mathematisch gesehen ist die eindeutige Lösung bei vier Satelliten nur zu etwa 50 Prozent gewährleistet. Erst ab fünf Satelliten ist der Standort geometrisch immer eindeutig bestimmbar, weil ungünstige Konstellationen (Satelliten in einer Linie oder Ebene) vermieden werden. Das zeigt, dass die Genauigkeit nicht von einer grandiosen Formel kommt, sondern von redundanten, sich gegenseitig überprüfenden geometrischen Informationen.

18.23.3 Der Clou: Das System korrigiert sich selbst

Der Empfänger weiß nicht, wie groß der Fehler seiner Uhr ist. Aber wenn er die vier Gleichungen löst, kommt eine eindeutige Lösung für Position und den Uhrenfehler heraus. Dadurch "korrigiert" sich das System in Echtzeit – aber es berechnet nicht die ART, es löst Geometrie.

Der "Gangunterschied" ist kein absoluter Wert, sondern ein relativer Offset. Er ist nicht dynamisch relevant, wohl aber statisch notwendig. Er wird einmal berechnet und vor dem Start eingestellt. Das System korrigiert sich selbst in Echtzeit, aber es benötigt dafür keine dynamische ART-Anwendung.

Warum? Weil das GPS-System nicht auf einem absoluten Zeitpunkt basiert, sondern auf der Differenz der Ankunftszeiten der Signale. Das Startsignal setzt den globalen Nullpunkt. Jeder Satellit zählt seine eigene Zeit von diesem Nullpunkt an – egal, ob diese Takte nun "relativistisch" schneller oder langsamer laufen. GPS würde auch funktionieren, wenn alle Uhren gleich schnell oder gleich langsam laufen würden – solange der relative Gangunterschied bekannt und kompensiert ist. Die absolute Frequenz ist irrelevant – nur die relative zählt.

Die Rolle der Bodenstationen: Die Uhren werden fortlaufend von Bodenstationen überwacht und korrigiert, mit Abweichungen nur im Bereich von fünf Milliardstelsekunden. Ein entscheidendes technisches Detail ist, dass die Uhren an Bord nicht physisch zurückgestellt werden, was zu Instabilitäten führen könnte. Stattdessen senden die Satelliten die vom Boden erhaltenen Korrekturparameter zusammen mit

ihren Nutzdaten an die Empfänger. Der GPS-Empfänger empfängt die rohe Zeit des Satelliten. Er nutzt die mitgesendeten Korrekturdaten, um den Fehler der Satellitenuhr herauszurechnen. Erst diese korrigierte Zeit wird für die Positionsbestimmung verwendet.

Mehrere Systeme gleichzeitig: Zudem gibt es nicht nur ein GPS-System. Es gibt auch GLONASS (Russland), Galileo (EU) und BeiDou (China). Moderne Empfänger können die Signale mehrerer dieser Systeme gleichzeitig nutzen. Das System kann die Zeitinformationen aus drei oder mehr Quellen vergleichen und so die genaueste und sicherste Zeit ermitteln – ein reiner praktischer Vergleich von Messwerten, der keine ART oder alternative Theorien benötigt.

18.23.4 Die EKT-Berechnung der GPS-Frequenzverschiebung – ohne Fit-Parameter

Die zentrale EKT-Gleichung In der EKT ist eine Atomuhr ein physischer Oszillator, dessen Frequenz durch die lokale Raumenergie-Umgebung und die Bewegungsgeometrie bestimmt wird. Die Frequenzverschiebung zerfällt in zwei Beiträge:

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \underbrace{\frac{\gamma_G M_\oplus}{c^2}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)}_{\Delta_{\text{grav}}} + \underbrace{\left(-\frac{v^2}{2c^2}\right)}_{\Delta_{\text{mat}}} \tag{258}$$

Beide Terme folgen aus demselben EKT-Prinzip: Jede Energieform – gravitativ oder kinetisch – modifiziert die Oszillatorgeometrie proportional zu E/E_{Rest}. Es gibt keinen freien Parameter κ.

Die Raumenergie-Funktion $\Phi(r)$ aus der Masse-Radius-Kopplung Die Herleitung der Raumenergie-Funktion $\Phi(r)$ erfolgt direkt aus der Masse-Radius-Kopplung, ohne jeden freien Parameter.

Gegeben ist die Masse-Radius-Kopplung:

$$m_0 \cdot r_0 = F_{EK} = \frac{2h}{\pi c} \tag{259}$$

Und der Gravitationsparameter der Erde:

$$\mu = \frac{\gamma_G M_\oplus}{c^2} \tag{260}$$

Im Gravitationsfeld der Erde erfährt ein Elementarkörper der Masse m_0 eine gravitative Selbstenergie:

$$E_{\text{grav}}(r) = -\frac{\gamma_G M_\oplus \cdot m_0}{r} \tag{261}$$

Diese Energie modifiziert den effektiven Radius des Elementarkörpers:

$$r_{\text{eff}}(r) = r_0 + \frac{E_{\text{grav}}(r)}{m_0 c^2} \cdot r_0 \tag{262}$$

Mit $E_{\text{grav}} = -\gamma_G M_\oplus m_0/r$ folgt:

$$r_{\text{eff}}(r) = r_0 \left(1 - \frac{\gamma_G M_\oplus}{c^2 r}\right) = r_0 \left(1 - \frac{\mu}{r}\right) \tag{263}$$

Die Frequenz eines Oszillators ist umgekehrt proportional zu seinem effektiven Radius:

$$f(r) = \frac{c}{r_{\text{eff}}(r)} = \frac{c}{r_0(1 - \mu/r)} \tag{264}$$

Im Unendlichen ($r \to \infty$) ist:

$$f(\infty) = \frac{c}{r_0} \tag{265}$$

Die dimensionslose Raumenergie-Funktion $\Phi(r)$ ist das Verhältnis der lokalen Frequenz zur Frequenz im Unendlichen:

$$\Phi(r) = \frac{f(r)}{f(\infty)} = \frac{1}{1 - \mu/r} \tag{266}$$

mit $\mu = \gamma_G M_\oplus / c^2$.

Das ist die EKT-interne Raumenergie-Funktion – abgeleitet aus der Masse-Radius-Kopplung, ohne jeden freien Parameter.

Bemerkung. *Warum $\kappa = 1$ kein Fit-Parameter ist: In der EKT koppelt jede Energieform mit derselben Stärke an die Oszillatorgeometrie – proportional zu E/E_{Rest}. Es gibt keinen geometrischen Grund, warum die gravitative Kopplung anders sein sollte als die elektromagnetische. Die Gravitation ist in der EKT dieselbe geometrische Operation (Überlappung von Radien) wie jede andere Wechselwirkung. Daher ist $\kappa = 1$ der geometrisch natürliche Wert, kein angepasster Parameter.*

Der gravitative Beitrag Numerische Berechnung mit:

- $\gamma_G M_\oplus = 3{,}986 \times 10^{14}\ \text{m}^3/\text{s}^2$
- $c = 2{,}998 \times 10^8\ \text{m/s}$
- $r_1 = R_\oplus = 6{,}371 \times 10^6\ \text{m}$ (Erdoberfläche)
- $r_2 = R_\oplus + 20\,200 \times 10^3 = 2{,}6571 \times 10^7\ \text{m}$ (GPS-Orbit)

$$\mu = \frac{\gamma_G M_\oplus}{c^2} = \frac{3{,}986 \times 10^{14}}{(2{,}998 \times 10^8)^2} = 4{,}435 \times 10^{-3}\ \text{m} \tag{268}$$

$$\left.\frac{\Delta f}{f_0}\right|_{\text{grav}} = \frac{\gamma_G M_\oplus}{c^2} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \tag{269}$$

$$= 4{,}435 \times 10^{-3} \cdot (1{,}5696 \times 10^{-7} - 3{,}7634 \times 10^{-8}) \tag{270}$$

$$= 4{,}435 \times 10^{-3} \cdot 1{,}1933 \times 10^{-7} = 5{,}293 \times 10^{-10} \tag{271}$$

Zeitlicher Effekt:

$$\Delta t_{\text{grav}} = 5{,}293 \times 10^{-10} \times 86\,400 \text{ s/Tag} = +45{,}73 \ \mu\text{s/Tag} \tag{272}$$

Der kinetische Beitrag: Materiewelle Der Satellit bewegt sich mit $v \approx 3\,874$ m/s. In der EKT verkörpert sich diese kinetische Energie als realer Raum – die de-Broglie-Materiewelle:

$$\lambda_{\text{deB}} = \lambda_C \cdot \sqrt{\left(\frac{c}{v}\right)^2 - 1} \tag{273}$$

Diese räumliche Ausdehnung modifiziert die Wechselwirkungsgeometrie des Oszillators. Die kinetische Energie ist:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m_0 v^2 \tag{274}$$

Die relative Modifikation der Übergangsenergie ist:

$$\frac{\Delta E_{\text{Übergang}}}{E_{\text{Übergang}}} = -\frac{E_{\text{kin}}}{m_0 c^2} = -\frac{v^2}{2c^2} \tag{275}$$

Das negative Vorzeichen: Die verkörperte kinetische Energie vergrößert den effektiven Radius des Oszillators und reduziert damit die Übergangsenergie (größere Radien → geringere Energien gemäß $m{\cdot}r = F_{EK}$).

Numerische Berechnung:

$$\left.\frac{\Delta f}{f_0}\right|_{\text{mat}} = -\frac{v^2}{2c^2} = -\frac{(3\,874)^2}{2 \cdot (2{,}998 \times 10^8)^2} = -\frac{1{,}5008 \times 10^7}{1{,}7976 \times 10^{17}} = -8{,}349 \times 10^{-11} \tag{276}$$

Zeitlicher Effekt:

$$\Delta t_{\text{mat}} = -8{,}349 \times 10^{-11} \times 86\,400 \text{ s/Tag} = -7{,}21 \ \mu\text{s/Tag} \tag{277}$$

Das Gesamtergebnis

$$\Delta t_{\text{gesamt}} = \Delta t_{\text{grav}} + \Delta t_{\text{mat}} = +45{,}73 - 7{,}21 = +38{,}52 \ \mu\text{s/Tag} \tag{278}$$

Beitrag	EKT-Formel	Wert [μs/Tag]
Gravitation (Raumenergie-Dichte)	$\frac{\gamma_G M_\oplus}{c^2}\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)\cdot 86400$	+45,73
Kinetik (Materiewelle)	$-\frac{v^2}{2c^2}\cdot 86400$	−7,21
Netto		+38,52
Beobachtet		+38,7

Tabelle 12: EKT-GPS-Frequenzverschiebung – Zusammenfassung der Beiträge.

Die Abweichung beträgt +0,5% – innerhalb der Rundungsgenauigkeit der Eingangsparameter.

Der entscheidende Punkt: Keine freien Parameter. Die gesamte Berechnung verwendet ausschließlich:

- γ_G und $M_\oplus$ (gravitative Parameter der Erde)
- c (Lichtgeschwindigkeit)
- r_1, r_2 (geometrische Positionen)
- v (Bahngeschwindigkeit des Satelliten)

Kein einziger Parameter wurde an das bekannte Ergebnis von +38,7 μs/Tag angepasst. Die Werte +45,73 und −7,21 folgen zwingend aus dem EKT-Prinzip:

> Jede Energieform modifiziert die Oszillatorgeometrie proportional zu E/E_{Rest}.

Das ist die EKT-Übersetzung dessen, was die Standardphysik als "Zeitdilatation" bezeichnet. In der EKT wird keine Zeit gedehnt. Der Oszillator schwingt anders, weil seine physikalische Umgebung anders ist.

18.23.5 Die EKT-Vorhersage als falsifizierbare Behauptung

Die EKT sagt voraus:

$$f = f(m_{\text{Oszillator}},\, v,\, r,\, M_{\text{Umgebung}},\, \lambda_{\text{deB}}) \tag{279}$$

Konkret:

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{\gamma_G M_\oplus}{c^2}\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right) - \frac{v^2}{2c^2} \tag{280}$$

Diese Gleichung ist falsifizierbar:

1. Sie sagt für jeden Satellitenorbit eine spezifische Frequenzverschiebung voraus.
2. Sie sagt für jede Geschwindigkeit eine spezifische kinetische Korrektur voraus.
3. Sie sagt voraus, dass die Frequenzverschiebung linear mit der Gravitationspotentialdifferenz und quadratisch mit der Geschwindigkeit skaliert.

Die Bestätigung oder Widerlegung dieser Vorhersagen durch unabhängige Messungen (ohne SRT-Kalibrierung) bildet den entscheidenden empirischen Prüfstein der EKT gegenüber der ART.

18.23.6 Methodische Reflexion: Eigenständigkeit der EKT-Herleitung

Die vorstehende EKT-Berechnung der GPS-Frequenzverschiebung wirft eine methodische Frage auf: Gelangt die EKT tatsächlich eigenständig zu den beiden Beiträgen, oder werden stillschweigend Strukturen aus der ART oder SRT übernommen?

Eine genaue Prüfung der Herleitungsschritte zeigt:

Der gravitative Term: Die EKT leitet ihn ausschließlich aus der Masse-Radius-Kopplung, der gravitativen Selbstenergie und der daraus folgenden Modifikation des effektiven Radius ab. Sie verwendet keine Schwarzschild-Metrik, keine ART-Feldgleichungen, keine Raumzeitkrümmung und keine Geodäten.

Der kinetische Term: Die EKT leitet ihn aus der de-Broglie-Materiewelle und der relativen Modifikation der Übergangsenergie ab. Sie verwendet keine Lorentz-Transformation, keine SRT-Zeitdilatation und keine Vierergeschwindigkeit.

Die Verwendung der klassischen kinetischen Energie $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}m_0v^2$ ist eine Näherung für $v \ll c$. Der exakte EKT-Ausdruck wäre $E_{\text{kin}} = m_0c^2(1/\gamma_{\text{dyn}} - 1)$ mit $\gamma_{\text{dyn}} = \sqrt{1 - v^2/c^2}$, der in erster Ordnung auf $\frac{1}{2}m_0v^2$ führt. Für GPS-Geschwindigkeiten ($v \approx 3{,}874$ km/s) ist diese Näherung jedoch ausgezeichnet und physikalisch gerechtfertigt.

Die formale Übereinstimmung mit der ART ergibt sich, weil beide Theorien im schwachen Feld dieselbe effektive Beschreibung liefern – aber mit vollkommen unterschiedlicher ontologischer Grundlage:

ART	EKT
Raumzeitkrümmung	Masse-Radius-Kopplung
↓	↓
Zeitdilatation	Raumenergie
↓	↓
Frequenzverschiebung	Oszillatormodifikation
↓	↓
Frequenzverschiebung	Frequenzverschiebung

Die EKT ist keine Umformulierung der ART. Sie ist eine eigenständige Theorie, die im Grenzfall schwacher Felder numerisch äquivalente Ergebnisse liefert – aber ohne Raumzeit, ohne Metrik und ohne freie Parameter.

Die sauberste Formulierung für die wissenschaftliche Kommunikation ist daher:

> "Die EKT konstruiert aus ihren eigenen Grundannahmen eine quantitative Frequenzverschiebung, deren führende GPS-Beiträge dieselbe numerische Struktur und Größenordnung wie die experimentell relevante Korrektur besitzen. Die formale Übereinstimmung mit der ART ergibt sich im schwachen Feld, nicht aus einer Übernahme relativistischer Konzepte."

18.23.7 Epistemologisches Fazit

Die Standardphysik sagt: "Die Zeit läuft auf dem Satelliten schneller."

Die EKT sagt: “Der Oszillator auf dem Satelliten schwingt schneller, weil er sich in einer geringeren Raumenergie-Dichte befindet und seine kinetische Energie als Materiewelle verkörpert.”

Beide Aussagen liefern dieselbe Zahl (+38,5 μs/Tag). Aber die ontologische Interpretation ist fundamental verschieden:

Standardphysik	EKT
Zeit ist eine Dimension, die sich dehnt	Zeit ist keine eigenständige Entität
Die Uhr misst die “gedehnte Zeit”	Die Uhr IST der physikalische Prozess
Zeitdilatation ist eine Eigenschaft der Raumzeit	Frequenzänderung ist eine Eigenschaft des Oszillators
κ ist in der Metrik “eingebaut”	$\kappa = 1$ folgt aus der Energie-Geometrie-Kopplung

Tabelle 13: Ontologischer Vergleich: Standardphysik vs. EKT für den GPS-Effekt.

Die EKT benötigt keine Raumzeit, keine Metrik, keine gekrümmte Geometrie. Sie benötigt nur: Energie verkörpert sich als Raum, und Raum modifiziert die Oszillatorgeometrie.

Und GPS “beweist” weder die ART noch die EKT. GPS funktioniert, weil es ein geometrisches Problem löst – die Bestimmung einer Position aus Laufzeitdifferenzen. Die “relativistische Korrektur” ist ein fester Offset, der vor dem Start in die Uhren einprogrammiert wird. Sie ist eine praktische Ingenieurslösung, keine dynamische Berechnung. Die Frage ist nicht, ob GPS “funktioniert” – das tut es offensichtlich. Die Frage ist, welche Ontologie die Frequenzverschiebung der Atomuhren korrekt beschreibt. Und die EKT liefert eine physisch anschauliche, ontologisch sparsame und kausal erklärende Interpretation – ohne den begrifflichen Ballast der Raumzeit.

18.24 Die Theoriebeladenheit astrophysikalischer „Beobachtungen“: Was wird bei einer fremden Galaxie tatsächlich gemessen?

Bevor die EKT auf galaktische Skalen angewendet wird, muss eine radikale Trennung zwischen dem Detektorsignal und der daraus rekonstruierten Galaxiendynamik erfolgen. Die nächstgelegene große Spiralgalaxie ist die Andromedagalaxie (M31) in etwa 2,537 Millionen Lichtjahren Entfernung.

Das unmittelbare Messsignal:

Wir sehen keine Rotation einer Galaxie als Bewegung am Himmel. Die Winkelbewegung wäre dafür viel zu klein. Was tatsächlich aufgenommen wird, sind Photonen bzw. elektromagnetische Strahlung, orts- und frequenzaufgelöst. Ein Spektrograph liefert zunächst Intensität als Funktion von Wellenlänge bzw. Frequenz und Position:

$$I(x, y, \lambda) \qquad \text{bzw. bei Radioastronomie} \qquad I(x, y, \nu). \tag{270}$$

Bei der 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs misst ein Radioteleskop Strahlungsintensität in Abhängigkeit von der Frequenz in der Umgebung von $\nu_{21} \approx 1420{,}406\,\text{MHz}$. An der Himmelsposition A registriert der Detektor ein Intensitätsmaximum bei ν_A; an der Himmelsposition B liegt ein entsprechendes Maximum bei ν_B. **Das ist Messung.**

Wo beginnt die Interpretation als Rotation?

Man identifiziert bestimmte spektrale Strukturen mit bekannten atomaren Übergängen. Anschließend

wird die Frequenzdifferenz als Dopplerverschiebung interpretiert:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \simeq \frac{v_{\mathrm{los}}}{c}. \tag{271}$$

Für eine Scheibengalaxie kommt ein geometrisch-kinematisches Modell hinzu:

$$v_{\mathrm{los}}(R,\theta) = v_{\mathrm{sys}} + v_{\mathrm{rot}}(R)\,\sin i\,\cos\theta. \tag{272}$$

Man benötigt: ein angenommenes Galaxienzentrum, eine Scheibenorientierung, den Inklinationswinkel i, eine systemische Geschwindigkeit, eine geometrische Zuordnung des Messpunkts zu einem Radius R, und gewöhnlich eine Annahme über die Art der Bewegung.

Bei der klassischen Untersuchung von Rubin und Ford (1970) wurden beispielsweise Spektren von 67 H-II-Regionen in M31 aufgenommen. Die Rotationsgeschwindigkeiten wurden unter der ausdrücklich genannten **Annahme ausschließlich kreisförmiger Bewegungen** berechnet.

Das bedeutet:

Spektrum gemessen $\neq$ Rotationsgeschwindigkeit rekonstruiert.

Die Vier-Ebenen-Hierarchie:

Ebene	**Beispiel**	**Status**
1. Detektorsignal	$I(x,y,\nu)$, F_ν	unmittelbar gemessen
2. Identifikation	Spektrallinie $\rightarrow$ atomarer Übergang	physikal. Zuordnung
3. Kinematische Rekonstruktion	$\Delta\nu \rightarrow v_{\mathrm{los}} \rightarrow v_{\mathrm{rot}}(R)$	modellabhängig
4. Dynamische Interpretation	$v(R) \rightarrow M(R) \rightarrow$ Dunkle Materie	stark theorieabhängig

Tabelle 14: Hierarchie der Erkenntnisebenen bei galaktischen Beobachtungen

Zwischen Ebene 3 und 4 liegt ein enorm wichtiger Unterschied. Dass unterschiedliche Bereiche einer Galaxie systematisch unterschiedliche Spektrallagen zeigen, ist empirisch sehr gut belegt. Dass daraus eine bestimmte Geschwindigkeitsstruktur rekonstruiert werden kann, besitzt ebenfalls starke empirische Unterstützung, ist aber bereits modelliert. Dass diese rekonstruierte Geschwindigkeitsstruktur dann eine bestimmte unsichtbare Massenverteilung erfordert, ist eine weitere Interpretation.

Die Milchstraße als Sonderfall:

Wir sind innerhalb der Milchstraße und können ihre Rotationskurve nicht einfach von außen beobachten. Auch hier wird die 21-cm-Linie gemessen. Man erhält Intensitätsverteilungen in Abhängigkeit von galaktischer Richtung und Frequenz: (l, b, ν, I). Für Teile der Milchstraße wird die sogenannte **Tangentenpunktmethode** verwendet: Aus maximalen radialen Geschwindigkeiten und der angenommenen Geometrie der galaktischen Rotation wird eine Rotationskurve konstruiert. Wir „sehen“ also auch bei unserer eigenen Galaxie nicht einfach $R \rightarrow v(R)$.

Fluss und Leuchtkraft:

Gemessen werden kann ein Strahlungsfluss am Detektor:

$$F = \frac{\text{empfangene Energie}}{\text{Fläche} \cdot \text{Zeit}}, \qquad \text{bzw. frequenzaufgelöst: } F_\nu. \tag{273}$$

Das ist eine echte lokale Messgröße. Aber die Leuchtkraft L ist nicht dasselbe:

$$L = 4\pi d^2 F. \tag{274}$$

Um aus gemessenem Fluss eine intrinsische Leuchtkraft zu machen, benötigt man eine Entfernung d. Damit wird die Interpretationskette:

$$F_\nu \to L_\nu \to \text{Sternpopulation} \to M/L \to M_{\text{bar}}. \tag{275}$$

Die in der Literatur verwendete baryonische Masse $M_{\text{bar}} \approx 5 \times 10^{10}\, M_\odot$ ist daher keine direkt gemessene Größe, sondern eine modellabhängig rekonstruierte Größe.

Konsequenz für die EKT:

Die methodisch sauberere Fragestellung für die EKT lautet zunächst:

Kann die EKT die ortsabhängigen Spektralmuster einer Galaxie erklären?

und erst danach:

Ist deren Interpretation als $v_{rot}(R)$ überhaupt EKT-unabhängig gerechtfertigt?

Das Standardmodell „misst" hier nicht – es „fittet" ein unsichtbares Dunkle-Materie-Halo so lange, bis die newtonsche Erwartung mit der Frequenzmessung übereinstimmt.

18.25 Das EKT-Denkmodell für Scheibengalaxien: Ein mögliches Denkmodell

Statt eines solchen Fit-Verfahrens nimmt die EKT einen geometrischen Mechanismus an. Eine Galaxie ist keine Punktmasse, sondern eine ausgedehnte Scheibe. Das EKT-Denkmodell nimmt an, dass die kollektive Raumenergieausbreitung jenseits einer charakteristischen Skala R_t von einer 3D-kugelförmigen in eine 2D-zylindrische (radial-planare) Modengeometrie übergehen könnte.

Diese Übergangsskala wird definiert als das geometrische Mittel aus der lokalen gravitativen Länge und der globalen Universumsskala:

$$R_t \sim \sqrt{r_{G,\Phi} \cdot r_{\text{Uni}}}. \tag{276}$$

Dies ist eine definierende Modellannahme der EKT, kein frei an einzelne Galaxien anpassbarer Parameter.

Status: Dies ist ein **mögliches Denkmodell**, keine festgeschriebene Vorhersage. Die 3D→2D-Herleitung wird als Arbeitshypothese geführt. Bevor erklärt wird, warum Galaxien „flach rotieren", muss zunächst exakt formuliert werden, welches reale Detektorsignal überhaupt erklärt werden soll (siehe Abschnitt 15.4).

18.26 Die mathematische Konsequenz dieses Übergangs

Im 2D-Regime (für $R \gg R_t$) reduziert sich die Vakuum-Zustandsgleichung auf die 2D-Laplace-Gleichung:

$$\frac{1}{R}\frac{d}{dR}\left(R\,\frac{d\Phi}{dR}\right) = 0 \quad \Longrightarrow \quad \frac{d\Phi}{dR} \propto \frac{1}{R}. \tag{277}$$

Daraus folgt $a(R) \propto 1/R$. Für eine stabile Kreisbahn ($v^2/R = |a(R)|$):

$$\frac{v^2}{R} \propto \frac{1}{R} \quad \Rightarrow \quad v(R) \approx \text{const.} \tag{278}$$

Der Bahnradius kürzt sich vollständig heraus. Im kollektiv scheibendominierten Bereich ergibt sich daher eine flache Rotationskurve.

Durch stetiges Matching der Beschleunigung am Übergangsradius R_t ($a_{\text{2D}}(R_t) = a_{\text{3D}}(R_t)$) folgt strukturell:

$$v_{\text{flat}}^2 = \frac{\gamma_G M_\Phi}{R_t}. \tag{279}$$

Mit $R_t = \xi\sqrt{r_{G,\Phi}\, r_{\text{Uni}}}$ und $r_{G,\Phi} = \gamma_G M_\Phi/c^2$:

$$v_{\text{flat}}^4 = \frac{\gamma_G^2 M_\Phi^2}{\xi^2\, r_{G,\Phi}\, r_{\text{Uni}}} = \frac{\gamma_G\, c^2}{\xi^2\, r_{\text{Uni}}}\, M_\Phi. \tag{280}$$

Damit:

$$\boxed{v_{\text{flat}}^4 \propto M_\Phi.} \tag{281}$$

Im schwachen galaktischen Feld ($M_\Phi \simeq M_{\text{baryon}}$) ergibt sich die Skalierungsstruktur der baryonischen Tully-Fisher-Beziehung:

$$v_{\text{flat}}^4 \propto M_{\text{baryon}}. \tag{282}$$

18.27 Epistemologisches Fazit zur galaktischen Dynamik

Die EKT erklärt die strukturelle Form der flachen Rotationskurven und der Tully-Fisher-Relation als mögliche Konsequenz des Dimensionswechsels der Raumenergie-Modengeometrie (3D $\rightarrow$ 2D), ohne Dunkle Materie zu postulieren.

Wichtig: Dies ist ein konzeptioneller Rahmen und eine Arbeitshypothese. Die exakte numerische Normierung (der Vorfaktor) hängt von der realen, kontinuierlichen Lösung des 3D$\rightarrow$2D-Übergangs für spezifische baryonische Dichteprofile ($\Sigma(R)$) ab. Die präzise numerische Normierung an Galaxienpopulationen bleibt eine empirische Aufgabe, die aus der Lösung der erweiterten EKT-Feldgleichung für reale Scheibengeometrien folgen muss, nicht aus nachträglichen Fit-Faktoren.

18.28 Zusammenfassung der Anwendungen

$\Phi(r) = 1 - r_{G,\Phi}/r$ ist die gemeinsame statische Grundstruktur aller Anwendungen. Die unterschiedlichen Phänomene folgen aus der effektiven EKT-Metrik, deren Struktur $g_{tt} \cdot g_{rr} = -1$ als Theorem 3 (Abschnitt 14.3) aus der materiellen Deformation des Maßstabs im Raumenergie-Feld hergeleitet ist. Die Lichtausbreitung $v(r) = c\Phi(r)^2$ ergibt sich als direkte Konsequenz dieser Metrik-Struktur. Die GPS-Frequenzverschiebung folgt aus derselben Masse-Radius-Kopplung, die dem Theorem 3 zugrunde liegt.

Phänomen	EKT-Gleichung	Ergebnis
Periheldrehung	$\Delta\theta = 6\pi\gamma_G M_\Phi/[c^2 a(1-e^2)]$	$43''$/Jh.
Lichtablenkung	$\lvert\Delta\theta\rvert = 4r_{G,\Phi}/b$	$1{,}75''$
Shapiro	$\Delta t = 2\gamma_G M_\Phi/c^3 \cdot \ln(4r_E r_P/b^2)$	247 μs
Rotverschiebung	$\nu(r) = \nu_\infty \Phi(r)$	konsistent
GPS	$\Delta t = +38{,}52$ μs/Tag	$\approx +38{,}7$
Galaxien	3D$\rightarrow$2D-Denkmodell	Arbeitshypothese

Tabelle 15: Zusammenfassung der EKT-Anwendungen

19 Die kosmische Expansion

Die Expansion des Universums wird durch die sinusförmige Dynamik beschrieben:

$$r(t) = r_{\text{Uni}} \sin\left(\frac{ct}{r_{\text{Uni}}}\right) \tag{283}$$

Die maximale Ausdehnung wird erreicht bei:

$$t_{\max} = \frac{\pi}{2c} r_{\text{Uni}} \approx 14,6 \text{ Milliarden Jahre} \tag{284}$$

Dies erklärt die Expansion **ohne Dunkle Energie** und **ohne Inflation**. Die beobachtete beschleunigte Expansion ist in der EKT kein Zeichen für eine unbekannte Energieform, sondern die natürliche Konsequenz der sinusförmigen Entwicklung des Universums als Ganzes.

19.1 Der aktuelle Zustand des Universums

Das ΛCDM-Modell schätzt das derzeitige Alter des Universums auf etwa 13,8 Milliarden Jahre. Mit den EKT-Entwicklungsgleichungen ergibt sich daraus:

$$v_{\text{exp}} \approx 0,0858\, c, \quad m_{\text{exp}} \approx 1,1787 \times 10^{53} \text{ kg}, \quad r_{\text{exp}} \approx 8,7527 \times 10^{25} \text{ m} \tag{285}$$

Bemerkenswert ist, dass $v_{\text{exp}} \approx c\sqrt{\alpha}$ mit $\sqrt{\alpha} \approx 0,0854$. Dies zeigt einen möglichen fundamentalen Zusammenhang zwischen der Feinstrukturkonstanten α und der Expansionsgeschwindigkeit des Universums – eine Verbindung zwischen Mikro- und Makrokosmos, die in der Standardphysik nicht existiert.

20 Skalenübergreifende Erklärung: Die EKT als kohärentes Gesamtbild

Die Elementarkörpertheorie beschreibt gravitative Phänomene auf unterschiedlichen räumlichen Skalen durch dieselbe grundlegende Masse-Raum- und Raumenergie-Struktur. Dabei ändern sich nicht die fundamentalen Prinzipien, wohl aber die jeweils relevante Ausbreitungsgeometrie der Raumenergie und die Rolle der daraus resultierenden Beiträge.

Die EKT-Gravitation ist dabei nicht als einfache Superposition dreier gleichrangiger Kräfte

$$F_{\text{ges}} = F_1 + F_2 + F_3$$

zu verstehen. Vielmehr sind zwei physikalische Ebenen zu unterscheiden:

$$\boxed{F_2 : \text{ Quellen-/Raumenergie-Selbstkorrektur}}$$

und

$$\boxed{F_{\text{Bahn}} = F_1 + F_3 : \text{ lokale Bahndynamik.}}$$

Der Beitrag F_2 bleibt damit Bestandteil der EKT-Gravitation, wird jedoch nicht als zusätzliche, parallel zu F_1 und F_3 auf einen Testkörper wirkende Kraft behandelt.

20.1 Auf kleinen Skalen: das Sonnensystem

Auf der Skala des Sonnensystems wird die lokale Bahndynamik im führenden Anteil durch

$$F_1(r) = -\frac{\gamma_G M m}{r^2}$$

bestimmt.

Dieser Beitrag beschreibt die lokale gravitative Wirkung der bereits ausgebildeten Masse-Raum-Struktur.

Die quadratische Raumenergie-Selbstkorrektur

$$F_2(r) = -\frac{\gamma_G^2 M^2 m}{c^2 r^3}$$

besitzt gegenüber dem führenden Beitrag die relative Größenordnung

$$\frac{|F_2|}{|F_1|} = \frac{r_G}{r}.$$

Im schwachen Gravitationsfeld des Sonnensystems gilt

$$\boxed{\frac{r_G}{r} \ll 1.}$$

F_2 wird jedoch nicht wegen dieser Kleinheit aus der lokalen Bahngleichung entfernt. Seine Rolle liegt vielmehr auf der Ebene der Quellen-/Raumenergie-Selbstkorrektur und ist bereits bei der Ausbildung der gravitativen Quellenstruktur zu berücksichtigen.

Von dieser statischen Selbstkorrektur ist der dynamische Beitrag der Transversalbewegung zu unterscheiden:

$$F_3(r) = -\frac{3\gamma_G M m h^2}{c^2 r^4}.$$

Für die lokale Bahndynamik gilt daher

$$\boxed{F_{\text{Bahn}} = F_1 + F_3.}$$

Daraus folgt die Radialgleichung

$$\ddot{r} - \frac{h^2}{r^3} = -\frac{\gamma_G M}{r^2} - \frac{3\gamma_G M h^2}{c^2 r^4}.$$

Mit der Binet-Transformation ergibt sich

$$u'' + u = \frac{\gamma_G M}{h^2} + \frac{3\gamma_G M}{c^2} u^2$$

und damit für die Periheldrehung

$$\boxed{\Delta\theta = \frac{6\pi\gamma_G M}{c^2 a(1-e^2)}.}$$

Für Merkur resultieren daraus ungefähr

$$43.0''$$

pro Jahrhundert.

Die EKT beschreibt auf der Skala des Sonnensystems damit insbesondere:

- die Keplersche Bahndynamik aus dem führenden $1/r^2$-Beitrag,
- die Periheldrehung aus der transversalen Bewegungskopplung,
- die Lichtablenkung aus der raumenergetischen Lichtausbreitung,
- die Shapiro-Verzögerung aus der veränderten Signallaufzeit,
- die GPS-Frequenzverschiebung aus Raumenergie- und Bewegungsmodifikation.

Die unterschiedlichen Phänomene werden dabei nicht durch voneinander unabhängige gravitative Mechanismen erklärt, sondern als verschiedene phänomenologische Erscheinungen derselben Masse-Raum-Kopplung.

20.2 Auf mittleren Skalen: Scheibengalaxien

Auch auf galaktischen Skalen wird der quadratische Raumenergiebeitrag F_2 nicht mit wachsendem Abstand gegenüber dem führenden Beitrag dominant.

Für eine kompakte Quelle gilt weiterhin

$$\frac{|F_2|}{|F_1|} = \frac{r_G}{R} \ll 1.$$

Die früher verwendete Erklärung, nach der flache Rotationskurven durch eine Fernfelddominanz des $1/R^3$-Terms entstehen, wird daher nicht aufrechterhalten.

Ebenso genügt die bloße lineare Überlagerung der $1/s$-Felder einer endlichen exponentiellen Materiescheibe nicht. Eine solche Verteilung geht im hinreichend großen Fernfeld wieder in die dreidimensionale Struktur

$$a_R \propto \frac{1}{R^2}$$

über.

Die EKT-Erklärung der galaktischen Rotationsdynamik wird deshalb auf die veränderte *Ausbreitungsgeometrie der Raumenergie selbst* zurückgeführt.

20.2.1 Die galaktische Übergangsskala

Für eine baryonische Galaxienmasse M gilt zunächst

$$r_G = \frac{\gamma_G M}{c^2}.$$

Die EKT definiert als natürliche Übergangsskala zwischen lokaler quellengebundener und kollektiver galaktischer Raumenergieausbreitung

$$\boxed{R_0 = \sqrt{r_G r_{\mathrm{Uni}}}.}$$

Diese Beziehung ist Bestandteil des EKT-Denkmodells und kein frei an eine einzelne Galaxie anzupassender Parameter.

Für eine exponentielle radiale Scheibenstruktur

$$\Sigma(R) = \Sigma_0 e^{-R/R_0}$$

beträgt der eingeschlossene relative Anteil

$$f(x) = 1 - e^{-x}(1+x), \qquad x = \frac{R}{R_0}.$$

Der geometrische Halbmassen- beziehungsweise charakteristische Übergangsradius folgt aus

$$f(x_{1/2}) = \frac{1}{2}.$$

Die Lösung lautet

$$x_{1/2} = 1.67834699\ldots$$

und damit

$$\boxed{R_{\mathrm{tr}} = 1.67834699\, R_0 = 1.67834699\sqrt{r_G r_{\mathrm{Uni}}}.}$$

Der Zahlenfaktor $1.67834699\ldots$ ist somit keine numerische Anpassung, sondern eine geometrische Eigenschaft der exponentiellen Scheibenstruktur.

20.2.2 Flache Rotationskurven

Im lokalen Bereich gilt zunächst

$$a_{\mathrm{lokal}} = -\frac{\gamma_G M}{R^2}.$$

Im kollektiv scheibendominierten Raumenergieregime wird dagegen eine effektiv radial-planare Ausbreitungsstruktur angenommen. Die relevante Ausbreitungsfläche wächst dort nur linear mit R, sodass

$$a_{\mathrm{kol}}(R) \propto -\frac{1}{R}$$

gilt.

Die Normierung wird am charakteristischen Übergangsradius festgelegt:

$$a_{\mathrm{kol}}(R) = -\frac{\gamma_G M}{R_{\mathrm{tr}} R}.$$

Für eine Kreisbewegung gilt

$$\frac{v^2}{R} = \frac{\gamma_G M}{R_{\mathrm{tr}} R}.$$

Damit folgt

$$\boxed{v_{\mathrm{flat}}^2 = \frac{\gamma_G M}{R_{\mathrm{tr}}}}$$

und somit

$$\boxed{v_{\mathrm{flat}} = \frac{c}{\sqrt{1.67834699}} \left(\frac{r_G}{r_{\mathrm{Uni}}} \right)^{1/4}.}$$

Der Bahnradius kürzt sich vollständig heraus. Im kollektiv scheibendominierten Bereich ergibt sich daher

$$\boxed{v(R) \approx \text{const.}}$$

und damit eine flache Rotationskurve.

Für die bisher verwendeten Größen der Milchstraße,

$$M \simeq 10^{41}\,\mathrm{kg}, \qquad r_{\mathrm{Uni}} \simeq 8.75 \times 10^{25}\,\mathrm{m},$$

ergibt sich

$$R_0 \simeq 2.61\,\mathrm{kpc},$$

$$R_{\mathrm{tr}} \simeq 4.38\,\mathrm{kpc}$$

und

$$\boxed{v_{\mathrm{flat}} \simeq 222\,\mathrm{km/s}.}$$

Damit liegt die aus dem EKT-Denkmodell erhaltene Größenordnung unmittelbar im Bereich der für die Milchstraße rekonstruierten Rotationsgeschwindigkeit.

20.2.3 Die baryonische Tully-Fisher-Beziehung

Aus

$$v_{\mathrm{flat}}^2 = \frac{\gamma_G M}{R_{\mathrm{tr}}}$$

und

$$R_{\mathrm{tr}} = \xi \sqrt{r_G r_{\mathrm{Uni}}}, \qquad \xi = 1.67834699\ldots$$

folgt

$$v_{\mathrm{flat}}^4 = \frac{\gamma_G^2 M^2}{\xi^2 r_G r_{\mathrm{Uni}}}.$$

Mit

$$r_G = \frac{\gamma_G M}{c^2}$$

ergibt sich

$$\boxed{v_{\mathrm{flat}}^4 = \frac{\gamma_G c^2}{\xi^2 r_{\mathrm{Uni}}} M.}$$

Damit folgt unmittelbar

$$\boxed{v_{\mathrm{flat}}^4 \propto M}$$

beziehungsweise

$$\boxed{M \propto v_{\mathrm{flat}}^4.}$$

Die charakteristische vierte Potenz wird damit nicht als empirische Vorgabe eingesetzt, sondern folgt aus

$$r_G \propto M,$$

$$R_0 \propto \sqrt{r_G} \propto \sqrt{M}$$

und

$$v_{\mathrm{flat}}^2 \propto \frac{M}{R_{\mathrm{tr}}}.$$

Flache Rotationskurven und die baryonische Tully-Fisher-Beziehung erscheinen damit innerhalb dieser EKT-Konstruktion als zwei phänomenologische Konsequenzen derselben galaktischen Raumenergie-Ausbreitungsstruktur.

20.3 Auf großen Skalen: Galaxienhaufen und Universum

Auf der Skala von Galaxienhaufen kann nicht ohne weitere Untersuchung angenommen werden, dass dieselbe scheibendominierte Geometrie wie bei Spiralgalaxien gilt.

Galaxienhaufen besitzen eine andere räumliche Vielkörperstruktur. Die EKT muss daher auf dieser Skala

die kollektive Raumenergieverkörperung des jeweiligen Gesamtsystems betrachten.

Insbesondere kann eine großräumige zusätzliche Gravitationswirkung nicht durch eine bloße Fernfelddominanz des F_2-Terms begründet werden. F_2 bleibt eine Quellen-/Raumenergie-Selbstkorrektur und erzeugt für eine endliche Quelle im Fernfeld keine langsamere $1/R$-Struktur.

Die konkrete Raumenergiegeometrie von Galaxienhaufen bleibt daher eine gesonderte Anwendung der EKT und wird nicht aus der Scheibengalaxienlösung extrapoliert.

Auf kosmologischer Skala wird dagegen das Universum selbst als Gesamtsystem betrachtet. Seine Dynamik wird innerhalb der EKT durch die sinusförmige Entwicklung

$$r(t) = r_{\mathrm{Uni}} \sin\left(\frac{ct}{r_{\mathrm{Uni}}}\right)$$

beschrieben.

Die zugehörige radiale Geschwindigkeit lautet

$$v_{\mathrm{exp}}(t) = c\cos\left(\frac{ct}{r_{\mathrm{Uni}}}\right).$$

Die kosmische Entwicklung wird damit als zyklische Transformation zwischen massegebundener Energie und Raumenergie interpretiert.

Dunkle Energie und Inflation werden innerhalb dieses Denkmodells nicht als zusätzliche fundamentale Entitäten eingeführt.

20.4 Die Einheit der Skalen

Die skalenübergreifende Struktur der EKT kann damit in folgender Form zusammengefasst werden:

- **Fundamentale Ebene:**
$$m_0 r_0 = F_{\mathrm{EK}} = \frac{2h}{\pi c}, \qquad E(r) = \frac{F_{\mathrm{EK}} c^2}{r}.$$

- **Sonnensystem:** Die lokale Bahndynamik folgt aus
$$F_{\mathrm{Bahn}} = F_1 + F_3,$$
während F_2 als Quellen-/Raumenergie-Selbstkorrektur eingeordnet wird.

- **Scheibengalaxien:** Die großräumige Dynamik folgt nicht aus einer Dominanz von F_2, sondern aus einem Übergang der Raumenergieausbreitung von der lokalen $1/R^2$-Struktur in eine kollektive scheibendominierte $1/R$-Struktur. Daraus folgen sowohl flache Rotationskurven als auch
$$M \propto v_{\mathrm{flat}}^4.$$

- **Galaxienhaufen:** Die konkrete kollektive Raumenergiegeometrie ist gesondert zu bestimmen und

darf nicht automatisch aus der Scheibengalaxienlösung übernommen werden.

- **Universum:** Die globale Dynamik wird durch die sinusförmige Entwicklung des Gesamtsystems beschrieben.

Damit verändert sich die fundamentale EKT-Struktur nicht mit der räumlichen Skala. Was sich verändert, ist die konkrete geometrische Organisation der Raumenergie.

Die skalenübergreifende EKT-Kette kann deshalb schematisch geschrieben werden als

Masse-Raum-Kopplung $\longrightarrow$ Raumenergie $\longrightarrow$ skalenabhängige Ausbreitungsgeometrie $\longrightarrow$ beobachtbare Dynamik.

Die EKT benötigt damit nicht für jede räumliche Skala ein neues fundamentales Gravitationsgesetz. Dieselbe Masse-Raum-Struktur führt unter unterschiedlichen geometrischen Bedingungen zu unterschiedlichen phänomenologischen Erscheinungsformen.

21 Vakuumenergie und die 10^{120}-Diskrepanz

21.1 Die theoretische Vakuumenergiedichte der Quantenfeldtheorie

Die Quantenfeldtheorie berechnet die Vakuumenergiedichte unter Verwendung der Planck-Masse, der Lichtgeschwindigkeit und des Planckschen Wirkungsquantums:

$$\rho_{Va} = \frac{m_{Pl} \cdot c^3}{h^3} \cdot c^2 \quad [\mathrm{J/m^3}] \tag{QFTVE}$$

Dieser Wert wird auf etwa das 10^{120}-fache der beobachteten Vakuumenergiedichte von $\sim 10^{-9}$ J/m^3 geschätzt, was die schlechteste theoretische Vorhersage in der Geschichte der Physik darstellt.

21.2 Transformation in das Bild des Elementarquants

Unter Verwendung der Beziehungen $m_G = 2m_{Pl}$ und $r_G = 2r_{Pl}$ mit $m_G r_G = \frac{2h}{\pi c}$ kann die QFT-Gleichung in das Bild des Elementarkörpers transformiert werden:

$$\left(\frac{c}{h}\right)^3 = \frac{8}{\pi^3} \cdot \frac{1}{(m_G r_G)^3} \tag{108}$$

$$\rho_{Va} = \frac{m_G^4 \cdot c^3}{16 \cdot h^3} = \frac{m_G}{2 \cdot \pi^3 \cdot r_G^3} \tag{QFTVE2}$$

Mit dem Kugelvolumen $V_{G,\mathrm{Kugel}} = \frac{4}{3}\pi r_G^3$:

$$\rho_{Va} = \frac{2}{3 \cdot \pi^2} \cdot \frac{m_G}{V_{G,\mathrm{Kugel}}} \tag{QFTVE3}$$

21.3 Die elementarkörperbasierte Energiedichte des Universums

Die Massendichte des Universums gemäß EKT-Abschätzung ist:

$$\rho_{UniEk} = \frac{m(t)}{V(t)_{\text{Universum}}} \tag{109}$$

Mit den Beziehungen:

$$r_0 = \frac{2 \cdot c \cdot t}{\pi} \tag{rt}$$

$$m(t) = \frac{2 \cdot c^3 \cdot t}{\pi \cdot \gamma_G} \tag{MUNI}$$

$$V(t)_{\text{Universum}} = \frac{4}{3}\pi r_0^3 \tag{110}$$

Daraus folgt:

$$\rho_{Va} = \frac{4c^5}{3 \cdot \pi^3 \cdot h \cdot \gamma_G} \cdot t^2 \tag{QFTVE/EKEV}$$

Für $t \approx 13,798$ Milliarden Jahre $= 4,35133728 \cdot 10^{17}$ s wird das Verhältnis:

$$\frac{\rho_{Va}}{\rho_{UniEk}} = \frac{3 \cdot \pi^2}{2} \cdot \frac{r_{\text{Uni}} m_{\text{Uni}}}{F_{EK}} \approx 6,600812 \cdot 10^{120} \tag{UNIVE}$$

Dieses Verhältnis entspricht exakt der berühmten 10^{120}-Diskrepanz zwischen QFT-Vorhersagen und beobachteter Vakuumenergiedichte.

21.4 Interpretation in der EKT

Offensichtlich haben Quantenfeldtheoretiker, ohne es zu realisieren, die Masse-Radius-Kopplung und die daraus resultierende Masse-Radius-Konstanz [F1] mikroskopischer Körper auf kosmische Proportionen extrapoliert. Die enorme Diskrepanz zwischen Quantenfeldtheorie und experimenteller Realität entsteht, weil im Rahmen der herrschenden Physik nicht verstanden wird, dass eine Ausdehnung elementarer Strukturen zu einer äquivalenten Massenreduktion führt. Dies kann sowohl qualitativ als auch quantitativ exakt unter Verwendung der effektiven Masse über die Gravitationsenergie berechnet werden.

Die vorliegenden Betrachtungen sind somit ein eindrucksvoller Hinweis auf die von der EKT propagierte Masse-Radius-Kopplung und ihre Verbindung zu makroskopischen Vielteilchenstrukturen.

22 Vergleich: ART vs. EKT

23 Die kausale Erklärung der Gravitation

Die EKT bietet eine **kausale Erklärung** der Gravitation:

1. **Primäre Größe:** Jeder Elementarkörper hat einen masse-inhärenten Radius r_0.
2. **Transformation:** Massegebundene Energie wird in Raumenergie transformiert (E_R).
3. **Wechselwirkung:** Die Überlappung der Radien (Compton + de-Broglie) ist die Gravitation.
4. **Effektive Masse:** Nur ein Bruchteil der Masse ist gravitativ wirksam: $M_{\text{eff}} = (r_G/r)m_x$.

Kriterium	**ART**	**EKT**
Geometrische Grundlage	Raumzeit (4D, abstrakt)	Kugeloberfläche (3D, konkret)
Was wird geometrisiert?	Gravitation selbst	Der Elementarkörper
Status der Geometrie	Postuliert	Abgeleitet (Freylingscher Eingriff)
Anzahl der Beiträge	1 (Krümmung)	Hierarchisch: F_2 = Quellen-Selbstkorrektur; $F_{\text{Bahn}} = F_1 + F_3$
Freie Parameter	Ja (G, Λ, etc.)	Nein ($m_0 r_0 = 2h/(\pi c)$)
Kausaler Mechanismus	Nein (nur Geometrie)	Ja (Transformation von Masse in Raumenergie)
Dunkle Materie	Postuliert	Nicht benötigt (galaktische Raumenergie-Ausbreitungsgeometrie)
Dunkle Energie	Postuliert	Nicht benötigt (sinusförmige Expansion)
Messbare Grundgröße	Nein (Raumzeit)	Ja (Radius r)

Tabelle 16: Vergleich der ART und der EKT

Die ART hingegen postuliert eine Raumzeitkrümmung, ohne zeigen zu können, was physikalisch gekrümmt wird. Die Frage ≫*Warum ist die Raumzeit gekrümmt?*≪ ist sinnlos, weil die Raumzeit ein rein mathematisches Konstrukt ist. Die EKT stellt diese Frage gar nicht – weil es in der EKT keine Raumzeit gibt. Stattdessen gibt es Raumenergie, die aus der Transformation von massegebundener Energie entsteht.

24 Fazit: Die EKT als kohärentes Gesamtbild

Die Elementarkörpertheorie (EKT) bietet eine vollständige, parameterfreie Beschreibung der Gravitation, die ohne Raumzeitkrümmung auskommt. Die EKT-Gravitation ist dabei nicht als einfache Superposition dreier gleichrangiger Kräfte zu verstehen. Vielmehr sind zwei physikalische Ebenen zu unterscheiden:

$$\boxed{F_2: \text{ Quellen-/Raumenergie-Selbstkorrektur}} \tag{286}$$

und

$$\boxed{F_{\text{Bahn}} = F_1 + F_3: \text{ lokale Bahndynamik.}} \tag{287}$$

Die lokale Bahndynamik folgt aus der statischen gravitativen Wirkung F_1 und der aus der EKT-Metrik resultierenden transversalen Bewegungskopplung F_3. Die Raumenergie-Selbstkorrektur F_2 ist bereits im Quellenparameter M_Φ enthalten und wird nicht als zusätzliche Testkörperkraft angesetzt.

$$F_1(r) = -\frac{\gamma_G M_\Phi m}{r^2}, \qquad F_3(r) = -\frac{3\gamma_G M_\Phi m h^2}{c^2 r^4}. \tag{288}$$

Diese Struktur erklärt einheitlich alle makroskopischen Gravitationseffekte:

- **Planetenbahnen:** Statische gravitative Hauptwirkung ($1/r^2$).

- **Periheldrehung:** Transversale Bewegungskopplung aus der EKT-Metrik ($1/r^4$).
- **Flache Rotationskurven von Galaxien:** Galaktische Raumenergie-Ausbreitungsgeometrie – **ohne Dunkle Materie**.
- **Lichtablenkung und Shapiro-Verzögerung:** Brechungsindex $n(r) = 1/\Phi(r)^2$.
- **Kosmische Expansion:** Sinusförmige Dynamik – **ohne Dunkle Energie**.

Die EKT ist damit nicht nur eine Alternative zur ART, sondern eine **phänomenologisch fundierte, kausale Theorie der Gravitation**, die die gleichen Phänomene beschreibt – aber ohne Raumzeitkrümmung, ohne Kovarianzverletzungen und ohne freie Parameter.

24.1 Die EKT als kohärentes Gesamtbild

Mit dieser hierarchischen Struktur wird das Verständnis makroskopischer Strukturen konsistent:

- **Auf kleinen Skalen (Sonnensystem):** Die lokale Bahndynamik wird durch die statische gravitative Hauptwirkung und die transversale Bewegungskopplung bestimmt.
- **Auf mittleren Skalen (Galaxien):** Die galaktische Dynamik wird durch die Raumenergie-Ausbreitungsgeometrie beschrieben und ersetzt die postulierte Dunkle Materie.
- **Auf großen Skalen (Galaxienhaufen, Universum):** Beschreibt die Raumenergie die Bindung von Strukturen und die Expansion selbst – ohne Dunkle Energie.

Die EKT liefert damit eine **einheitliche, geometrisch-physikalische Beschreibung** aller gravitativen Phänomene, die ohne die metaphysischen Konstrukte der Standardphysik auskommt und den Raum als *aktives, physisches Medium* versteht. Der Raum ist in der EKT kein leerer Behälter und kein mathematisches Konstrukt – er ist das Produkt einer realen Transformation von massegebundener Energie in Raumenergie.

25 Die Standardmodelle der Physik: Eine kritische Bestandsaufnahme der ontologischen und methodischen Defizite von SM und ΛCDM

Folgend handelt es sich um eine umfassende, erkenntnistheoretisch fundierte Kritik an den Standardmodellen der Physik – dem Standardmodell der Teilchenphysik (SM) und dem kosmologischen Standardmodell (ΛCDM). Die Analyse zeigt, dass beide Modelle auf einer Vielzahl freier Parameter, unbeobachtbarer Postulate und methodisch zirkulärer Selbstbestätigungen beruhen. Die Arbeit dokumentiert die methodische Irrationalität der Standardmodelle.

25.1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit unternimmt eine systematische, erkenntnistheoretisch fundierte Kritik an den Standardmodellen der Physik – dem Standardmodell der Teilchenphysik (SM) und dem kosmologischen Standardmodell (ΛCDM). Die Analyse zeigt, dass beide Modelle auf einer Vielzahl freier Parameter, unbeobachtbarer Postulate und methodisch zirkulärer Selbstbestätigungen beruhen. Die Kritik erstreckt sich von der Massenproblematik des Higgs-Mechanismus über die unbegründete Substrukturierung durch Quarks und Gluonen bis hin zur kosmologischen Inflation und Dunklen Energie.

25.2 25 freie Parameter des Standardmodells der Teilchenphysik (SM)

Das Standardmodell der Teilchenphysik (SM) operiert mit einer Vielzahl freier Parameter, die nicht aus der Theorie selbst abgeleitet werden können, sondern experimentell bestimmt werden müssen:

- **3 Kopplungskonstanten:**
  - der starken Wechselwirkung (α_s) – 8 Gluonen, Farbladung
  - der elektromagnetischen Wechselwirkung (α) – Photon, elektrische Ladung
  - der schwachen Wechselwirkung (α_W) – W^+, W^-, Z^0
- **6 Quarkmassen**
- **3 Massen der geladenen Leptonen** (Elektron, Myon, Tau)
- **4 Winkel zur Beschreibung von Quark-Zerfällen**
- **1 Winkel zur Beschreibung der CP-Verletzung in der starken Wechselwirkung**
- **Masse des Higgs-Bosons**
- **3 Massen und 4 Mischungswinkel massebehafteter Neutrinos**

Die Particle Data Group (PDG) zählt nach einer Zählkonvention, die zwischen Teilchen und Antiteilchen sowie den vielen Farbzuständen von Quarks und Gluonen unterscheidet, insgesamt 61 Elementarteilchen. Wenn Neutrinos ihre eigenen Antiteilchen sind, würde die Gesamtzahl der Elementarteilchen nach denselben Zählkonventionen 58 betragen. (Quelle)

Das Taktieren mit mehr als 20 freien Parametern macht ,,Alles“ möglich – dies dürfte selbst für Normalbegabte verständlich sein. Streng genommen ist das Standardmodell der Teilchenphysik (SM) mit derzeit 25 freien Parametern, stetiger Nachparametrisierung, wiederholter Substrukturierung, Confinement-These und weiteren Ad-hoc-Annahmen ein **philosophisches und kein physikalisches Denkmodell**. Mit anderen Worten: Die deutlich weniger, genauer spärlich, voraussagefähige Quantenchromodynamik (QCD) ist als anerkanntes Theoriekonzept naturphilosophisch betrachtet, im Verhältnis zur QED, nicht der Rede wert, da die Anzahl der freien Parameter und die Anzahl der mit den Jahren auf Grund von Unstimmigkeiten zu Meßergebnissen dazugekommenen postulierten Theorie-Objekte jeden argumentativ vertretbaren Rahmen sprengen.

Die elektroschwache Theorie und das Konzept der Eichbosonen als ,,Wechselwirkungsvermittler“ sowie ,,energieerhaltungssatzverletzendes Virtuelles“ und nicht (direkt) beobachtbare ,,Energieräuber“ – sprich Neutrinos – sind mathematik-generierte Emotionen überforderter ,,Wissenschaftler“, die Fantasien aber schon lange kein Wissen mehr schaffen. Realphysikalisch und erkenntnistheoretisch ist das SM eine **methodische Nullnummer**.

Die Diskrepanzen zwischen experimentellen Daten und nicht passenden Theorien wurden und werden nachträglich passend gemacht. SM-übliche ,,Maßnahmen“ waren und sind die Einführung weiterer Theorieobjekte samt neuer Quantenzahlen.

Ein Überblick über das Standardmodell der Teilchenphysik findet sich ,,unter“ Review of Particle Physics der Particle Data Group. Dort findet man neben experimentellen Methoden und Theoriebeschreibungen der derzeitigen Teilchenphysik grundlegende Informationen zu Quarks, Neutrinos, Formfaktoren, ... sowie Informationen zu ,,noch“ hypothetischeren Teilchen, wie beispielsweise Leptoquarks oder Axionen. Astrophysikalische ,,Konzepte“, kosmologische Parameter, experimentelle Tests von Gravitationstheorien etc. Des Weiteren werden (apparative) Aspekte der Beschleuniger-Physik, Monte-Carlo-Simulationen und vieles mehr vorgestellt.

Die Particle Data Group (PDG) ist eine internationale Kollaboration, die eine ausführliche Zusammenfassung der Teilchenphysik und verwandter Bereiche der Kosmologie bietet. Die PDG-Kollaboration besteht aus 227 Autoren aus 159 Institutionen in 24 Ländern (Stand 2017), siehe online. Sie wird von einem Koordinationsteam geleitet, das sich hauptsächlich am Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) befindet, das seit Gründung der PDG als Hauptsitz dient.

Die Grundlagen der Quantenchromodynamik (QCD) siehe hier.

25.3 Das Massen-Dilemma des Standardmodells und der kosmologische Offenbarungseid

Die etablierte Teilchenphysik postuliert, dass der Higgs-Mechanismus den Elementarteilchen ihre Masse verleiht. Eine genauere Analyse offenbart jedoch eine fundamentale methodische Schwäche: Die Massen von Entitäten wie Elektronen, Myonen oder postulierten Quarks werden innerhalb des Modells **nicht aus Grundprinzipien berechnet**, sondern müssen als **freie Parameter** experimentell bestimmt und manuell in die Theorie eingesetzt werden. Der Higgs-Mechanismus fungiert hierbei lediglich als formalkonsistenter Rahmen zur Einbettung bereits bekannter Werte, nicht als deren physikalische Herleitung.

Besonders deutlich wird dieses Erklärungsdefizit bei der Betrachtung der baryonischen Materie (Protonen und Neutronen). Nur etwa **1 %** der Nukleonenmasse lässt sich auf die Higgs-Kopplung zurückführen. Die verbleibenden **99 %** werden postuliert dynamischen Effekten der **starken Wechselwirkung** zugeschrieben, für die das SM **keine geschlossene analytische Lösung** besitzt. Somit bleibt der Ursprung der Masse für den Großteil der sichtbaren Welt im Rahmen des SM formal unbegründet.

25.3.1 Der ,,Offenbarungseid“ des kosmologischen Standardmodells (ΛCDM)

Das ΛCDM-Modell beschreibt ein Universum, das zu ca. **95 %** aus unbeobachteten Konstrukten besteht: **68 %** Dunkle Energie und **27 %** Dunkle Materie. Die verbleibenden **5 %** entfallen auf die bekannte baryonische Materie.

Setzt man die Defizite des SM in diesen Kontext, ergibt sich eine drastische Konsequenz: Von diesen **5 %** sichtbarer Materie kann die Teilchenphysik wiederum nur den Higgs-Anteil (ca. **1 %**) formal parametrisieren.

Daraus folgt rechnerisch, dass das kosmologische Standardmodell auf der Grundlage seiner eigenen Postulate lediglich 0,05 % des Universums analytisch-formal erfassen kann.

Die restlichen **99,95 %** der behaupteten kosmischen Realität entziehen sich einer analytischen Durchdringung und werden in Form von Platzhalter-Entitäten oder numerischen Näherungen verwaltet.

25.3.2 Gitter-QCD und Störungsrechnung als methodische Immunisierung

Die Behauptung, die starke Wechselwirkung sei durch die **Gitter-Quantenchromodynamik (Gitter-QCD)** berechenbar, bedarf einer wissenschaftstheoretischen Korrektur. Bei der Gitter-QCD handelt es sich **nicht** um eine deduktive analytische Theorie, sondern um ein **numerisches Approximationsverfahren**.

Der FLAG-Bericht [1] stellt unmissverständlich fest, dass Quarkmassen freie Parameter der Theorie sind, die nicht aus rein theoretischen Erwägungen gewonnen werden können. Da Quarks aufgrund des Confinements nicht isoliert gemessen werden können, ist ihre Bestimmung zwingend an den Vergleich mit experimentellen Observablen gekoppelt.

Der Prozess ist im FLAG-Review [1] wie folgt definiert:

- Observablen werden für eine Vielzahl von **Input-Werten** der Quarkmassen berechnet.
- Diese Werte werden so lange **angepasst („adjusted“)**, bis sie die experimentellen Ergebnisse reproduzieren [1].
- Eine weitere Observable (wie die Pion-Zerfallskonstante oder Baryonenmassen) wird zwingend benötigt, um die **Gesamtskala zu fixieren** [1].

Damit liefert das Modell keine unabhängige Herleitung der Massen, sondern nimmt diese effektiv als Eingabeparameter entgegen, um Übereinstimmung mit der Empirie zu erzwingen.

25.3.3 Tuning statt Vorhersage

Die Fachquelle dokumentiert exakt das Verfahren, das in der EKT als „ergebnisorientierte Simulation“ bezeichnet wird. Die Quarkmassen gehen als sogenannte **„Bare Parameters“** (nackte Parameter) in die Rechnung ein. Diese hängen von der gewählten Gitter-Regularisierung ab und müssen nachträglich renormiert werden.

Die Gitter-QCD nutzt hierfür explizit den Begriff des **Tunings**: *„light-quark masses are typically obtained by [...] tuning them to reproduce NGB masses“* [1]. Aus Sicht der Elementarkörpertheorie stellt dieser Vorgang eine **„Zirkelschluss-Glaubensarbeit“** dar. Anstatt die physikalische Realität aus Grundprinzipien zu berechnen, wird das mathematische Modell iterativ so modifiziert, bis es die bereits bekannte Realität widerspiegelt. Die „hervorragende Übereinstimmung“ ist somit kein analytischer Erfolg, sondern das Resultat einer gigantischen numerischen Anpassung auf Rechner-Clustern.

25.3.4 Methodische Komplexität und Inkonsistenzen

Der FLAG-Review [1] verdeutlicht zudem die enorme Komplexität, die notwendig ist, um überhaupt konsistente Werte zu erhalten:

- **Phänomenologische Korrekturen:** Es müssen Korrekturen für elektromagnetische Effekte (QED) und Isospin-Brechungen einberechnet werden [1, 4]. Diese beruhen oft auf phänomenologischen Modellen statt auf der QCD selbst.
- **Inkompatible Ergebnisse:** Unterschiedliche Forschungskollaborationen wie MILC, BMW oder RBC/UKQCD kommen trotz ähnlicher Grundmethoden zu teils inkompatiblen Ergebnissen, etwa bei

der Bestimmung des elektromagnetischen Selbstenergie-Koeffizienten ϵ [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11].

- **Systematische Unsicherheiten:** Fehlerquellen, wie die Vernachlässigung des Charm-Quarks in der „See“, werden oft nur konservativ geschätzt, da eine präzise Quantifizierung a priori kaum möglich ist.

25.3.5 Die Anatomie des Zirkelschlusses („Tuning“)

Der Prozess der Parameterbestimmung in der Gitter-QCD, wie er im international maßgeblichen FLAG-Review [1] dokumentiert wird, folgt einer logischen Kette, die den Vorwurf der Zirkularität technisch untermauert:

- **Input:** Man beginnt mit freien Parametern für die Quarkmassen, da diese theoretisch nicht ableitbar sind. Der FLAG-Review [1] stellt hierzu fest:

  > „Quark masses cannot be measured directly in experiment because quarks cannot be isolated, as they are confined inside hadrons. On the other hand, quark masses are free parameters of the theory and, as such, cannot be obtained on the basis of purely theoretical considerations.“ [1]

- **Prozess:** Diese Parameter werden numerisch so lange verändert, bis das Ergebnis der Simulation mit den Messwerten übereinstimmt. Die Quelle [1] beschreibt diesen Vorgang wie folgt:

  > „One computes as many experimentally measurable quantities as there are quark masses. [...] They are usually computed for a variety of input values of the quark masses which are then adjusted to reproduce experiment.“ [1]

- **Skalenfixierung:** Um das gesamte Rechengitter physikalisch zu eichen, wird ein weiterer Messwert als Anker herangezogen:

  > „Another observable, such as the pion decay constant or the mass of a member of the baryon octet, must be used to fix the overall scale.“ [1]

- **Logische Folge:** Das Ergebnis der Rechnung ist somit kein unabhängiger Beweis der Theorie, sondern eine Konsequenz des vorherigen „Tunings“. Der Review [1] bestätigt dies explizit für die leichten Quarks:

  > „Thus, in lattice calculations, light-quark masses are typically obtained by [...] tuning them to reproduce NGB masses [Nambu-Goldstone-Boson-Massen, wie Pionen oder Kaonen].“ [1]

Die Notwendigkeit dieser Skalenfixierung wird in der Fachliteratur durch verschiedene Kollaborationen dokumentiert, die unterschiedliche Methoden zur Bestimmung der Gitterkonstanten verwenden [3, 4, 5, 6, 7].

25.3.6 Parametrisierung vs. Deduktion

Aus der Sicht eines Logikmodells besteht der entscheidende Unterschied darin, ob eine Theorie konstitutiv (aus Prinzipien ableitend) oder deskriptiv (nachträglich beschreibend) operiert:

Etablierte Physik (Deskriptiv): Sie nutzt hochkomplexe numerische Verfahren, um die Realität abzubilden, gesteht aber ein, dass fundamentale Größen wie die Aufteilung von Massen auf reinen Konventionen beruhen:

> „The decomposition of the sum $L_{\mathrm{QCD}} + L_{\mathrm{QED}}$ into two parts is not unique and specifying the QCD part requires a convention. [...] Such a convention allows us to distinguish the physical mass M_P [...] from the mass $\hat{M}_P$ within QCD.“ [1]

Die Korrekturen für elektromagnetische Effekte werden in der Literatur detailliert behandelt [14, 15, 16], was die methodische Komplexität weiter unterstreicht. Die Pion-Pion-Streuungslängen liefern hier zusätzliche experimentelle Eingaben [13]. Die Beziehung zwischen Quarkmassen und Mesonmassen wird durch die Gell-Mann-Oakes-Renner-Relation [12] beschrieben, die jedoch ihrerseits auf phänomenologischen Annahmen beruht.

In aktuellen Strategiepapieren wird dieser rein instrumentelle Charakter der Simulationen als Zielsetzung für die kommenden Jahrzehnte weiter festgeschrieben:

> „We provide predictions for an increasing set of Standard Model observables and parameters [...] These facilitate the full exploitation of experimental data at both the intensity and energy frontiers. In this document we argue that for sustained progress the community requires continued access to computing as well as storage resources at large Tier-0/1 high-performance-computing centres.“ [2]

Das Standardmodell „erklärt“ Massen somit nicht kausal, sondern nutzt massive Rechenleistung, um experimentelle Daten nachträglich in ein parametrisiertes mathematisches Korsett einzupassen.

Fazit: Der Zirkelschluss besteht darin, dass die Gitter-QCD experimentelle Daten benötigt, um ihre eigenen Parameter zu definieren, und anschließend die Übereinstimmung mit genau diesen Daten als Erfolg der Theorie deklariert. Die Berechnungen (z. B. via Monte-Carlo-Integrationen auf Rechner-Clustern) werden so lange iterativ modifiziert, bis sie die bekannten experimentellen Messwerte reproduzieren. Dieser Prozess der nachträglichen Anpassung an die Realität („Zirkelschluss-Glaubensarbeit“) stellt **keine unabhängige Vorhersage** dar, sondern eine extrem aufwendige **Eichung an die Empirie**.

In der Fachwelt wird diese „hervorragende Übereinstimmung“ oft als analytischer Erfolg verkauft, obwohl es sich methodisch um eine „gigantische numerische Anpassung“ handelt.

Im Gegensatz zu diesem aufwendigen numerischen Verfahren zeigt die **Elementarkörpertheorie (EKT)**, dass eine Rückführung auf die primäre Größe der radialen Ausdehnung r ausreicht, um Massen und Radien (wie den Protonenradius oder die Rydberg-Energie) mit **null freien Parametern** analytisch exakt aus der fundamentalen Masse-Radius-Konstantengleichung ($m_0 r_0 = 2h/\pi c$) abzuleiten.

25.3.7 Fazit: Postulatsysteme statt Erkenntnistheorien

Die Analyse verdeutlicht, dass das Standardmodell der Teilchenphysik und das kosmologische Standardmodell **keine physikalischen Theorien** im Sinne einer kausalen Rückführung auf primäre Größen sind. Sie präsentieren sich stattdessen als:

- **Komplexe Postulatsysteme**, die durch eine wachsende Zahl freier Parameter (derzeit **25** im SM, **6** in der minimalsten Form für das kosmologische Standardmodell) eine „Deutungs-Beliebigkeit“ erzeugen.
- **Theoriebeladene Konstrukte**, die physikalische Erklärungsnot durch die Einführung immer neuer, empirisch unzugänglicher Stützannahmen (Dunkle Materie, Inflation, virtuelle Teilchen) maskieren.
- **Mathematische Artefakte**, die zwar interne Kohärenz beanspruchen, aber nur einen verschwindend geringen Bruchteil des postulierten Universums tatsächlich formal-analytisch begründen können.

Die Konsequenz

Das ist nicht nur eine extreme methodische Schwäche – es ist **eine erkenntnistheoretische Bankrotterklärung**. Keine andere physikalische Theorie in der Geschichte der Wissenschaft hat jemals einen so geringen Anteil ihres postulierten Gegenstandsbereichs ,,erklärt".

25.4 Was denken Pioniere der Teilchenphysik über das Standardmodell?

Ein Statement des Physiknobelträgers des Jahres 1976, Burton Richter, aus dem Jahre 2006 beinhaltet eine klare Antwort:

> ,,Für mich ist etwas, was heute für die am weitesten fortgeschrittene Theorie der Teilchenphysik gilt, nicht wirklich Wissenschaft. Als ich mich kürzlich mit drei angesehenen Theoretikern auf einem Podium befand, konnte ich der Gelegenheit nicht widerstehen zu diskutieren, was ich als Hauptproblem in der Philosophie hinter der Theorie sehe, die scheinbar in eine Art metaphysisches Wunderland übergegangen ist. Vereinfacht gesagt, scheint es sich bei vielen der aktuellsten Theorien um theologische Spekulationen und um die Entwicklung von Modellen ohne überprüfbare Konsequenzen zu handeln. . . "

Quelle: Physics Today October 2006: Theory in particle physics: Theological speculation versus practical knowledge

Burton Richter (1931–2018) erhielt 1976 zusammen mit Samuel C. C. Ting den Physik-Nobelpreis.

Die mathematischen Konzepte des SM entspringen im Kern realphysikbefreiten Abstraktionen. Resultat: Konträr zur sachdienlichen Forderung erkenntnistheoretischer Betrachtungen sind die ,,Ergebnisse" der Theoretischen Grundlagenphysik zu den vermeintlichen ,,Elementarteilchen" eher emotional statt wissenschaftlich begründete Antworten auf die ideologische Frage, auf welches theoretische Konzept man sich ,,heute und demnächst" einigt. [Daher kommt vermutlich auch die amerikanisierte Begriffs-Verniedlichung (Axion, WIMP, Beauty-Quark, Charme-Quark, . . .) als implizierter Hilferuf: *erlöst uns von unserem Nonsense, auch wenn wir etwas anderes behaupten.*] Die Natur hat sich gefälligst den theoretischen Implikationen zu unterwerfen. Heute sind es beispielsweise noch postuliert nicht nachweisbare, elementare Quarks, morgen möglicherweise ,,Preonen-Substrukturierte".

Lesenswert ist auch der Spiegel-Artikel ,,Sperrt das Desy zu¡' aus dem Jahre 1999, in dem Hans Graßmann die ,,methodische Leere" des DESY beschreibt: ,,Glaubt den Desy-Managern nicht: Die öden Zahlenkolonnen, die das Desy produziert, das ist nicht die Physik. . . "

Wenn man zum Verständnis des praktizierten horrenden Unsinns in der Theoretischen und Experimentellen Hochenergiephysik im Rahmen des Standardmodells der Elementarteilchenphysik (SM) ,,etwas" lernen möchte, so bietet sich Sabine Hossenfelders Beitrag, veröffentlicht am 26.09.2022 im The Guardian an. Des Weiteren hat sie dazu einen Blogbeitrag am 28.09.2022 veröffentlicht.

Nachfolgend exemplarisch einige Aussagen im Guardian zum Verständnis, warum Frau Hossenfelder von den Apologeten und Epigonen des SM ,,scharf angegangen" wird:

> ,,Unter vier Augen geben viele Physiker zu, dass sie nicht an die Existenz der Teilchen glauben, für deren Suche sie bezahlt werden. . . "

„Stellen Sie sich vor, Sie besuchen eine zoologische Konferenz. Die erste Rednerin spricht über ihr 3D-Modell einer 12-beinigen lila Spinne, die in der Arktis lebt. Sie gibt zu, dass es keine Beweise für ihre Existenz gibt, aber es ist eine überprüfbare Hypothese, und sie plädiert dafür, eine Mission auszusenden, um in der Arktis nach Spinnen zu suchen. Der zweite Redner hat ein Modell für einen fliegenden Regenwurm, der aber nur in Höhlen fliegt. Auch dafür gibt es keine Beweise, aber er plädiert dafür, die Höhlen der Welt zu durchsuchen. Der dritte Referent hat ein Modell für Kraken auf dem Mars. Es ist überprüfbar, betont er. Hut ab vor den Zoologen, ich habe noch nie von einer solchen Konferenz gehört. Aber auf fast jeder Teilchenphysik-Konferenz gibt es Sitzungen wie diese, nur dass sie mehr Mathematik beinhalten."

„Unter Physikern ist es üblich geworden, neue Teilchen zu erfinden, für die es keine Beweise gibt, Papiere darüber zu veröffentlichen, weitere Papiere über die Eigenschaften dieser Teilchen zu schreiben und zu verlangen, dass die Hypothese experimentell getestet wird. Viele dieser Tests sind bereits durchgeführt worden, und weitere werden gerade in Auftrag gegeben. Das ist eine Verschwendung von Zeit und Geld."

„Als ehemalige Teilchenphysikerin macht es mich traurig zu sehen, dass dieses Gebiet zu einer Fabrik für nutzlose akademische Studien geworden ist."

25.5 Confinement und Asymptotische Freiheit – Erkenntnistheorie ade

Die „Probleme" mit den Theorie-Taten des 1951 geborenen Frank (Anthony) Wilczek besitzen Alleinstellungsmerkmale der besonderen Art. Er bevorzugte Unverstand der Teilchenphysik metaphysisch unter Zuhilfenahme von einem neuen Theorieobjekt erklären zu wollen, das er nach einem amerikanischen Waschmittel *Axion* benannte (Amerikaner blichen in den 1970er Jahren ihre Unterwäsche damit). Einen Physiknobelpreis bekam Wilczek zusammen mit David Gross und H. David Politzer 2004 für die Einführung der Asymptotischen Freiheit in die Theorie der starken Wechselwirkung.

In dem „scientific paper" Asymptotische Freiheit – Vom Paradoxon zum Paradigma schreibt Wilczek einleitend u.a.:

„In theoretical physics, paradoxes are good. That's paradoxical, since a paradox appears to be a contradiction, and contradictions imply serious error. But Nature cannot realize contradictions. When our physical theories lead to paradox we must find a way out. Paradoxes focus our attention, and we think harder."

Dann schreibt er unter 1.1: „Quarks are Born Free, but Everywhere They are in Chains."

Soviel zu den fehlenden sprachlichen Möglichkeiten und dem Wunsch Wilczeks Sachzusammenhänge zwanghaft vermenschlicht abzubilden. Wilczeks infantile Art erinnert an einen Möchtegern-Komiker, der um menschliche Nähe bemüht ist. Das ist aus Unterhaltungsgründen traurig genug. Doch die aus seinen Beiträgen zur Theorie der Materiebildung resultierenden, prägenden Arbeiten sind das eigentliche Problem. Asymptotische Freiheit und die Confinement-These tragen das Gebäude der Quantenchromodynamik. Einfach ausgedrückt: Unter erkenntnistheoretischen Gesichtspunkten lösen diese Postulate nicht die phänomenologischen Probleme, sondern erheben schlicht das eigentliche Versagen der Theorie zur Theorie.

Am Rande bemerkt kann noch festgestellt werden, daß nicht einmal innerhalb des willküraffinen SM

Klarheit herrscht. Zum Confinement heißt es in der englischen Wikipedia-Ausgabe: ,,There is not yet an analytic proof of color confinement in any non-abelian gauge theory.“ In der deutschen Version lautet das: ,,Eine vollständige theoretische Beschreibung dieses experimentellen Befundes steht noch aus.“

25.6 Anfang und Ende des SM – vom SM selbst nachgewiesene fatale Theoriefehler

25.6.1 Quarks sind keine Fermionen – Der nicht vorhandene Spin der Quarks und Gluonen

Ich möchte und ,,muß“ das an dieser Stelle nicht im Detail fachlich vertiefen, weil es gar nicht notwendig ist, da es sich sprichwörtlich leicht aufzeigen läßt, daß sich aus übergeordnet rational logischen Gründen die These, dass Quarks Fermionen sind (und insbesondere innerhalb der Struktur und Implikationen des SM), eindeutig widerlegen läßt, da entsprechende Standardmodell induzierte Versuche existieren, die das aussagen.

Und hier haben wir eine konkrete Situation vorliegen, die äußerst schwer zu ,,verkraften“ ist. Psychologisch erst einmal nahezu unlösbar, weil sich niemand vorstellen kann, daß eine tragende Hypothese eines über Jahrzehnte etablierten Denkmodells nachweislich falsch ist und als solche nicht korrigiert wird. Zigtausende gut ausgebildete Wissenschaftler über mehrere Generationen leben und arbeiten mit einer gravierenden Falschaussage? Insbesondere Laien aber auch Physiker, die nicht mit dem Formalismus des SM vertraut sind, können sich schlicht nicht vorstellen, daß dies möglich ist. Man unterstellt dem kritischen Betrachter, der auf die nachweisbaren Zusammenhänge aufmerksam macht, daß dieser etwas übersehen hat, emotional begünstigt durch den Umstand, das man ja selbst nicht über die nötige mathematisch-formale Sachkenntnis verfügt. Das sind äußerst schwierige Randbedingungen aus Sicht realitätssuchender Aufklärung. Wie auch immer, ich bin der Meinung, daß der Sachverhalt sehr wohl erklär- und verstehbar ist. Ich versuche es mal:

Die erste Annahme war, bedingt durch die theoretischen Vorgaben Mitte der 1960er Jahre, daß im Bild des SM der postulierte Protonenspin sich zu 100 % aus den Spinanteilen der Quarks zusammensetzt. Diese Annahme wurde 1988 bei den EMC-Experimenten nicht bestätigt. Ganz im Gegenteil, es wurden sehr viel kleinere, sogar mit Null verträgliche Anteile gemessen ($\Delta\Sigma = 0.12 \pm 0.17$, European Muon Collaboration). Die Quark-These von fermionischen Spin-$\frac{1}{2}$-Teilchen wurde experimentell nicht bestätigt. Hier hätte man aus wissenschaftlicher Sicht die ,,Quark-Idee“ – experimentell basierend – argumentativ überprüfen müssen. Man kann diesen verpassten (möglichen) Wendepunkt gar nicht genug ,,strapazieren“. Mit welcher Berechtigung werden (auch heute noch) Quarks als Spin-$\frac{1}{2}$-Teilchen ,,vorgestellt“?

Psychologisch ist das insofern leicht verständlich, da das SM Ende der 1980er Jahre bereits mehr als 20 Jahre existierte. Das in den sechziger Jahren von Richard Feynman entwickelte Quark-Parton-Modell (QPM) beschreibt Nukleonen als Zusammensetzung grundlegender punktförmiger Bauteile, die Feynman Partonen nannte. Diese Bauteile wurden daraufhin mit den wenige Jahre zuvor gleichzeitig von Gell-Mann und Zweig postulierten Quarks identifiziert. Man hoffte also Ende der 1980er Jahre darauf, dass es zukünftig Experimente geben wird, die den halbzahligen Spin der Quarks bestätigen. Eine Abkehr von der Hypothese, dass Quarks Fermionen sind, wäre das Ende des SM gewesen. Dann ,,passierte“ etwas phänomenologisch Merkwürdiges. Weitere Denkansätze und Versuche brachten neue Theorieelemente ins Spiel. Merkwürdig in dem Sinne, daß mit dieser Idee das Quark als Träger eines intrinsischen Spinbeitrages bei genauer Sicht bereits gedanklich abgeschafft wurde.

25.6.2 Zum (besseren) Verständnis einige Hintergründe zur Spinproblematik

Der quantenmechanische Spin ,,existiert“ spätestens seit 1930 betrachtungsinkonsistent und ohne ,,Spin-Phänomenologie“ rein mathematisch, siehe exemplarisch:

Kapitel 10.2 Diracsche Elektronentheorie 1928 Seite 10006: ,,Denn der neue Drehimpuls hat mit dem, was man sich unter diesem Namen als mechanische Größe vorstellen kann, nichts mehr gemein. Er entsteht aus keiner Bewegung, sondern aus dem Zusammenwirken eines räumlichen Vektors mit den Dirac-Matrizen in dem Raum ihrer vier abstrakten Dimensionen.“

Mit anderen Worten: Die Quantenmechanik (QM) ,,arbeitet“ oft in Illustrationen und semantischen Ausführungen mit einer falschen Suggestion mittels des Begriffes Spin (Eigenrotation), doch der assoziierte QM-Formalismus beschreibt keine solche realphysikalische Rotation. ,,Einfach“ ausgedrückt: Der quantenmechanische Spin hat nichts mit einer Rotation zu tun und ist sozusagen nichts weiter als eine notwendige aber vollkommen unbegründete (sprich ohne realphysikalische Anschauung) Quantenzahl, die im Rahmen der herrschenden Physik rein mathematisch generiert wird (vierkomponentiges Dirac-Spinorfeld mit vier Dirac-Matrizen).

Um möglichen Mißinterpretationen (,,Nicht-SM-Eingeweihter“) vorzubeugen, sei darauf hingewiesen, daß sowohl der von der Theorie geforderte Betrag des Spinwertes des Elementarteilchens ,,Quark“ als auch der resultierende aus 3 Quarks zusammengesetzte Betrag des Spinwertes des Protons gemäß SM $\frac{1}{2}$ betragen soll.

Werner Heisenberg folgerte 1932, dass Proton und Neutron zwei Zustände ein und desselben Teilchens des Nukleons sind. Zur Unterscheidung wurde der Isospin eingeführt. Die z-Komponente des Isospins des Neutrons beträgt $-\frac{1}{2}$, die des Protons $+\frac{1}{2}$. Diese stehen im Quark-Modell für die beiden Quarks up-Quark ($I_z = \frac{1}{2}$) und down-Quark ($I_z = -\frac{1}{2}$). Für Antiquarks ändert sich das Vorzeichen von I_z. Die Quarks s (strange), c (charme), b (beauty) und t (top) tragen keinen Isospin.

Der Isospin ist eine Eigenschaft aller Elementarteilchen mit starker Wechselwirkung. Das Photon und die Leptonen (Elektron, Myon, Neutrino) haben keinen Isospin. Die Eigenschaft ,,Isospin“ läßt sich jedoch nicht durch einen einfachen Zahlenwert darstellen, sondern ist eine gequantelte Größe mit drei Komponenten, die sich wie die Komponenten eines Vektors verhalten. Dies ist allerdings kein Vektor im gewöhnlichen physikalischen Raum, sondern ein Vektor in einem abstrakten ,,Isospinraum“ oder ,,I-Raum“. Da alle Elementarteilchen und Systeme aus ihnen aber auch einen charakteristischen wirklichen Quantenvektor mit sich tragen, ihren ,,Spin“, ergibt sich eine formale Analogie des Isospins mit diesem Spin. Über diese formale Verwandtschaft hinaus hat der Isospin mit dem Spin nichts zu tun.

Bedeutet allgemeiner: Quantisierte Eigenschaften werden hier durch innere Symmetrien charakterisiert und haben nichts mehr mit Eigenschaften im üblichen Sinne gemeinsam, die als den Dingen inhärente physische Qualitäten aufgefasst werden können. Der Isospin der Nukleonen oder die ,,Farbe“ der Quarks drücken überhaupt keine Qualitäten in diesem Sinne mehr aus, sondern nur noch beliebig festgelegte Basiszustände beziehungsweise Richtungen in einem abstrakten Raum, die durch Symmetrietransformationen aufeinander bezogen werden. Aber auch die daraus entstandene Annahme, daß die ins Leben gerufenen Gluonen zum Protonenspin beitragen, ergab nicht das gewünschte Ergebnis. In der dritten, derzeit aktuellen Theorie-Fassung sollen nun Quarks, Gluonen und deren dynamisch-relativistische Bahndrehimpulse im Ergebnis fein säuberlich den Protonenspin ausmachen.

Bei genauer Betrachtung besitzt diese 2. Nachkorrektur den ,,Vorteil“, daß das Ergebnis im Rahmen der Gitter-Eichfeld-Theorie und Konstrukten wie ,,Pionenwolken“ rein algorithmisch in Großrechner-Anlagen ,,errechnet“ wird und aus Sicht der SM-Gläubigen nicht falsifiziert werden kann. Es wird also solange ,,kombiniert“, bis das gewünschte Ergebnis iterativ vorliegt.

Aber hier kommt das riesengroße, übermächtige, logisch rational begründete ABER: diese Maßnahme rechtfertigt offensichtlich keine Klassifizierung der Quarks als Fermionen. Denn egal wie konstruiert das asymmetrische Ensemble aus nicht beobachtbaren postulierten Theorieobjekten und Wechselwirkungen auch immer annonciert wird, die Quarks selbst werden dadurch nicht zu Spin-$\frac{1}{2}$-Teilchen-Entitäten.

Der Sachverhalt lässt sich (glücklicherweise) allgemein formulieren. Die Behauptung, eine Entität (Quark) besitzt einen meßbaren intrinsischen Wert, ist widerlegt, wenn Messungen keine solchen Ergebnisse liefern. Die Addition von weiteren postulierten Theorieobjekten (postulierte Gluonen) und weiteren postulierten Wechselwirkungen (relativistische Effekte) mögen in der Summe der Ereignisse den theoriegewünschten Wert ergeben, aber dadurch erhält respektive enthält die ursprüngliche Entität nicht den postulierten intrinsischen Wert. Diese Argumentation ist so einfach wie sie verständlich ist.

Und nun? Ohne Quarks als Fermionen ist das SM am Ende. Dieser Umstand wird nicht thematisiert, verdrängt und wenn nötig verschwiegen. Es ist naiv zu glauben, daß die rational-logisch zu verstehende Erkenntnis ,,Quarks sind keine Fermionen“ sich ,,einfach“ so durchsetzen wird. Denn dann sind alle bisherigen SM-Bemühungen ,,Geschichte“. Epizykeltheorie und Phlogistontheorie grüßen. Es bedarf öffentlich wahrnehmbarer ,,sozialer“ Situationen, die mit erfahrenen und kompetenten Moderatoren weite Verbreitung finden, um den seit Jahrzehnten bekannten Fake News des SM, die einem Super-Gau der Erkenntnistheorie und Super-Gau der Logik entsprechen, ein Ende zu bereiten.

(Ein Beispiel am Rande bemerkt: Frau Hossenfelder hat, trotz der Tatsache, daß sie in Teilen eine Kritikerin des SM ist, meine diesbezüglichen Kommentare in ihren themenrelevanten Blogbeiträgen nicht veröffentlicht. Ein möglicher Grund: Frau Hossenfelder ,,mag“ Quarks als Fermionen – oder genauer: auch Frau Hossenfelder braucht Quarks im Hinblick auf die von ihr favorisierte Quantengravitation, da ohne fermionische Quarks das SM und letztendlich jede assoziierte aktuelle Quantenfeldtheorievariation mangels Fermionenbasis nichtig ist.)

25.6.3 Quark-Parton-Modell und tiefinelastische Streuung

Das in den sechziger Jahren von Richard Feynman entwickelte Quark-Parton-Modell (QPM) beschreibt Nukleonen als Zusammensetzung grundlegender punktförmiger Bauteile, die Feynman Partonen nannte. Diese Bauteile wurden daraufhin mit den wenige Jahre zuvor gleichzeitig von Gell-Mann und George Zweig postulierten Quarks identifiziert. Gemäß Quark-Parton-Modell ist ein tiefinelastisches Streuereignis (DIS: deep inelastic scattering) als eine inkohärente Überlagerung elastischer Lepton-Parton Streuprozesse zu verstehen. Dieses Bild gilt aber nur, wenn der Impulsübertrag durch das Photon ausreichend groß ist, so dass die einzelnen Partonen aufgelöst werden können; d.h., dass man sich in dem als tiefinelastisch bezeichneten Bereich der Lepton-Nukleon-Streuung befindet.

Eine Kaskade von Wechselwirkungs-Mutmaßungen, Näherungen, Korrekturen und zusätzlichen Theorieobjekten ,,verfeinerten“ in der Folgezeit das theoretische Nukleonen-Modell. Es ergeben sich u.a. Nukleonstrukturfunktionen als Summationen der Partonstrukturfunktionen über postulierte Helizitäts- und Ladungszustände aller im Nukleon postulierten ,,Quarksorten“. Im quantenchromodynamik-erweiterten Partonmodell sollen Quarks Gluonen abstrahlen, die entweder von den Quarks selber wieder absorbiert werden, oder aber Quark-Antiquark-Paare erzeugen oder weitere Gluonen abstrahlen. Diese ,,Folge-Partonen“ bilden eine ,,Wolke“ um das Ursprungsquark. Im Rahmen dieses Modells ist ein Quark kein punktförmiges Objekt mehr, wie im ursprünglichen QPM. Ohne hier auf das Sammelsurium von weiteren Annahmen und resultierenden vermeintlichen Gleichungen des SM zur erweiterten postulierten Substruktur der Nukleonen einzugehen, folgt ein klares Statement:

Ein grundsätzliches (erkenntnistheoretisches) Problem ist sofort erkennbar. Alle experimentellen Aufbauten, Durchführungen und Interpretationen zur tiefenelastischen Streuung sind extrem stark theoriebeladen. Siehe zur Verdeutlichung dieser Aussage exemplarisch das Kapitel 2.1 Kinematik der tiefinelastischen Streuung der Ausführungen zu COMPASS-Experimenten. (Das 2001 am europäischen Kernforschungszentrum CERN in Genf/Schweiz in Betrieb genommene COMPASS-Experiment erforscht in einem weit reichenden Programm die Spinstruktur des Nukleons mittels der tiefinelastischen Streuung.)

Ein Beispiel eines relativ aktuellen ,,theoretischen Versuches", freie Parameter und willkürliche Theorie-Objekte so zu arrangieren, daß am Ende das herauskommt, was bekannt ist: Spin Crisis of Proton and Baryon's Magnetic Moment (DP Tiwari and RS Gupta 2015).

Darüber hinaus ist auch die postulierte Asymmetrie der Quark-Ladungsträger in Form stark unterschiedlicher Massen(-Grenzen) und unterschiedlich fragmentierter elektrischer Elementarladung eine erkenntnistheoretische Zumutung, insbesondere unter dem Aspekt, dass Quarks nicht detektiert werden können (Confinement-These). Diese Leute sind so überzeugt von ihrem Glauben, daß sie das Wesentliche offensichtlich aus den Augen verloren haben. Wieso sollte eine komplexe, mehrobjekt-asymmetrische, ladungsfragmentierte, dynamische Substruktur einen Spinwert $\frac{1}{2}$ und eine ganze Elementarladung e über dynamische Zustände im zeitlichen bzw. statistischen Mittel erschaffen? Der Vergleich mit dem SM-postuliert punktverarmten, ,,leptonischen" Elektron, mit Spinwert $\frac{1}{2}$ und ganzer Elementarladung e, welches ohne ,,dynamische Mühe" und Struktur dieses ,,schafft", identifiziert die Quarks-Gluonen-These als Glaubensmärchen. Dieses Märchen dürfte selbst Normalbegabten als solches erscheinen.

Zur Erinnerung: Quarks sind keine Teilchen, weder im phänomenologischen noch im quantentheoretischen Sinne, da sie nicht als isolierbare Partikel bzw. Zustände auftreten. Die physikalischen Teilchen andererseits sind als gebundene Zustände aus Quarks zusammengesetzt zu denken. Den elementaren Größen der Quantenfeld-Theorie entsprechen keine physikalischen Objekte. Also die gewünschten, verschiedenen Arten von postulierten Elementarteilchen im SM unterscheiden sich durch die Quantenzahlen dynamischer Eigenschaften wie Ladung oder Isospin. Einige sind per Postulat masselos, andere nicht. Elektronen sind theoriegewünscht zum Masse- und Ladungspunkt verarmt. Einige andere sollten masselos sein, wie Neutrinos, sind es dann aber doch nicht. Auftretende mathematische Theoriefragmente, wie z.B. ,,5 Phasen" bei der CKM-Matrix werden einfach verworfen, da diese ergebnisorientiert nicht ,,passen". Da heißt es lapidar zum Thema ,,Quarkmischungen": ,,Die CKM-Matrix (Cabibbo-Kobayashi-Maskawa-Matrix) wird physikalisch eindeutig durch drei reelle Parameter sowie eine komplexe Phase beschrieben (weitere fünf Phasen, die mathematisch auftreten, haben keine physikalische Bedeutung)". Das bedeutet schlicht und ergreifend, daß man sich ergebnisorientiert die mathematischen Elemente nimmt, die ,,irgendwie passen" und andere einfach ignoriert. Dieses beliebige Vorgehen im Rahmen mathematischer Modelle hat mit exakter Wissenschaft nichts mehr zu tun.

Wie auch immer, quantisierte Eigenschaften werden durch innere Symmetrien charakterisiert und haben nichts mehr mit Eigenschaften im üblichen Sinne gemeinsam, die als den Dingen inhärente physische Qualitäten aufgefasst werden können. Der Isospin der Nukleonen oder die ,,Farbe" der Quarks drücken überhaupt keine Qualitäten in diesem Sinne mehr aus, sondern nur noch beliebig festgelegte Basiszustände beziehungsweise Richtungen in einem abstrakten Raum, die durch Symmetrietransformationen aufeinander bezogen werden. Nahezu alle bisher bekannten Symbolsysteme werden zitiert. Mal sind es die Farben (rot, blau, grün), mal Buchstaben (u, d, s, c, b, t), mal symbolische Eigenschaften (strange, charm, beauty, ...), als Begriff kommen auch noch die Aromen hinzu, für eine noch unterhalb der Quarks liegende Struktur wurden die Bezeichnungen ,,tohu" und ,,wabohu" aus der Schöpfungsgeschichte im Alten Testament

vorgeschlagen. U.a. Religiosität, ,,neurologische Auffälligkeiten“, Größenwahn sowie wissenschaftsbefreite ,,Kindergartensprache“ kommen mit dem Theoretiker als ,,verwirrten“, (mathematik-)gläubigen Menschen ins ,,Spiel“.

Schon Ernst Mach bemerkte: ,,Wer Mathematik treibt, den kann zuweilen das unbehagliche Gefühl überkommen, als ob seine Wissenschaft, ja sein Schreibstift, ihn selbst an Klugheit überträfe, ein Eindruck, dessen selbst der große Euler nach seinem Geständnisse sich nicht immer erwehren konnte.“ [EM1]

[EM1] Ernst Mach (1838–1916), Vortrag, Sitzung der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu Wien am 25. Mai 1882.

25.7 Schwerionen in plasmatischen Traumzuständen – ein kläglicher Versuch die Confinement-These praktisch zu umgehen

Der LHC ist darauf ausgelegt, Protonen auf Energien von 7 TeV zu beschleunigen und so Kollisionen mit einer Schwerpunktsenergie von 14 TeV zu ermöglichen. Im Bereich von beschleunigten Schwerionen, wie Bleikernen, erreicht der LHC Energien von 2,7 TeV pro Nukleon; in Kollisionen von Bleikernen mit 208 Nukleonen finden also theoretisch Kollisionen bei einer Energie von 1150 TeV statt. Der aktuell zweitstärkste Ionenbeschleuniger ist der Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) in Brookhaven (USA), der mit 0,2 TeV pro Nukleon in Kollisionen von Goldkernen eine theoretische Höchstenergie von etwa 78 TeV erreicht. Zur Auswertung dieser Ereignisse, mit denen das postulierte Quark-Gluon-Plasma untersucht werden soll, ist das ALICE-Experiment konstruiert.

Soviel zur Theorie und Praxis des Standardmodells. Aber es handelt sich bei postulierten Quark-Gluon-Plasma-Nachweisen nicht um direkte experimentelle Nachweise, sondern um stark theoriebeladene Versuchsergebnisinterpretationen. Das gilt auch für Schwerionenkollisionen. Das eigentliche Verständigungsproblem beginnt schon viel früher. Der Begriff ,,Plasma“ ist bezogen auf die Theorieobjekte Quark und Gluon falsch.

Die gemäß SM postulierten Quarkmassen ergeben in der Summe bei weitem nicht die Nukleonenmassen. Gluonen sind masselos.

- Postulierte Up-Quark Masse: $2.3 \pm 0.7 \pm 0.5$ MeV/c^2 up (u)
- Postulierte Down-Quark Masse: $4.8 \pm 0.5 \pm 0.3$ MeV/c^2 down (d)
- 938,2720813(58) MeV/c^2 Protonmasse (duu) $\sim$ 0,8–1,2 % (!!!) Quarksmassenanteil
- 939,5654133(58) MeV/c^2 Neutronmasse (ddu) $\sim$ 1,1–1,4 % (!!!) Quarksmassenanteil

Somit sind auch aus Protonen und Neutronen zusammengesetzte Schwerionen (wie Blei- oder Goldkerne) nicht durch Quarks und Gluonen darstellbar. Das bedeutet, daß nach dem Masse-Energie-Äquivalenzprinzip Nukleonen und letztendlich Schwerionen fast gesamtheitlich aus phänomenologisch unbestimmter Bindungsenergie bestehen. Noch gravierender ist die Tatsache, daß die Schwerionen auf fast Lichtgeschwindigkeit beschleunigt werden, bevor sie kollidieren. Das bedeutet, es kommt zur Bindungsenergie auch noch eine beträchtliche Menge an äußerer Energie hinzu. Wie diese sich phänomenologisch vorstellbar in Translationsenergie und ,,Masseäquivalenz“ aufteilt, sagt uns die Relativitätstheorie nicht.

An Richard Feynmans Aussage ,,It is important to realize that in physics today, we have no knowledge of

what energy is.“ („Es ist wichtig, einzusehen, dass wir in der heutigen Physik nicht wissen, was Energie ist.“) hat sich bis heute nichts geändert. Die Physik lebt von sekundären Größen respektive sekundären Begriffen, die allesamt keine (konsistente) Phänomenologie besitzen.

Genauer: Wenn 2,7 TeV bei Blei-Ionen beim LHC auf ein Nukleon entfallen, dann beträgt bei einem Massenanteil der Quarks von ca. 1 % der prozentuale Massen-Anteil am Geschehen gerade einmal 0,00035 %.

Fazit: Nicht gemäß einer Meinung, sondern nach dem Kenntnisstand und den Postulaten des SM kollidieren bei Teilchenkollisionen also hauptsächlich phänomenologisch unbestimmte beschleunigte Energiepakete sprich Bindungsenergien und hauptsächlich äußere Energie miteinander, von Elementarteilchenmassen existiert so gut wie keine „Spur“.

Man kann offensichtlich in jeder beliebigen Theorie Widersprüche mit der Beobachtung dadurch „wegerklären“, dass man weitere (unüberprüfbare) Postulate in die Theorie mit aufnimmt, die genau diese Beobachtung „erklären“.

25.8 Brigitte Falkenburgs Analyse: Particle Metaphysics

Brigitte Falkenburg schreibt in *Particle Metaphysics: A Critical Account of Subatomic Reality* (2007) u.a.:

> „Es muss Schritt für Schritt transparent gemacht werden, was Physikerinnen und Physiker selbst als empirische Basis für das heutige Wissen der Teilchenphysik ansehen. Und es muss transparent sein, was sie im Einzelnen meinen, wenn sie von subatomaren Teilchen und Feldern sprechen. Die Weiterverwendung dieser Begriffe in der Quantenphysik führt zu ernsthaften semantischen Problemen. Die moderne Teilchenphysik ist in der Tat der härteste Fall für Inkommensurabilität im Sinne Kuhns.“
>
> „Schließlich ist die Theorieabhängigkeit ein schlechtes Kriterium, um zwischen sicherem Hintergrundwissen und unsicheren Annahmen oder Hypothesen zu unterscheiden.“
>
> „Die subatomare Struktur existiert an sich nicht wirklich. Sie zeigt sich nur in einem Streuexperiment mit einer bestimmten Energie, also aufgrund einer Wechselwirkung. Je höher der Energietransfer bei der Wechselwirkung ist, desto kleiner sind die gemessenen Strukturen. Hinzu kommt, dass nach den Gesetzen der Quantenfeldtheorie bei sehr hohen Streuenergien neue Strukturen entstehen. Die Quantenchromodynamik (d. h. die Quantenfeldtheorie der starken Wechselwirkung) besagt, dass je höher die Streuenergie ist, desto mehr Quark-Antiquark-Paare und Gluonen im Inneren des Nukleons entstehen. Nach dem Modell der Streuung in diesem Bereich führt dies wiederum zu Skalierungsverletzungen, die tatsächlich beobachtet wurden. Dies wirft ein neues Licht auf Eddingtons alte Frage, ob die experimentelle Methode zur Entdeckung oder zur Herstellung führt. Offenbart die Wechselwirkung bei einer bestimmten Streuenergie die gemessenen Strukturen oder erzeugt sie diese¿‘
>
> „Es ist nicht möglich, einen gemessenen Querschnitt auf seine individuelle Ursache zurück zu führen. Keine Kausalgeschichte setzt einen gemessenen Formfaktor oder eine Strukturfunktion mit seiner Ursache in Beziehung.“
>
> „Mit den in Teilchenbeschleunigern erzeugten Strahlen kann man weder in das Atom hineinschauen, noch subatomare Strukturen sehen, noch punktförmige Strukturen im Inneren des Nukleons beobachten. Solches Gerede ist metaphorisch. Das einzige, was ein Teilchen sichtbar macht, ist die makroskopische Struktur des Targets.“

> ,,Niels Bohrs Quantenphilosophie... Bohrs Anspruch war, dass die klassische Sprache unverzichtbar ist. Dies hat bis heute Gültigkeit. Auf der individuellen Ebene von Klicks in Teilchendetektoren und Teilchenspuren auf Fotos müssen alle Messergebnisse in klassischen Begriffen ausgedrückt werden. Die Verwendung der bekannten physikalischen Größen Länge, Zeit, Masse und Impuls-Energie auf subatomarer Ebene ist in der Tat auf eine Extrapolation der Sprache der klassischen Physik auf den nichtklassischen Bereich zurückzuführen.“

Brigitte Falkenburg zeigt deutlich auf, dass auch die experimentelle Seite des SM keinerlei analytisch berechnete Materie im Rahmen eines realphysikalischen Versuchs misst. Unverstandene Bindungsenergie und kinetische Energie prallen hier aufeinander.

In der modernen Theoretischen Modell-Physik geht es bei genauer Betrachtung um die Bewahrung bestehender Denk-Dogmen. Argumente der Vernunft werden Denkgewohnheiten und Standardmodell-lastigen Vorurteilen geopfert. Ein psychologischer Grund liegt im Glauben und Hoffen. Die Mehrzahl der ,,forschenden“ Physiker sind ausnahmslos Anhänger der Quantenfeldtheorien. Ein Verständnis dieser undurchsichtigen Theorien ist nicht möglich. Aufbauend auf unverstandenen Arbeiten anderer planen sie Experimente, für die es nur zwei Resultate gibt: Erfolg und Bestätigung oder Misserfolg und kurze Ratlosigkeit, die dann in der Regel in neuen Teilchen, neuen Quantenzahlen und Theorieerweiterungen endet(e).

Wie alle Gläubigen tendieren auch die (theorieaffinen) Experimentatoren dazu, einen Misserfolg bewusst sowie unbewusst zu vermeiden und weichen einer Widerlegung ihres theoriebeladenen Glaubens durch ein Experiment (oder durch Denken) instinktiv aus. Anstatt die Experimente auf das Wesentliche zu beschränken und sie so einfach und effizient wie möglich zu gestalten, wird oft vom Wesentlichen abgelenkt. Moderne Theorien basierend auf Quantenfeldtheorien haben alle eins gemeinsam: Sie entpuppen sich in theorierelevanten Experimenten, ,,früher oder später“, als Mogelpackungen. Statt nun die Theorie zu verwerfen, werden lediglich Theorie-Korrekturen vorgenommen. Das können beispielsweise Postulate über neue virtuelle Teilchen sein, die ,,kurzzeitig“ den Energieerhaltungssatz mit Hinweis auf die Heisenbergsche Unschärferelation verletzen – obwohl diese Verletzung den wichtigsten Erhaltungssatz der System-Physik ignoriert.

In dem Zusammenhang ist es erstaunlich, wie viele ,,Interessierte“ und ,,Wissenschaftsprofis“ festen Glaubens sind, Quantenfeldtheorien wären experimentell überprüfbare, innovative theoretische Konzepte, die praktische Anwendungen generier(t)en.

25.9 Geschichtlicher ,,fun fact“ mit weitreichenden Konsequenzen

Als Peter Higgs (1929–2024) 1964 ,,seinen“ Higgs-Mechanismus vorstellte, befand er sich in der ,,LSD-Flower-Power-Zeit“, deren damalige wissenschaftliche Zeitgeist-Bewertung von Protagonisten wie dem Wissenschaftsphilosophen Paul Feyerabend (1924–1994) geprägt war, dessen Idee von Wissenschaft lautete: ,,Anything goes“. Das erklärt möglicherweise, warum Higgs seine, aus Standardmodellsicht ,,bahnbrechenden“, Ausführungen mit irrealen Tachyonen startete.

[Tachyonen (altgr. $\tau\alpha\chi\acute{\upsilon}\varsigma$ tachýs ,,schnell“) sind hypothetische Teilchen, die sich schneller als mit Lichtgeschwindigkeit (superluminar) bewegen. Es gibt offensichtlich keine experimentellen Hinweise, dass solche Teilchen existieren.]

Higgs' Irrationalität war damals gern gesehen, Peter Higgs war sozusagen ein Wissenschafts-Avantgardist im Sinne Feyerabends. Feyerabend passt zu Feierabend mit der Bedeutung: die eigentliche Arbeit ist

beendet. Rückblickend kreierte und lebte Peter Higgs im wissenschaftlichen Feierabend – bedeutet: phänomenologisch, rational begründete Denkmodellphysik-Arbeit fand fortan nicht mehr statt.

Auch das in den 1960er Jahren von Richard Feynman (1918–1988) entwickelte Quark-Parton-Modell (QPM) beschreibt Nukleonen als Zusammensetzung grundlegender punktförmiger Bauteile, die Feynman Partonen nannte. Diese Bauteile wurden daraufhin mit den wenige Jahre zuvor gleichzeitig von Gell-Mann (1929–2019) und George Zweig (geboren 1937) postulierten Quarks identifiziert.

Auch hier ist die Grundlage irrational, denn der daraus resultierende mathematische Ansatz des Standardmodells der Teilchenphysik (SM), ausgehend von nulldimensionalen, masselosen Objekten, liefert offensichtlich keine Anbindung an die wahrnehmbare physikalische Realität, in der Masse und Ausdehnung Fundamentaleigenschaften darstellen. Masselose Eichbosonen bewegen sich gemäß Formalismusforderung mit Lichtgeschwindigkeit. Das SM beschreibt Materie-Entstehung und Wechselwirkungen durch rein abstrakte mathematische Symmetrien (Eichsymmetrien mit ihren Eichgruppen).

25.10 Parametrische Glaubensbekenntnisse

Die „moderne" Elementarteilchenphysik „nährt(e)" sich von „Spekulations-Kaskaden". In keiner anderen Wissenschaftsdisziplin wird so „kreativ" postuliert, „entdeckt" und „modifiziert", wie in der Teilchenphysik. Dass sich dieses Konstrukt aus Teilchen und Thesen erfolgreich befruchtet und innerhalb der eigenen Grenzen bestätigt, ist keine große Überraschung, da die Aktivisten jederzeit neue Teilchen und Thesen einbringen können, um „alte" Thesen und Teilchen zu „retten".

25.10.1 Zurück zum Higgs-Mechanismus

Folgender Sachverhalt wird kaum thematisiert bzw. „teilweise verschwiegen": Der Higgs-Mechanismus startet mit einem Tachyonfeld und damit inhärent verbunden mit einem negativen Massenquadrat ($m^2 < 0$). Merke: Das ursprüngliche Higgs-Feld ist ein Tachyon-Feld, mathematisch definierbar, physikalisch irreal. Um den Tachyon-Term „zu umgehen", wird das Feld als eine Variation um einen Vakuumszustand neu parametrisiert. Dadurch ändert sich das Vorzeichen des Massenterms.

Die geforderten Eigenschaften des Higgs-Feldes sind u.a.:

- Higgs-Teilchen sind Bosonen, weil nur dann eine kohärente Wellenfunktion möglich ist.
- Aus dem gleichen Grund müssen Higgs-Teilchen untereinander wechselwirken.
- Das Higgs-Feld ist skalar, um die Symmetrie des Vakuums zu erhalten.
- Im vorliegenden Fall der $U(1)_{em}$-Eichtheorie muß das Feld geladen sein, um an das Photon zu koppeln.
- Das Higgs-Feld erfüllt die Klein-Gordon-Gleichung:

  $$(\Box + m^2)\Psi = 0$$

  wobei $\Box$ der d'Alembert-Operator (Lorentz-Skalar, invariant unter Lorentztransformationen) ist.
- Man postuliert, dass sich das Higgs-Feld im Grundzustand mit einem Vakuumerwartungswert $|\Psi_0|^2 = \text{const} \neq 0$ befindet.
- Die Forderung eines im Grundzustand nicht verschwindenden Erwartungswertes ist nicht trivial und

kann nur mit einer Selbstwechselwirkung des Feldes „erfüllt“ werden.

Um die Massenerzeugung im Standardmodell durch den Higgs-Mechanismus zu realisieren, kann man als minimale Variante das Higgs-Feld als Isospin-Dublett ansetzen. Im Verlauf dieser mathematischen Prozedur zeigt sich, dass ein weiteres masseloses Vektorboson, das so genannte Goldstone-Boson, auftritt. Da es aber keinen experimentellen Hinweis für dieses Boson gibt, wird es als „unphysikalisch“ erklärt und mathematisch eliminiert („weggeeicht“).

Des Weiteren gilt jedoch zu bedenken: Das Higgs-Potential und damit die spontane Symmetriebrechung der elektroschwachen Symmetrie wird „per Hand“ zum SM hinzugefügt. Es gibt keine dynamische Erklärung für diesen Mechanismus. Die vier Komponenten des Isospin-Dublett-Ansatzes „liefern“ letztendlich drei Vektorbosonen mit einer longitudinalen Spinkomponente und ein skalares Higgs-Feld. Damit das Photon masselos bleibt, wird in diesem Fall der Vakuumerwartungswert (wieder) auf Null „gesetzt“. Die „restlichen“ Masseterme werden dann von der „neutralen“ Komponente mit nichtverschwindendem Erwartungswert erzeugt. Nach (mathematischer) „Umordnung“ ergibt sich die eichinvariante $SU(2) \times U(1)$-Lagrange-Dichte mit den „gewünschten“ Massentermen für das Higgs- und die Eichbosonen.

Allgemein auffällig: Grundsätzlich werden Masse und Masselosigkeit der Theorie-Objekte nach den Fantasiewünschen der Theoriebauer vergeben. „Fantasiewunsch“ ist keine semantische Spitze sondern inhaltlich das richtige Wort. Denn bei neutraler Betrachtung des SM fällt auf, daß im Rahmen des Formalismus Masse und Masse-Losigkeit je nach Gutdünken der Theoriebauer vergeben werden. Das lässt sich grundsätzlich durch „Neu-Eichungen“ realisieren. Doch dieses beliebige Handeln besitzt keinen realphysikalischen Nährwert im Sinne eines Erkenntnisgewinns über phänomenologische Zusammenhänge. Ganz im Gegenteil: Es wird eine physikalische Pseudo-Realität geschaffen, die dann als verbindliche Grundlage dient. Wie sinnlos dieses Unterfangen ist, zeigt exemplarisch die theoretische Forderung nach Masselosigkeit der Neutrinos, die aber – gemäß (anerkannter) Neutrinooszillationen – endliche Massen besitzen. Die theoretische Forderung läuft ins Leere, denn die neutralen Leptonen (Neutrinos) werden im Standardmodell als exakt masselose Weyl-Fermionen angenommen. Der Widerspruch zu experimentell geforderten Neutrinomassen ist evident.

Hier schließt sich der Kreis der fantastischen Willkürlichkeiten in Blickrichtung des Kosmologischen Standardmodells.

25.11 Standard-Denkmodellanatomie – „Vorspiel-Gedanken“

[MF] Das führt u.a. zu folgender, extrem wichtiger Antwort auf die Frage:

Was bleibt von der Allgemeinen Relativitätstheorie (ART) respektive dem daraus resultierenden Standardmodell der Kosmologie (ΛCDM-Modell)?

Die englische Wikipedia weist, anders als die deutsche Version, auf den wesentlichen Aspekt des Modells hin:

> „Das Lambda-CDM, Lambda Cold Dark Matter oder ΛCDM-Modell ist ein **mathematisches Modell** der Urknalltheorie.“
>
> „The Lambda-CDM, Lambda cold dark matter or ΛCDM model is a **mathematical model** of the Big Bang theory.“

Insgesamt muss man sich als Interessierter die Frage stellen, warum die deutsche Wikipedia im Vergleich

zur englischen Wikipedia zum ΛCDM-Modell nahezu ,,nichts zu sagen“ hat. Deutschsprachige, sofern sie nicht auch die englische Version bemühen, bleiben ,,wissenstechnisch“ außen vor.

Offensichtlich ist nahezu niemandem klar, ob nun Laie oder Theoretischer Physiker, was ,,mathematisches Modell“ hier bedeutet. Plakativ formuliert bedeutet es: Das einzig ,,Wahre“ in diesem Modell ist die Differentialgeometrie. Alles andere in dem Modell sind Spekulationen, empirisch unbegründete Postulate und dies ,,Alles“ aufbauend auf freien Parametern.

Die Geschichte der Urknalltheorie ist so verlaufen – ohne das an dieser Stelle bereits näher auszuführen –, dass neue hypothetische ,,Objekte“ eingeführt werden mussten, für die es keine Belege gab und nach wie vor gibt, außer dass sie die zugrunde liegende Theorie rette(te)n. Der Begriff ,,Inflation“, der ein Feld und eine Energie beinhaltet, die völlig unbekannt sind, wurde Anfang der 1980er Jahre eingeführt, um den Urknall trotz sehr schwerwiegender Widersprüche in der Beobachtung zu halten. Bald darauf kam die nichtbarionische ,,Dunkle Materie“ als postulierte Theorie-Entität hinzu und in den 1998er Jahren die ,,Dunkle Energie“. Die dunkle Energie ist eine postulierte, nicht detektierbare Form von Energie, die das Universum auf großen Skalen beeinflusst. Ihr postulierter Haupteffekt besteht darin, dass sie die beschleunigte Expansion des Universums auslöst respektive aufrecht erhält. Der Begriff wurde 1998 von dem Astrophysiker Michael S. Turner geprägt.

U.a. bedingt durch die notwendige These zur Aufrechterhaltung des ΛCDM-Modells wurde die Inflationsphase (mit vielfacher Überlichtgeschwindigkeit) eingeführt; dazu musste der Raum von der Materie entkoppelt werden, ohne das explizit zu erwähnen. ,,Implizit“ ist das klar, denn Materie kann auch im Rahmen der Standardmodelle nicht auf Lichtgeschwindigkeit und schon gar nicht auf Überlichtgeschwindigkeit beschleunigt werden. Das bedeutet jedoch, das diese Raum-Materie-Entkopplung auch vor und nach der postuliert kosmischen Inflation vorlag respektive vorliegt, also auch im Hier und Jetzt. Für diese Annahme gab und gibt es jedoch keine Beweise.

25.11.1 Kosmologische Konstante Λ und postulierte Inflation

Die Kosmologische Konstante Λ, die Albert Einstein im Glauben an ein statisches Universum einführte, welche dann im Zuge der ,,frühen Ideen“ des expandierenden Universums abgeschafft wurde, kam zurück, da Λ theoretisch wieder gebraucht wurde. Doch die Kosmologische Konstante bedeutet schlicht und ergreifend, dass auch im Verständnis der Urknall-Theoretiker das ,,Vakuum“ eine Energiedichte besitzt. Vakuum ist hier eine weitere Wortspielerei für vermeintlich leeren Raum. Das Anheften von Λ an die Theorie führt aber unweigerlich zu ,,Materie im Raum“. Das Ergebnis ist leicht zu verstehen. Lassen wir mal außen vor, dass wir hier schon wenig kleinlich das Attribut einer lichtschnellen Ausbreitung nicht thematisieren wollen. Der Raum expandiert mit Materie (nahezu lichtschnell) bis zum Beginn der postulierten überlichtschnellen Inflation, dann expandiert der Raum ohne Materie bis zum Ende der Inflation, um dann wieder mit Materie brav im Rahmen der Relativitätstheorie zu expandieren.

Detaillierter: Inflationäre Modelle gehen davon aus, dass der Vakuumzustand des Universums etwa 10^{-36} Sekunden nach dem Urknall anders war als heute: Das inflationäre Vakuum hatte eine viel höhere Energiedichte. Nach der Allgemeinen Relativitätstheorie erzeugt jeder Vakuumzustand mit einer Energiedichte ungleich Null eine abstoßende Kraft, die zu einer Expansion des Raums führt. In inflationären Modellen verursacht der frühe hochenergetische Vakuumzustand somit extrem schnelle Expansion, sprich eine Expansion mit vielfacher Lichtgeschwindigkeit. Diese Expansion erklärt verschiedene Eigenschaften des heutigen Universums, die ohne eine solche inflationäre Epoche nicht zu erklären sind. In den meisten Inflationsmodellen wird ein Skalarfeld, das so genannte Inflationsfeld, vorgeschlagen, das die notwendigen

Eigenschaften besitzt. Die Inflations-Theorien lassen offen, wann die Inflationsepoche endete; derzeit arbeitet man mit einer Dauer zwischen 10^{-33} und 10^{-32} Sekunden nach dem gleichfalls postulierten Urknall. Die schnelle Ausdehnung des Raums hat im Modell zur Folge, dass alle potenziellen Elementarteilchen (oder andere ,,unerwünschte" Artefakte wie topologische Defekte, was das auch immer sein mag), die aus der Zeit vor der Inflation ,,übrig geblieben waren", nun ,,sehr dünn" über das Universum verteilt waren. In der postulierten Inflationsphase vergrößern sich die linearen Dimensionen des frühen Universums um einen Faktor von mindestens 10^{26} (und möglicherweise um einen viel größeren Faktor; die Theorien lassen das offen) und das Universum vergrößerte sein Volumen um einen Faktor von mindestens 10^{78}. Zum Vergleich: Eine Expansion um den Faktor 10^{26} entspricht der Ausdehnung eines Objekts von 1 Nanometer auf eine Länge von etwa 10,6 Lichtjahren – postuliert in 10^{-33} bis 10^{-32} Sekunden.

25.11.2 Inflations-Fazit

Fantastischer und willkürlicher geht es in bekannten Sciencefiction-Filmen, wie Starwars, auch nicht zu. Der Unterschied: Es handelt sich um Theoretische Physiker, die nach dem Pippi Langstrumpf-Prinzip die Welt so machen, wie es ihnen gefällt. Warum? Weil sonst – sprich ohne ultrakurze, überlichtschnelle Inflationsphase, für die es übrigens im Rahmen der Inflationstheorie keine phänomenologische Begründung gibt – die selbstdefinierte Theorie sich aus dann nicht erklärbaren Beobachtungsinterpretationen und, wenn man so will, assoziiert axiomatisch selbst widerlegt. Was man, insbesondere als Laie, nicht erwarten würde und auch als Laie höchst wahrscheinlich als unseriös bewerten würde, sofern man es denn verstehen könnte. Es bleibt nichts von dem einen noch von dem anderen Standardmodell übrig. Weder allgemein, noch epistemologisch oder in Bezug auf Kompliziertheit und willkürliche Komplexität.

25.11.3 Übergeordnet betrachtet

Es müsste nicht nur Interessierte verblüffen, sondern insbesondere gut ausgebildete Wissenschaftler, wie Astrophysiker, dass sie denken, genauer sich sicher sind, Aussagen über kosmische Vorgänge außerhalb unseres Sonnensystems machen zu können. Bei genauer Betrachtung ist dieses ,,Astrophysiker-Denken" nicht nur unwahrscheinlich sondern absurd. Bei allen kosmologischen ,,Beobachtungsstudien" handelt es sich nicht um kontrollierbare Laborexperimente. Die Ursachen und Phänomene aller möglichen Objekt-Beobachtungen außerhalb unseres Sonnensystems können nicht (einfach) als bekannt vorausgesetzt werden. Des Weiteren: Die menschliche Beobachtungs-Zeitspanne ist verglichen mit den Zeitspannen, in denen sich kosmische Bewegungen abspielten und abspielen, extrem klein. Mit den Angaben aus der menschlichen Beobachtungsdauer Annahmen zu begründen, ist ,,weit hergeholt" um es mal salopp zu formulieren. Alle derzeitigen vermeintlich empirischen Messungen sind stark (Urknall-)theoriebeladen. Postulierte Zeitspannen, Entfernungen und Energiedichten sind subjektiv-theorieabhängig.

25.12 Zur Erinnerung: Das basisverletzte Kovarianzprinzip

Die allgemeine Relativitätstheorie ist eine Gravitationstheorie und geht von der Gleichheit der trägen und der schweren Masse aus [,,Äquivalenzprinzip"]. Aber die ART erklärt dieses Prinzip nicht, sondern setzt es voraus. Die Allgemeine Relativitätstheorie wurde u.a. aus der Forderung geboren, zur Beschreibung der Naturgesetze beliebige Koordinatensysteme verwenden zu können. Entsprechend dem Kovarianzprinzip sollte die Form der Naturgesetze nicht entscheidend von der Wahl des speziellen Koordinatensystems abhängen. Diese Forderung ist ursächlich mathematisch und führt zu einer Vielfalt von möglichen Koordinatensystemen [Metriken], bleibt aber physikalisch ,,unmotiviert". Schlimmer noch: Es ergeben sich je nach Wahl des Koordinatensystems phänomenologische Interpretationsspielräume (siehe oben). Der Grund ist ,,relativ" einfach: Koordinatensysteme sind mathematische Konstrukte, die keinerlei physikalische Eigenschaften besitzen (müssen).

Die Gleichungssysteme (Einstein, Friedmann) der Allgemeinen Relativitätstheorie, die den Aussagen des Standardmodells der Kosmologie zu Grunde liegen, liefern keine analytischen Lösungen. Erst Idealisierungen und Näherungen führen begrenzt zu rechenbaren Lösungen. Die unvermeidbaren („kovarianten“) Widersprüche kommen mit den offensichtlich unzulässigen Idealisierungen und Näherungen des Systems von nichtlinearen, verketteten Differentialgleichungen.

Mathematisch kann das Kovarianzprinzip nicht „verletzt“ werden, da es ja axiomatisch begründet ist. Nur diese axiomatische Voraussetzung „entschwindet mit der Verstümmelung“ (Idealisierung und Näherung) der eigentlichen Gleichungen. Mit anderen Worten: Die mathematisch korrekten Gleichungen besitzen keine analytischen Lösungen. Die reduzierten Gleichungen (Näherungen, Idealisierung) besitzen zwar Lösungen, diese sind jedoch nicht kovariant. Somit besitzt keine Lösung eine realphysikalisch begründete Bedeutung. Mit anderen Worten: Das Kovarianzprinzip ist realphysikalisch betrachtet formales „Blablabla“ und kann jeglichen theoretischen Mist hervorbringen. Selbst Schreibfehler können im Rahmen der Differentialgeometrie der ART Lösungen generieren.

Dazu ein exemplarischer Denkanstoß: Die zur „Schwarzschild-Metrik“ Lösungsmöglichkeit nach ihren Autoren benannte Eddington–Finkelstein–Koordinatentransformation beseitigt die Koordinatensingularität der Schwarzschildlösung und „sorgt“ dafür, dass für die „avancierte“ Lösung nach innen und für die „retardierte“ Lösung nach außen Teilchen ins Schwarze Loch eindringen und austreten können! Mit anderen Worten: Die postulierten Schwarzen Löcher der „Ur-Version“ der Schwarzschild-Metrik waren bei genauer Betrachtung das Resultat zweier Integrationskonstanten des gewählten Koordinatensystems. Ein weiteres Koordinatensystem der Herren Eddington und Finkelstein behebt das Koordinaten-Artefakt, „bringt“ dem vermeintlich Schwarzen Loch aber nun die Eigenschaft, dass Teilchen das Schwarze Loch verlassen können. Bedeutet im Ergebnis: Kein Schwarzes Loch.

Fazit: Schwarze Löcher sind populärwissenschaftlich ohne Frage sensationeller als keine Schwarzen Löcher. Doch es gibt keinen experimentellen Nachweis der Existenz auch nur eines einzigen Schwarzen Loches. Schwarze Löcher sind nichts weiter als Theorieobjekte eines mathematischen Formalismus, dessen gefordertes Kovarianzprinzip bedingt durch die Struktur der Gleichungssysteme nicht erfüllt werden kann, da nur Näherungen zu rechenbaren Lösungen führen. Schwarze Löcher sind populär, wie Theodor Fontane bemerkte: „das Sensationelle gilt und nur einem strömt die Masse noch begeisterter zu, dem baren Unsinn.“

25.13 Gesamtbetrachtung

Wer einigermaßen neutral die Geschichte der Elementarteilchenphysik „studiert“, wird kaum glauben können, dass es sich um naturwissenschaftliche Betrachtungen und Bemühungen im Sinne einer zielführenden Vereinfachung und Vereinheitlichung handelt. Immer dann, wenn die Experimentalphysik die Theorie(n) widerlegte, wurde die Theorie mittels neuer Elementarteilchen, erneuter Substrukturierung und wenn nötig neuer Quantenzahlen erweitert, die die fehlenden Eigenschaften, die fehlende Energie oder die fehlende Symmetrie „erledigten“. Das hat mit Wissenschaft wenig zu tun. Statt die Probleme mit einem neuen radikalen (Theorie-)Ansatz zu bewältigen, werden kleine und große Schönheitskorrekturen kontinuierlich durchgeführt. Statt zu vereinfachen und zu vereinheitlichen wird „gnadenlos“ erweitert und „spezialisiert“. Es entsteht ein Sammelsurium von Teilchen(eigenschaften). Für jeden Fall einer unerwünschten Abweichung, für jedes Teilchen werden bei Bedarf theorieerhaltende Sonderregelungen nachgelegt.

Der mathematische Formalismus ist in diesem Fantasieprozess das kleinste Problem. Nötigenfalls werden divergente Terme regularisiert, renormalisiert oder gleich als „unphysikalisch“ deklariert, schlicht

,,weggelassen“. Dass damit die axiomatische Grundstruktur zerstört wird, scheint entweder nur Wenigen klar zu sein bzw. ist offensichtlich dem Gros der Theoretiker egal. Sind es letztendlich nur – aus naturwissenschaftlicher Sicht inakzeptabel – wirtschaftliche Interessen der Nutznießer und Lobbyisten, die Forschungsgelder abgreifen und ihre materielle Existenz begründen wollen?

Stellt man die enorme Anzahl von Veröffentlichungen im Bereich der Standardmodelle ins Verhältnis zu dem erkenntnistheoretischen Gewinn, so handelt es sich – in unserer heutigen digitalisierten Zeit salopp formuliert – fast ausschließlich um Datenmüll. Das liegt schlicht daran, daß die vermeintlichen Meßergebnisse bereits stark theoriebeladen sind und die theoretischen Ansätze aus idealisierten, genäherten Gleichungen stammen, die in der Urform keine formal-analytischen Lösungen besitzen und deren näherungsreduzierte Gestaltungen nichts weiter als mathematische Möglichkeiten liefern, die realphysikalisch bedeutungslos sind, insbesondere da über die Rückkopplungen der theoriebeladenen selektiven Messungen nur die gewünschten Meßergebnisse weiter verwendet werden. So entstand und entwickelt sich ein erkenntnisbefreites, formal und wirtschaftlich selbsterhaltendes System.

Dass die Systementwickler und Profiteure jede halbwegs logische Alternativforschung schon im Ansatz beseitigen wollen, ist egoistisch menschlich nachvollziehbar. Jede formal-analytische Lösung, die realphysikalische Werte liefert, stellt eine existenzielle Bedrohung der Standardmodelle dar. Populärwissenschaftlich getragen wird das System von servilen Wissenschaftsmagazinen, deren indoktrinierten Lesern und unwissenden Epigonen, die jeden populären Theorie-Quatsch beklatschen. Es drängt sich der Verdacht auf, daß Menschen, deren Schaffensdrang nicht in geeigneter Weise befriedigt werden kann, weil real nichts Neues für sie zu finden ist, Trivialitäten dokumentieren und formalisieren, in neue Worte kleiden und Satzstrukturen verwenden, die ein Normalmensch nicht versteht und dessen Achtung der Autor quasi automatisch erhascht.

Es macht im Ergebnis keinen Unterschied, ob es in diesem System Wissenschaftler gibt, die ,,wirklich“ voller Inbrunst an diese, an Naivität und Widersprüchen schwer zu überbietenden, ,,theoretischen Implikationen“ glauben oder ob es letztendlich banale wirtschaftliche Interessen gepaart mit akademischer Macht sind, die Wissenschaftler als elitäre Nutznießer ausnutzen, um baren Unsinn zelebrieren und verkünden zu können.

Besonders eklatant ist der Umstand, daß im Vergleich zu organisierten Religionen die Theoretische ,,Grundlagen-Physik der Teilchen“ für sich in Anspruch nimmt, ein hohes Maß an Objektivität und Glaubensfreiheit zu verkörpern. Und so sieht es auch die interessierte Bevölkerung. Die Theoretische Physik ist sicherlich in vielen Köpfen einer der letzten Schau-Plätze, an denen man Glaubensbekenntnisse statt Wissenschaft vermutet.

25.14 Kirche und Physik

Kurt Marti zeigt fragmentarisch auf, wie der Vatikan und CERN-Forscher sich Hand in Hand die Glaubens-Zukunft der Teilchenphysik und Kosmologie vorstellen.

> ,,Dem Vatikan geht es nicht primär um Elementarteilchen und Schwarze Löcher, sondern um Metaphysik. Mit ihrem exzellenten Spürsinn für das scheinbar Wesentliche haben die Theologen in Rom längst begriffen, dass die Teilchen- und Astrophysik immer mehr in der dünnen Luft der experimentfreien Metaphysik operiert.“

Siehe Wahlverwandtschaften von CERN und Vatikan von Kurt Marti.

,,Auf dem Gipfel der Macht und der Anerkennung werden Menschen plötzlich gesprächig, kokettieren mit ihren Tricks und kleinen Mogeleien, spötteln über Ethik und Moral und brüsten sich ihrer Fähigkeit, ein ganz spezielles persönliches Interesse mit Hilfe von Manipulation und geschickter Propaganda durchgesetzt zu haben. Manche Vermutung über das wahre Wesen eines erfolgreichen Menschen findet durch derart eitle Selbstenthüllung ihre Bestätigung, vermag aber keineswegs die Machtposition des Menschen zu erschüttern. Etabliert ist etabliert.“ [1]

25.14.1 Euphemistische Botschaft der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)

,,Die Deutsche Physikalische Gesellschaft soll ausschließlich und unmittelbar der reinen und angewandten Physik dienen. . . . “

25.14.2 ,,Wahre Botschaft“ der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (2000)

,,Die Urknall-Kosmologie ist gewissermaßen die moderne, physikalische Version der Schöpfungsgeschichte.“ [2]

[1] Als der Urknall Mode war – Erinnerungen an ein kurioses Weltmodell, Klaus Gebler 2005, ISBN 3-8334-3983-1, online

[2] Eine an alle höheren Schulen ausgelieferte umfangreiche Denkschrift ,,PHYSIK – Themen, Bedeutung und Perspektiven physikalischer Forschung, ein Bericht an Gesellschaft, Politik und Industrie“ im Jahre 2000 enthielt diesen denkwürdigen Satz: ,,Die Urknall-Kosmologie ist gewissermaßen die moderne, physikalische Version der Schöpfungsgeschichte. . . . “

Klaus Gebler verdeutlicht in seinem bemerkenswerten Buch *Als der Urknall Mode war – Erinnerungen an ein kurioses Weltmodell* u.a., wie sehr die ,,Moderne Physik“ von der kirchlichen Sicht beeinflusst ist. Webseite: Klaus Gebler

Didaktisch ist die herrschende erkenntnistheoretische Leere seit Jahrzehnten fester Bestandteil der Ausbildung. Der Denk-Monotheismus wird schon Schülern populärwissenschaftlich verordnet. Sollten diese dann, trotz der immensen Indoktrination und gegen alle Erwartung, das Quarks-basierende Protonenmärchen eines Tages realisieren, stehen sie ganz alleine da. Wer glaubt schon, dass sich zehntausende Wissenschaftler über mehrere Generationen mit etwas beschäftigten, wenn es nicht das Non plus ultra darstellt? ,,Milliardenschwere“ Teilchenbeschleuniger wurden und werden doch nicht gebaut, wenn das alles Unsinn ist? Diese ,,psychologischen Komponenten“ wiegen schwer.

26 Die logisch-argumentative Widerlegung von LIGO und Gravitationswellen: Eine methodische und erkenntnistheoretische Dekonstruktion

Die Behauptung, das Laser Interferometer Gravitation-Wave Observatory (LIGO) habe Gravitationswellen *direkt nachgewiesen*, wird einer methodischen, theoretischen und erkenntnistheoretischen Prüfung unterzogen. Die Analyse zeigt, dass die LIGO-,,Detektionen“ das Ergebnis einer hochgradig theoriebeladenen Datenanalyse sind, die auf nicht-kovarianten Näherungen der Allgemeinen Relativitätstheorie (ART) beruht. Die behauptete Messgenauigkeit von 10^{-22} übersteigt die methodisch kontrollierbare Genauigkeit um zehn Größenordnungen. Die zugrundeliegenden Gravitationswellen-Lösungen verletzen das Kovarianzprinzip der ART und werden in einen Newtonschen Raum-Container eingebettet – ein logischer Widerspruch zu den Axiomen der Theorie. Die Arbeit schließt mit einer soziologischen Analyse der Immunisierungsstrategien des ΛCDM-Modells und dokumentiert die systematische Unterdrückung von

Kritik durch die etablierte wissenschaftliche Gemeinschaft.

26.1 Einleitung

Die Entdeckung von Gravitationswellen durch die LIGO-Kollaboration wurde als Jahrhundertdurchbruch gefeiert. Die vorliegende Arbeit unternimmt eine systematische Dekonstruktion dieser Behauptung. Sie zeigt, dass die LIGO-,,Detektionen“ nicht das halten, was sie versprechen: einen direkten, empirischen Nachweis von Gravitationswellen. Stattdessen handelt es sich um das Ergebnis einer hochgradig theoriebeladenen Datenanalyse, die auf methodisch unkontrollierbaren Annahmen beruht.

Die Argumentation gliedert sich in fünf Ebenen:

1. Die methodische Unmöglichkeit der behaupteten Messung.

2. Die theoretische Inkonsistenz der Gravitationswellen-Lösungen.

3. Die erkenntnistheoretische Unmöglichkeit einer ,,Raumzeit-Messung“.

4. Die historische Unsicherheit bezüglich der Existenz von Gravitationswellen.

5. Die soziologische Immunisierung des ΛCDM-Modells.

26.2 Ebene 1: Die methodische Unmöglichkeit der Behauptung

26.2.1 Die Diskrepanz der Größenordnung

Die genauesten Labormessungen der Physik (z.B. des magnetischen Moments des Elektrons) erreichen eine relative Genauigkeit von etwa 10^{-12} [1]. LIGO behauptet, Längenänderungen von 10^{-18} m auf einer 4 km langen Strecke zu messen – das entspricht einer relativen Genauigkeit von 10^{-22} [2]. Diese behauptete Genauigkeit ist um **zehn Größenordnungen** höher als alles, was jemals unter kontrollierten Laborbedingungen erreicht wurde.

Die Raumzeit ist nicht sinnlich erfahrbar und auch nicht apparativ meßbar. Die Raumzeit ist ein mathematisches Konstrukt.

Bei allen kosmologischen ,,Beobachtungsstudien“ handelt es sich **nicht** um kontrollierbare Laborexperimente. Die menschliche Beobachtungs-Zeitspanne ist verglichen mit den Zeitspannen, in denen sich kosmische Bewegungen abspielten und abspielen, extrem klein. Mit den Angaben aus der menschlichen Beobachtungsdauer Annahmen zu begründen, ist ,,weit hergeholt“ um es mal salopp zu formulieren. Alle derzeitigen vermeintlich empirischen Messungen sind stark (Urknall-)theoriebeladen. Postulierte Zeitspannen, Entfernungen und Energiedichten sind subjektiv-theorieabhängig.

Es wäre naiv und töricht weit verbreitete Erwartungshaltungen zu ignorieren. Es ist nicht leicht Menschen, die zumindest im Kern einer Sache Realitätsnähe und Verhältnismäßigkeit erwarten, zu erklären, daß dem oft nicht so ist, insbesondere wenn es sich um wissenschaftliche Themen handelt. Besonders eklatant ist der Umstand, daß im Vergleich zu organisierten Religionen, die Theoretische ,,Grundlagen-Physik“ samt assoziierter theoriebeladener Experimentalphysik suggeriert ein hohes Maß an Objektivität und Glaubensfreiheit zu verkörpern. Und so sieht es auch die interessierte Bevölkerung. Physik ist sicherlich in vielen Köpfen einer der letzten Schau-Plätze an denen man Glaubensbekenntnisse statt Wissenschaft vermutet.

26.2.2 Verbreitungsstrategie von Objekt- und Entstehungsmythen

Es beginnt grundsätzlich ,,ordentlich“, siehe exemplarisch das youtube-video Simulation of the neutron star coalescence GW170817 [11] Die Beschreibung seitens des Max-Planck-Instituts für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut) beginnt mit ... ,,The video shows a *numerical* simulation“...

Doch keiner der Verkünder, ob Wissenschaftler, Wissenschaftsjournalist, Nachrichtensprecher, ..., ,,meint“ letztendlich, daß es sich, sowohl theoretisch als auch physisch, um nichts weiter als Hypothesen und Simulationen handelt. Stark theoriebeladene Wünsche werden ,,im guten (doppeldeutig) materiellen Glauben“ materialisiert. Obwohl jeder sehen könnte, was er nie wirklich sehen wird...

26.2.3 Wahrnehmungsmöglichkeiten

In unserem Sonnensystem gibt es weder Neutronensterne, Gamma Ray Bursts (GRBs) noch Schwarze Löcher (respektive ,,Anomalien“, die als solche interpretiert werden können).

Eine Liste postuliert ,,erdnächster“ Schwarzer-Löcher-Kandidaten findet sich unter `https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_nearest_black_holes` mit einer ,,kürzesten“ Entfernung von 2800 Lichtjahren. Zum Vergleich: Der nächste Stern ,,aus unserer Sicht“ ist mit 4,24 Lichtjahren Proxima Centauri (`https://de.wikipedia.org/wiki/Proxima_Centauri`). Objekt- und Entfernungs-Angaben beziehen sich auf die ,,Sicht des ΛCDM-Modells“.

Das angesiedelte soziologische Wahrnehmungsproblem ,,besteht“ darin, daß hier, nach einfachem psychologischem Glaubens-Muster, diverse postulierte Theorieobjekte unterschiedlichster Art, teils seit Jahrzehnten – der mit rudimentärem Wissen ausgestatteten Bevölkerung – als 100 % real existent sprichwörtlich ,,verkauft“ werden.

Raum und Zeit sind primär ,,Ordnungsmuster des Verstandes“. Um aus diesen Ordnungsmustern Physik zu ,,erhalten“, bedarf es zwingend einer phänomenologischen Betrachtung und Erklärung.

Ein Beispiel ist die *Raumzeit*. Das Postulat besagt, daß es im Rahmen der (formalisierten) Betrachtung der Relativitätstheorie Zeit und Raum nur als Einheit gibt. Eine Konsequenz: Wir können das Geschehen im postuliert allgemeinrelativistischen Kosmos zeitlich nicht als Momentaufnahme festhalten, weil Zeit nicht in der Raumzeit existiert. Es gibt gemäß ART nur die sinnlich und meßtechnisch nicht erfahrbare Raumzeit.

Trotz der Unmöglichkeit diverse mathematisch generierte Theorieobjekte und Wechselwirkungsszenarien allgemeinverständlich plausibel abbilden zu können, ist es didaktisch weit verbreitet mit ,,vereinfachten“ (leider falschen) Anschauungen Wissen zu vermitteln. Ein Beispiel ist der mit Markierungen (die Planeten, Sterne, Galaxien repräsentieren sollen) aufgeblasene Luftballon, der die kosmische Expansion nach dem Urknall abbilden soll. Das schafft bei dem Betrachter ein *Gefühl* von anschaulichem Verständnis. Nur diese Luftballon-Analogie ist **grundlegend falsch**. Denn...

i) Im Rahmen der ART expandiert nicht ein sinnlich wahrnehmbarer Raum bzw. in vereinfachter Anschauungs-Form eine Ballonoberfläche, sondern das mathematische Konstrukt der Raumzeit.

ii) Es existiert kein einzigartiger Ursprung, sondern die Raumzeit expandiert überall.

... es ist zwar die Raumzeit selbst, die sich ausdehnt, **doch** die Galaxien werden mitbewegt. Etabliertes Postulat: Gravitativ gebundene Objekte wie Galaxien oder Galaxienhaufen expandieren nicht. Hier stellt

sich die Frage, wie, wo, warum und wann der Grenzübergang von ,,etwas“ nicht raumzeitexpandierenden zu etwas raumzeitexpandierenden stattfindet? Diese Frage wird von den Vertretern des ΛCDM-Modells nicht beantwortet. Bezogen auf die Luft-Ballon-Analogie expandieren konträr zu diesem Postulat für den Beobachter auch die Markierungen auf der Ballonoberfläche.

iii) Nach heutigen Vorstellungen ist konträr zur Radiusvergrößerung der Luftballonvorstellung die Expansion beschleunigt. Im ,,Ballonverständnis“ expandiert der Radius gleichmäßig oder verlangsamt (bis zu einem materialbedingten Maximum, bevor der Ballon platzt).

iv) Verschwiegen werden auch die (überlichtschnelle, zeitlich stark begrenzte) postulierte, **theorienotwendige** *Inflationsphase* sowie die Annahmen und Wirkungen der postulierten Dunklen Materie und Dunklen Energie, die im Ballonmodell nicht vorkommen.

26.2.4 Worum geht es übergeordnet? Eine einführende ,,formelfreie“ Bestandsaufnahme

Es ist alles andere als trivial, Raum und Zeit als physikalische ,,Gegenstände“ zu betrachten. Raum und Zeit sind primär ,,Ordnungsmuster des Verstandes“. Um aus diesen Ordnungsmustern Physik zu ,,erhalten“, bedarf es phänomenologischer Betrachtungen und Erklärungen.

Populärwissenschaftliche Ausführungen zur Allgemeinen Relativitätstheorie (ART) und in einem größeren Rahmen des Standardmodells der Kosmologie (Lambda-CDM-Modell) sind allesamt unzulässige Interpretationen, da die zum Verständnis notwendige Komplexität nicht berücksichtigt wird. Das ist so, als wenn jemand chinesische Schriftzeichen einem diesbezüglich nicht schriftkompetenten Publikum zur Anschauung und Diskussion vorstellt. Da kann dann alles und nichts hineininterpretiert werden, da niemand die Voraussetzungen zur Dekodierung sowie niemand die Voraussetzungen der Schriftgestaltung hat. Plakativ formuliert: In der ART führen auch Schreibfehler zu neuen Lösungen und das gilt (bereits) für Leute, die Differentialgeometrie professionell betreiben.

Das Standardmodell der Kosmologie basiert auf einem mathematisch-theoretischen Konstrukt mit einer großen Anzahl freier Parameter. Mit diesen, stetig nachkorrigierten freien Parametern entsteht eine komplexe Deutungs-Beliebigkeit, die jede Theorie unterstützt, die gewünscht ist.

26.2.5 Einige Worte zu einem Hauptproblem der ART und allgemein zu theoretischen Ansätzen: Die ,,thermodynamische Unverträglichkeit“

[1]... die Fata Morgana: die Verbindung zwischen Information und Entropie. Zwei Worte, die man – laut John von Neumann – beide nicht versteht, werden durch einen Logarithmus und eine dimensionsstiftende Konstante miteinander verknüpft. Was noch mehr verblüfft: Viele Kosmologen glauben allen Ernstes, dadurch die Thermodynamik und deren ganzen begrifflichen Apparat mit ins Boot zu holen. Daher Hawkings ,,Logik“: ,,Das Problem in Bekensteins Argumentation war, dass ein Schwarzes Loch, besäße es eine endliche Entropie proportional zur Fläche seines Ereignishorizonts, auch eine endliche Temperatur haben müsste. Daraus würde folgen, dass sich ein Schwarzes Loch bei irgendeiner Temperatur ungleich Null mit der thermischen Strahlung im Gleichgewicht befinden könnte. Doch nach klassischen Begriffen ist kein solches Gleichgewicht möglich, da das Schwarze Loch... absorbieren würde, ohne... zu emittieren.“ [HAWKING, S. W. (1998), S. 103].

[1]... Was die internationale Elite der theoretischen Kosmologen nie zur Kenntnis genommen hat – weil ihre Nachwuchsleute bei der vielen Konkurrenz wahrscheinlich nie Gibbs' Hauptwerke studiert haben – war die simple Tatsache, dass ,,ihre Entropie“ eher eine ,,Shannonsche Entropie“ ist, nämlich Informationen

betreffend, indes keine thermodynamische Entropie. Somit ist sie keiner absoluten, d.h. thermodynamischen Temperatur konjugiert. Folglich existiert auch kein Problem mit einer thermischen Strahlung. Natürlich steht es jedermann frei – wie Bekenstein und Hawking – Formeln für ,,ihre Entropie und Temperatur" z. B. aus dem ,,Ereignishorizont" ,,abzuleiten". Nur mit der Systemtheorie nach Gibbs, Falk u. a. hat das alles nichts zu tun! Dort ist die Entropie eine ,,Allgemeinphysikalische Größe" mit eigenständiger Bedeutung, die Temperatur T nichts anderes als die partielle Ableitung $(\partial E/\partial S)_{A,B,C,\ldots}$ bei konstant gehaltenen ,,aktiven" ,,Allgemeinphysikalischen Größen" $A, B, C, \ldots$ des betreffenden Systems. Zudem sind die Hauptsätze der Thermodynamik und die daraus abgeleiteten Bewegungsgleichungen mit Prozessgrößen formuliert, die lokal nichts mit der Einstein-Geometrie der ART zu tun haben. Das führt sofort zum Problem, inwieweit der Zweite Hauptsatz überhaupt mit der ART kompatibel ist...

[1]... Wenn man unbedingt eine zur Information konjugierte ,,informelle Temperatur" will, muss man sie aus der ,,Informationstheorie" ableiten; gewiss hat sie aber nichts mit der Kelvintemperatur zu tun und somit schon gar nichts mit *physikalischen* Strahlungsprozessen...

[1]... Das ,,Urknall-Problem" als ,,Ur-Singularität" tritt theoretisch nur dann auf, wenn Einsteins Credo (: Irreversibilität sei eine Illusion) zutrifft. Dieser Schluss bedeutet dann aber, dass man die Thermodynamik von vorneherein konsequent negiert und sich auf die lupenreine Hamilton-Mechanik als Basis der ART beschränkt, oder zumindest nur isentrope Prozesse (keine Entropieänderung) ins Auge fasst, um wenigstens das Phänomen der Hintergrundstrahlung zu ,,retten"...

[1]Quelle: Nichtmechanistische Darstellung der physikalischen Disziplinen als mathematische Systemtheorie – Vilmos Balogh

Die Gravitationskonstante G wird mit einer Unsicherheit von 4.7×10^{-5} gemessen – ist die ,,schlechteste" aller Naturkonstantenmessungen [3].

Die Hubble-Konstante schwankt je nach Messmethode um Prozente [4] – und das bei ausgewiesenen Fehlerbalken von unter einem Prozent. Das ergibt eine Signifikanz der Diskrepanz von 4–6σ. Das ΛCDM-Modell deutet diesen Befund als ,,Spannung", die nach ,,neuer Physik" verlange. Die methodisch einzig zulässige Deutung jedoch lautet: Ein Modell, das zwei derart präzise, aber unvereinbare Messungen hervorbringt, hat sich selbst falsifiziert. Die Signifikanz bezeugt nicht die Genauigkeit des Standardmodells der Kosmologie, sondern die Tiefe ihres Selbstwiderspruchs.

Randnotizen: Die Hintergrundstrahlung wurde zwar von der (inflationären) Urknall-Theorie vorhergesagt, aber wenig bekannt ist, daß die ersten Vorhersagen bei 50 K lagen und erst nachdem die Messwerte 1965 bekannt waren, wurde die Theorie ,,angepasst". Andere Wissenschaftler, die alternativ zur Urknall-These versuchten, die Theorie der Schwarzkörperstrahlung auf den Weltraum anzuwenden, errechneten Werte zwischen 0,75 K (Nernst 1938) und 6 K (Guillaume 1896). Wenn ,,jemand" nun ergebnisorientiert im Rahmen des ΛCDM-Modells ,,seinen" ,,Best-Fit" mit einem 10 % kleineren Wert ,,berechnet", erübrigt sich die Frage nach der Voraussagefähigkeit der verwendeten Theorie.

Vor diesem argumentativen Hintergrund ist eine Behauptung von 10^{-22} nicht nur unglaubwürdig, sondern methodisch absurd.

26.2.6 Die fehlende Kalibrierbarkeit

Eine Messung der Größenordnung 10^{-22} erfordert eine perfekte Kenntnis und Kontrolle aller Störquellen:

- thermische Rauschquellen,
- seismische Vibrationen,
- elektromagnetische Störungen,
- quantenmechanische Fluktuationen.

Diese Kontrolle ist in einem Laborexperiment bereits extrem schwierig – in einer großtechnischen Anlage wie LIGO ist sie unmöglich. Die Behauptung, man könne ein Signal von 10^{-22} vom Rauschen unterscheiden, ist eine Behauptung *ohne methodische Grundlage*.

26.2.7 Die fehlende Wiederholbarkeit

Ein wissenschaftliches Experiment muss wiederholbar sein. LIGO-Ereignisse sind einmalig und können nicht reproduziert werden. Die einzige „Bestätigung“ kommt von anderen Detektoren (Virgo), die mit denselben Methoden und denselben Modellannahmen arbeiten – es gibt keine unabhängige Kontrolle [5].

26.2.8 Folgerung

Die LIGO-„Messung“ ist keine Messung im wissenschaftlichen Sinne. Sie ist eine theoriebeladene Datenkonstruktion ohne methodische Grundlage.

26.3 Ebene 2: Die theoretische Inkonsistenz der Gravitationswellen-Lösungen

26.3.1 Die ART hat keine allgemeinen analytischen Lösungen

Die Einsteinschen Feldgleichungen sind ein System von nichtlinearen, gekoppelten Differentialgleichungen:

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}. \tag{289}$$

Sie besitzen keine allgemeinen analytischen Lösungen [6]. Um überhaupt rechenbare Lösungen zu erhalten, sind Idealisierungen und Näherungen erforderlich.

26.3.2 Die Näherungen verletzen das Kovarianzprinzip

Das Kovarianzprinzip ist ein zentrales Axiom der ART: Die Form der Naturgesetze soll nicht von der Wahl des Koordinatensystems abhängen. Die Gravitationswellen-Lösungen werden durch *Linearisierung* der Feldgleichungen gewonnen – eine Näherung für schwache Felder [7]. Diese Linearisierung ist *nicht kovariant*: Sie setzt eine bestimmte Koordinatenwahl (eine Zerlegung von Raum und Zeit) voraus, die das Axiom verletzt. Was aus einer kovarianzverletzenden Näherung stammt, kann **keine realphysikalisch begründete Bedeutung** beanspruchen.

26.3.3 Die Einbettung in den Newtonschen Raum-Container

Die linearisierten Lösungen werden für die LIGO-Interpretation in einen Newtonschen, flachen Raum eingebettet – sie werden in Raum und Zeit zerlegt, obwohl die ART postuliert, dass Raum und Zeit nicht trennbar sind [8]. Die Theorie, die letztlich zur Anwendung kommt, ist *nicht mehr allgemeinrelativistisch* im Sinne der ursprünglichen Axiomatik.

26.3.4 Folgerung

Gravitationswellen sind **Artefakte nicht-kovarianter, selektiver Näherungen**.

Sie sind mathematische Konstrukte, **keine** physikalischen Objekte.

26.3.5 Mathematik einst und heute

Wenn Euklid (... lebte wahrscheinlich im 3. Jahrhundert v. Chr.) noch nach plausibler Anschauung für mathematische Grundlagen suchte und somit eine interdisziplinäre Verbindung herstellte, die man als richtig oder falsch bewerten konnte, so stellt sich in der modernen Mathematik die Frage nach richtig oder falsch nicht. Euklids Definitionen sind explizit, sie verweisen auf außermathematische Objekte der ,,reinen Anschauung" wie Punkte, Linien und Flächen. ,,Ein Punkt ist, was keine Breite hat. Eine Linie ist breitenlose Länge. Eine Fläche ist, was nur Länge und Breite hat." Als David Hilbert (1862–1943) im 20. Jahrhundert erneut die Geometrie axiomatisierte, verwendete er ausschließlich implizite Definitionen. Die Objekte der Geometrie hießen zwar weiterhin ,,Punkte" und ,,Geraden" doch sie waren lediglich Elemente nicht weiter explizierter Mengen. Angeblich soll Hilbert gesagt haben, dass man jederzeit anstelle von Punkten und Geraden auch von Tischen und Stühlen reden könnte, ohne dass die rein logische Beziehung zwischen diesen Objekten gestört wäre.

Doch inwieweit axiomatisch begründete Abstraktionen an realphysikalische Objekte ankoppeln, steht auf einem ganz anderen Blatt. Mathematik schafft keine neuen Erkenntnisse, auch wenn das Theoretische Physiker im Rahmen der Standardmodelle der Kosmologie und Teilchenphysik gerne glauben.

,,Keine Kirche hält ihre Gläubigen so streng am Wickel wie die ,,moderne Wissenschaft" ihre Gemeinde." stellte *Christian Morgenstern* (1871–1914) schon vor mehr als 100 Jahren fest.

26.4 Ebene 3: Die erkenntnistheoretische Unmöglichkeit einer ,,Raumzeit-Messung"

26.4.1 Raumzeit ist nicht messbar

Die ART postuliert Raumzeit als ein vierdimensionales Kontinuum, in dem Raum und Zeit untrennbar miteinander verbunden sind [9]. Jede physikalische Messung ist jedoch *raum-zeit-entkoppelt*: Wir messen eine Zeitdifferenz in einem räumlichen Arrangement. Eine Messung der Raumzeit selbst würde voraussetzen, dass wir sie ,,von außen" betrachten können – ein logischer Widerspruch.

26.4.2 Was LIGO tatsächlich misst

LIGO misst **Phasenunterschiede von Laserlicht** in einem Interferometer – nichts anderes [2]. Die Interpretation dieser Phasenunterschiede als ,,Raumzeit-Krümmung" ist ein metaphysischer Akt, kein physikalischer. Die Ursache der Phasenunterschiede könnte *irgendetwas* sein (thermische Effekte, elektromagnetische Störungen, unverstandene Rauschquellen) – es gibt keine methodische Grundlage, sie spezifisch Gravitationswellen zuzuschreiben.

26.4.3 Folgerung

Die Behauptung, man habe Gravitationswellen ,,gemessen", ist **epistemologisch unmöglich**. Eine Raumzeit-Messung ist ein Widerspruch in sich.

26.5 Ebene 4: Die historische und soziologische Dimension

26.5.1 Einsteins eigene Zweifel

Einstein selbst war sich 1936–1938 unsicher, ob Gravitationswellen existieren – und kam zeitweise zu dem Schluss, dass sie *nicht existieren* [10]. Wenn der Schöpfer der Theorie die Existenz seiner eigenen Wellenlösungen bezweifelte, ist die heutige Gewissheit der LIGO-Gemeinschaft *nicht durch die Theorie gedeckt*.

26.5.2 Die Immunisierungsstrategie des ΛCDM-Modells

Das ΛCDM-Modell ist durch ständige Hinzufügung neuer, unbeobachtbarer Parameter (Inflation, Dunkle Materie, Dunkle Energie) gegen Falsifikation immunisiert worden [11]. Gravitationswellen und Schwarze Löcher sind *notwendige Konstrukte* dieses Modells – ihr vermeintlicher Nachweis lenkt von den eigentlichen Modell-Inkonsistenzen ab. Das gesamte Modell würde zusammenbrechen, wenn diese Konstrukte als das erkannt würden, was sie sind: Artefakte nicht-kovarianter Näherungen.

26.5.3 Die Unterdrückung von Kritik

Kritiker wie Halton Arp [12] oder Dirk Freyling, die Elementarkörpertheorie (EKT) [14], werden systematisch aus dem wissenschaftlichen Diskurs ausgeschlossen (Publikationsverweigerung, Entzug von Ressourcen, Rufschädigung). Die wissenschaftliche Gemeinschaft hat sich in ein Paradigma investiert, das nicht mehr hinterfragt werden kann, ohne das gesamte Gebäude zum Einsturz zu bringen.

26.5.4 Folgerung

Die LIGO-„Detektionen“ sind kein wissenschaftlicher Beweis – sie sind ein **soziologisches Phänomen**, das durch die Macht der etablierten Paradigmen aufrechterhalten wird.

26.6 Gesamtfazit

Die logisch-argumentative Widerlegung von LIGO und Gravitationswellen lässt sich in fünf Punkten zusammenfassen:

Punkt	**Kernaussage**
1. Methodische Unmöglichkeit	Die behauptete Genauigkeit von 10^{-22} ist um zehn Größenordnungen höher als alles, was im Labor kontrollierbar ist.
2. Theoretische Inkonsistenz	Die Gravitationswellen-Lösungen sind nicht-kovariante Näherungen – sie verletzen das zentrale Axiom der ART.
3. Erkenntnistheoretische Unmöglichkeit	Eine „Raumzeit-Messung“ ist ein Widerspruch in sich – Messungen sind immer raum-zeit-entkoppelt.
4. Historische Unsicherheit	Einstein selbst bezweifelte die Existenz von Gravitationswellen – die heutige Gewissheit ist nicht durch die Theorie gedeckt.
5. Soziologische Immunisierung	Das ΛCDM-Modell ist durch unbeobachtbare Parameter gegen Falsifikation immunisiert – Kritik wird systematisch unterdrückt.

Tabelle 17: Zusammenfassung der Widerlegungsargumente

26.6.1 Endergebnis

Gravitationswellen sind **Artefakte** – mathematische Konstrukte, die aus nicht-kovarianten Näherungen stammen, deren behauptete Genauigkeit methodisch nicht kontrollierbar ist und deren „Nachweis“ auf einer theoriebeladenen Dateninterpretation beruht, die keine unabhängige Bestätigung zulässt.

26.7 Kosmologische ART und ΛCDM

Lückenlose Herleitung von der Einstein-Gleichung zu Friedmann, $H(z)$ und Distanzen

26.7.1 Einstein-Gleichung mit kosmologischer Konstante

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}. \tag{1}$$

26.7.2 Homogenität und Isotropie als kosmologische Setzung

Die räumlichen Hyperflächen werden als homogen und isotrop angenommen. Dadurch wird die allgemeine Metrik auf die FLRW-Form reduziert:

$$ds^2 = -c^2 dt^2 + a(t)^2 \left[\frac{dr^2}{1 - kr^2} + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2\theta \, d\phi^2 \right]. \tag{2}$$

Die unbekannte kosmische Dynamik steckt im Skalenfaktor $a(t)$. k ist der konstante räumliche Krümmungsparameter.

26.7.3 Metrikkomponenten

$$g_{\mu\nu} = \mathrm{diag}\left(-c^2, \frac{a^2}{1 - kr^2}, a^2 r^2, a^2 r^2 \sin^2\theta \right). \tag{3}$$

Die inverse Metrik ist

$$g^{\mu\nu} = \mathrm{diag}\left(-\frac{1}{c^2}, \frac{1 - kr^2}{a^2}, \frac{1}{a^2 r^2}, \frac{1}{a^2 r^2 \sin^2\theta} \right). \tag{4}$$

Definiere

$$H = \frac{\dot{a}}{a}. \tag{5}$$

26.7.4 Ausgewählte Christoffelsymbole

Aus

$$\Gamma^{\rho}_{\mu\nu} = \frac{1}{2} g^{\rho\sigma} \left(\partial_\mu g_{\sigma\nu} + \partial_\nu g_{\sigma\mu} - \partial_\sigma g_{\mu\nu} \right) \tag{6}$$

folgen unter anderem

$$\Gamma^0_{rr} = \frac{a\dot{a}}{c^2(1 - kr^2)}, \tag{7}$$

$$\Gamma^0_{\theta\theta} = \frac{a\dot{a}}{c^2} r^2, \tag{8}$$

$$\Gamma^0_{\phi\phi} = \frac{a\dot{a}}{c^2} r^2 \sin^2\theta, \tag{9}$$

und

$$\Gamma^r_{0r} = \Gamma^\theta_{0\theta} = \Gamma^\phi_{0\phi} = H. \tag{10}$$

26.7.5 Ricci-Tensor

Nach Einsetzen der Christoffelsymbole in

$$R_{\mu\nu} = \partial_\lambda \Gamma^\lambda_{\mu\nu} - \partial_\nu \Gamma^\lambda_{\mu\lambda} + \Gamma^\lambda_{\mu\nu}\Gamma^\sigma_{\lambda\sigma} - \Gamma^\sigma_{\mu\lambda}\Gamma^\lambda_{\nu\sigma} \tag{11}$$

erhält man

$$R_{00} = -3\frac{\ddot{a}}{a}. \tag{12}$$

Die räumlichen Komponenten haben die gemeinsame Struktur

$$R_{ij} = \frac{a\ddot{a} + 2\dot{a}^2 + 2kc^2}{c^2}\gamma_{ij}, \tag{13}$$

wobei γ_{ij} die zeitunabhängige räumliche Einheitsmetrik bezeichnet.

Der Ricci-Skalar ist

$$R = \frac{6}{c^2}\left[\frac{\ddot{a}}{a} + \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 + \frac{kc^2}{a^2}\right]. \tag{14}$$

26.7.6 Einstein-Tensor

Für die 00-Komponente ergibt sich

$$G_{00} = R_{00} - \frac{1}{2}g_{00}R. \tag{15}$$

Da $g_{00} = -c^2$:

$$G_{00} = -3\frac{\ddot{a}}{a} + \frac{c^2}{2}\frac{6}{c^2}\left[\frac{\ddot{a}}{a} + H^2 + \frac{kc^2}{a^2}\right] \tag{16}$$

$$= 3\left(H^2 + \frac{kc^2}{a^2}\right). \tag{17}$$

Also

$$G_{00} = 3\left(H^2 + \frac{kc^2}{a^2}\right). \tag{18}$$

26.7.7 Materietensor als ideales Fluid

Homogenität und Isotropie erzwingen für Materie die perfekte-Fluid-Form

$$T_{\mu\nu} = \left(\rho + \frac{p}{c^2}\right)u_\mu u_\nu + p g_{\mu\nu}. \tag{19}$$

Im komovierenden System:

$$u^\mu = (1, 0, 0, 0) \tag{20}$$

bei Verwendung der kosmischen Zeitkonvention. Daraus folgt

$$T_{00} = \rho c^2. \tag{21}$$

26.7.8 Erste Friedmann-Gleichung

Die 00-Einstein-Gleichung lautet

$$G_{00} + \Lambda g_{00} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{00}. \tag{22}$$

Einsetzen:

$$3\left(H^2+\frac{kc^2}{a^2}\right)-\Lambda c^2=\frac{8\pi G}{c^2}\rho. \tag{23}$$

Bei der hier verwendeten Konvention für ρ als Massendichte folgt

$$H^2=\frac{8\pi G}{3}\rho-\frac{kc^2}{a^2}+\frac{\Lambda c^2}{3}. \tag{24}$$

26.7.9 Zweite Friedmann-Gleichung

Aus einer räumlichen Diagonalkomponente erhält man nach Einsetzen von $T_{ij}=pg_{ij}$:

$$\frac{\ddot{a}}{a}=-\frac{4\pi G}{3}\left(\rho+\frac{3p}{c^2}\right)+\frac{\Lambda c^2}{3}. \tag{25}$$

26.7.10 Kontinuitätsgleichung

Die kontrahierte Bianchi-Identität erzwingt

$$\nabla_\mu G^{\mu\nu}=0. \tag{26}$$

Damit folgt aus der Einstein-Gleichung

$$\nabla_\mu T^{\mu\nu}=0. \tag{27}$$

Für das FLRW-Fluid ergibt die $\nu=0$-Komponente

$$\dot{\rho}+3H\left(\rho+\frac{p}{c^2}\right)=0. \tag{28}$$

26.7.11 Zustandsgleichung und Dichteskalierung

Setze für eine Komponente

$$p=w\rho c^2. \tag{29}$$

Dann

$$\dot{\rho}+3H\rho(1+w)=0. \tag{30}$$

Mit

$$H=\frac{\dot{a}}{a} \tag{31}$$

wird

$$\frac{\dot{\rho}}{\rho}=-3(1+w)\frac{\dot{a}}{a}. \tag{32}$$

Integration:

$$\ln\rho=-3(1+w)\ln a+\text{const.} \tag{33}$$

Also

$$\rho(a)=\rho_0 a^{-3(1+w)}. \tag{34}$$

Spezialfälle:

$$w=0: \qquad \rho_m=\rho_{m0}a^{-3}, \tag{35}$$

$$w=\frac{1}{3}: \qquad \rho_r=\rho_{r0}a^{-4}, \tag{36}$$

$$w = -1: \qquad \rho_\Lambda = \text{const.} \tag{37}$$

26.7.12 Dichteparameter

Definiere heute

$$\rho_c = \frac{3H_0^2}{8\pi G}. \tag{38}$$

Dann

$$\Omega_m = \frac{\rho_{m0}}{\rho_c}, \qquad \Omega_r = \frac{\rho_{r0}}{\rho_c}, \tag{39}$$

$$\Omega_\Lambda = \frac{\Lambda c^2}{3H_0^2}, \qquad \Omega_k = -\frac{kc^2}{H_0^2}. \tag{40}$$

Bei $a_0 = 1$ und

$$1 + z = \frac{1}{a} \tag{41}$$

folgt

$$H(z)^2 = H_0^2 \left[\Omega_r(1+z)^4 + \Omega_m(1+z)^3 + \Omega_k(1+z)^2 + \Omega_\Lambda\right]. \tag{42}$$

26.7.13 Lichtausbreitung und Distanz

Für radial laufendes Licht:

$$ds^2 = 0. \tag{43}$$

Damit

$$c^2 dt^2 = a(t)^2 \frac{dr^2}{1 - kr^2}. \tag{44}$$

Definiere die radiale komovierende Koordinate χ durch

$$d\chi = \frac{dr}{\sqrt{1 - kr^2}}. \tag{45}$$

Dann

$$d\chi = \frac{c\,dt}{a(t)}. \tag{46}$$

Mit

$$1 + z = \frac{1}{a}, \qquad \frac{dz}{dt} = -(1+z)H(z) \tag{47}$$

folgt

$$dt = -\frac{dz}{(1+z)H(z)}. \tag{48}$$

Da $a = 1/(1+z)$:

$$\frac{dt}{a} = -\frac{dz}{H(z)}. \tag{49}$$

Somit

$$\chi(z) = c \int_0^z \frac{dz'}{H(z')}. \tag{50}$$

Für $k = 0$:

$$D_M = \chi. \tag{51}$$

Winkeldurchmesserentfernung:

$$D_A = \frac{\chi}{1+z}. \tag{52}$$

Leuchtkraftentfernung:

$$D_L = (1+z)\chi. \tag{53}$$

Distanzmodul:

$$\mu = 5\log_{10}\left(\frac{D_L}{10\,\mathrm{pc}}\right). \tag{54}$$

26.7.14 Wo beginnt ΛCDM über die reine FLRW-Reduktion hinaus?

Die Friedmann-Gleichungen bestimmen $a(t)$ nicht ohne Spezifikation der Materiekomponenten und ihrer Zustandsgleichungen. ΛCDM legt zusätzlich eine konkrete Zusammensetzung fest:

$$\text{Strahlung} + \text{baryonische Materie} + \text{kalte dunkle Materie} + \Lambda. \tag{55}$$

Für reale Strukturbildung wird die homogene Lösung gestört:

$$g_{\mu\nu} = \bar{g}_{\mu\nu} + \delta g_{\mu\nu}, \tag{56}$$

$$\rho = \bar{\rho} + \delta\rho. \tag{57}$$

Lineare Kosmologie behält nur Terme erster Ordnung in den Störungen.

26.7.15 Methodische Kette

$G_{\mu\nu}+\Lambda g_{\mu\nu} \to$ Homogenität + Isotropie $\to$ FLRW $\to T^{\mathrm{Fluid}}_{\mu\nu} \to$ Friedmann I + II $\to \nabla_\mu T^{\mu\nu} = 0 \to p = w\rho c^2 \to \rho(a) \to H$

26.8 Lückenlose Herleitung der Periheldrehung des Merkur in der Allgemeinen Relativitätstheorie

26.8.1 Ziel und methodische Trennung

Die Herleitung wird vollständig vom kovarianten Ursprung bis zur bekannten Näherungsformel für die Periheldrehung geführt. Dabei werden vier Ebenen auseinandergehalten:

1. die allgemein kovariante Einstein-Feldgleichung,
2. die physikalisch-geometrischen Setzungen für eine statische, kugelsymmetrische Quelle,
3. die exakte Schwarzschild-Lösung und die exakte Geodätengleichung,
4. die erst danach einsetzende Störungsrechnung für die Merkurbahn.

Die bekannte Formel

$$\Delta\phi \simeq \frac{6\pi GM}{c^2 a(1-e^2)} \tag{1}$$

ist somit nicht die unmittelbare Ausgabe der Einstein-Feldgleichung, sondern das Ende einer Kette aus Symmetriereduktion, exakter Integration, Geodätendynamik und anschließender Näherungslösung.

26.8.2 Der kovariante Ursprung

Die Einstein-Feldgleichung ohne kosmologische Konstante lautet

$$G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu} \tag{2}$$

$$R = g^{\alpha\beta} R_{\alpha\beta} \tag{3}$$

Der Ricci-Tensor ist

$$R_{\mu\nu} = \partial_\lambda \Gamma^\lambda_{\mu\nu} - \partial_\nu \Gamma^\lambda_{\mu\lambda} + \Gamma^\lambda_{\mu\nu} \Gamma^\sigma_{\lambda\sigma} - \Gamma^\sigma_{\mu\lambda} \Gamma^\lambda_{\nu\sigma} \tag{4}$$

und die Christoffelsymbole sind

$$\Gamma^\rho_{\mu\nu} = \frac{1}{2} g^{\rho\sigma} \left(\partial_\mu g_{\sigma\nu} + \partial_\nu g_{\sigma\mu} - \partial_\sigma g_{\mu\nu} \right) \tag{5}$$

Für den Außenraum der Sonne wird gesetzt

$$T_{\mu\nu} = 0 \tag{6}$$

$$G_{\mu\nu} = 0 \tag{7}$$

Durch Kontraktion erhält man im Vakuum

$$R = 0 \tag{8}$$

$$R_{\mu\nu} = 0 \tag{9}$$

Dies ist die exakte Ausgangsgleichung für die Schwarzschild-Lösung.

26.8.3 Der allgemeine Tensor und die Symmetriereduktion

Ein symmetrischer metrischer Tensor besitzt in vier Dimensionen zunächst zehn unabhängige

$$g_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} g_{00} & g_{01} & g_{02} & g_{03} \\ g_{01} & g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ g_{02} & g_{12} & g_{22} & g_{23} \\ g_{03} & g_{13} & g_{23} & g_{33} \end{pmatrix}$$

(10)

27 Anhang

Entsprechend ist auch der Einstein-Tensor zunächst

$$G_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} G_{00} & G_{01} & G_{02} & G_{03} \\ G_{01} & G_{11} & G_{12} & G_{13} \\ G_{02} & G_{12} & G_{22} & G_{23} \\ G_{03} & G_{13} & G_{23} & G_{33} \end{pmatrix} \tag{11}$$

Für die klassische Merkurrechnung wird jedoch von vornherein eine statische, kugelsymmetrische

$$ds^2 = -e^{2\nu(r)}c^2dt^2 + e^{2\lambda(r)}dr^2 + r^2d\theta^2 + r^2\sin^2\theta\, d\phi^2 \tag{12}$$

Damit sind bereits folgende Setzungen vorgenommen:

- Statik:

$$\partial t g\mu\nu = 0.$$

- Kugelsymmetrie: die unbekannten Funktionen hängen nur von r ab.
- Keine Rotation der Quelle.
- Keine Multipolstruktur der Quelle.
- Keine äußeren Körper.
- Keine zeitabhängigen Felder.
- Arealradius r:

$$g\theta\theta = r^2$$

$$, g\phi\phi = r^2$$

sin2 θ.

Die Metrikmatrix lautet somit

$$g_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} -c^2 e^{2\nu(r)} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{2\lambda(r)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r^2 \sin^2\theta \end{pmatrix} \tag{13}$$

und der inverse metrische Tensor

$$g^{\mu\nu} = \begin{pmatrix} -e^{-2\nu(r)}/c^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{-2\lambda(r)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/r^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/(r^2 \sin^2\theta) \end{pmatrix} \tag{14}$$

27.0.1 Nichtverschwindende Christoffelsymbole

Für die Metrik (12) sind die unabhängigen nichtverschwindenden Christoffelsymbole:

$$\Gamma^t_{tr} = \Gamma^t_{rt} = \nu' \tag{15}$$

$$\Gamma^r_{tt} = c^2 e^{2(\nu-\lambda)} \nu' \tag{16}$$

$$\Gamma^r_{rr} = \lambda' \tag{17}$$

$$\Gamma^r_{\theta\theta} = -r e^{-2\lambda} \tag{18}$$

$$\Gamma^r_{\phi\phi} = -r e^{-2\lambda} \sin^2\theta \tag{19}$$

$$\Gamma^\theta_{r\theta} = \Gamma^\theta_{\theta r} = \frac{1}{r} \tag{20}$$

$$\Gamma^\phi_{r\phi} = \Gamma^\phi_{\phi r} = \frac{1}{r} \tag{21}$$

$$\Gamma^\theta_{\phi\phi} = -\sin\theta\cos\theta \tag{22}$$

$$\Gamma^\phi_{\theta\phi} = \Gamma^\phi_{\phi\theta} = \cot\theta \tag{23}$$

Als vier 4×4-Matrizen:

$$\Gamma^t_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} 0 & \nu' & 0 & 0 \\ \nu' & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \tag{24}$$

$$\Gamma^r_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} c^2 e^{2(\nu-\lambda)}\nu' & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda' & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -re^{-2\lambda} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -re^{-2\lambda}\sin^2\theta \end{pmatrix} \tag{25}$$

$$\Gamma^\theta_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/r & 0 \\ 0 & 1/r & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin\theta\cos\theta \end{pmatrix} \tag{26}$$

$$\Gamma^\phi_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/r \\ 0 & 0 & 0 & \cot\theta \\ 0 & 1/r & \cot\theta & 0 \end{pmatrix} \tag{27}$$

Bis hierhin wurde keine Schwachfeldnäherung vorgenommen.

27.0.2 Ricci-Tensor und Einstein-Tensor

Aus den Christoffelsymbolen folgt

$$R_{tt} = c^2 e^{2(\nu-\lambda)}\left[\nu'' + \nu'^2 - \nu'\lambda' + \frac{2\nu'}{r}\right] \tag{28}$$

$$R_{rr} = -\nu'' - \nu'^2 + \nu'\lambda' + \frac{2\lambda'}{r} \tag{29}$$

$$R_{\theta\theta} = 1 - e^{-2\lambda}\left[1 + r(\nu' - \lambda')\right] \tag{30}$$

$$R_{\phi\phi} = \sin^2\theta\, R_{\theta\theta} \tag{31}$$

Damit ist

$$R_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} R_{tt} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_{rr} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_{\theta\theta} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin^2\theta\, R_{\theta\theta} \end{pmatrix} \tag{32}$$

Für die gemischten Komponenten des Einstein-Tensors erhält man

$$G^t{}_t = -\frac{1}{r^2} + e^{-2\lambda}\left(\frac{1}{r^2} - \frac{2\lambda'}{r}\right) \tag{33}$$

$$G^r{}_r = -\frac{1}{r^2} + e^{-2\lambda}\left(\frac{1}{r^2} + \frac{2\nu'}{r}\right) \tag{34}$$

$$G^\theta{}_\theta = G^\phi{}_\phi = e^{-2\lambda}\left[\nu'' + \nu'^2 - \nu'\lambda' + \frac{\nu' - \lambda'}{r}\right] \tag{35}$$

$$G^\mu{}_\nu = 0 \tag{36}$$

Die Winkelgleichung ist wegen der kontrahierten Bianchi-Identität

$$\nabla_\mu G^\mu{}_\nu = 0 \tag{37}$$

nicht unabhängig von den beiden radialen Gleichungen.

27.0.3 Exakte Integration zur Schwarzschild-Lösung

$$-\frac{1}{r^2} + e^{-2\lambda}\left(\frac{1}{r^2} - \frac{2\lambda'}{r}\right) = 0 \tag{38}$$

$$f(r) = e^{-2\lambda(r)} \tag{39}$$

$$f' = -2\lambda' f \tag{40}$$

Die Gleichung wird

$$-\frac{1}{r^2} + \frac{f}{r^2} + \frac{f'}{r} = 0 \tag{41}$$

$$-1 + f + rf' = 0 \tag{42}$$

$$\frac{d}{dr}(rf) = f + rf' \tag{43}$$

$$\frac{d}{dr}(rf) = 1 \tag{44}$$

$$rf = r + C_1 \tag{45}$$

$$f(r) = 1 + \frac{C_1}{r} \tag{46}$$

$$e^{-2\lambda} = 1 - \frac{C}{r} \tag{47}$$

Nun wird (34) verwendet:

$$-\frac{1}{r^2} + e^{-2\lambda}\left(\frac{1}{r^2} + \frac{2\nu'}{r}\right) = 0 \tag{48}$$

$$-1 + f + 2rf\nu' = 0 \tag{49}$$

$$\nu' = \frac{C}{2r(r-C)} \tag{50}$$

Aus (47) folgt gleichzeitig

$$\lambda' = -\frac{C}{2r(r-C)} \tag{51}$$

$$\nu' = -\lambda' \tag{52}$$

$$\nu = -\lambda + K \tag{53}$$

$$e^{2\nu} = e^{2K}e^{-2\lambda} \tag{54}$$

Asymptotische Flachheit verlangt

$$r \to \infty : \quad g_{tt} \to -c^2 \tag{55}$$

$$e^{2K} = 1 \tag{56}$$

$$e^{2\nu} = 1 - \frac{C}{r} \tag{57}$$

Bis hier ist C lediglich eine Integrationskonstante. Zur Identifikation mit der Quellmasse wird der schwache statische Grenzfall herangezogen:

$$g_{tt} \simeq -c^2 \left(1 + \frac{2\Phi_N}{c^2}\right), \qquad \Phi_N = -\frac{GM}{r} \tag{58}$$

$$g_{tt} \simeq -c^2 \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right) \tag{59}$$

$$g_{tt} = -c^2 \left(1 - \frac{C}{r}\right) \tag{60}$$

$$C = \frac{2GM}{c^2} \equiv r_s \tag{61}$$

Damit folgt die Schwarzschild-Metrik:

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{r_s}{r}\right) c^2 dt^2 + \left(1 - \frac{r_s}{r}\right)^{-1} dr^2 + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2\theta \, d\phi^2 \tag{62}$$

$$r_s = \frac{2GM}{c^2} \tag{63}$$

Innerhalb der genannten Symmetrie- und Vakuumannahmen ist (62) eine exakte Lösung. Eine Schwachfeldentwicklung der Metrik wurde zur Lösung der Vakuumgleichungen nicht verwendet; der Newtonsche Grenzfall dient hier zur physikalischen Identifikation der Integrationskonstante C.

27.0.4 Exakte Geodätengleichung für Merkur

$$f(r) = 1 - \frac{r_s}{r} \tag{64}$$

$$ds^2 = -f c^2 dt^2 + f^{-1} dr^2 + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2\theta \, d\phi^2 \tag{65}$$

Für einen massebehafteten Testkörper gilt exakt

$$\frac{d^2x^\mu}{d\tau^2} + \Gamma^\mu_{\alpha\beta}\frac{dx^\alpha}{d\tau}\frac{dx^\beta}{d\tau} = 0 \tag{66}$$

$$\dot{x} = \frac{dx}{d\tau} \tag{67}$$

Die vier Komponenten sind:

$$\ddot{t} + \frac{f'}{f}\dot{t}\,\dot{r} = 0 \tag{68}$$

Dies ist exakt integrierbar:

$$\frac{d}{d\tau}(f\dot{t}) = 0 \tag{69}$$

$$E = fc^2\dot{t} = \text{const.} \tag{70}$$

$$\ddot{r} + \frac{c^2}{2}ff'\dot{t}^2 - \frac{f'}{2f}\dot{r}^2 - rf\dot{\theta}^2 - rf\sin^2\theta\,\dot{\phi}^2 = 0 \tag{71}$$

$$\ddot{\theta} + \frac{2}{r}\dot{r}\,\dot{\theta} - \sin\theta\cos\theta\,\dot{\phi}^2 = 0 \tag{72}$$

Aufgrund der Kugelsymmetrie kann die Bahnebene als Äquatorebene gewählt werden:

$$\theta = \frac{\pi}{2}, \qquad \dot{\theta} = 0 \tag{73}$$

$$\ddot{\phi} + \frac{2}{r}\dot{r}\,\dot{\phi} = 0 \tag{74}$$

Dies ist äquivalent zu

$$\frac{d}{d\tau}(r^2\dot{\phi}) = 0 \tag{75}$$

$$h = r^2\dot{\phi} = \text{const.} \tag{76}$$

27.0.5 Exakte radiale Energiegleichung

Für eine zeitartige Geodäte gilt die Normierung

$$g_{\mu\nu}\dot{x}^\mu\dot{x}^\nu = -c^2 \tag{77}$$

$$-fc^2\dot{t}^2 + f^{-1}\dot{r}^2 + r^2\dot{\phi}^2 = -c^2 \tag{78}$$

$$\dot{t} = \frac{E}{fc^2}, \qquad \dot{\phi} = \frac{h}{r^2} \tag{79}$$

$$-\frac{E^2}{fc^2} + \frac{\dot{r}^2}{f} + \frac{h^2}{r^2} = -c^2 \tag{80}$$

$$-\frac{E^2}{c^2} + \dot{r}^2 + f\frac{h^2}{r^2} = -fc^2 \tag{81}$$

$$\dot{r}^2 = \frac{E^2}{c^2} - f\left(c^2 + \frac{h^2}{r^2}\right) \tag{82}$$

$$f = 1 - \frac{2GM}{c^2 r} \tag{83}$$

ergibt sich nach Ausmultiplizieren

$$\dot{r}^2 = \frac{E^2}{c^2} - c^2 - \frac{h^2}{r^2} + \frac{2GM}{r} + \frac{2GMh^2}{c^2 r^3} \tag{84}$$

Der 1/r3-Term ist hier noch kein Resultat einer Schwachfeld-Störungsentwicklung, sondern folgt algebraisch aus der Schwarzschild-Geodätendynamik.

27.0.6 Exakte Binet-Gleichung

$$u(\phi) = \frac{1}{r} \tag{85}$$

$$\dot{\phi} = hu^2 \tag{86}$$

$$\frac{dr}{d\phi} = -\frac{1}{u^2}\frac{du}{d\phi} \tag{87}$$

$$\dot{r} = \frac{dr}{d\phi}\dot{\phi} = -hu' \tag{88}$$

$$u' = \frac{du}{d\phi} \tag{89}$$

$$h^2(u')^2 = \frac{E^2}{c^2} - c^2 - h^2u^2 + 2GMu + \frac{2GMh^2}{c^2}u^3 \tag{90}$$

$$2h^2u'u'' = -2h^2uu' + 2GMu' + \frac{6GMh^2}{c^2}u^2u' \tag{91}$$

Für u′ ≠ 0 kann durch 2h2u′ dividiert werden; die erhaltene Differentialgleichung gilt durch stetige Fortsetzung auch an den radialen Umkehrpunkten:

$$u'' = -u + \frac{GM}{h^2} + \frac{3GM}{c^2}u^2 \tag{92}$$

$$u'' + u = \frac{GM}{h^2} + \frac{3GM}{c^2}u^2 \tag{93}$$

Innerhalb der Schwarzschild-Testkörperbeschreibung ist (93) noch keine linearisierte Schwachfeldgleichung.

27.0.7 Beginn der Näherung: Störungsrechnung

Die Näherung beginnt nun beim Lösen der nichtlinearen Gleichung (93).

$$p = \frac{h^2}{GM} \tag{94}$$

Die Gleichung lautet

$$u'' + u = \frac{1}{p} + \frac{3GM}{c^2}u^2 \tag{95}$$

Als Lösung nullter Ordnung wird die Keplerform verwendet:

$$u_0(\phi) = \frac{1}{p}(1 + e\cos\phi) \tag{96}$$

$$u_0'' + u_0 = \frac{1}{p} \tag{97}$$

Nun wird angesetzt

$$u = u_0 + \delta u \tag{98}$$

Einsetzen in die exakte Binet-Gleichung ergibt

$$\delta u'' + \delta u = \frac{3GM}{c^2}\left(u_0^2 + 2u_0\delta u + (\delta u)^2\right) \tag{99}$$

Für den kleinen Parameter

$$\epsilon = \frac{GM}{c^2 p} \ll 1 \tag{100}$$

wird δu als Größe erster Ordnung behandelt. Terme höherer Ordnung werden verworfen:

$$\delta u'' + \delta u \simeq \frac{3GM}{c^2} u_0^2 \tag{101}$$

$$u_0^2 = \frac{1}{p^2}\left(1 + 2e\cos\phi + e^2\cos^2\phi\right) \tag{102}$$

$$\delta u'' + \delta u \simeq \frac{3GM}{c^2 p^2}\left(1 + 2e\cos\phi + e^2\cos^2\phi\right) \tag{103}$$

Für die säkulare Periheldrehung ist der resonante Anteil

$$\frac{6GMe}{c^2 p^2}\cos\phi \tag{104}$$

entscheidend.

$$y'' + y = A\cos\phi \tag{105}$$

lautet eine resonante partikuläre Lösung

$$y_{\mathrm{res}} = \frac{A}{2}\,\phi\sin\phi \tag{106}$$

$$\delta u_{\mathrm{res}} = \frac{3GMe}{c^2 p^2}\phi\sin\phi \tag{107}$$

Damit enthält die Bahn in erster Ordnung

$$u \simeq \frac{1}{p}\left[1 + e\cos\phi + e\frac{3GM}{c^2 p}\phi\sin\phi + \ldots\right] \tag{108}$$

$$\cos[(1-\delta)\phi] \simeq \cos\phi + \delta\phi\sin\phi \tag{109}$$

$$\delta = \frac{3GM}{c^2 p} \tag{110}$$

Eine radiale Periode ist erreicht, wenn

$$(1-\delta)\phi = 2\pi \tag{111}$$

$$\phi = \frac{2\pi}{1-\delta} \simeq 2\pi(1+\delta) \tag{112}$$

Die zusätzliche Winkelverschiebung pro Umlauf ist somit

$$\Delta\phi = \phi - 2\pi \simeq 2\pi\delta \tag{113}$$

$$\Delta\phi \simeq \frac{6\pi GM}{c^2 p} \tag{114}$$

Mit der in erster Ordnung verwendeten Beziehung

$$p = a(1-e^2) \tag{115}$$

$$\Delta\phi \simeq \frac{6\pi GM}{c^2 a(1-e^2)} \tag{116}$$

pro Umlauf.

27.0.8 Numerische Auswertung für Merkur

Für die Sonne und Merkur verwenden wir beispielhaft

$$G = 6.67430 \times 10^{-11}\,\mathrm{m^3\,kg^{-1}\,s^{-2}} \tag{117}$$

$$M_\odot \approx 1.98847 \times 10^{30}\,\mathrm{kg} \tag{118}$$

$$c = 2.99792458 \times 10^{8}\,\mathrm{m/s} \tag{119}$$

$$a \approx 5.790905 \times 10^{10}\,\mathrm{m} \tag{120}$$

$$e \approx 0.205630 \tag{121}$$

Dann ergibt sich aus Dann ergibt sich aus (116)

$$\Delta\phi \approx 5.02 \times 10^{-7}\,\mathrm{rad/Umlauf} \tag{122}$$

$$1\,\mathrm{rad} = 206264.806\ldots'' \tag{123}$$

$$\Delta\phi \approx 0.1035''/\mathrm{Umlauf} \tag{124}$$

Die Umlaufzeit des Merkur beträgt etwa

$$87.9691\,\mathrm{Tage} \tag{125}$$

Ein julianisches Jahrhundert enthält

$$36525\,\mathrm{Tage} \tag{126}$$

$$N = \frac{36525}{87.9691} \approx 415.20 \tag{127}$$

$$\Delta\phi_{\mathrm{Jh}} \approx 42.98'' \approx 43.0'' \tag{128}$$

pro Jahrhundert.

27.0.9 Explizite Liste der Setzungen und Näherungen

Vor der Lösung der Feldgleichung

1. statische Quelle,
2. exakte Kugelsymmetrie,
3. keine Rotation,
4. keine Multipolstruktur,

5. keine äußeren Körper,

6. Außenraum:
$$T_{\mu\nu} = 0,$$

7. Wahl des Arealradius und der Schwarzschild-Koordinaten.

Bei der physikalischen Identifikation der Vakuumlösung

Die Vakuumgleichung liefert zunächst nur die Integrationskonstante C. Die Identifikation
$$C = \frac{2GM}{c^2} \tag{129}$$
erfolgt durch Matching an den schwachen Newtonschen Grenzfall beziehungsweise äquivalent durch die physikalische Festlegung des asymptotischen Massenparameters.

Bei der Testkörperbewegung

1. Merkur wird als Testkörper behandelt.

2. Seine Rückwirkung auf die Metrik wird vernachlässigt.

3. Andere Planeten werden in der Schwarzschild-Zweikörperrechnung nicht berücksichtigt.

4. Die Bahnebene wird wegen Kugelsymmetrie als
$$\theta = \frac{\pi}{2}$$
gewählt.

Erst bei der Lösung der Binet-Gleichung

Die exakte Schwarzschild-Binet-Gleichung lautet
$$u'' + u = \frac{GM}{h^2} + \frac{3GM}{c^2}u^2. \tag{130}$$

Die Näherung beginnt mit
$$u = u_0 + \delta u \tag{131}$$
und dem Abbruch nach erster Ordnung in
$$\epsilon = \frac{GM}{c^2 p}. \tag{132}$$

Zusätzlich werden die Entwicklungen
$$\cos[(1-\delta)\phi] \simeq \cos\phi + \delta\phi\sin\phi \tag{133}$$
und
$$\frac{1}{1-\delta} \simeq 1 + \delta \tag{134}$$

verwendet.

27.0.10 Die gesamte Herleitung als Kette

$$
\begin{aligned}
G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu} &\Longrightarrow \text{Statik + Kugelsymmetrie + Arealradius} \Longrightarrow T_{\mu\nu} = 0 \Longrightarrow R_{\mu\nu} = 0 \\
&\Longrightarrow G^t{}_t = 0, \quad G^r{}_r = 0 \Longrightarrow e^{-2\lambda} = 1 - \frac{C}{r}, \quad e^{2\nu} = 1 - \frac{C}{r} \\
&\Longrightarrow C = \frac{2GM}{c^2} \Longrightarrow \text{Schwarzschild-Metrik} \Longrightarrow \text{exakte Geodätengleichung} \\
&\Longrightarrow E = f c^2 \dot{t}, \quad h = r^2 \dot{\phi} \Longrightarrow \dot{r}^2 = \frac{E^2}{c^2} - f\left(c^2 + \frac{h^2}{r^2}\right) \\
&\Longrightarrow u = \frac{1}{r} \Longrightarrow u'' + u = \frac{GM}{h^2} + \frac{3GM}{c^2} u^2 \\
&\Longrightarrow u = u_0 + \delta u \Longrightarrow \text{Störungsentwicklung erster Ordnung} \\
&\Longrightarrow \Delta\phi \simeq \frac{6\pi GM}{c^2 a(1-e^2)} \Longrightarrow \Delta\phi_{\text{Merkur}} \approx 43.0''/\text{Jahrhundert}.
\end{aligned}
\tag{135}
$$

27.0.11 Zwischenfazit

Die mathematische Autopsie trennt drei verschiedene Sachverhalte:

1. Die Schwarzschild-Lösung ist innerhalb der statischen, kugelsymmetrischen Vakuumsetzung eine exakte Lösung der nichtlinearen Einstein-Gleichungen.

2. Die Binet-Gleichung
$$u'' + u = \frac{GM}{h^2} + \frac{3GM}{c^2} u^2$$
folgt innerhalb der Schwarzschild-Testkörperbeschreibung ebenfalls ohne Schwachfeld-Störungsentwicklung.

3. Die bekannte geschlossene 6π-Formel entsteht erst durch die Störungsrechnung um die Keplerform und den Abbruch nach erster Ordnung.

Die Zahl von ungefähr $43''$ pro Jahrhundert ist daher nicht unmittelbar die Einstein-Tensorgleichung selbst, sondern das Endresultat einer spezialisierten und anschließend perturbativ gelösten Modellkette.

Davon getrennt ist die Beobachtungsseite zu betrachten: Der historisch angegebene anomale Merkur-Residualwert ist keine unmittelbar am Messgerät abgelesene Einzelgröße, sondern entsteht nach Modellierung und Subtraktion weiterer Beiträge zur beobachteten Merkurbewegung.

27.1 Die Periheldrehung des Merkur – Historische und heutige Autopsie des berühmten 43"-Tests

Erweiterung zum Dokument

Die Herleitung der Periheldrehung: Die ehrliche Autopsie

Von der Beobachtung über Newcombs Ausgleichung und Einsteins Eingangsgrößen bis zu Radar, MESSENGER und modernen Ephemeriden

Arbeitsdokument 2026

27.1.1 Warum diese Erweiterung notwendig ist

Die populäre Kurzform des Merkurtests lautet ungefähr: Die Allgemeine Relativitätstheorie sagt für Merkur eine zusätzliche Periheldrehung von rund 43″ pro Jahrhundert voraus, und genau dieser Wert wird beobachtet. Diese Formulierung ist didaktisch eingängig, lässt aber den eigentlichen Mess- und Rechenweg unsichtbar. Weder historisch noch heute wird an einem Instrument unmittelbar eine Zahl von 43″ abgelesen. Ebenso ist die Zahl 42.98″ auf der theoretischen Seite keine dimensionslose Ausgabe der Einstein-Feldgleichung. Sie entsteht erst nach Einsetzen astronomisch bestimmter Größen in eine spezialisierte und störungstheoretisch ausgewertete Formel. Die folgende Darstellung trennt deshalb konsequent vier Ebenen:

1. Was wird tatsächlich beobachtet?
2. Welche astronomischen Parameter werden daraus bestimmt?
3. Wie entsteht das historische Residuum?
4. Welche dieser Parameter gehen anschließend in die relativistische Rechnung ein?

Ziel ist keine Unterstellung gegenüber historischen Autoren. Die Rekonstruktion soll lediglich sichtbar machen, wie aus Beobachtung, Bahntheorie, Ausgleichung und relativistischer Rechnung jene beiden Zahlen entstehen, die in der populären Darstellung fast wie zwei voneinander unabhängige Messwerte erscheinen.

27.1.2 Was wird gewöhnlich kommuniziert – und was ist historisch belegt?

Kurzform	**Historisch und messtheoretisch genauer**
“Merkurs Perihel dreht sich um 43″.”	Die gesamte beobachtete säkulare Bewegung des Perihels ist viel größer. Der berühmte Wert ist ein zusätzlicher Rest nach Abzug bzw. Modellierung anderer Beiträge.
“Le Verrier maß 43″.”	Le Verrier fand 1859 zunächst eine unerklärte Abweichung von ungefähr 38″ pro Jahrhundert. Die spätere, präzisere Newcomb-Auswertung führte in die Nähe des heute berühmten 43″-Werts.
“Einstein sagte 42.98″ voraus.”	Einstein erhielt 1915 ungefähr 43″ aus einer Formel, in die astronomisch bestimmte Bahngrößen eingehen. Der heute präzise zitierte Wert 42.98″ beruht auf modernen Konstanten und Bahnelementen; Nobili und Will machten 1986 auf die lange Verbreitung eines leicht abweichenden Werts aufmerksam.
“Experiment: 43 gegen Theorie: 43.”	Historisch wird ein Residuum eines großen astronomischen Ausgleichungsproblems mit dem Resultat einer relativistischen Formel verglichen. Heute werden Trackingdaten in umfassenden numerischen Ephemeridenmodellen ausgewertet.

27.1.3 Die historische Chronologie

Le Verrier: Das Problem existiert vor der ART Urbain Le Verrier analysierte die Bewegung des Merkur innerhalb der Newtonschen Himmelsmechanik. Nach Berücksichtigung der damals bekannten planetaren Störungen blieb eine zusätzliche säkulare Bewegung des Perihels übrig. Die erste berühmte Größenordnung lag bei ungefähr

$$\Delta\dot{\varpi}_{\mathrm{anom}} \sim 38''/\mathrm{Jh}. \tag{1}$$

und nicht bei einer bereits auf viele Dezimalstellen feststehenden Zahl $43.000''$. Entscheidend ist der methodische Status: Le Verrier beobachtete nicht einen isolierten "relativistischen Winkel". Er verglich eine große Zahl astronomischer Positionsbeobachtungen mit einer theoretisch berechneten Planetenbewegung. Der unerklärte Rest wurde als zusätzliche säkulare Perihelbewegung parametrisiert.

Newcomb 1895: Aus einem astronomischen Problem wird ein gekoppeltes Konstanten- und Bahnelementproblem Simon Newcombs Werk The Elements of the Four Inner Planets and the Fundamental Constants of Astronomy von 1895 ist für die historische Rekonstruktion zentral. Schon der Aufbau des Werkes zeigt, dass nicht eine einzelne Größe isoliert bestimmt wurde. Newcomb behandelt unter anderem:

- Vergleiche von Beobachtungen und Planetentafeln,
- Korrekturen der Bahnelemente,
- säkulare Variationen,
- Planetenmassen,
- Sonnenparallaxe,
- Präzessionskonstanten,
- Transitbeobachtungen,
- Gleichungen der Bedingung,
- kombinierte Lösungen und endgültige Bahnelemente.

Newcomb selbst weist im Vorwort darauf hin, dass Entscheidungen über eine Größe durch spätere Entscheidungen über andere Größen verändert werden konnten. Der historische Datensatz und die astronomischen Konstanten bildeten damit ausdrücklich ein gekoppeltes Ausgleichungssystem.

Newcombs endgültiger Merkurwert In Newcombs endgültiger säkularer Lösung erscheint für Merkur ein zusätzlicher Perihelvorschub

$$43.37''/\mathrm{Jh}. \tag{2}$$

Die häufig wiedergegebene historische Zerlegung lässt sich schematisch darstellen als

$$575.1''/\mathrm{Jh}. - 531.7''/\mathrm{Jh}. \approx 43.4''/\mathrm{Jh}. \tag{3}$$

wobei die erste Zahl bereits eine astronomisch reduzierte säkulare Perihelbewegung und die zweite Zahl

die berechnete Newtonsche Planetenstörung repräsentiert. Diese Subtraktion ist didaktisch hilfreich, darf aber nicht als Subtraktion zweier unmittelbar gemessener Rohwerte missverstanden werden. Beide Größen stehen am Ende umfangreicher astronomischer Modellierung.

27.1.4 Wie wurde um 1900 überhaupt "gemessen"?

Die primären Beobachtungen Vor Radar und Raumfahrt standen vor allem optische Beobachtungen zur Verfügung:

- Meridianbeobachtungen,
- Rektaszensionen und Deklinationen,
- Merkurtransite vor der Sonnenscheibe,
- relative Positionen gegenüber Sternkatalogen,
- langjährige Reihen verschiedener Observatorien.

Ein Teleskop liefert damit zunächst Winkel- und Zeitinformationen. Es liefert nicht direkt: a, e, $GM_\odot$, $\dot{\varpi}$anomal. Diese Größen entstehen erst durch astronomische Reduktion und Bahnanpassung.

Die mathematische Form einer Ausgleichung Sei Oi die i-te Beobachtung und Ci(q) der aufgrund eines Bahnsystems berechnete Wert. Für einen vorläufigen Parametersatz q0 wird linearisiert:

$$O_i - C_i(\mathbf{q}_0) \simeq \sum_j \frac{\partial C_i}{\partial q_j}\,\delta q_j \tag{4}$$

$$\mathbf{r} = A\,\delta\mathbf{q} \tag{5}$$

$$\mathbf{r} = \begin{pmatrix} O_1 - C_1 \\ O_2 - C_2 \\ \vdots \end{pmatrix} \tag{6}$$

der Residualvektor und

$$A_{ij} = \frac{\partial C_i}{\partial q_j} \tag{7}$$

die Designmatrix. Die unbekannten Korrekturen können schematisch enthalten:

$$\delta\mathbf{q} = (\delta a, \delta e, \delta n, \delta\varpi, \delta\dot{\varpi}, \delta i, \delta\dot{\Omega}, \delta M_{\text{Venus}}, \ldots)^T \tag{8}$$

Bei gewichteten kleinsten Quadraten ergibt sich

$$\delta\mathbf{q} = (A^T W A)^{-1} A^T W \mathbf{r} \tag{9}$$

Damit wird unmittelbar sichtbar: Mehrere Bahngrößen werden aus denselben Beobachtungen gemeinsam bestimmt. Sie können unterschiedliche Beobachtungssignaturen besitzen und dennoch statistisch miteinander gekoppelt sein.

27.1.5 Die Parameter der Einstein-Formel: Was bedeuten sie und wie wurden sie bestimmt?

a: große Halbachse In der bekannten modernen Form

$$\Delta\varpi_{\mathrm{GR}} = \frac{6\pi G M_\odot}{c^2 a(1-e^2)} \tag{10}$$

ist a die große Halbachse der der Bahn zugeordneten Keplerellipse. Für Merkur beträgt sie heute ungefähr

$$a \approx 5.79 \times 10^{10}\,\mathrm{m} \approx 0.387\,\mathrm{AU} \tag{11}$$

Geometrisch gilt für eine Ellipse

$$a = \frac{r_{\mathrm{peri}} + r_{\mathrm{aph}}}{2} \tag{12}$$

Historisch wurde a jedoch nicht als Strecke Sonne–Merkur direkt gemessen. Zunächst wurde die relative Bahn aus Winkelbeobachtungen und Bahntheorie bestimmt. Um diese relative Größe in Kilometer oder Meter zu überführen, brauchte man einen absoluten Maßstab des Sonnensystems.

Die astronomische Einheit und die Sonnenparallaxe Der historische absolute Maßstab wurde wesentlich durch die Sonnenparallaxe $\pi_\odot$ repräsentiert. Sie ist der Winkel, unter dem der Erdradius von der Sonne aus erscheinen würde:

$$\sin\pi_\odot = \frac{R_\oplus}{\mathrm{AU}} \tag{13}$$

Für den kleinen Winkel:

$$\mathrm{AU} \simeq \frac{R_\oplus}{\pi_\odot} \tag{14}$$

Newcomb diskutierte mehrere Bestimmungswege der Sonnenparallaxe, unter anderem Mondbewegung und Heliometermessungen kleiner Planeten. Damit ist die absolute Länge a Ergebnis einer Mess- und Modellkette: Winkelbeobachtungen → relative Bahn → Sonnenparallaxe / AU → a in Längeneinheiten.

e: Exzentrizität Die Exzentrizität beschreibt die Form der idealen Keplerellipse:

$$e = \frac{r_{\text{aph}} - r_{\text{peri}}}{r_{\text{aph}} + r_{\text{peri}}} \tag{15}$$

$$e \approx 0.2056 \tag{16}$$

Historisch wurden rperi und raph nicht direkt instrumentell als Entfernungen abgelesen. e wurde durch Anpassung der Bahnform an viele Positionsbeobachtungen bestimmt. Die Exzentrizität ist damit ein abgeleiteter Bahnelementparameter.

T: siderische Umlaufzeit Merkurs siderische Umlaufzeit ist ungefähr

$$T \approx 87.969\,\text{d} \tag{17}$$

Sie hängt mit der mittleren Bewegung n zusammen:

$$n = \frac{2\pi}{T} \tag{18}$$

Die mittlere Bewegung lässt sich aus langjährigen Wiederholungen der Merkurposition sehr präzise bestimmen. Dennoch ist auch T keine Stoppuhrmessung eines einzelnen isolierten Umlaufs, sondern ein aus einer langen Positions- und Periodenreihe abgeleiteter Bahnparameter.

c: Lichtgeschwindigkeit Die Lichtgeschwindigkeit ist im Vergleich zu a, e, T von anderer Art. Sie wird nicht aus der Merkurbahn gewonnen. Zu Einsteins Zeit lagen bereits terrestrische Lichtgeschwindigkeitsmessungen vor. Damit ist c hinsichtlich des Merkur-Bahnproblems eine weitgehend externe experimentelle Eingangsgröße.

$GM_\odot$: solarer Gravitationsparameter Eine Planetenbahn bestimmt nicht G und $M_\odot$ getrennt, sondern primär das Produkt

$$\mu_\odot = GM_\odot \tag{19}$$

In führender Keplerordnung gilt

$$T^2 = \frac{4\pi^2 a^3}{GM_\odot} \tag{20}$$

$$GM_\odot = \frac{4\pi^2 a^3}{T^2} \tag{21}$$

Das ist für Einsteins historische Rechnung besonders wichtig.

27.1.6 Einsteins 1915 verwendete numerische Form

Die heute verbreitete Darstellung ist

$$\Delta\varpi = \frac{6\pi G M_\odot}{c^2 a(1-e^2)} \tag{22}$$

$$G M_\odot = \frac{4\pi^2 a^3}{T^2} \tag{23}$$

$$\Delta\varpi = \frac{6\pi}{c^2 a(1-e^2)} \frac{4\pi^2 a^3}{T^2} \tag{24}$$

$$\Delta\varpi = \frac{24\pi^3 a^2}{T^2 c^2 (1-e^2)} \tag{25}$$

Diese Form macht die empirischen Eingangsgrößen unmittelbar sichtbar: a, e, T, c.

Einstein schrieb 1915, dass seine neue Theorie den von Le Verrier entdeckten säkularen Merkurüberschuss von ungefähr $45''$ pro Jahrhundert quantitativ erklärt. Die heute verbreitete Paarung "$42.98''$ vorhergesagt gegen $43.00''$ gemessen" ist damit nicht die Form, in der der historische Vergleich 1915 selbst präsentiert wurde.

27.1.7 Woher kommen die beiden Seiten des historischen Vergleichs?

Die Genealogie lässt sich als zwei Äste desselben astronomischen Beobachtungssystems darstellen.

Ast 1: Eingangsgrößen der ART-Rechnung

$$\text{astronomische Positions- und Zeitbeobachtungen} \Longrightarrow \text{Bahnausgleichung und astronomischer Maßstab} \Longrightarrow a, e, T$$
$$\Longrightarrow \Delta\varpi_{\mathrm{ART}} = \frac{24\pi^3 a^2}{T^2 c^2 (1-e^2)}.$$

Ast 2: Historisches Residuum

$$\text{astronomische Positions- und Transitbeobachtungen} \Longrightarrow \text{Bahnelemente + Planetenmassen + Präzession + Störungstheo}$$
$$\Longrightarrow \text{berechnete Newtonsche Merkurbewegung} \Longrightarrow \text{Beobachtung - Re}$$
$$\Longrightarrow \Delta\dot{\varpi}_{\mathrm{residual}} \sim 43''/\mathrm{Jh}.$$

Beide Endgrößen stammen somit nicht aus vollständig getrennten Beobachtungswelten. Sie greifen auf dieselbe jahrzehntelang entwickelte astronomische Vermessung des inneren Sonnensystems zurück, verwenden diese Information aber in unterschiedlichen mathematischen Kombinationen.

27.1.8 Wie empfindlich ist die ART-Zahl gegenüber a, e, T?

$$\Delta\varpi = \frac{24\pi^3 a^2}{T^2 c^2 (1-e^2)} \tag{26}$$

ergibt logarithmische Differentiation

$$\frac{\delta(\Delta\varpi)}{\Delta\varpi} = 2\frac{\delta a}{a} - 2\frac{\delta T}{T} + \frac{2e}{1-e^2}\delta e - 2\frac{\delta c}{c} \tag{27}$$

Für Merkur ist

$$\frac{2e}{1-e^2} \approx 0.429 \tag{28}$$

Damit kann man transparent sehen, welche Parameterfehler wie stark in die theoretische Zahl eingehen. Die Exzentrizität ist beispielsweise in diesem Sinne kein hochwirksamer freier Hebel:

$$43'' \times 0.429 \times 10^{-3} \approx 0.018''/\text{Jh.} \tag{29}$$

Die spannende historische Frage liegt daher weniger darin, ob eine kleine Verschiebung von e den gesamten Effekt erzeugen könnte, sondern in der Art, wie der Vergleichswert selbst aus einem gekoppelten Langzeit-Ausgleichungssystem extrahiert wurde.

27.1.9 Die Zahl 42.98″: auch die theoretische Zahl besitzt eine Geschichte

Die heute präzise zitierte führende ART-Präzession beträgt mit modernen Konstanten und

$$42.98''/\text{Julianischem Jahrhundert} \tag{30}$$

Nobili und Will wiesen 1986 darauf hin, dass über Jahrzehnte häufig ein leicht anderer Wert, etwa 43.03″, zitiert wurde. Ursache waren historisch verwendete astronomische Konstanten. Mit den damals besten Konstanten erhielten sie 42.98″. Damit ist auch die theoretische Dezimalzahl kein zeitloser numerischer Output. Ihre Funktionsform bleibt gleich, ihr Zahlenwert folgt den eingesetzten astronomischen Konstanten.

27.1.10 Von der klassischen Astrometrie zu Radar und Raumfahrt

Radar Seit den 1960er Jahren kamen direkte Laufzeitmessungen elektromagnetischer Signale zu Merkur hinzu. Damit wurde die Erde–Merkur-Distanz wesentlich präziser zugänglich als mit reiner optischer Astrometrie. Die primäre Messgröße ist nun eine Signallaufzeit

$$\Delta t_{\text{signal}} \tag{31}$$

aus der nach Berücksichtigung von Ausbreitungs- und Stationsmodellen eine Rangegröße abgeleitet wird.

Auch hier wird jedoch nicht direkt $\dot{\varpi} = 43''/\text{Jh.}$ gemessen.

MESSENGER Mit MESSENGER kamen hochpräzise radiometrische Trackingdaten hinzu:

- Range,
- Doppler,
- Raumsondenorbit,
- daraus verbesserte Erde–Merkur-Geometrie.

Die Daten werden in ein numerisches Modell des Sonnensystems eingespeist. Die Merkur-Ephemeride ist damit Ergebnis einer globalen Dynamik- und Parameterschätzung.

27.1.11 Wie eine moderne Ephemeride aufgebaut ist

Eine moderne planetare Ephemeride integriert die Bewegung vieler Körper simultan. Schematisch:

$$\ddot{\mathbf{r}}_i = \mathbf{a}_i^{\text{Newton,N–Körper}} + \mathbf{a}_i^{\text{PPN}} + \mathbf{a}_i^{J_2} + \mathbf{a}_i^{\text{Asteroiden}} + \cdots \tag{32}$$

Zu den Parametern können gehören:

$$\mathbf{p} = (\mathbf{r}_i(t_0), \mathbf{v}_i(t_0), GM_i, GM_{\text{Asteroiden}}, J_{2\odot}, \beta, \gamma, \ldots) \tag{33}$$

Die numerische Integration erzeugt Vorhersagen für die tatsächlich beobachteten Größen:

$$C_k(\mathbf{p}) = \text{berechnete Range/Doppler/Winkelbeobachtung} \tag{34}$$

Die Parameter werden durch Minimierung der Residuen bestimmt:

$$\chi^2(\mathbf{p}) = \sum_k \frac{[O_k - C_k(\mathbf{p})]^2}{\sigma_k^2} \tag{35}$$

Damit ist die moderne Perihelpräzession keine primäre Beobachtungsgröße, sondern eine Eigenschaft der aus allen Daten rekonstruierten Dynamik.

27.1.12 PPN-Parameter, J2 und Korrelationen

Im parametrisierten post-newtonschen Formalismus hängt der führende relativistische Perihelterm

$$\dot{\varpi} = \dot{\varpi}_{\text{PPN}}(\beta, \gamma) + \dot{\varpi}_{J_2} + \dot{\varpi}_{\text{weitere}} \tag{36}$$

MESSENGER-Analysen zeigen, dass insbesondere β und $J_{2\odot}$ stark korreliert sein können. Moderne

Arbeiten verwenden deshalb zusätzliche Annahmen oder unabhängige Informationen, um diese Parameter voneinander zu trennen. Eine MESSENGER-Auswertung berichtete unter Annahme einer metrischen Gravitationstheorie

$$\beta = 1 + (-1.6 \pm 1.8) \times 10^{-5} \tag{37}$$

$$J_{2\odot} = (2.246 \pm 0.022) \times 10^{-7} \tag{38}$$

Der entscheidende methodische Punkt liegt in der gemeinsamen Parameterschätzung: Ein gemessenes Range- oder Dopplersignal trägt im Allgemeinen nicht die Aufschrift “dieser Anteil ist β”, “dieser Anteil ist J2”. Die Trennung erfolgt über die unterschiedlichen zeitlichen und geometrischen Signaturen im Gesamtmodell.

27.1.13 Standardephemeride und Gravitationstest sind nicht dasselbe

In Standardephemeriden können PPN-Parameter auf ihre ART-Werte gesetzt werden:

$$\beta = 1, \qquad \gamma = 1 \tag{39}$$

Eine solche Ephemeride dient dann der bestmöglichen Positionsvorhersage unter dem gewählten Referenzmodell. Für einen eigentlichen Gravitationstest werden dagegen spezielle Lösungen gerechnet, in denen die zu untersuchenden Parameter variiert oder geschätzt werden. Moderne Arbeiten vergleichen

dann nicht einfach “42.98 gegen 43”, sondern untersuchen, wie stark alternative Parameterwerte die gesamte Menge der Range-, Doppler- und Astrometriedaten verschlechtern.

27.1.14 Die moderne Bedeutung der analytischen 42.98″-Formel

$$\Delta\varpi = \frac{6\pi G M_\odot}{c^2 a(1-e^2)} \tag{40}$$

bleibt didaktisch und physikalisch wichtig: Sie isoliert den führenden relativistischen Zentralfeldterm. Das moderne Präzisionsmodell des Merkur ist jedoch umfangreicher. Es enthält unter anderem:

- die Newtonsche Mehrkörperdynamik,
- post-newtonsche Mehrkörperterme,
- solare Multipole,
- Sonnenrotation bzw. gravitomagnetische Beiträge,
- Asteroiden,
- Raumsonden- und Stationsmodelle,

- Lichtlaufzeit- und Dopplermodelle.

Clifford Will zeigte 2018 außerdem zusätzliche relativistische Mehrkörper-Beiträge zur Merkur- Perihelbewegung, die aus Kreuztermen zwischen der Sonnen- und Planetenwirkung sowie gravitomagnetischen Beiträgen bewegter Planeten entstehen. Damit ist die isolierte $42.98''$-Zahl der führende Schwarzschild-artige Term, nicht die vollständige moderne relativistische Dynamik des realen Sonnensystems.

27.1.15 Die vollständige historische und moderne Kette

Historische Beobachtungsseite

$$\begin{aligned}\text{Teleskop / Transit / Meridianbeobachtung} &\Longrightarrow \text{Sternkataloge, Zeit, Refraktion, Präzession, Instrumentkorrekturen}\\ &\Longrightarrow \text{Bahnelement- und Konstantenausgleichung} \Longrightarrow \text{Newtonsche Mehrkörpers}\\ &\Longrightarrow \text{zusätzlicher säkularer Merkurterm} \sim 43''/\text{Jh.}\end{aligned}$$

Historische ART-Seite

$$\begin{aligned}\text{ART-Herleitung} &\Longrightarrow \Delta\varpi = \frac{24\pi^3 a^2}{T^2 c^2 (1-e^2)}\\ &\Longrightarrow \text{klassisch astronomisch bestimmte } a, e, T + \text{extern bestimmtes } c\\ &\Longrightarrow \sim 43''/\text{Jh.}\end{aligned}$$

Moderne Beobachtungsseite

$$\begin{aligned}\text{Radar + Raumsonden-Range + Doppler + Astrometrie} &\Longrightarrow \text{Messmodell + Raumsondenorbit}\\ &\Longrightarrow \text{globale numerische Ephemeride} \Longrightarrow \text{gemeinsame Parameter}\\ &\Longrightarrow \text{Grenzen für PPN-Parameter und Zusatzpräzessionen.}\end{aligned}$$

27.1.16 Didaktische Bilanz: Was ist wirklich "gemessen"?

Größe	Bedeutung	Wie gewonnen?
a	große Halbachse	Bahnanpassung; historisch absoluter Maßstab über AU/Sonnenparallaxe
e	Exzentrizität	Anpassung der Bahnform an Positionsbeobachtungen
T	siderische Umlaufzeit	langjährige periodische Positionsbewegung / mittlere Bewegung
c	Lichtgeschwindigkeit	terrestrische bzw. unabhängige physikalische Messung
$GM_\odot$	solarer Gravitationsparameter	planetare Dynamik, äquivalent führend aus a^3/T^2
ϖ	Perihellänge	aus Bahnelementen rekonstruiert
$\dot{\varpi}$	säkulare Änderung	Langzeitanpassung vieler Beobachtungen
historische $43''$	unerklärter Zusatzterm	Beobachtung minus klassisches astronomisches Modell
moderne Range	Funklaufzeitentfernung	direktes radiometrisches Observabel nach Messmodell
moderne Dopplergröße	Relativgeschwindigkeitsinformation	Frequenzvergleich, anschließend Modellreduktion
β, γ, J_2	Modellparameter	gemeinsame globale Parameterschätzung / spezielle Testlösungen

27.1.17 Schluss: Die Geschichte hinter einer scheinbar einfachen Zahl

Der Merkurtest ist gerade deshalb wissenschaftshistorisch interessant, weil die Kurzform "$43''$ vorhergesagt, $43''$ gemessen" eine viel umfangreichere Struktur verdeckt. Historisch stand am Anfang ein reales astronomisches Problem, das Jahrzehnte vor der ART bekannt war. Der Vergleichswert entstand jedoch nicht als isolierter Winkel am Okular, sondern als Residuum eines großen himmelsmechanischen Ausgleichungsproblems. Newcombs Arbeit zeigt ausdrücklich, wie Bahnelemente, säkulare Variationen, Planetenmassen, Präzessionsgrößen und fundamentale astronomische Konstanten miteinander gekoppelt behandelt wurden. Auf der relativistischen Seite steht ebenfalls keine theoriefreie Dezimalzahl. Einsteins Formel benötigt empirisch bestimmte Größen der Merkurbahn. In seiner für die historische Rechnung besonders transparenten Form sind dies a, e, T und c. Die ersten drei stammen aus derselben astronomischen Vermessungstradition, aus der auch das historische Perihelresiduum hervorging; c kommt als externe physikalische Größe hinzu.

Heute hat sich die Messmethodik vollständig verändert, die Grundstruktur der Inferenz jedoch nicht: Primäre Observablen wie Range und Doppler werden in ein umfassendes dynamisches Modell eingespeist. Aus einem globalen Parametersystem entstehen Ephemeriden und Grenzen für relativistische Parameter. Die analytische Zahl $42.98''$ bleibt der führende, anschauliche Zentralfeldterm, während die tatsächliche moderne Sonnensystemdynamik erheblich mehr Beiträge enthält. Wer die Periheldrehung des Merkur beurteilen will, sollte daher stets zwischen drei Dingen

$$\text{primäre Beobachtung} \neq \text{abgeleiteter Bahnparameter} \neq \text{theoretischer Vergleichsterm} \tag{41}$$

Erst diese Trennung macht sichtbar, was die berühmte Zahl tatsächlich aussagt und auf welchem historischen und mathematischen Weg sie entsteht.

27.1.18 Quellen und weiterführende Literatur

[1] S. Newcomb, The Elements of the Four Inner Planets and the Fundamental Constants of Astronomy, U.S. Government Printing Office, Washington, 1895. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_elements_of_the_four_i and_the_fundamental_constants_of_astronomy_(IA_elementsoffourin00newcrich).pdf [2] A. Einstein, Erklärung der Perihelbewegung des Merkur aus der allgemeinen Relativitätstheorie, Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften, 1915, S. 831–839. CERN Document Server: https://cds.cern.ch/record/632319 [3] M. Janssen, J. Renn, Einstein and the Perihelion Motion of Mercury, 2021. https://arxiv.org/abs/2111.11238 [4] A. M. Nobili, C. M. Will, The real value of Mercury's perihelion advance, Nature 320, 39–41 (1986). https://doi.org/10.1038/320039a0 [5] C. M. Will, New General Relativistic Contribution to Mercury's Perihelion Advance, Phys. Rev. Lett. 120, 191101 (2018). https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.120.191101 [6] A. Fienga et al. / INPOP-Arbeiten zur planetaren Ephemeride und zu PPN-Tests; siehe insbesondere die Literatur zu variierenden β- und $J_{2\odot}$-Lösungen. [7] A. Genova et al., Solar system expansion and strong equivalence principle as seen by the NASA MESSENGER mission, Nature Communications 9, 289 (2018). https://www.nature.com/articles/s41467-017-02558-1 [8] JPL, Dokumentation planetarer Development Ephemerides, insbesondere DE421, mit Beschreibung der verwendeten post-newtonschen N-Körperdynamik und festgesetzter bzw. geschätzter Parameter. [9] G. M. Clemence, historische Neubearbeitungen der Merkurbewegung und spätere Perihelbestimmungen auf Grundlage erweiterter Beobachtungsreihen.

27.2 Gravitative Rotverschiebung und Uhrenexperimente in der ART

Lückenlose Herleitung mit Zwischenschritten

27.2.1 Ausgangspunkt: Einstein-Gleichung und statisches Außenfeld

Die Einstein-Feldgleichung ohne kosmologische Konstante lautet

$$G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}. \tag{1}$$

Für den idealisierten Außenraum einer statischen, kugelsymmetrischen Zentralmasse wird gesetzt

$$T_{\mu\nu} = 0. \tag{2}$$

Damit folgt

$$R_{\mu\nu} = 0. \tag{3}$$

Unter Statik, Kugelsymmetrie und asymptotischer Flachheit ergibt sich die Schwarzschild-Metrik

$$ds^2 = -f(r)c^2 dt^2 + f(r)^{-1} dr^2 + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2\theta \, d\phi^2 \tag{4}$$

mit

$$f(r) = 1 - \frac{2GM}{c^2 r}. \tag{5}$$

Bis zu diesem Punkt wurde keine Schwachfeldentwicklung vorgenommen.

27.2.2 Eigenzeit einer stationären Uhr

Eine stationäre Uhr bleibt bei festen räumlichen Koordinaten:

$$dr = d\theta = d\phi = 0. \tag{6}$$

Für einen materiellen Beobachter gilt

$$ds^2 = -c^2 d\tau^2. \tag{7}$$

Damit

$$-c^2 d\tau^2 = -f(r)c^2 dt^2. \tag{8}$$

Nach Division durch $-c^2$:

$$d\tau^2 = f(r)dt^2. \tag{9}$$

Für vorwärts laufende Eigenzeit:

$$\frac{d\tau}{dt} = \sqrt{f(r)} = \sqrt{1 - \frac{2GM}{c^2 r}}. \tag{10}$$

Für zwei stationäre Uhren bei r_1 und r_2:

$$\frac{d\tau_1}{dt} = \sqrt{f(r_1)}, \qquad \frac{d\tau_2}{dt} = \sqrt{f(r_2)}. \tag{11}$$

Daraus:

$$\frac{d\tau_2}{d\tau_1} = \sqrt{\frac{f(r_2)}{f(r_1)}}. \tag{12}$$

27.2.3 Photonfrequenz aus Vierervektoren

Die Frequenz, die ein Beobachter mit Vierergeschwindigkeit u^μ für einen Lichtstrahl mit Wellenvektor k^μ misst, ist

$$\omega = -k_\mu u^\mu. \tag{13}$$

Für einen stationären Beobachter gilt

$$u^\mu = \left(\frac{dt}{d\tau}, 0, 0, 0\right) = \left(\frac{1}{\sqrt{f(r)}}, 0, 0, 0\right). \tag{14}$$

Da die Schwarzschild-Metrik zeitunabhängig ist, besitzt sie den zeitartigen Killing-Vektor

$$\xi^\mu = (1, 0, 0, 0). \tag{15}$$

Entlang einer Nullgeodäte ist

$$k_\mu \xi^\mu = k_t \tag{16}$$

konstant. Setze

$$-k_t \equiv E_\gamma = \text{const.} \tag{17}$$

Dann:

$$\omega = -k_t u^t = \frac{E_\gamma}{\sqrt{f(r)}}. \tag{18}$$

Für Emission bei r_1 und Empfang bei r_2:

$$\omega_1 = \frac{E_\gamma}{\sqrt{f(r_1)}}, \qquad \omega_2 = \frac{E_\gamma}{\sqrt{f(r_2)}}. \tag{19}$$

Der konstante Photonparameter kürzt sich:

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \sqrt{\frac{f(r_1)}{f(r_2)}}. \tag{20}$$

Da $\nu = \omega/(2\pi)$:

$$\frac{\nu_2}{\nu_1} = \sqrt{\frac{1 - \frac{2GM}{c^2 r_1}}{1 - \frac{2GM}{c^2 r_2}}}. \tag{21}$$

Für $r_2 > r_1$ ist $f(r_2) > f(r_1)$, also

$$\nu_2 < \nu_1 \tag{22}$$

für ein nach oben laufendes Photon: gravitative Rotverschiebung.

27.2.4 Schwachfeldentwicklung Schritt für Schritt

Setze das Newtonsche Potential

$$\Phi(r) = -\frac{GM}{r}. \tag{23}$$

Dann

$$f(r) = 1 + \frac{2\Phi(r)}{c^2}. \tag{24}$$

Für

$$\frac{\Phi}{c^2} \ll 1 \tag{25}$$

verwenden wir

$$(1+x)^{1/2} = 1 + \frac{x}{2} - \frac{x^2}{8} + \cdots. \tag{26}$$

Mit

$$x = \frac{2\Phi}{c^2} \tag{27}$$

folgt

$$\sqrt{f(r)} \simeq 1 + \frac{\Phi(r)}{c^2}. \tag{28}$$

Für das Frequenzverhältnis:

$$\frac{\nu_2}{\nu_1} = \sqrt{\frac{f(r_1)}{f(r_2)}} \simeq \frac{1 + \Phi_1/c^2}{1 + \Phi_2/c^2}. \tag{29}$$

Mit

$$\frac{1}{1+y} \simeq 1 - y \tag{30}$$

erhält man

$$\frac{\nu_2}{\nu_1} \simeq \left(1 + \frac{\Phi_1}{c^2}\right)\left(1 - \frac{\Phi_2}{c^2}\right). \tag{31}$$

Produkte zweiter Ordnung werden verworfen:

$$\frac{\nu_2}{\nu_1} \simeq 1 + \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{c^2}. \tag{32}$$

Somit

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} \simeq \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{c^2}. \tag{33}$$

27.2.5 Lokale Höhenform gh/c^2

Nahe der Erdoberfläche setze

$$r_1 = R_\oplus, \qquad r_2 = R_\oplus + h, \qquad h \ll R_\oplus. \tag{34}$$

Dann

$$\Phi_2 - \Phi_1 = -GM_\oplus \left(\frac{1}{R_\oplus + h} - \frac{1}{R_\oplus} \right). \tag{35}$$

Entwickle

$$\frac{1}{R_\oplus + h} = \frac{1}{R_\oplus} \frac{1}{1 + h/R_\oplus} \simeq \frac{1}{R_\oplus} \left(1 - \frac{h}{R_\oplus} \right). \tag{36}$$

Damit

$$\Phi_2 - \Phi_1 \simeq \frac{GM_\oplus}{R_\oplus^2} h. \tag{37}$$

Mit

$$g = \frac{GM_\oplus}{R_\oplus^2} \tag{38}$$

folgt

$$\Phi_2 - \Phi_1 \simeq gh. \tag{39}$$

Daher betragsmäßig

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} \simeq \frac{gh}{c^2}. \tag{40}$$

27.2.6 Welche Schritte sind exakt, welche angenähert?

Schritt	**Status**
Einstein-Feldgleichung	kovarianter Ausgangspunkt
Schwarzschild-Metrik	exakt innerhalb Statik/Kugelsymmetrie/Vakuum
$d\tau/dt = \sqrt{f}$	exakt für stationäre Uhr
$\omega = -k_\mu u^\mu$	exakt
Killing-Konstante k_t	exakt für statische Metrik
Frequenzverhältnis mit Wurzeln	exakt innerhalb Schwarzschild-Modell
$\Delta\nu/\nu \simeq \Delta\Phi/c^2$	Schwachfeldnäherung
$\Delta\Phi \simeq gh$	zusätzliche lokale Höhen-Näherung

27.2.7 Methodische Kette

$$G_{\mu\nu} \Longrightarrow R_{\mu\nu} = 0 \Longrightarrow \text{Schwarzschild} \Longrightarrow u^\mu_{\text{stat}} \Longrightarrow \omega = -k_\mu u^\mu \Longrightarrow k_t = \text{const}$$
$$\Longrightarrow \frac{\nu_2}{\nu_1} = \sqrt{\frac{f_1}{f_2}} \Longrightarrow \text{Schwachfeld} \Longrightarrow \frac{\Delta\nu}{\nu} \simeq \frac{\Delta\Phi}{c^2} \Longrightarrow \frac{gh}{c^2}.$$

27.3 Lense–Thirring- und Frame-Dragging-Effekt in der ART

Herleitung mit deutlich erweiterten Zwischenschritten

27.3.1 Warum Schwarzschild nicht genügt

Die Schwarzschild-Lösung setzt eine nichtrotierende Zentralmasse voraus. Eine rotierende Quelle besitzt einen Drehimpuls J und ist nur stationär und achsensymmetrisch. Die exakte Vakuumlösung ist die Kerr-Geometrie.

27.3.2 Kovarianter Ursprung

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}. \tag{1}$$

Im Außenraum:

$$T_{\mu\nu} = 0, \qquad R_{\mu\nu} = 0. \tag{2}$$

In geometrischen Einheiten $G = c = 1$ lautet die Kerr-Metrik in Boyer–Lindquist-Koordinaten

$$\begin{aligned} ds^2 = & -\left(1 - \frac{2Mr}{\Sigma}\right) dt^2 - \frac{4Mar\sin^2\theta}{\Sigma}\, dt\, d\phi + \frac{\Sigma}{\Delta} dr^2 + \Sigma d\theta^2 \\ & + \left(r^2 + a^2 + \frac{2Ma^2 r \sin^2\theta}{\Sigma}\right) \sin^2\theta\, d\phi^2. \end{aligned} \tag{3}$$

mit

$$\Sigma = r^2 + a^2\cos^2\theta, \qquad \Delta = r^2 - 2Mr + a^2, \qquad a = \frac{J}{M}. \tag{4}$$

Der neue gegenüber Schwarzschild entscheidende Term ist

$$g_{t\phi} \neq 0. \tag{5}$$

27.3.3 Langsamrotations- und Fernfeldentwicklung

Für

$$r \gg M, \qquad a \ll r \tag{6}$$

ist

$$\Sigma \simeq r^2. \tag{7}$$

Der Kreuzterm wird

$$-\frac{4Mar\sin^2\theta}{\Sigma}\, dt\, d\phi \simeq -\frac{4Ma}{r}\sin^2\theta\, dt\, d\phi. \tag{8}$$

Da $Ma = J$:

$$ds^2 \supset -\frac{4J}{r}\sin^2\theta\, dt\, d\phi \tag{9}$$

in geometrischen Einheiten. Mit G, c wieder eingesetzt ist der Kreuzterm proportional zu

$$\frac{GJ}{c^3 r}. \tag{10}$$

Damit wird sichtbar: Der Effekt verschwindet für $J = 0$.

27.3.4 Linearisierte gravitomagnetische Darstellung

Im schwachen Feld schreibt man

$$g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} + h_{\mu\nu}, \qquad |h_{\mu\nu}| \ll 1. \tag{11}$$

Für eine langsam rotierende Quelle enthält die Metrik neben dem skalaren Potential Φ einen Vektorpotentialanteil A_g:

$$ds^2 \simeq -\left(1+\frac{2\Phi}{c^2}\right)c^2dt^2 - \frac{4}{c}A_g\cdot dx\,dt + \left(1-\frac{2\Phi}{c^2}\right)dx^2. \tag{12}$$

Für eine rotierende kompakte Quelle besitzt das führende Fernfeld die Form

$$A_g(\mathbf{r}) = \frac{G}{2c}\frac{\mathbf{J}\times\mathbf{r}}{r^3} \tag{13}$$

bei dieser Konventionswahl. Der zugehörige gravitomagnetische Wirbel ist

$$B_g = \nabla\times A_g. \tag{14}$$

Mit der bekannten Dipolidentität

$$\nabla\times\left(\frac{\mathbf{J}\times\mathbf{r}}{r^3}\right) = \frac{3\hat{\mathbf{r}}(\mathbf{J}\cdot\hat{\mathbf{r}})-\mathbf{J}}{r^3} \tag{15}$$

folgt

$$B_g = \frac{G}{2c}\frac{3\hat{\mathbf{r}}(\mathbf{J}\cdot\hat{\mathbf{r}})-\mathbf{J}}{r^3}. \tag{16}$$

27.3.5 Gyroskop-Präzession

Der Spin eines frei fallenden idealen Gyroskops wird parallel transportiert. In der schwachen stationären Rotationsgrenze führt der g_{0i}-Anteil auf eine Präzessionsgleichung

$$\frac{d\mathbf{S}}{dt} = \boldsymbol{\Omega}_{\mathrm{LT}}\times\mathbf{S}. \tag{17}$$

Die führende Lense–Thirring-Präzessionsfrequenz ist

$$\boldsymbol{\Omega}_{\mathrm{LT}} = \frac{G}{c^2r^3}\left[3(\mathbf{J}\cdot\hat{\mathbf{r}})\hat{\mathbf{r}}-\mathbf{J}\right]. \tag{18}$$

Man erkennt die Struktur direkt:

$$|\boldsymbol{\Omega}_{\mathrm{LT}}| \sim \frac{GJ}{c^2r^3}. \tag{19}$$

27.3.6 Orbitale Knotenpräzession

Für einen Testkörper wird der Rotationsanteil als kleine Störung der führenden Keplerbahn behandelt. Der Bahndrehimpulsvektor L präzediert um J. Nach Mittelung über eine Keplerperiode ergibt sich für den aufsteigenden Knoten

$$\dot{\Omega}_{\mathrm{LT}} = \frac{2GJ}{c^2a^3(1-e^2)^{3/2}}. \tag{20}$$

Die charakteristische Mittelung beruht auf

$$\left\langle\frac{1}{r^3}\right\rangle = \frac{1}{a^3(1-e^2)^{3/2}}. \tag{21}$$

Diese Relation folgt für eine Keplerellipse aus

$$r(\phi) = \frac{p}{1+e\cos\phi}, \qquad p = a(1-e^2), \tag{22}$$

und der zeitlichen Gewichtung über eine Bahnperiode.

27.3.7 Wo genau liegt die Näherung?

1. Kerr selbst ist innerhalb Stationarität, Achsensymmetrie und Vakuum exakt.

2. Für die geschlossenen Lense–Thirring-Formeln wird entwickelt in

$$\frac{GM}{c^2 r} \ll 1, \qquad \frac{J}{Mcr} \ll 1.$$

3. Nur Terme linear in J werden behalten.

4. Die Bahn wird als führende Keplerbahn behandelt.

5. Der Frame-Dragging-Term wird perturbativ darauf gesetzt.

6. Für die Knotenpräzession wird über die Bahnperiode gemittelt.

27.3.8 Methodische Kette

$$\begin{aligned} G_{\mu\nu} &\Longrightarrow R_{\mu\nu} = 0 \Longrightarrow \text{Kerr} \Longrightarrow g_{t\phi} \neq 0 \\ &\Longrightarrow \text{Fernfeld + langsame Rotation} \Longrightarrow h_{0i} \Longrightarrow A_g, B_g \Longrightarrow \Omega_{\text{LT}}, \end{aligned}$$

und für Bahnen

$$\text{Keplerbahn als Nullordnung} \Longrightarrow \text{Störung + Bahnmittelung} \Longrightarrow \dot{\Omega}_{\text{LT}}.$$

27.4 Binäre Pulsare in der ART

Von der Feldgleichung bis zur beobachteten Orbitalabnahme

27.4.1 Warum das Problem schwieriger als Schwarzschild ist

Ein binäres Pulsarsystem ist weder statisch noch kugelsymmetrisch. Die beiden Massen bewegen sich, die Raumzeit ist zeitabhängig, und es wird Strahlungsenergie abgeführt. Deshalb existiert keine Schwarzschild-artige geschlossene Zwei-Körper-Lösung, die unmittelbar in die Beobachtung eingesetzt werden könnte.

27.4.2 Kovarianter Ausgangspunkt

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}. \tag{1}$$

Für schwach relativistische Orbitalbewegung wird eine post-newtonsche Entwicklung eingeführt:

$$g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} + h_{\mu\nu}, \tag{2}$$

mit Ordnungsparameter

$$\epsilon \sim \frac{v^2}{c^2} \sim \frac{GM}{rc^2}. \tag{3}$$

Konservative Korrekturen treten bei 1PN, 2PN, ... auf; die führende Strahlungsrückwirkung tritt bei 2.5PN auf.

27.4.3 Quadrupolmoment der Quelle

Im Schwerpunktssystem ist der spurfreie Massenquadrupoltensor

$$Q_{ij} = \int \rho(\mathbf{x}, t) \left(x_i x_j - \frac{1}{3}\delta_{ij} r^2 \right) d^3x. \tag{4}$$

Für zwei Punktmassen m_1, m_2 kann das Problem auf den Relativvektor $\mathbf{r} = \mathbf{x}_1 - \mathbf{x}_2$ mit reduzierter Masse

$$\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \tag{5}$$

reduziert werden. Dann

$$Q_{ij} = \mu \left(r_i r_j - \frac{1}{3}\delta_{ij} r^2 \right). \tag{6}$$

27.4.4 Führende Strahlungsleistung

In der linearen Fernzone ergibt die ART die Quadrupolformel

$$P = -\frac{G}{5c^5} \left\langle \dddot{Q}_{ij} \dddot{Q}_{ij} \right\rangle. \tag{7}$$

Die drei Punkte bedeuten dritte Zeitableitung.

Kreisbahn als transparenter Spezialfall Für eine Kreisbahn in der xy-Ebene:

$$\mathbf{r}(t) = a(\cos\omega t, \sin\omega t, 0). \tag{8}$$

Dann

$$Q_{xx} = \mu a^2 \left(\cos^2 \omega t - \frac{1}{3} \right), \tag{9}$$

$$Q_{yy} = \mu a^2 \left(\sin^2 \omega t - \frac{1}{3} \right), \tag{10}$$

$$Q_{xy} = \mu a^2 \sin\omega t \cos\omega t. \tag{11}$$

Mit

$$\cos^2\omega t = \frac{1}{2}(1 + \cos 2\omega t), \tag{12}$$

$$\sin^2\omega t = \frac{1}{2}(1 - \cos 2\omega t), \tag{13}$$

$$\sin\omega t \cos\omega t = \frac{1}{2}\sin 2\omega t \tag{14}$$

wird sichtbar, dass der Quadrupol mit Frequenz 2ω schwingt.

Nach dreimaligem Differenzieren ist jede Komponente proportional zu

$$\mu a^2 \omega^3. \tag{15}$$

Die Kontraktion und zeitliche Mittelung liefert

$$\langle \dddot{Q}_{ij} \dddot{Q}_{ij} \rangle = 32\mu^2 a^4 \omega^6. \tag{16}$$

Damit

$$P = -\frac{32G}{5c^5}\mu^2 a^4 \omega^6. \tag{17}$$

Für die führende Bahnordnung wird Kepler verwendet:

$$\omega^2 = \frac{GM}{a^3}, \qquad M = m_1 + m_2. \tag{18}$$

Also

$$\omega^6 = \frac{G^3 M^3}{a^9}. \tag{19}$$

Somit

$$P_{\text{circ}} = -\frac{32}{5}\frac{G^4}{c^5}\frac{\mu^2 M^3}{a^5}. \tag{20}$$

27.4.5 Exzentrische Bahn

Für eine Keplerellipse

$$r(\phi) = \frac{a(1-e^2)}{1 + e\cos\phi} \tag{21}$$

wird der zeitabhängige Quadrupoltensor entlang der elliptischen Bewegung berechnet und anschließend über eine Bahnperiode gemittelt. Die vollständige Peters–Mathews-Mittelung liefert

$$\left\langle \dot{E} \right\rangle = -\frac{32}{5}\frac{G^4}{c^5}\frac{\mu^2 M^3}{a^5}\frac{1 + \frac{73}{24}e^2 + \frac{37}{96}e^4}{(1-e^2)^{7/2}}. \tag{22}$$

Der Faktor

$$F(e) = \frac{1 + \frac{73}{24}e^2 + \frac{37}{96}e^4}{(1-e^2)^{7/2}} \tag{23}$$

ist die gesamte Exzentrizitätskorrektur der führenden Quadrupolordnung.

27.4.6 Von Energieverlust zu schrumpfender Bahn

Die führende Newtonsche Bindungsenergie lautet

$$E = -\frac{G\mu M}{2a}. \tag{24}$$

Differentiation:

$$\dot{E} = \frac{G\mu M}{2a^2}\dot{a}. \tag{25}$$

Also

$$\dot{a} = \frac{2a^2}{G\mu M}\dot{E}. \tag{26}$$

Einsetzen der Quadrupolleistung:

$$\dot{a} = -\frac{64}{5}\frac{G^3 \mu M^2}{c^5 a^3}F(e). \tag{27}$$

27.4.7 Von a zur Bahnperiode

Die führende Keplerrelation lautet

$$P_b^2 = \frac{4\pi^2 a^3}{GM}. \tag{28}$$

Logarithmisch differenziert:

$$2\frac{\dot{P}_b}{P_b} = 3\frac{\dot{a}}{a} \tag{29}$$

bei konstanten Massen. Damit

$$\frac{\dot{P}_b}{P_b} = \frac{3}{2}\frac{\dot{a}}{a}. \tag{30}$$

Einsetzen:

$$\dot{P}_b = -\frac{96}{5}\frac{G^3\mu M^2}{c^5 a^4} P_b F(e). \tag{31}$$

Nun eliminiert man a mit Kepler:

$$a^3 = \frac{GMP_b^2}{4\pi^2}. \tag{32}$$

Damit

$$a^4 = \left(\frac{GMP_b^2}{4\pi^2}\right)^{4/3}. \tag{33}$$

Nach Umordnung erhält man

$$\boxed{\dot{P}_b = -\frac{192\pi}{5}\left(\frac{2\pi G\mathcal{M}}{c^3 P_b}\right)^{5/3} F(e)}. \tag{34}$$

mit der Chirp-Masse

$$\boxed{\mathcal{M} = \frac{(m_1 m_2)^{3/5}}{(m_1+m_2)^{1/5}}}. \tag{35}$$

27.4.8 Was wird tatsächlich beobachtet?

Ein Radioteleskop misst keine $\dot{P}_b$-Formel direkt. Gemessen werden Ankunftszeiten einzelner Pulsprofile. Aus den Zeitstempeln wird ein Timing-Modell angepasst. Dieses enthält unter anderem

$$P_b,\ e,\ \omega,\ T_0 \tag{36}$$

sowie post-keplersche Parameter.

Die beobachtete Periodenänderung enthält außerdem kinematische Beiträge:

$$\dot{P}_b^{\mathrm{obs}} = \dot{P}_b^{\mathrm{int}} + \dot{P}_b^{\mathrm{gal}} + \dot{P}_b^{\mathrm{Shk}} + \cdots , \tag{37}$$

wobei der Shklovskii-Term durch die Eigenbewegung des Systems entsteht.

Somit muss für den ART-Vergleich zunächst

$$\dot{P}_b^{\mathrm{int}} = \dot{P}_b^{\mathrm{obs}} - \dot{P}_b^{\mathrm{gal}} - \dot{P}_b^{\mathrm{Shk}} - \cdots \tag{38}$$

rekonstruiert werden.

27.4.9 Setzungen und Näherungsstufen

1. post-newtonsche Entwicklung der Zwei-Körper-Dynamik;
2. Punktmassenmodell in der führenden Strahlungsrechnung;
3. Keplerbewegung als Nullordnung;
4. Quadrupolformel als führende Strahlungsordnung;
5. Bahnmittlelung;
6. Newtonsche Bindungsenergie zur Umrechnung $\dot{E} \to \dot{a}$;
7. Keplerrelation zur Umrechnung $\dot{a} \to \dot{P}_b$;
8. Timing-Modell und Korrektur kinematischer Beiträge auf Messseite.

27.4.10 Methodische Kette

$G_{\mu\nu} \to$ PN-Expansion $\to Q_{ij} \to \ddot{Q}_{ij} \to P_{\mathrm{GW}} \to \dot{E} \to \dot{a} \to \dot{P}_b \to$ Pulsankunftszeiten $\to$ Timing-Fit $\to \dot{P}_b^{\mathrm{int}}$.

27.5 Gravitationswellen und LIGO aus Sicht der ART

Lückenlose Kette von der Feldgleichung zum Detektorsignal

27.5.1 Kovarianter Ausgangspunkt

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}. \tag{1}$$

Für eine analytische Wellentheorie wird die Metrik um einen flachen Hintergrund entwickelt:

$$g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} + h_{\mu\nu}, \qquad |h_{\mu\nu}| \ll 1. \tag{2}$$

Der inverse Tensor ist bis zur ersten Ordnung

$$g^{\mu\nu} = \eta^{\mu\nu} - h^{\mu\nu} + O(h^2). \tag{3}$$

27.5.2 Christoffelsymbole erster Ordnung

Da $\eta_{\mu\nu}$ konstant ist:

$$\partial_\alpha \eta_{\mu\nu} = 0. \tag{4}$$

Damit

$$\Gamma^\rho_{\mu\nu} = \frac{1}{2} g^{\rho\sigma} \left(\partial_\mu g_{\sigma\nu} + \partial_\nu g_{\sigma\mu} - \partial_\sigma g_{\mu\nu} \right). \tag{5}$$

Bis $O(h)$:

$$\Gamma^{(1)\rho}_{\mu\nu} = \frac{1}{2} \eta^{\rho\sigma} \left(\partial_\mu h_{\sigma\nu} + \partial_\nu h_{\sigma\mu} - \partial_\sigma h_{\mu\nu} \right). \tag{6}$$

Produkte $\Gamma\Gamma$ sind bereits $O(h^2)$ und werden bei der Linearisierung verworfen.

27.5.3 Linearer Ricci-Tensor

Aus

$$R_{\mu\nu} = \partial_\rho \Gamma^\rho_{\mu\nu} - \partial_\nu \Gamma^\rho_{\mu\rho} + \Gamma\Gamma - \Gamma\Gamma \tag{7}$$

folgt in erster Ordnung

$$R^{(1)}_{\mu\nu} = \partial_\rho \Gamma^{(1)\rho}_{\mu\nu} - \partial_\nu \Gamma^{(1)\rho}_{\mu\rho}. \tag{8}$$

Nach Einsetzen:

$$R^{(1)}_{\mu\nu} = \frac{1}{2} \left(\partial_\rho \partial_\mu h^\rho{}_\nu + \partial_\rho \partial_\nu h^\rho{}_\mu - \Box h_{\mu\nu} - \partial_\mu \partial_\nu h \right). \tag{9}$$

Der lineare Ricci-Skalar ist

$$R^{(1)} = \partial_\mu \partial_\nu h^{\mu\nu} - \Box h. \tag{10}$$

27.5.4 Spurumkehr und Lorenz-Eichung

Definiere

$$\bar{h}_{\mu\nu} = h_{\mu\nu} - \frac{1}{2}\eta_{\mu\nu} h. \tag{11}$$

Dann

$$\bar{h} = -h. \tag{12}$$

Die Lorenz-Eichbedingung ist

$$\partial^\mu \bar{h}_{\mu\nu} = 0. \tag{13}$$

Unter dieser Bedingung reduziert sich der lineare Einstein-Tensor auf

$$G^{(1)}_{\mu\nu} = -\frac{1}{2}\Box \bar{h}_{\mu\nu}. \tag{14}$$

Damit wird die Einstein-Gleichung

$$-\frac{1}{2}\Box \bar{h}_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}, \tag{15}$$

also

$$\Box \bar{h}_{\mu\nu} = -\frac{16\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}. \tag{16}$$

Im Vakuum:

$$\Box \bar{h}_{\mu\nu} = 0. \tag{17}$$

27.5.5 Ebene Welle

Setze

$$\bar{h}_{\mu\nu} = A_{\mu\nu} e^{i k_\alpha x^\alpha}. \tag{18}$$

Dann

$$\Box \bar{h}_{\mu\nu} = -k^\alpha k_\alpha A_{\mu\nu} e^{ikx}. \tag{19}$$

Die Vakuumgleichung verlangt

$$k^\alpha k_\alpha = 0. \tag{20}$$

Die Welle breitet sich damit auf dem Minkowski-Hintergrund mit c aus.

Die Lorenz-Bedingung ergibt

$$k^\mu A_{\mu\nu} = 0. \tag{21}$$

27.5.6 TT-Eichung und Polarisationen

Für eine Welle in z-Richtung kann durch verbleibende Eichfreiheit die transversal-spurfreie Form gewählt werden:

$$h_{0\mu}^{\mathrm{TT}} = 0, \qquad h^i{}_i = 0, \qquad \partial_i h_{ij} = 0. \tag{22}$$

Dann bleibt

$$h_{ij}^{\mathrm{TT}} = \begin{pmatrix} h_+ & h_\times & 0 \\ h_\times & -h_+ & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \tag{23}$$

27.5.7 Warum ein Interferometer etwas misst: Geodätenabweichung

Die koordinateninvariante relative Beschleunigung benachbarter frei fallender Testmassen wird durch

$$\frac{D^2 \xi^\mu}{D\tau^2} = -R^\mu{}_{\alpha\nu\beta} u^\alpha \xi^\nu u^\beta \tag{24}$$

beschrieben.

Für langsam bewegte Testmassen und eine TT-Welle:

$$\frac{d^2 \xi^i}{dt^2} = -R^i{}_{0j0} \xi^j. \tag{25}$$

In linearer Ordnung gilt

$$R_{0i0j} = -\frac{1}{2}\ddot{h}_{ij}^{\mathrm{TT}}. \tag{26}$$

Also

$$\ddot{\xi}^i = \frac{1}{2}\ddot{h}_{ij}^{\mathrm{TT}}\xi^j. \tag{27}$$

Für eine reine +-Polarisation und einen Arm in x-Richtung:

$$\frac{\Delta L_x}{L} \simeq +\frac{1}{2}h_+. \tag{28}$$

Für den orthogonalen y-Arm:

$$\frac{\Delta L_y}{L} \simeq -\frac{1}{2}h_+. \tag{29}$$

Damit ist die differentielle Armänderung

$$\frac{\Delta L_x - \Delta L_y}{L} \simeq h_+. \tag{30}$$

27.5.8 Quellenfeld im Fernbereich

Die retardierte Lösung der linearisierten Gleichung ist schematisch

$$\bar{h}_{\mu\nu}(t,\mathbf{x}) = \frac{4G}{c^4}\int \frac{T_{\mu\nu}\left(t - |\mathbf{x}-\mathbf{x}'|/c, \mathbf{x}'\right)}{|\mathbf{x}-\mathbf{x}'|}\, d^3x'. \tag{31}$$

Im Fernfeld R einer langsamen kompakten Quelle führt die Multipolentwicklung zum Quadrupolterm:

$$h_{ij}^{\mathrm{TT}}(t,\mathbf{x}) = \frac{2G}{c^4 R}\ddot{Q}_{ij}^{\mathrm{TT}}\left(t - \frac{R}{c}\right). \tag{32}$$

27.5.9 Kreisförmiges Binärsystem und Chirp

Für zwei Körper mit Gesamtmasse M, reduzierter Masse μ und Orbitfrequenz ω:

$$\omega^2 = \frac{GM}{a^3} \tag{33}$$

in führender Ordnung.

Die abgestrahlte Leistung ist

$$P = \frac{32}{5}\frac{G^4}{c^5}\frac{\mu^2 M^3}{a^5}. \tag{34}$$

Die Bindungsenergie:

$$E = -\frac{G\mu M}{2a}. \tag{35}$$

Energiebilanz:

$$\dot{E} = -P. \tag{36}$$

Daraus folgt

$$\dot{a} = -\frac{64}{5}\frac{G^3\mu M^2}{c^5 a^3}. \tag{37}$$

Da

$$\omega = (GM/a^3)^{1/2}, \tag{38}$$

gilt

$$\frac{\dot{\omega}}{\omega} = -\frac{3}{2}\frac{\dot{a}}{a}. \tag{39}$$

Einsetzen von $\dot{a}$:

$$\dot{\omega} = \frac{96}{5}\frac{G^{5/3}}{c^5}\mathcal{M}^{5/3}\omega^{11/3}. \tag{40}$$

Mit GW-Frequenz

$$f = \frac{\omega}{\pi} \tag{41}$$

folgt

$$\boxed{\dot{f} = \frac{96}{5}\pi^{8/3}\left(\frac{G\mathcal{M}}{c^3}\right)^{5/3} f^{11/3}}. \tag{42}$$

27.5.10 Vom Signal zum Parameterfit

Der Detektor misst

$$s(t) = n(t) + h(t;\theta), \tag{43}$$

wobei θ Parameter wie Massen, Spins, Entfernung, Orientierung und Koaleszenzzeit enthält.

Im Frequenzraum wird ein rauschgewichtetes Skalarprodukt verwendet:

$$(a|b) = 4\,\Re \int_0^\infty \frac{\tilde{a}(f)\tilde{b}^*(f)}{S_n(f)}\,df. \tag{44}$$

Die Matched-Filter-Signalstärke ist schematisch

$$\rho = \frac{(s|h)}{\sqrt{(h|h)}}. \tag{45}$$

Für reale Verschmelzungen stammen die Templates aus einer Kombination von

$$\text{PN-Inspiral + numerischer Relativität + Ringdown-Störungstheorie.} \tag{46}$$

27.5.11 Näherungs- und Modellstufen

1. Hintergrundzerlegung $g = \eta + h$;
2. Abbruch aller $O(h^2)$-Terme in der analytischen Wellentheorie;
3. Lorenz-Eichung;
4. TT-Eichung für die Fernfeldwelle;
5. langsame Quelle und Multipolentwicklung für Quadrupolformel;
6. Kepler-/PN-Struktur für Inspiral;
7. numerische volle ART für starke Verschmelzung;
8. Störungstheorie für Ringdown;
9. Detektorantwort und statistische Template-Auswertung.

27.5.12 Methodische Kette

$$G_{\mu\nu} \to g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} + h_{\mu\nu} \to G^{(1)}_{\mu\nu} \to \Box\bar{h}_{\mu\nu} \to \text{TT-Welle} \to$$

$\mathrm{R}_{0i0j} \to \Delta L/L \to Q_{ij} \to h(t) \to$ PN + NR + Ringdown $\to$ Template $\to$ Matched Filter / Parameterschätzung.

28 Literatur

Literatur

[1] Tiesinga, E., Mohr, P. J., Newell, D. B., & Taylor, B. N. (2025). CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2022. *Reviews of Modern Physics*.

[2] Abbott, B. P. et al. (LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration). (2016). Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. *Physical Review Letters*, 116, 061102.

[3] NIST. (2026). CODATA Value: Newtonian Constant of Gravitation. `https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?bg`

[4] Riess, A. G. et al. (2025). A Comprehensive Measurement of the Local Value of the Hubble Constant with 2.4% Uncertainty. *The Astrophysical Journal*.

[5] Abbott, B. P. et al. (2017). GW170817: Observation of Gravitational Waves from a Binary Neutron Star Inspiral. *Physical Review Letters*, 119, 161101.

[6] Wald, R. M. (1984). *General Relativity*. University of Chicago Press.

[7] Misner, C. W., Thorne, K. S., & Wheeler, J. A. (1973). *Gravitation*. W. H. Freeman.

[8] Einstein, A. (1916). Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. *Annalen der Physik*, 49, 769–822.

[9] Minkowski, H. (1908). Raum und Zeit. *Physikalische Zeitschrift*, 10, 104–111.

[10] Weinstein, G. (2016). Einstein and Gravitational Waves 1936–1938. *arXiv:1602.04025*.

[11] Planck Collaboration. (2018). Planck 2018 Results. *Astronomy & Astrophysics*, 641, A6.

[12] Arp, H. C. (1997). *Seeing Red: Redshifts, Cosmology and Academic Science*. Apeiron.

[13] Unzicker, A. (2020). Gravitationswellen: Stilles Fiasko. `https://www.telepolis.de/article/Fake-News-aus-dem-Universum-4442282.html`

[14] Freyling, D. (2026). Elementarkörpertheorie (EKT). `http://www.kinkynature.com/ektheorie/`

[15] Johnson, C. (2016). The Absurdity of Modern Physics: LIGO. `https://claesjohnson.blogspot.com/2016/02/absurdity-of-modern-physics-ligo.html`

[16] Fontane, T. (1890). *Die Poggenpuhls*. (Zitiert nach: „Wir stecken bereits tief in der Dekadenz. Das Sensationelle gilt und nur einem strömt die Menge noch begeisterter zu, dem baren Unsinn.“)

28.1 Quellenverzeichnis

Literatur

[1] S. Aoki et al., *Review of lattice results concerning low-energy particle physics*, FLAG Review (2016), arXiv:1607.00299.

[2] J. Finkenrath und A. Jüttner, *Strategy for the Future of Lattice QCD*, (März 2025).

[3] S. Aoki et al., *Physical point simulation in 2+1 flavor lattice QCD*, Phys. Rev. D81 (2010) 074503. arXiv:0911.2561

[4] S. Aoki et al., *Non-perturbative renormalization of quark mass in Nf = 2 + 1 QCD*, JHEP 1008 (2010) 101. arXiv:1006.1164

[5] S. Dürr et al., *Lattice QCD at the physical point: light quark masses*, Phys. Lett. B701 (2011) 265. arXiv:1011.2403

[6] S. Dürr et al., *Lattice QCD at the physical point: simulation and analysis details*, JHEP 1108 (2011) 148. arXiv:1011.2711

[7] R. Arthur et al., *Domain wall QCD with near-physical pions*, Phys. Rev. D87 (2013) 094514. arXiv:1208.4412

[8] N. Carrasco et al., *Up, down, strange and charm quark masses with Nf = 2+1+1 twisted mass lattice QCD*, Nucl. Phys. B887 (2014) 19. arXiv:1403.4504

[9] A. Bazavov et al., *Charmed and light pseudoscalar meson decay constants*, Phys. Rev. D90 (2014) 074509. arXiv:1407.3772

[10] B. Chakraborty et al., *High-precision quark masses and QCD coupling from nf = 4 lattice QCD*, Phys. Rev. D91 (2015) 054508. arXiv:1408.4169

[11] T. Blum et al., *Domain wall QCD with physical quark masses*, Phys. Rev. D93 (2016) 074505. arXiv:1411.7017

[12] M. Gell-Mann, R. J. Oakes und B. Renner, *Behavior of current divergences under SU(3)xSU(3)*, Phys. Rev. 175 (1968) 2195.

[13] B. Bloch-Devaux, *Results from NA48/2 on pi-pi scattering lengths*, PoS CONFINEMENT8 (2008) 029.

[14] J. Gasser, A. Rusetsky und I. Scimemi, *Electromagnetic corrections in hadronic processes*, Eur. Phys. J. C32 (2003) 97. arXiv:hep-ph/0305260

[15] A. Rusetsky, *Isospin symmetry breaking*, PoS CD09 (2009) 071. arXiv:0910.5151

[16] J. Gasser, *Theoretical progress on cusp effect and Kl4 decays*, PoS KAON07 (2008) 033. arXiv:0710.3048