# Die geometrische Verkörperung der kinetischen Energie

# Ontologische und mathematische Herleitung

# der bimodalen Zustandsstruktur

# in der Elementarkörpertheorie

Dirk Freyling
1986 – 2012 – 2026

## Abstract

Ausgangspunkt dieser Untersuchung ist eine denkmodellunabhängig beobachtbare Eigenschaft bewegter Massen: Zu einem Impuls $p$ gehört die de-Broglie-Materiewellenlänge $\lambda_{\mathrm{dB}} = h/p$. Die Elementarkörpertheorie (EKT) interpretiert diese Längenskala ontologisch als reale, radialsymmetrische Verkörperung desjenigen Energieanteils, der durch Translation gegenüber dem Ruhezustand hinzukommt. Ziel dieses Dokuments ist nicht, diese ontologische Setzung stillschweigend vorauszusetzen, sondern ihre mathematischen Konsequenzen Schritt für Schritt offenzulegen.

Zunächst werden die Masse-Radius-Invariante, die Beziehung zwischen Elementarkörperradius und Compton-Wellenlänge sowie die Dynamisierung eines bewegten Elementarkörpers hergeleitet. Danach werden Gesamtenergie, kinetische Zusatzenergie und Materiewellenradius getrennt eingeführt. Es wird explizit gezeigt, warum Massenzunahme und Materiewellenenergie nicht additiv als zwei verschiedene Energiereservoirs behandelt werden dürfen. Anschließend wird die direkte Energie-Radius-Beziehung der Materiewelle hergeleitet und von der Masse-Radius-Energiebeziehung des Elementarkörpers abgegrenzt. Charakteristische Geschwindigkeitszustände sowie die Grenzfälle $v \to 0^+$ und $v \to c^-$ werden ausführlich analysiert. Dadurch entsteht ein ontologisch sparsames Bild: gerichtete Translation ist der Prozess; die dynamisierte Masse-Radius-Struktur und der isotrope Materiewellenradius sind zwei geometrische Kennzeichnungen desselben bewegten Gesamtzustands. Die Betrachtungen zur Ontologie des Photons (Kapitel 25 und 26) lösen u.a. den Welle-Teilchen-Dualismus auf. Materie ist manifestierte Raum-Energie; Licht ist kodierte Raum-Energie.

**Hinweis zum Elementarkörpertheorie-Gesamtüberblick**

Es existieren neben den vorliegenden Ausführungen das initiale pdf-Dokument zur Materie und das pdf-Dokument zur Gravitation. Diese drei Informationsquellen bilden die EKT gesamtheitlich ab.

## Inhaltsverzeichnis

**1 Einleitende Zusammenfassung** **5**

**2 Ausgangsfrage: gerichtete Translation und isotrope Verkörperung** **7**

**3 Die Universalität der Materiewelle** **8**

**4 Experimentelle Bestätigung der Universalität der Materiewelle** **8**

**5 Erweiterte Belege für die Universalität** **8**

5.1 Antimaterie (Positronen) . . . . . 8

5.2 Der Talbot-Lau-Effekt bei Antimaterie: Eine weitere Bestätigung der Universalität 8
5.3 Makromoleküle . . . 10
5.4 Atome und Isotope . . . 10
5.5 Protonen . . . 10

**6 Epistemologisches Grundprinzip: Die Signatur der Materiewelle 10**
6.1 Die Illusion des ruhenden Experiments . . . 10
6.2 Die Materiewelle als reale räumliche Verkörperung . . . 10
6.3 Die Energieüberlagerung als Ursache der Messabweichungen . . . 11
6.4 Fazit für den Theorie-Experiment-Vergleich . . . 11

**7 Geometrisches Fundament der EKT 11**
7.1 Masse-Radius-Invariante . . . 11
7.2 Herleitung der Beziehung zur Compton-Wellenlänge . . . 12

**8 Dynamisierung des Elementarkörpers 12**
8.1 Definition des Dynamisierungsfaktors . . . 12
8.2 Isotrope Veränderung des Elementarkörperradius . . . 13
8.3 Massenzunahme aus der Masse-Radius-Invariante . . . 13

**9 Energetische Bilanz des bewegten Zustands 13**
9.1 Ruheenergie und Gesamtenergie . . . 13
9.2 Der durch Translation hinzukommende Energieanteil . . . 14

**10 Herleitung des Materiewellenradius 14**
10.1 Impuls des dynamisierten Zustands . . . 14
10.2 Einsetzen in die de-Broglie-Beziehung . . . 14

**11 Das Verhältnis der beiden Radien 15**

**12 Ontologische Setzung der Materiewellenenergie 15**

**13 Warum keine additive Doppelzählung zulässig ist 16**

**14 Direkte Energie-Radius-Beziehung der Materiewelle 16**
14.1 Ausgangspunkt . . . 16
14.2 Ausmultiplizieren und Kürzen . . . 17
14.3 Lösung der quadratischen Gleichung . . . 17

**15 Zwei Radius-Energie-Beziehungen – kein Kategorienwechsel 17**

**16 Der bewegte Gesamtzustand als gemeinsame Zustandsbeschreibung 18**

**17 Explizite charakteristische Zustände 18**
17.1 $v = \frac{1}{10}c$ . . . 18
17.2 $v = \frac{1}{2}c$ . . . 19
17.3 $v = \frac{99}{100}c$ . . . 20

**18 Grenzfall $v \to 0^+$: unbeschränkte geometrische Konnektivität 21**
18.1 Verhalten des Materiewellenradius . . . . . 21
18.2 Verhalten der Materiewellenenergie . . . . . 22

**19 Nichtrelativistischer Grenzfall und das Quadrat des Radius 22**

**20 Isotrope Geometrie und Wirkungsquerschnitt 23**

**21 Grenzfall $v \to c^-$ 23**

**22 Ontologische Bilanz 24**
22.1 Mathematisch gekoppelte Größen . . . . . 24
22.2 Ontologische EKT-Identifikation . . . . . 24
22.3 Keine Kern-Hülle-Addition . . . . . 24

**23 Konnektivität und Wechselwirkungsstärke 25**

**24 Zusammenfassung 25**

**25 Die Materiewelle des Photons: Information, Energiekodierung und räumliche Manifestation 26**
25.1 Der Photonenzustand als informationeller Energiezustand . . . . . 26
25.2 Energieäquivalent und Compton-Längenskala des Photons . . . . . 26
25.3 Von der Längenskala zum isotrop kodierten Radius . . . . . 27
25.4 Die Masse–Radius-Konstante ist bereits im Photonenzustand kodiert . . . . . 28
25.5 Warum der Grenzfall $v \to c^-$ eines massiven Elementarkörpers nicht das Photon ist 29
25.6 Photonen bei $v = c$ und die Rolle der Wechselwirkung . . . . . 29
25.7 Die experimentelle Grenze $v \leq c$ . . . . . 29
25.8 Reale Medien: drei verschiedene räumliche Größen . . . . . 30
25.9 Der Sonderfall einer konstant gemessenen Frequenz im Medium . . . . . 31
25.10 Warum die Masse–Radius-Konstantengleichung nicht auf ein makroskopisches Medium übertragen werden darf . . . . . 31
25.11 Überlagerung, Energieaustausch und das Prinzip des Ausgleichs . . . . . 32
25.12 Bewusste Grenze der quantitativen Beschreibung . . . . . 32

**26 Das relativistische Geschwindigkeitsadditionstheorem 33**
26.1 Vergleichende Einleitung - Realphysik vs. SRT/SM . . . . . 33
26.1.1 Die Brücke zur Realphysik: Das Michelson-Morley-Experiment als empirischer Anker 33
26.1.2 Der fundamentale Verstoß gegen die Energieerhaltung im Standardmodell . . . . 34
26.1.3 Die EKT-Lösung: Raumenergie als das fehlende Glied der Bilanz . . . . . 34
26.2 Das relativistische Geschwindigkeitsadditionstheorem im Bild der Standardphysik . . . . 34
26.3 Das Geschwindigkeitsadditionstheorem im Bild der Elementarkörpertheorie . . . . . 39
26.3.1 Ausgangspunkt: Der Freylingsche Eingriff und die Phasenbeschreibung . . 39
26.3.2 Das Ur-Prinzip der Wechselwirkung: Radienaddition . . . . . 40
26.3.3 Geometrisch-energetische Herleitung: Moden-Interferenz im energetischen Raum . . . . . 40
26.3.4 Der longitudinale Anteil und der Einheitskreis . . . . . 41

26.3.5 Das Additionstheorem . . . 41
26.3.6 Numerische Überprüfung: Der symmetrische Fall $v_1 = -v_2$ . . . 42
26.3.7 Ontologische Einordnung . . . 42
26.3.8 Status . . . 42

**27 Phänomenologische Grenzen der Klassischen Elektrodynamik und Quantenelektrodynamik (QED) 43**
27.1 Realphysik vs. Maxwell & Co . . . 43
27.2 Phänomenologische Defizite der klassischen Feldvorstellung . . . 44
27.2.1 Das klassische Problem . . . 44
27.2.2 Die phänomenologische Lücke . . . 44
27.2.3 Die EKT-Position . . . 44
27.3 Die willkürliche Grenze zwischen Nah- und Fernfeld . . . 44
27.3.1 Definition gemäß herrschender Meinung . . . 44
27.3.2 Phänomenologische Kritik der EKT . . . 45
27.4 Das Missverständnis des Fernfeld-„Pendels“ . . . 45
27.5 Die Masse-Radius-Konstantengleichung . . . 45
27.6 Experimentelle Bestätigung durch Streuquerschnitte . . . 46
27.6.1 Comptonwellenlänge als Messgröße für den Radius . . . 46
27.6.2 Klassischer Radius als Wechselwirkungsradius . . . 46
27.6.3 Sieben experimentell bestätigte Streuformeln . . . 47
27.6.4 Übertragung auf das Proton – Analogie und Konsistenz . . . 47
27.7 Elektrische Ladung und die Feinstrukturkonstante in der EKT . . . 48
27.7.1 Die Elementarkörperladung $q_0$ . . . 48
27.7.2 Die elektrische Elementarladung $e$ . . . 48
27.7.3 Die erweiterte Masse-Radius-Konstantengleichung . . . 48
27.8 Das fundamentale Missverständnis der herrschenden Physik . . . 49
27.9 Information als Energieform . . . 49
27.10 Wissenschaftstheoretische Einordnung: Die Asymmetrie der Bringschuld in der QED 49
27.11 Verzicht aus Notwendigkeit, nicht aus Stärke . . . 49
27.12 Die doppelte Bewertung von Anschauung und Formalismus . . . 49
27.13 Die Grenzen der rein formalen Konsistenz . . . 50
27.13.1 Umkehrung der Bringschuld . . . 50
27.14 Vergleich: Klassische Elektrodynamik vs. Elementarkörper-Theorie (EKT) . . . 50
27.15 Beugung und Interferenz . . . 51
27.16 Compton-Streuung . . . 51
27.17 Paarbildung und -vernichtung . . . 51
27.18 Strahlungsdruck und Gravitation . . . 52
27.19 Zusammenfassung der phänomenologischen Implikationen . . . 52
27.20 Kernaussagen . . . 52
.1 Zusätzliche Informationen - Ist die Quantenmechanik unverständlich? . . . 53
.1.1 Mathematische Hintergründe, ursprünglicher Sinn und Zweck, willentlicher Verzicht auf Anschauung . . . 53
.1.2 Kopenhagener Deutung von 1927 . . . 54
.1.3 Voraussagefähigkeit der Quantenmechanik . . . 55

.2 Mythos »Theorieschaft« [Theorie schafft] . . . . . 55
.2.1 Physik und Philosophie – Thesen und Realität . . . . . 55
.2.2 Exemplarisch: Berechnungen zum anomalen magnetischen Moment des Elektrons . . . . . 56
.2.3 Kritische Stimmen zur Renormierung und Regularisierung . . . . . 57
.2.4 Das »zauberhafte« fine-tuning – die an den Haaren herbeigezogene Feinabstimmung . . . . . 58

**Weiterführendes - Gesamtübersicht** **59**

# 1 Einleitende Zusammenfassung

Das vorliegende Dokument ist ein epistemologischer und mathematischer Meilenstein innerhalb der Elementarkörpertheorie. Es schließt die letzte große Lücke zwischen der reinen Ruhe-Geometrie (Masse-Radius-Kopplung) und der Dynamik (Bewegung, kinetische Energie, Lichtausbreitung).

Wenn wir dieses Dokument rein logisch-argumentativ und im Lichte des Prinzips der Parsimonie (Ockhams Rasiermesser) analysieren, offenbart sich eine radikale Neukonzeption von dem, was „Bewegung“ und „Licht“ phänomenologisch überhaupt sind.

Folgend die logisch-argumentativen Kernthesen des Dokuments:

**1. Die ontologische Aufwertung der Materiewelle (Abschnitt 1–8)** Die These: Die de-Broglie-Materiewelle $\lambda_{\mathrm{dB}} = h/p$ ist keine abstrakte Wahrscheinlichkeitsamplitude der Quantenmechanik, sondern der reale, isotrope Raumbereich, in dem sich die kinetische Energie $E_{\mathrm{kin}}$ eines bewegten Elementarkörpers räumlich verkörpert.

Die logische Konsequenz: Die Quantenmechanik leidet unter einem Kategorienfehler: Sie behandelt die Materiewelle als epistemisches Werkzeug (Wahrscheinlichkeit, wo könnte das Teilchen sein?). Die EKT behandelt sie als ontologische Realität (wie viel Raum nimmt die Bewegungsenergie ein?).

Vermeidung der Doppelzählung: Das Dokument beweist logisch zwingend, dass $E_{\mathrm{MW}} \equiv E_{\mathrm{kin}}$ ist. Die Gesamtenergie ist

$$E_{\mathrm{ges}} = m_0 c^2 + E_{\mathrm{MW}}. \tag{1}$$

Man darf $E_{\mathrm{MW}}$ nicht zur relativistischen Masse $m(v)c^2$ hinzuaddieren, da die Massenzunahme $\Delta m$ selbst bereits die energetische Signatur dieser räumlichen Verkörperung ist. Das rettet den Energieerhaltungssatz vor den infiniten Doppelbuchungen der Quantenfeldtheorien (Vakuumpolarisation, virtuelle Teilchen).

**2. Die Auflösung des Reichweiten-Paradoxons (Abschnitt 13)** Die These: Im Grenzfall $v \to 0^+$ geht die Materiewellenenergie $E_{\mathrm{MW}} \to 0$, aber der Materiewellenradius $r_{\mathrm{MW}} \to \infty$.

Die logische Konsequenz: Das ist der vielleicht brillanteste erkenntnistheoretische Schachzug des Dokuments. In der etablierten Physik ist es ein Mysterium, wie eine Kraft (wie die Gravitation) unendliche Reichweite haben kann, ohne unendliche Energie zu verbrauchen oder an einem „unsichtbaren Faden“ zu hängen.

Die EKT trennt hier streng zwei Begriffe:

- Geometrische Konnektivität (Reichweite): $r_{\mathrm{MW}} \to \infty$. Der Körper „berührt“ den gesamten Raum.
- Wechselwirkungsstärke (Kraft/Energie): $E_{\mathrm{MW}} \to 0$. Die Energie, die für den konkreten Kraftakt zur Verfügung steht, geht gegen Null.

Fazit: Gravitation und andere Fernwirkungen sind möglich, weil die Geometrie unendliche Reichweite bietet, während die Energetik die Stärke der Interaktion limitiert. Das ersetzt das Konzept des „Kraftfeldes“ durch reale geometrische Überlappung.

**3. Die bimodale Geometrie (Abschnitt 3–6, 11)** Die These: Ein bewegter Körper hat nicht einen Radius, sondern zwei gleichzeitig existierende geometrische Kenngrößen:

$$r(v) = r_0\sqrt{1-\beta^2} \quad \text{(Der dynamisierte, masseverkörperte Kern)}, \tag{2}$$

$$r_{\mathrm{MW}} = \frac{\pi}{2} r_0 \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{\beta} \quad \text{(Die isotrope Hülle der kinetischen Energie)}. \tag{3}$$

Die logische Konsequenz: Die Lorentz-Kontraktion der Speziellen Relativitätstheorie (SRT) wird als rein mathematisches Artefakt von Inertialsystemen entlarvt. Die EKT ersetzt die anisotrope (richtungsabhängige) Längenkontraktion durch eine isotrope, radialsymmetrische Dynamisierung. Der Körper schrumpft in alle Richtungen gleichmäßig, weil seine innere Oszillationsfrequenz (Masse) durch die Energiezufuhr von außen steigt. Das ist phänomenologisch fassbar und benötigt keine „gedehnte Zeit“ oder „gekrümmte Raumzeit“.

**4. Die Ontologie des Photons (Abschnitt 20)** Die These: Das Photon ist nicht der Grenzfall $v \to c$ eines massiven Körpers. Es ist ein „informationeller Energiezustand“ mit $m_0 = 0$ und $r_{\mathrm{manifest}} = 0$.

Die logische Konsequenz: Das Dokument löst den Welle-Teilchen-Dualismus auf, indem es zeigt, dass die etablierte Physik hier zwei Zustände verwechselt:

- Kodierter Raum $r_{\gamma,\mathrm{kod}}$: Das Photon trägt die Information über einen Raum, den es bei Wechselwirkung einnehmen wird.
- Manifestierter Raum $r_{\mathrm{manifest}}$: Während der freien Ausbreitung bei $v = c$ existiert das Photon nicht als ausgedehntes Objekt im Raum.

Der mathematische Beweis der Eleganz: Das Dokument zeigt, dass für das Photon gilt:

$$m_\gamma^* \cdot r_{\gamma,\mathrm{kod}} = \frac{h\nu}{c^2} \cdot \frac{2c}{\pi\nu} = \frac{2h}{\pi c} = F_{\mathrm{EK}}. \tag{4}$$

Das ist von unschätzbarem logischem Wert: Die fundamentale EKT-Konstante $F_{\mathrm{EK}}$ (Masse-Radius-Kopplung) gilt nicht nur für ruhende Materie, sondern ist die informationelle DNA des Photons. Das Photon hat zwar keine Masse und keinen Radius, aber es kodiert exakt das Verhältnis von Masse zu Radius. Erst bei der Interaktion (Absorption, Streuung) „kollabiert“ diese Information in einen manifestierten Elementarkörper (z.B. ein Elektron), der dann der Gleichung $m \cdot r = F_{\mathrm{EK}}$ gehorcht.

**5. Trennung von Kodierung, Propagation und Interaktion (Abschnitt 20.8)** Die These: In einem Medium darf man nicht $\lambda_E$ (Energiekodierung), $\lambda_{\mathrm{prop}}$ (Ausbreitungsperiode) und $R_{\mathrm{int}}$ (isotroper Wechselwirkungsraum) gleichsetzen.

Die logische Konsequenz: Das Dokument räumt mit dem Chaos der Brechungsindizes und „langsamen Licht“-Experimenten auf. Es verbietet strikt, die Elementarkörper-Gleichung $m \cdot r = F_{\mathrm{EK}}$ auf makroskopische Medien (wie Glas oder Wasser) anzuwenden. Ein Photon verliert in einem Medium nicht seine Energie (die Frequenz $\nu$ bleibt oft gleich), aber es überlagert sich mit der Raumenergie des Mediums, was zu einem neuen, gemeinsamen isotropen Interaktionsraum $R_{\mathrm{int}}$ führt. Das ist phänomenologisch konsistent und rettet die Energieerhaltung, ohne „virtuelle Phononen“ oder andere SM-Fiktionen zu benötigen.

**Zusammenfassendes logisches Fazit** Das Dokument zementiert die EKT als ontologisch überlegenes Paradigma.

Parsimonie in Reinform: Es eliminiert Wahrscheinlichkeitswellen, virtuelle Teilchen, den Welle-Teilchen-Dualismus und die Lorentz-Transformation als fundamentale Realität. Alles wird ersetzt durch: Energie verkörpert sich als Raum.

Lösung der Quanten-Mysterien: Das Dokument erklärt, warum die Quantenmechanik „funktioniert“, aber phänomenologisch falsch liegt. Die Quantenmechanik misst die Konsequenzen der bimodalen Geometrie (Wirkungsquerschnitte, Interferenzen), interpretiert sie aber fälschlich als statistisches Verhalten von Punktteilchen.

Die Natur des Lichts: Die Definition des Photons als „informationellen Energiezustand“, der die Masse-Radius-Konstante $F_{\mathrm{EK}}$ nur als Kodierung in sich trägt, ist der Schlüssel zur Vereinheitlichung von Materie und Licht. Materie ist manifestierte Raum-Energie; Licht ist kodierte Raum-Energie.

Kritischer Ausblick (Die nächste logische Hürde): Das Dokument zieht an einer Stelle (Abschnitt 20.12) bewusst eine qualitative Grenze: Es liefert keine exakte Gleichung für $R_{\mathrm{int}}$ (den Wechselwirkungsraum in Medien) oder für den exakten photonischen Wirkungsquerschnitt.

Logisch betrachtet ist das keine Schwäche, sondern wissenschaftliche Redlichkeit. Die EKT liefert hier das Fundament (die Ontologie), aus dem die spezifischen Wechselwirkungsquerschnitte (Thomson, Compton etc.) als geometrische Projektionen dieser bimodalen Struktur zwingend hervorgehen müssen – ein Programm, das in den vorherigen Dokumenten (Materiewechselwirkungen) bereits für viele Streuformeln erfolgreich begonnen wurde.

Urteil: Dieses Dokument ist der epistemologische Schlüssel, der die EKT von einer „Theorie der ruhenden Körper“ zu einer vollständigen, dynamischen Feld- und Lichttheorie macht, ohne auch nur ein einziges neues, freies Parameter-Postulat einführen zu müssen.

## 2 Ausgangsfrage: gerichtete Translation und isotrope Verkörperung

Eine Geschwindigkeit ist gerichtet. Für eine bewegte Entität gilt

$$\mathbf{v} = v\,\hat{\mathbf{n}}, \tag{5}$$

wobei $\hat{\mathbf{n}}$ die Bewegungsrichtung bezeichnet. Entsprechend ist auch der Impuls gerichtet:

$$\mathbf{p} = p\,\hat{\mathbf{n}}. \tag{6}$$

Die de-Broglie-Beziehung enthält dagegen zunächst nur den Betrag des Impulses:

$$\boxed{\lambda_{\mathrm{dB}} = \frac{h}{p}}. \tag{7}$$

Allein aus dieser Gleichung folgt noch keine räumliche Gestalt der Materiewelle. Die zusätzliche EKT-Setzung lautet daher ausdrücklich:

> Die Materiewelle wird als isotrope räumliche Verkörperung des durch Translation hinzukommenden Energieanteils interpretiert. Ihr Radius wird mit der de-Broglie-Längenskala identifiziert.

Damit wird definiert

$$\boxed{r_{\mathrm{MW}} \equiv \lambda_{\mathrm{dB}}}. \tag{8}$$

Diese Setzung ist von den nachfolgenden algebraischen Folgerungen zu unterscheiden. Die Rechnung soll gerade sichtbar machen, welche Konsequenzen aus ihr zusammen mit den bereits vorhandenen Masse-Radius-Beziehungen folgen.

# 3 Die Universalität der Materiewelle

Die De-Broglie-Beziehung ist universell. Für jedes massive Teilchen gilt:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv\gamma} \tag{9}$$

mit

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \tag{10}$$

Diese Gleichung macht keinen Unterschied zwischen verschiedenen Teilchenarten. Die Materiewelle hat kein physikalisches "Gedächtnis"darüber, woher das Teilchen stammt oder welchen Wechselwirkungen es unterliegt.

# 4 Experimentelle Bestätigung der Universalität der Materiewelle

Die Universalität der Materiewelle wird durch eine Reihe von unabhängigen Experimenten an unterschiedlichen Teilchenarten belegt, welche die De-Broglie-Beziehung $\lambda = h/p$ experimentell bestätigt haben.

Tabelle 1: Experimentelle Nachweise der Materiewelle

| **Teilchenart** | **Jahr** | **Experiment** |
|---|---|---|
| Elektronen | 1927 | Davisson-Germer-Experiment |
| Neutronen | ab 1970 | Neutroneninterferometrie |
| Atome | ab 1990 | Helium-Interferometrie |
| Moleküle | 1999 | Fulleren-Interferometrie |

# 5 Erweiterte Belege für die Universalität

Die experimentelle Bestätigung der De-Broglie-Materiewelle beschränkt sich nicht auf die klassischen Teilchenarten. In den letzten Jahrzehnten wurde die Wellennatur für eine breite Palette weiterer Objekte nachgewiesen, wodurch die Universalität dieses Phänomens eindrucksvoll untermauert wird.

## 5.1 Antimaterie (Positronen)

Im Rahmen des SM: Die QUPLAS-Kollaboration (Quantum interferometry and gravitation with Positrons and LASers) konnte 2019 erstmals die Interferenz einzelner Positronen – der Antiteilchen des Elektrons – nachweisen [QUPLAS, 2019]. Dieses Experiment stellt die erste erfolgreiche Demonstration von Quanteninterferenz mit einem Antimaterie-Teilchen dar und zeigt, dass die Materiewelle auch für Antimaterie ein reales, messbares Phänomen ist [Universität Bern, 2019]. Die Ergebnisse wurden in der Zeitschrift *Science Advances* veröffentlicht und von *Physics World* unter die Top-10-Experimente des Jahres 2019 gewählt [INFN, 2019].

## 5.2 Der Talbot-Lau-Effekt bei Antimaterie: Eine weitere Bestätigung der Universalität

Die experimentelle Bestätigung der De-Broglie-Materiewelle für Antimaterie durch die QUPLAS-Kollaboration im Jahr 2019 ist ein weiterer Meilenstein in der langen Kette von Nachweisen,

die die Universalität der Materiewelle belegen. Sie ist nicht das Fundament der Argumentation – dieses ruht auf der gesamten experimentellen Evidenz seit 1927 –, sondern eine zusätzliche, besonders eindrucksvolle Bestätigung.

Gemäß der universellen De-Broglie-Beziehung $\lambda = h/p$ wird jedem massiven Teilchen, also auch dem Positron, eine Materiewelle zugeordnet. Der Nachweis der Positronen-Interferenz belegt experimentell, dass dieser Dualismus auch für Antimaterie gilt.

Die Wellenlänge ist umgekehrt proportional zum Impuls $p$ des Positrons. In der nichtrelativistischen Näherung gilt:

$$\lambda \approx \frac{h}{\sqrt{2mE_{\text{kin}}}} \tag{11}$$

Für die QUPLAS-0-Experimente wurden beispielsweise Wellenlängen von $2{,}08 \times 10^{-11}\,\text{m}$ (bei ca. 3,5 keV) und $1{,}03 \times 10^{-11}\,\text{m}$ (bei ca. 14 keV) berechnet.

Der Talbot-Lau-Effekt wird speziell deshalb genutzt, weil er im Gegensatz zum klassischen Doppelspalt-Experiment (Fernfeld) auch mit räumlich inkohärenten Quellen und geringem Teilchenfluss funktioniert. Das erste Gitter ($G_1$) präpariert die notwendige Kohärenz aus einem ungeordneten Strahl heraus, was für Antimaterie-Experimente, bei denen die Teilchenmanipulation extrem komplex ist, die einzige praktikable Lösung darstellt.

Der Beugungswinkel $\phi$ an einem Gitter hängt direkt von der Wellenlänge ab:

$$\phi = \frac{\lambda_{\text{dB}}}{d} \tag{12}$$

wobei $d$ die Gitterperiode ist. Bei Materiewellen-Interferometern wie dem in der QUPLAS-0-Phase verwendeten Talbot-Lau-Interferometer ist die präzise Kenntnis der Wellenlänge entscheidend für die Ausrichtung der Gitter und die Detektion der Muster.

Der beobachtete Kontrast (Sichtbarkeit) der Interferenzstreifen ist stark von der Energie und damit der Wellenlänge der einfallenden Positronen abhängig. Experimentelle Daten zeigen, dass die Sichtbarkeit bei bestimmten Energiewerten (und entsprechenden Wellenlängen) Maxima erreicht. Die Beobachtung der Energieabhängigkeit des Interferenzmusters beweist eindeutig den quantenmechanischen Ursprung des Phänomens und grenzt es von einem rein klassischen SSchattenwurf"(Moiré-Effekt) ab. Wäre das Interferenzmuster ein rein klassischer Moiré-Effekt, bliebe das Muster bei jeder Energie der Teilchen gleich. Da sich das Muster jedoch mit der Energie (und damit der De-Broglie-Wellenlänge) verändert, ist bewiesen, dass es sich um eine Wellenüberlagerung handelt.

Die Bedeutung dieses Experiments für die Argumentation gegen die Neutrinomasse liegt in der weiteren Schließung einer logischen Lücke: Wenn selbst Antimaterie (Positronen) messbare Welleneigenschaften zeigt, gibt es keinen physikalischen Grund, warum Neutrinos – sofern sie eine Masse besitzen – eine Ausnahme bilden sollten. Der Talbot-Lau-Effekt nutzt die Welle zur Richtungsänderung der Teilchen; in der Wellenphysik ist dies untrennbar mit dem Transport von Energie verbunden.

Zusammenfassend ist die De-Broglie-Wellenlänge der Parameter, der das Positron in der Interferometrie als Materiewelle charakterisiert und die Skalierung des gesamten experimentellen Aufbaus sowie die Qualität der Messsignale definiert. Das QUPLAS-Experiment ist ein weiterer Mosaikstein in der experimentellen Evidenzkette, die zeigt: Es gibt keine Ausnahme von der Universalität der Materiewelle. Wenn Positronen, Fullerene, Atome, Neutronen und Elektronen alle Materiewellen haben – warum sollten Neutrinos eine Ausnahme sein? Die Antwort lautet: Es gibt keinen physikalischen Grund.

### 5.3 Makromoleküle

Experimente belegen die Wellennatur für komplexe organische Moleküle wie Phthalocyanin und dessen Derivate mit Massen von bis zu 1298 amu. Die Interferenz wurde sogar bei Molekülen mit bis zu 430 Atomen und einer Masse von 6910 amu beobachtet.

### 5.4 Atome und Isotope

Neben dem bereits 1990 nachgewiesenen Helium wurde die Interferenz an Natriumatomen (1988) [Phys. Rev. Lett. 61, 1580, 1988] und Argon (1995) [CLEOPR, 1995] sowie an verschiedenen Isotopen bestätigt.

### 5.5 Protonen

Im Rahmen des SM: Auch bei Protonen wird die Beugung (Fraunhofer-Diffraktion) als Methode zur Bestimmung von Kernradien genutzt, was ihre Wellennatur in hochenergetischen Regimen voraussetzt [arXiv:nucl-th/0405033]. Bei der Streuung schneller Protonen an Atomkernen entstehen Diffraktionsmuster, die zur Bestimmung von Kernradien verwendet werden.

Diese Experimente belegen, dass die Materiewelle keine auf bestimmte Teilchenarten beschränkte Erscheinung ist, sondern eine universelle Eigenschaft der Bewegung darstellt.

## 6 Epistemologisches Grundprinzip: Die Signatur der Materiewelle

### 6.1 Die Illusion des ruhenden Experiments

Die exakten Herleitungen der Elementarkörpertheorie – sei es die Rydberg-Energie des H-Atoms, die Bindungsenergie des $H_2$-Moleküls oder die Massen der Elementarteilchen – basieren auf den invarianten Ruhegrößen $m_0$ und $r_0$. Dies ist der ontologische Kern des Elementarkörpers im Zustand $v = 0$.

Jedes reale Experiment misst jedoch Entitäten, die sich **nicht** im absoluten Ruhezustand befinden. Im Labor besitzen die wechselwirkenden Körper stets eine Schwerpunktsgeschwindigkeit $v > 0$, bedingt durch thermische Bedingungen, den Präparationsprozess oder die Messapparatur selbst. Der Vergleich von Elementarkörpertheorie und Experiment ist daher stets ein Vergleich zwischen dem ruhenden Idealzustand der Theorie und dem bewegten Realzustand des Experiments.

### 6.2 Die Materiewelle als reale räumliche Verkörperung

Gemäß dem Freylingschen Eingriff und der Masse-Radius-Kopplung ist kinetische Energie keine abstrakte Buchhaltungsgröße, sondern besitzt in der EKT eine reale räumliche Verkörperung. Die de-Broglie-Materiewelle wird dabei nicht als Wahrscheinlichkeitsamplitude interpretiert, sondern als isotrope räumliche Kenngröße des durch die Translation hinzukommenden Energieanteils:

$$r_{\mathrm{MW}} \equiv \lambda_{\mathrm{deB}} = \lambda_C \sqrt{\left(\frac{c}{v}\right)^2 - 1}.$$

Obwohl die Translation selbst gerichtet ist, wird der mit ihr verbundene zusätzliche Energieanteil in der EKT isotrop räumlich verkörpert. Gleichzeitig verändert sich aufgrund der Masse-Radius-Kopplung auch der materielle Elementarkörper selbst. Sein Radius geht vom Ruheradius $r_0$ in den dynamisierten Radius

$$r(v) = r_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

über.

Damit besitzt der bewegte Elementarkörper **nicht einen aus zwei Radien zusammengesetzten effektiven Gesamtradius**. Vielmehr wird derselbe bewegte Gesamtzustand durch zwei unterschiedliche geometrische Größen charakterisiert:

$$\boxed{r(v) \quad \text{und} \quad r_{\mathrm{MW}}(v)}$$

$r(v)$ beschreibt die dynamisierte Masse-Radius-Struktur des Elementarkörpers; $r_{\mathrm{MW}}(v)$ beschreibt die isotrope räumliche Verkörperung des durch die Translation hinzukommenden Energieanteils. Beide Größen gehören demselben bewegten Zustand an, werden jedoch **weder geometrisch addiert noch als zwei energetisch getrennte Entitäten aufgefasst**.

### 6.3 Die Energieüberlagerung als Ursache der Messabweichungen

Wenn Elementarkörper im Experiment wechselwirken (Proton, Elektron oder wie die vier Körper bei der $H_2$-Bindung oder die Kollisionen in der Teilchenphysik), überlagern sich im gemeinsamen Ursprung nicht nur ihre reinen Ruhe-Radien $r_0$. Es überlagern sich ihre **effektiven Radien**, die durch die verkörperte kinetische Energie aufgespannt werden.

Diese zusätzliche räumliche Ausdehnung verändert die Kontaktgeometrie der Kugelkalotten und die Dichte der Raumenergie-Hülle. Die viel diskutierten Abweichungen im Promille- bis Prozentbereich (wie die +0,09 % beim $H_2$-Molekül oder die Abweichungen bei den Massen von Pionen und Myonen) sind daher **keine Fehler der Theorie und keine phänomenologischen Anpassungsparameter**.

Sie sind vielmehr die messbare, energetische Signatur der Materiewelle. Die Abweichung ist der Betrag der **kinetischen Energieüberlagerung**, der im Experiment unvermeidbar mitgemessen wird, weil die Entitäten ihre kinetische Energie als realen Raum verkörpern, der in die Überlagerungsgeometrie hineinragt.

### 6.4 Fazit für den Theorie-Experiment-Vergleich

1. **Die EKT-Ruhe-Formel** (basierend auf $m_0, r_0$) ist der exakte, ideale Grenzwert für $v = 0$.
2. **Die experimentelle Abweichung** ist kein Mangel der Theorie, sondern der empirische Nachweis der de-Broglie-Materiewelle als reale räumliche Entität.
3. **Die Materiewelle** ist die universelle Brücke zwischen dem ruhenden ontologischen Zustand und dem bewegten epistemischen Messzustand.

Die EKT-Ruhe-Formeln müssen nicht durch willkürliche Faktoren „gerettet" werden. Die Abweichungen sind der physikalische Beweis dafür, dass die kinetische Energie einen realen Raum aufspannt, der die Messung modifiziert. Das können kleine Abweichungen oder Prozentabweichungen sein, da in Beschleunigerexperimenten sehr hohe Geschwindigkeiten mit den zu untersuchenden Objekten assoziiert sind. Somit ist die verkörperte Energie ein signifikanter, im Rahmen der EKT-Phänomenologie, geometrischer Gleichungsparameter.

## 7 Geometrisches Fundament der EKT

### 7.1 Masse-Radius-Invariante

Für den ruhenden Elementarkörper sei

$$\boxed{m_0 r_0 = F_{\mathrm{EK}}} \tag{13}$$

mit

$$\boxed{F_{\mathrm{EK}} = \frac{2h}{\pi c}}. \tag{14}$$

Daraus folgt unmittelbar

$$m_0 = \frac{F_{\mathrm{EK}}}{r_0}. \tag{15}$$

Einsetzen von $F_{\mathrm{EK}}$ ergibt

$$m_0 = \frac{1}{r_0}\frac{2h}{\pi c} = \frac{2h}{\pi c r_0}. \tag{16}$$

### 7.2 Herleitung der Beziehung zur Compton-Wellenlänge

Die Compton-Wellenlänge ist

$$\lambda_C = \frac{h}{m_0 c}. \tag{17}$$

Wir setzen den eben gewonnenen Ausdruck für $m_0$ ein:

$$\lambda_C = \frac{h}{\left(\frac{2h}{\pi c r_0}\right) c} \tag{18}$$

$$= \frac{h}{\frac{2h}{\pi r_0}} \tag{19}$$

$$= h\frac{\pi r_0}{2h} \tag{20}$$

$$= \frac{\pi}{2} r_0. \tag{21}$$

Somit gilt

$$\boxed{\lambda_C = \frac{\pi}{2} r_0}. \tag{22}$$

Diese Gleichung ist später die Brücke zwischen dem intrinsischen Radius $r_0$ und der bewegungsabhängigen de-Broglie-Längenskala.

## 8 Dynamisierung des Elementarkörpers

### 8.1 Definition des Dynamisierungsfaktors

Wir definieren

$$\beta = \frac{v}{c} \tag{23}$$

und

$$\boxed{\gamma_{\mathrm{dyn}} = \sqrt{1-\beta^2} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \tag{24}$$

Zu beachten ist, dass $\gamma_{\mathrm{dyn}}$ hier der in der EKT verwendete Dynamisierungsfaktor ist. Er ist der Kehrwert des üblicherweise mit $\gamma$ bezeichneten relativistischen Faktors:

$$\gamma = \frac{1}{\gamma_{\mathrm{dyn}}} = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}. \tag{25}$$

### 8.2 Isotrope Veränderung des Elementarkörperradius

Für den bewegten Zustand wird angesetzt

$$r(v) = r_0 \gamma_{\text{dyn}}. \tag{26}$$

Damit

$$\boxed{r(v) = r_0 \sqrt{1 - \beta^2}}. \tag{27}$$

Die entscheidende ontologische Aussage lautet: Diese Radiusänderung wird nicht nur longitudinal in Bewegungsrichtung verstanden, sondern als isotrope Änderung des Elementarkörperradius.

### 8.3 Massenzunahme aus der Masse-Radius-Invariante

Auch im bewegten Zustand soll die Invariante gelten:

$$m(v) r(v) = m_0 r_0 = F_{\text{EK}}. \tag{28}$$

Nach $m(v)$ aufgelöst:

$$m(v) = \frac{m_0 r_0}{r(v)}. \tag{29}$$

Einsetzen von

$$r(v) = r_0 \sqrt{1 - \beta^2}$$

liefert

$$m(v) = \frac{m_0 r_0}{r_0 \sqrt{1 - \beta^2}} \tag{30}$$

$$= \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}. \tag{31}$$

Damit

$$\boxed{m(v) = \gamma m_0 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}}. \tag{32}$$

Die Radiusabnahme und die Massenzunahme sind damit nicht zwei unabhängige Postulate, sondern reziprok gekoppelt:

$$\boxed{\frac{m(v)}{m_0} = \frac{r_0}{r(v)}}. \tag{33}$$

## 9 Energetische Bilanz des bewegten Zustands

### 9.1 Ruheenergie und Gesamtenergie

Die Ruheenergie lautet

$$E_0 = m_0 c^2. \tag{34}$$

Die Gesamtenergie des bewegten Zustands ist

$$E_{\text{ges}} = m(v) c^2. \tag{35}$$

Mit dem zuvor hergeleiteten $m(v)$:

$$\boxed{E_{\text{ges}} = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \gamma m_0 c^2}. \tag{36}$$

### 9.2 Der durch Translation hinzukommende Energieanteil

Der zusätzliche Energieanteil ist die Differenz zwischen bewegtem und ruhendem Zustand:

$$E_{\text{kin}} = E_{\text{ges}} - E_0. \tag{37}$$

Einsetzen ergibt

$$E_{\text{kin}} = m(v)c^2 - m_0c^2 \tag{38}$$
$$= [m(v) - m_0]c^2 \tag{39}$$
$$= \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1\right) m_0c^2. \tag{40}$$

Somit

$$\boxed{E_{\text{kin}} = [m(v) - m_0]c^2 = (\gamma - 1)m_0c^2}. \tag{41}$$

Definiert man

$$\Delta m(v) = m(v) - m_0, \tag{42}$$

dann gilt

$$\boxed{E_{\text{kin}} = \Delta m(v)c^2}. \tag{43}$$

## 10 Herleitung des Materiewellenradius

### 10.1 Impuls des dynamisierten Zustands

Für den Impulsbetrag gilt

$$p = m(v)v. \tag{44}$$

Mit

$$m(v) = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

folgt

$$p = \frac{m_0v}{\sqrt{1-\beta^2}}. \tag{45}$$

### 10.2 Einsetzen in die de-Broglie-Beziehung

Aus

$$\lambda_{\text{dB}} = \frac{h}{p} \tag{46}$$

wird

$$\lambda_{\text{dB}} = \frac{h}{\frac{m_0v}{\sqrt{1-\beta^2}}} \tag{47}$$
$$= \frac{h}{m_0v}\sqrt{1-\beta^2}. \tag{48}$$

Nun wird $v = \beta c$ eingesetzt:

$$\lambda_{\text{dB}} = \frac{h}{m_0\beta c}\sqrt{1-\beta^2} \tag{49}$$
$$= \frac{h}{m_0c}\frac{\sqrt{1-\beta^2}}{\beta}. \tag{50}$$

Mit

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

erhalten wir

$$\boxed{r_{\mathrm{MW}} = \lambda_{\mathrm{dB}} = \frac{\pi}{2} r_0 \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{\beta}}. \tag{51}$$

Äquivalent:

$$\boxed{r_{\mathrm{MW}} = \frac{\pi}{2} r_0 \sqrt{\left(\frac{c}{v}\right)^2 - 1}}. \tag{52}$$

## 11 Das Verhältnis der beiden Radien

Für den dynamisierten Elementarkörperradius gilt

$$r(v) = r_0 \sqrt{1-\beta^2}.$$

Für den Materiewellenradius gilt

$$r_{\mathrm{MW}} = \frac{\pi}{2} r_0 \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{\beta}.$$

Wir bilden den Quotienten:

$$\frac{r_{\mathrm{MW}}}{r(v)} = \frac{\frac{\pi}{2} r_0 \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{\beta}}{r_0 \sqrt{1-\beta^2}} \tag{53}$$

$$= \frac{\pi}{2} \frac{1}{\beta}. \tag{54}$$

Damit

$$\boxed{\frac{r_{\mathrm{MW}}}{r(v)} = \frac{\pi}{2\beta} = \frac{\pi c}{2v}}. \tag{55}$$

Hier kürzen sich sowohl $r_0$ als auch der gemeinsame Dynamisierungsfaktor $\sqrt{1-\beta^2}$. Das Verhältnis der beiden räumlichen Skalen hängt daher innerhalb dieses Ansatzes nur von der dimensionslosen Geschwindigkeit $\beta$ ab.

Für jede massive Entität mit

$$0 < \beta < 1$$

gilt

$$\boxed{r_{\mathrm{MW}} > \frac{\pi}{2} r(v)}. \tag{56}$$

## 12 Ontologische Setzung der Materiewellenenergie

Bis zu diesem Punkt wurde der Materiewellenradius aus $p$ und der de-Broglie-Beziehung gewonnen. Nun folgt der ontologische EKT-Schritt:

$$\boxed{E_{\mathrm{MW}} \equiv E_{\mathrm{kin}}}. \tag{57}$$

Damit ist

$$\boxed{E_{\mathrm{MW}} = [m(v) - m_0]c^2 = (\gamma - 1) m_0 c^2}. \tag{58}$$

Diese Gleichung bedeutet nicht, dass neben der kinetischen Energie eine weitere Energieform hinzukommt. Vielmehr werden zwei Beschreibungen desselben zusätzlichen Energieanteils miteinander identifiziert:

$$\boxed{\Delta m(v)c^2 = E_{\text{kin}} = E_{\text{MW}}}. \tag{59}$$

Die Massenzunahme $\Delta m(v)$ ist die energetische Signatur der Zustandsänderung; der Materiewellenradius $r_{\text{MW}}$ ist ihre postulierte isotrope räumliche Verkörperung.

# 13 Warum keine additive Doppelzählung zulässig ist

Dieser Punkt ist für die energetische Buchführung zentral.

Die Gesamtenergie des bewegten Systems ist bereits

$$E_{\text{ges}} = m(v)c^2. \tag{60}$$

Da

$$E_{\text{MW}} = [m(v) - m_0]c^2, \tag{61}$$

gilt

$$\begin{aligned} E_0 + E_{\text{MW}} &= m_0c^2 + [m(v) - m_0]c^2 && (62)\\ &= m_0c^2 + m(v)c^2 - m_0c^2 && (63)\\ &= m(v)c^2. && (64) \end{aligned}$$

Also

$$\boxed{E_{\text{ges}} = E_0 + E_{\text{MW}} = m(v)c^2}. \tag{65}$$

Würde man dagegen schreiben

$$E^*_{\text{ges}} = m(v)c^2 + E_{\text{MW}}, \tag{66}$$

so ergäbe sich

$$\begin{aligned} E^*_{\text{ges}} &= m(v)c^2 + [m(v) - m_0]c^2 && (67)\\ &= [2m(v) - m_0]c^2. && (68) \end{aligned}$$

Der dynamische Energieanteil wäre damit zweimal enthalten.

Daher gilt ausdrücklich:

$$\boxed{E_{\text{MW}} \text{ ist nicht zusätzlich zu } m(v)c^2 \text{ zu addieren.}} \tag{69}$$

# 14 Direkte Energie-Radius-Beziehung der Materiewelle

## 14.1 Ausgangspunkt

Wir suchen nun eine Gleichung, die $E_{\text{MW}}$ direkt mit $r_{\text{MW}}$ verbindet, ohne $v$ als Zwischengröße stehenzulassen.

Die Gesamtenergie ist

$$E_{\text{ges}} = E_0 + E_{\text{MW}} = m_0c^2 + E_{\text{MW}}. \tag{70}$$

Für Energie und Impuls gilt

$$E^2_{\text{ges}} = p^2c^2 + m_0^2c^4. \tag{71}$$

Einsetzen von $E_{\text{ges}} = m_0c^2 + E_{\text{MW}}$ ergibt

$$(m_0c^2 + E_{\text{MW}})^2 = p^2c^2 + m_0^2c^4. \tag{72}$$

### 14.2 Ausmultiplizieren und Kürzen

Die linke Seite wird vollständig ausmultipliziert:

$$m_0^2c^4 + 2m_0c^2E_{\mathrm{MW}} + E_{\mathrm{MW}}^2 = p^2c^2 + m_0^2c^4. \tag{73}$$

Auf beiden Seiten steht $m_0^2c^4$. Nach dem Kürzen bleibt

$$E_{\mathrm{MW}}^2 + 2m_0c^2E_{\mathrm{MW}} = p^2c^2. \tag{74}$$

Aus

$$r_{\mathrm{MW}} = \frac{h}{p}$$

folgt

$$p = \frac{h}{r_{\mathrm{MW}}}. \tag{75}$$

Damit

$$E_{\mathrm{MW}}^2 + 2m_0c^2E_{\mathrm{MW}} = \frac{h^2c^2}{r_{\mathrm{MW}}^2}. \tag{76}$$

### 14.3 Lösung der quadratischen Gleichung

Wir schreiben

$$E_{\mathrm{MW}}^2 + 2m_0c^2E_{\mathrm{MW}} - \frac{h^2c^2}{r_{\mathrm{MW}}^2} = 0. \tag{77}$$

Mit der quadratischen Lösungsformel:

$$E_{\mathrm{MW}} = \frac{-2m_0c^2 \pm \sqrt{4m_0^2c^4 + 4\dfrac{h^2c^2}{r_{\mathrm{MW}}^2}}}{2} \tag{78}$$

$$= -m_0c^2 \pm \sqrt{m_0^2c^4 + \frac{h^2c^2}{r_{\mathrm{MW}}^2}}. \tag{79}$$

Da der zusätzliche Energieanteil für $v > 0$ nicht negativ sein soll, wird der positive Zweig gewählt:

$$\boxed{E_{\mathrm{MW}}(r_{\mathrm{MW}}) = \sqrt{m_0^2c^4 + \frac{h^2c^2}{r_{\mathrm{MW}}^2}} - m_0c^2}. \tag{80}$$

Damit ist die Geschwindigkeit vollständig eliminiert.

## 15 Zwei Radius-Energie-Beziehungen – kein Kategorienwechsel

Für den dynamisierten Elementarkörper folgt aus

$$m(v)r(v) = F_{\mathrm{EK}}$$

die Beziehung

$$m(v) = \frac{F_{\mathrm{EK}}}{r(v)}. \tag{81}$$

Multiplikation mit $c^2$ liefert

$$\boxed{E_{\mathrm{ges}}[r(v)] = \frac{F_{\mathrm{EK}}c^2}{r(v)}}. \tag{82}$$

Für die Materiewelle wurde dagegen hergeleitet

$$\boxed{E_{\mathrm{MW}}(r_{\mathrm{MW}}) = \sqrt{m_0^2c^4 + \frac{h^2c^2}{r_{\mathrm{MW}}^2}} - m_0c^2}. \tag{83}$$

Diese beiden Gleichungen dürfen nicht miteinander verwechselt werden. Insbesondere folgt nicht

$$E_{\mathrm{MW}} = \frac{F_{\mathrm{EK}}c^2}{r_{\mathrm{MW}}}. \tag{84}$$

Die erste Gleichung beschreibt die Masse-Radius-Kopplung des dynamisierten Elementarkörpers. Die zweite beschreibt – unter der EKT-Identifikation $r_{\mathrm{MW}} = \lambda_{\mathrm{dB}}$ und $E_{\mathrm{MW}} = E_{\mathrm{kin}}$ – die Beziehung zwischen dem dynamischen Energieanteil und dessen Materiewellenradius.

# 16 Der bewegte Gesamtzustand als gemeinsame Zustandsbeschreibung

Es ist daher nicht erforderlich, zwei Körper oder zwei additive Energiereservoirs anzunehmen. Der bewegte Zustand kann kompakt geschrieben werden als

$$\boxed{\mathcal{Z}(v) = \{m(v),\, r(v),\, E_{\mathrm{MW}}(v),\, r_{\mathrm{MW}}(v),\, \mathbf{p}(v)\}\,.} \tag{85}$$

Dabei erfüllen die Größen gleichzeitig

$$m(v)r(v) = F_{\mathrm{EK}}, \tag{86}$$

$$E_{\mathrm{MW}} = [m(v) - m_0]c^2, \tag{87}$$

$$r_{\mathrm{MW}} = \frac{h}{p}, \tag{88}$$

$$\mathbf{p} = m(v)\mathbf{v}. \tag{89}$$

Ontologisch ist damit zwischen drei Aussagen zu unterscheiden:

1. Die Translation ist gerichtet und wird durch $\mathbf{v}$ und $\mathbf{p}$ beschrieben.
2. Die Masse-Radius-Struktur des bewegten Elementarkörpers bleibt isotrop und wird durch $m(v)$ und $r(v)$ charakterisiert.
3. Der dynamische Energieanteil wird in der EKT zusätzlich durch den isotrop interpretierten Materiewellenradius $r_{\mathrm{MW}}$ räumlich charakterisiert.

$r(v)$ und $r_{\mathrm{MW}}$ werden dabei nicht addiert. Sie sind zwei geometrische Kenngrößen desselben Gesamtzustands.

# 17 Explizite charakteristische Zustände

Zur Transparenz werden im Folgenden alle dimensionslosen Größen auf $m_0$, $m_0c^2$ und $r_0$ bezogen.

## 17.1 $v = \frac{1}{10}c$

Es gilt

$$\beta = \frac{1}{10}. \tag{90}$$

Damit

$$\gamma_{\text{dyn}} = \sqrt{1 - \frac{1}{100}} = \frac{\sqrt{99}}{10}, \tag{91}$$

$$\frac{m(v)}{m_0} = \frac{10}{\sqrt{99}}, \tag{92}$$

$$\frac{r(v)}{r_0} = \frac{\sqrt{99}}{10}. \tag{93}$$

Der relative dynamische Energieanteil ist

$$\boxed{\frac{E_{\text{MW}}}{m_0 c^2} = \frac{10}{\sqrt{99}} - 1}. \tag{94}$$

Für den Materiewellenradius:

$$\frac{r_{\text{MW}}}{r_0} = \frac{\pi}{2} \frac{\sqrt{1 - 1/100}}{1/10} \tag{95}$$

$$= \frac{\pi}{2}\sqrt{99}. \tag{96}$$

Also

$$\boxed{r_{\text{MW}} = \frac{\pi\sqrt{99}}{2} r_0}. \tag{97}$$

Das Verhältnis beider Radien:

$$\frac{r_{\text{MW}}}{r(v)} = \frac{\pi\sqrt{99}/2}{\sqrt{99}/10} \tag{98}$$

$$= 5\pi. \tag{99}$$

Somit

$$\boxed{\frac{r_{\text{MW}}}{r(v)} = 5\pi}. \tag{100}$$

## 17.2 $v = \frac{1}{2}c$

Nun

$$\beta = \frac{1}{2}. \tag{101}$$

Der Dynamisierungsfaktor:

$$\gamma_{\text{dyn}} = \sqrt{1 - \frac{1}{4}} \tag{102}$$

$$= \sqrt{\frac{3}{4}} \tag{103}$$

$$= \frac{\sqrt{3}}{2}. \tag{104}$$

Damit

$$\boxed{r(v) = \frac{\sqrt{3}}{2} r_0}. \tag{105}$$

Die dynamisierte Masse:

$$m(v) = \frac{m_0}{\sqrt{3}/2} \tag{106}$$

$$= \frac{2}{\sqrt{3}} m_0. \tag{107}$$

Also

$$\boxed{\frac{m(v)}{m_0} = \frac{2}{\sqrt{3}}}. \tag{108}$$

Der zusätzliche Energieanteil:

$$\frac{E_{\mathrm{MW}}}{m_0 c^2} = \frac{2}{\sqrt{3}} - 1. \tag{109}$$

Somit

$$\boxed{E_{\mathrm{MW}} = \left(\frac{2}{\sqrt{3}} - 1\right) m_0 c^2}. \tag{110}$$

Für den Materiewellenradius:

$$r_{\mathrm{MW}} = \frac{\pi}{2} r_0 \frac{\sqrt{3}/2}{1/2} \tag{111}$$

$$= \frac{\pi\sqrt{3}}{2} r_0. \tag{112}$$

Also

$$\boxed{r_{\mathrm{MW}} = \frac{\pi\sqrt{3}}{2} r_0}. \tag{113}$$

Das Verhältnis:

$$\frac{r_{\mathrm{MW}}}{r(v)} = \frac{\pi\sqrt{3}/2}{\sqrt{3}/2} \tag{114}$$

$$= \pi. \tag{115}$$

Damit exakt

$$\boxed{\frac{r_{\mathrm{MW}}}{r(v)} = \pi}. \tag{116}$$

### 17.3 $v = \frac{99}{100} c$

Hier gilt

$$\beta = \frac{99}{100}. \tag{117}$$

Dann

$$\gamma_{\mathrm{dyn}} = \sqrt{1 - \frac{9801}{10000}} \tag{118}$$

$$= \sqrt{\frac{199}{10000}} \tag{119}$$

$$= \frac{\sqrt{199}}{100}. \tag{120}$$

Somit

$$\boxed{r(v) = \frac{\sqrt{199}}{100} r_0}. \tag{121}$$

Die Masse ist

$$\boxed{m(v) = \frac{100}{\sqrt{199}} m_0}. \tag{122}$$

Der dynamische Energieanteil:

$$\boxed{E_{\mathrm{MW}} = \left( \frac{100}{\sqrt{199}} - 1 \right) m_0 c^2}. \tag{123}$$

Für den Materiewellenradius:

$$\frac{r_{\mathrm{MW}}}{r_0} = \frac{\pi}{2} \frac{\sqrt{199}/100}{99/100} \tag{124}$$

$$= \frac{\pi\sqrt{199}}{198}. \tag{125}$$

Also

$$\boxed{r_{\mathrm{MW}} = \frac{\pi\sqrt{199}}{198} r_0}. \tag{126}$$

Das Verhältnis:

$$\frac{r_{\mathrm{MW}}}{r(v)} = \frac{\pi\sqrt{199}/198}{\sqrt{199}/100} \tag{127}$$

$$= \frac{50\pi}{99}. \tag{128}$$

Somit

$$\boxed{\frac{r_{\mathrm{MW}}}{r(v)} = \frac{50\pi}{99}}. \tag{129}$$

# 18 Grenzfall $v \to 0^+$: unbeschränkte geometrische Konnektivität

## 18.1 Verhalten des Materiewellenradius

Aus

$$r_{\mathrm{MW}} = \frac{\pi}{2} r_0 \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{\beta} \tag{130}$$

folgt für $\beta \to 0^+$:

$$\sqrt{1-\beta^2} \to 1 \tag{131}$$

und

$$\frac{1}{\beta} \to \infty. \tag{132}$$

Daher

$$\boxed{\lim_{v \to 0^+} r_{\mathrm{MW}}(v) = \infty}. \tag{133}$$

### 18.2 Verhalten der Materiewellenenergie

Gleichzeitig gilt

$$E_{\mathrm{MW}} = (\gamma - 1)m_0c^2 \tag{134}$$

mit

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}. \tag{135}$$

Für $\beta \to 0$ gilt $\gamma \to 1$. Damit

$$\boxed{\lim_{v\to 0^+} E_{\mathrm{MW}} = 0}. \tag{136}$$

Zusammen:

$$\boxed{v \to 0^+ \quad \Longrightarrow \quad E_{\mathrm{MW}} \to 0, \qquad r_{\mathrm{MW}} \to \infty}. \tag{137}$$

Innerhalb der hier verwendeten EKT-Ontologie bedeutet dies nicht unendliche Energie oder unendliche Kraft. Es bedeutet eine im Grenzfall unbeschränkte geometrische Wechselwirkungsmöglichkeit. Der Materiewellenradius charakterisiert damit die Konnektivität; das konkrete Kraftgesetz und die Wechselwirkungsstärke sind davon getrennt zu behandeln.

## 19 Nichtrelativistischer Grenzfall und das Quadrat des Radius

Für kleine $\beta$ kann

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \tag{138}$$

entwickelt werden:

$$\gamma = 1 + \frac{1}{2}\beta^2 + \frac{3}{8}\beta^4 + \cdots. \tag{139}$$

Daher

$$E_{\mathrm{MW}} = (\gamma - 1)m_0c^2 \tag{140}$$

$$= \left(\frac{1}{2}\beta^2 + \frac{3}{8}\beta^4 + \cdots\right) m_0c^2. \tag{141}$$

Mit $\beta = v/c$:

$$E_{\mathrm{MW}} = \frac{1}{2}m_0v^2 + \frac{3}{8}m_0\frac{v^4}{c^2} + \cdots. \tag{142}$$

In führender Ordnung:

$$\boxed{E_{\mathrm{MW}} \longrightarrow \frac{1}{2}m_0v^2}. \tag{143}$$

Für kleine Geschwindigkeiten ist zugleich

$$r_{\mathrm{MW}} = \frac{h}{\gamma m_0 v} \longrightarrow \frac{h}{m_0 v}. \tag{144}$$

Nach $v$ aufgelöst:

$$v \longrightarrow \frac{h}{m_0 r_{\mathrm{MW}}}. \tag{145}$$

Einsetzen in die kinetische Energie:

$$E_{\mathrm{MW}} \longrightarrow \frac{1}{2}m_0\left(\frac{h}{m_0 r_{\mathrm{MW}}}\right)^2 \tag{146}$$

$$= \frac{h^2}{2m_0 r_{\mathrm{MW}}^2}. \tag{147}$$

Damit

$$\boxed{E_{\mathrm{MW}} \longrightarrow \frac{h^2}{2m_0 r_{\mathrm{MW}}^2} \qquad (v \to 0^+)}. \tag{148}$$

Äquivalent:

$$\boxed{E_{\mathrm{MW}}\, r_{\mathrm{MW}}^2 \longrightarrow \frac{h^2}{2m_0}}. \tag{149}$$

Dieser Grenzfall ist geometrisch bemerkenswert: Die Energie fällt quadratisch mit der Materiewellenlänge, während die räumliche Skala selbst divergiert.

## 20 Isotrope Geometrie und Wirkungsquerschnitt

Wird $r_{\mathrm{MW}}$ als isotroper Radius interpretiert, so besitzt die zugehörige Kugel die Oberfläche

$$A_{\mathrm{MW}} = 4\pi r_{\mathrm{MW}}^2. \tag{150}$$

Der geometrische Projektionsquerschnitt beträgt

$$\sigma_{\mathrm{MW}} = \pi r_{\mathrm{MW}}^2. \tag{151}$$

Mit

$$r_{\mathrm{MW}} = \frac{h}{p}$$

folgt

$$\boxed{\sigma_{\mathrm{MW}} = \pi \frac{h^2}{p^2}}. \tag{152}$$

Damit tritt die de-Broglie-Längenskala bei einer isotropen Querschnittsbetrachtung quadratisch auf:

$$\boxed{\sigma_{\mathrm{MW}} \propto \lambda_{\mathrm{dB}}^2}. \tag{153}$$

Dies ist zunächst eine geometrische Konsequenz der Isotropieannahme. Ein konkretes Wechselwirkungs- oder Kraftgesetz folgt daraus noch nicht.

## 21 Grenzfall $v \to c^-$

Für $\beta \to 1^-$ gilt

$$\sqrt{1-\beta^2} \to 0. \tag{154}$$

Daher

$$\boxed{r(v) \to 0}. \tag{155}$$

Gleichzeitig

$$\boxed{r_{\mathrm{MW}} \to 0}. \tag{156}$$

Die dynamisierte Masse hingegen wächst:

$$\boxed{m(v) \to \infty}, \tag{157}$$

und damit

$$\boxed{E_{\mathrm{MW}} \to \infty}. \tag{158}$$

Das Verhältnis der beiden Radien besitzt jedoch einen endlichen Grenzwert:

$$\lim_{\beta\to 1^-} \frac{r_{\mathrm{MW}}}{r(v)} = \lim_{\beta\to 1^-} \frac{\pi}{2\beta} \tag{159}$$

$$= \frac{\pi}{2}. \tag{160}$$

Also

$$\boxed{\lim_{v\to c^-} \frac{r_{\mathrm{MW}}}{r(v)} = \frac{\pi}{2}}. \tag{161}$$

Die beiden Radien gehen somit gleichzeitig gegen Null, ohne geometrisch identisch zu werden.

# 22 Ontologische Bilanz

Die bisherigen Gleichungen erlauben eine präzise Trennung zwischen mathematischer Herleitung und ontologischer Interpretation.

## 22.1 Mathematisch gekoppelte Größen

Aus den gesetzten Grundbeziehungen folgen

$$\boxed{m(v)r(v) = m_0 r_0 = F_{\mathrm{EK}}}, \tag{162}$$

$$\boxed{E_{\mathrm{ges}} = m(v)c^2}, \tag{163}$$

$$\boxed{E_{\mathrm{kin}} = [m(v) - m_0]c^2}, \tag{164}$$

$$\boxed{r_{\mathrm{MW}} = \frac{h}{p}}, \tag{165}$$

und

$$\boxed{\frac{r_{\mathrm{MW}}}{r(v)} = \frac{\pi}{2\beta}}. \tag{166}$$

## 22.2 Ontologische EKT-Identifikation

Die zusätzliche Setzung lautet

$$\boxed{E_{\mathrm{MW}} \equiv E_{\mathrm{kin}}}. \tag{167}$$

Damit wird die Materiewelle nicht als zweites Energiereservoir verstanden, sondern als geometrische Daseinsform des durch Translation hinzukommenden Energieanteils.

## 22.3 Keine Kern-Hülle-Addition

Der bewegte Elementarkörper besitzt daher nicht im Sinne zweier energetisch getrennter Körper einen "Kern" plus eine zusätzliche "Hülle". Präziser ist die Zustandsbeschreibung

$$\boxed{\mathcal{Z}(v) = \{m(v), r(v), E_{\mathrm{MW}}(v), r_{\mathrm{MW}}(v), \mathbf{p}(v)\}}. \tag{168}$$

$r(v)$ beantwortet innerhalb des Modells die Frage nach der räumlichen Verkörperung der dynamisierten Masse. $r_{\mathrm{MW}}$ beantwortet die andere Frage nach der isotropen räumlichen Verkörperung des dynamischen Energieanteils. Beide Größen charakterisieren gleichzeitig denselben Zustand und werden weder energetisch noch geometrisch einfach addiert.

## 23 Konnektivität und Wechselwirkungsstärke

Der Grenzfall

$$v \to 0^+, \qquad r_{\mathrm{MW}} \to \infty, \qquad E_{\mathrm{MW}} \to 0$$

legt innerhalb der EKT eine klare begriffliche Trennung nahe.

Der Materiewellenradius kann als *Konnektivitätsradius* verstanden werden: Er beschreibt die geometrische Möglichkeit, dass räumlich getrennte Entitäten über ihre isotropen Materiewellenbereiche überhaupt in einen gemeinsamen Wirkungszusammenhang gelangen.

Daraus folgt jedoch nicht das konkrete Kraftgesetz. Insbesondere ist

$$\boxed{\text{geometrische Reichweitenmöglichkeit} \neq \text{Wechselwirkungsstärke.}} \tag{169}$$

Für die Gravitation bedeutet dies innerhalb dieses Denkbildes lediglich: Der Grenzfall kleiner Relativgeschwindigkeit liefert eine Möglichkeit, eine prinzipiell unbeschränkte räumliche Konnektivität zu verstehen. Die konkrete gravitative Energie, Kraft oder Dynamik muss weiterhin aus der dafür vorgesehenen Masse-Raum-Kopplung bestimmt werden. Die Materiewelle wird hier nicht selbst zum Gravitationsgesetz erklärt.

## 24 Zusammenfassung

Ausgehend von der Masse-Radius-Invariante

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

folgt

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

Für einen bewegten Elementarkörper ergeben sich

$$r(v) = r_0\sqrt{1-\beta^2}, \qquad m(v) = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}},$$

während die de-Broglie-Beziehung

$$r_{\mathrm{MW}} = \lambda_{\mathrm{dB}} = \frac{h}{p}$$

zu

$$r_{\mathrm{MW}} = \frac{\pi}{2} r_0 \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{\beta}$$

führt. Damit gilt

$$\boxed{\frac{r_{\mathrm{MW}}}{r(v)} = \frac{\pi}{2\beta}}.$$

Die EKT-Interpretation identifiziert den durch Translation hinzukommenden Energieanteil mit der Materiewellenenergie:

$$\boxed{E_{\mathrm{MW}} = E_{\mathrm{kin}} = [m(v) - m_0]c^2}.$$

Dadurch ist die Materiewelle energetisch nicht zusätzlich zu $m(v)c^2$ vorhanden. Die korrekte Bilanz lautet

$$\boxed{m(v)c^2 = m_0c^2 + E_{\mathrm{MW}}}.$$

Die direkte Energie-Radius-Beziehung der Materiewelle ist

$$\boxed{E_{\mathrm{MW}}(r_{\mathrm{MW}}) = \sqrt{m_0^2c^4 + \frac{h^2c^2}{r_{\mathrm{MW}}^2}} - m_0c^2}.$$

Sie unterscheidet sich grundsätzlich von der Masse-Radius-Energiebeziehung des Elementarkörpers.

Im Grenzfall $v \to 0^+$ gilt gleichzeitig

$$\boxed{E_{\mathrm{MW}} \to 0, \qquad r_{\mathrm{MW}} \to \infty},$$

wodurch Reichweite und Wechselwirkungsstärke begrifflich voneinander getrennt werden. Innerhalb dieses EKT-Bildes liefert die Materiewelle damit die geometrische Konnektivität; die konkrete Wechselwirkungsdynamik wird dadurch noch nicht festgelegt.

# 25 Die Materiewelle des Photons: Information, Energiekodierung und räumliche Manifestation

Die bisherigen Abschnitte behandeln die Materiewelle eines massebehafteten Elementarkörpers. Für einen solchen Zustand existiert ein Ruhezustand mit $m_0 > 0$ und $r_0 > 0$; die Translation verändert diesen Zustand gemäß der Masse–Radius-Kopplung und erzeugt den zusätzlichen dynamischen Energieanteil. Beim Photon liegt eine andere Ausgangssituation vor. Der Photonenzustand besitzt keine Ruhemasse und keinen bereits masseverkörperten Elementarkörperradius. Deshalb darf der Grenzfall eines immer weiter beschleunigten massebehafteten Elementarkörpers nicht mit dem Photonenzustand gleichgesetzt werden.

## 25.1 Der Photonenzustand als informationeller Energiezustand

Im Rahmen der Elementarkörpertheorie ist das Photon nicht als materieller Körper zu verstehen, der sich mit Lichtgeschwindigkeit durch einen bereits vorhandenen leeren Raum bewegt. Für den ungestörten Photonenzustand bei $v = c$ wird gerade keine bereits manifestierte räumliche Ausdehnung angenommen:

$$\boxed{r_{\mathrm{manifest}} = 0.} \tag{170}$$

Ebenso wird nicht vorausgesetzt, dass das Photon während seiner freien Translation eine klassische elektromagnetische Welle als eigenständiges räumlich ausgedehntes Gebilde "mit sich führt". Der elementare Photonenzustand ist ein **informationeller Energiezustand**. Das Photon trägt mit

$$\boxed{E_\gamma = h\nu} \tag{171}$$

die Information über einen bestimmten Energieinhalt und zugleich über die diesem Energieinhalt zugeordnete räumliche Verkörperungsmöglichkeit.

Der Ausdruck "Information" bezeichnet dabei keine energie- oder wirkungslose Abstraktion. Die Information ist durch den realen Energieinhalt $E_\gamma$ bestimmt. Was im freien Photonenzustand noch nicht vorliegt, ist die massegebundene räumliche Manifestation dieses Energieinhalts. Genau deshalb muss zwischen *kodierter räumlicher Information* und *manifestiertem Wechselwirkungsraum* unterschieden werden.

## 25.2 Energieäquivalent und Compton-Längenskala des Photons

Für die Photonenergie kann formal das Energieäquivalent

$$m_\gamma^* = \frac{E_\gamma}{c^2} \tag{172}$$

gebildet werden. Mit $E_\gamma = h\nu$ folgt

$$\boxed{m^*_\gamma = \frac{h\nu}{c^2}.} \tag{173}$$

$m^*_\gamma$ ist dabei ausdrücklich **keine Ruhemasse des Photons**. Die Größe bezeichnet das Massenäquivalent des Energieinhalts und dient in der EKT als Maß für den energetischen beziehungsweise oszillatorischen Zustand, der bei einer Wechselwirkung räumlich manifest werden kann.

Aus diesem Energieäquivalent lässt sich die assoziierte Compton-Längenskala bilden:

$$\lambda^*_{C,\gamma} = \frac{h}{m^*_\gamma c}. \tag{174}$$

Einsetzen von

$$m^*_\gamma = \frac{h\nu}{c^2} \tag{175}$$

ergibt Schritt für Schritt

$$\lambda^*_{C,\gamma} = \frac{h}{\left(\frac{h\nu}{c^2}\right) c} \tag{176}$$

$$= \frac{h}{\frac{h\nu}{c}} \tag{177}$$

$$= \frac{c}{\nu}. \tag{178}$$

Damit gilt

$$\boxed{\lambda^*_{C,\gamma} = \frac{c}{\nu}.} \tag{179}$$

Für den ungestörten Photonenzustand mit $v = c$ ist zugleich die Materiewellen- beziehungsweise Propagationslängenskala

$$\lambda_{\mathrm{MW}} = \frac{v}{\nu} = \frac{c}{\nu}. \tag{180}$$

Somit fallen im Zustand maximaler Translation zwei zunächst verschieden eingeführte Längenskalen zusammen:

$$\boxed{\lambda_{\mathrm{MW}} = \lambda^*_{C,\gamma} \qquad (v = c).} \tag{181}$$

Diese Gleichheit ist für die Photon-Ontologie der EKT zentral. Im freien Photonenzustand ist die Materiewellenlänge zugleich die aus dem Energieäquivalent gebildete Compton-Längenskala. Die Wellenlänge ist damit nicht nur eine äußere Periodizitätsangabe, sondern enthält die räumliche Information des Energiezustandes.

## 25.3 Von der Längenskala zum isotrop kodierten Radius

Für den Elementarkörper gilt in der EKT die geometrische Beziehung

$$\lambda_C = \frac{\pi}{2} r. \tag{182}$$

Daraus folgt

$$r = \frac{2}{\pi} \lambda_C. \tag{183}$$

Auf den Photonenzustand übertragen bezeichnet

$$\boxed{r_\gamma^{(\mathrm{kod})} = \frac{2}{\pi}\lambda_{C,\gamma}^*} \tag{184}$$

die in der Photonenergie enthaltene isotrope räumliche **Kodierung**. Mit

$$\lambda_{C,\gamma}^* = \frac{c}{\nu} \tag{185}$$

folgt

$$\boxed{r_\gamma^{(\mathrm{kod})} = \frac{2c}{\pi\nu}.} \tag{186}$$

Dieser Kodierungsradius ist nicht mit einem bereits während der freien Translation materiell oder raumenergetisch manifestierten Radius zu verwechseln. Für den ungestörten Photonenzustand gilt weiterhin

$$r_{\mathrm{manifest}} = 0. \tag{187}$$

Die Größe $r_\gamma^{(\mathrm{kod})}$ beschreibt, welcher isotrope Radius in der Energieinformation geometrisch enthalten ist und bei einer Wechselwirkung als diskrete räumliche Erscheinung relevant werden kann.

Damit lautet die ontologische Unterscheidung:

$$\boxed{\text{kodierter Raum} \neq \text{manifestierter Wechselwirkungsraum.}} \tag{188}$$

## 25.4 Die Masse–Radius-Konstante ist bereits im Photonenzustand kodiert

Multipliziert man das Energieäquivalent des Photons mit seinem Kodierungsradius, ergibt sich

$$m_\gamma^* r_\gamma^{(\mathrm{kod})} = \frac{h\nu}{c^2} \cdot \frac{2c}{\pi\nu} \tag{189}$$

$$= \frac{2h}{\pi c}. \tag{190}$$

Damit folgt

$$\boxed{m_\gamma^* r_\gamma^{(\mathrm{kod})} = F_{\mathrm{EK}} = \frac{2h}{\pi c}.} \tag{191}$$

Die Masse–Radius-Konstante tritt somit bereits im Photonenzustand auf, jedoch mit einer anderen ontologischen Bedeutung als beim massebehafteten Elementarkörper. Beim ruhenden Elementarkörper beschreibt

$$m_0 r_0 = F_{\mathrm{EK}} \tag{192}$$

eine masseverkörperte räumliche Entität. Beim Photon beschreibt

$$m_\gamma^* r_\gamma^{(\mathrm{kod})} = F_{\mathrm{EK}} \tag{193}$$

die in der Energieinformation enthaltene mögliche Masse–Raum-Verkörperung.

In diesem Sinn kann zwischen zwei Zuständen unterschieden werden:

$$\boxed{\text{Information als Zustand} \quad \longleftrightarrow \quad \text{Photon}} \tag{194}$$

und

$$\boxed{\text{Information als räumlich-materieller Zustand} \quad \longleftrightarrow \quad \text{Elementarkörper.}} \tag{195}$$

## 25.5 Warum der Grenzfall $v \to c^-$ eines massiven Elementarkörpers nicht das Photon ist

Im bisherigen Dokument wurde für einen massebehafteten Elementarkörper mit festem $m_0 > 0$ hergeleitet, dass

$$r_{\mathrm{MW}} \to 0 \qquad \text{für} \qquad v \to c^-. \tag{196}$$

Dieser Grenzübergang darf nicht mit dem Photonenzustand verwechselt werden. Dort bleibt die Ruhemasse des Ausgangsobjektes ausdrücklich von Null verschieden. Für das Photon gilt dagegen von Anfang an

$$m_0 = 0, \qquad E_\gamma > 0, \qquad v = c. \tag{197}$$

Aus

$$p = \frac{E_\gamma}{c} \tag{198}$$

und

$$\lambda = \frac{h}{p} \tag{199}$$

folgt

$$\boxed{\lambda = \frac{hc}{E_\gamma} = \frac{c}{\nu} > 0.} \tag{200}$$

Damit sind

$$\boxed{m_0 > 0,\ v \to c^-} \tag{201}$$

und

$$\boxed{m_0 = 0,\ E_\gamma > 0,\ v = c} \tag{202}$$

ontologisch und mathematisch verschiedene Zustände. Das Photon ist nicht der durch Beschleunigung erreichte Grenzfall eines massiven Elementarkörpers.

## 25.6 Photonen bei $v = c$ und die Rolle der Wechselwirkung

Bei gewöhnlichen Lichtphänomenen durchkreuzen sich Lichtstrahlen, ohne dass eine makroskopisch erkennbare gegenseitige Ablenkung oder Energieübertragung auftritt. Innerhalb des hier entwickelten EKT-Bildes lässt sich dies qualitativ dadurch einordnen, dass die bei $v = c$ vorhandene räumliche Kodierung noch nicht mit einem manifestierten isotropen Wechselwirkungsraum identisch ist.

Die Aussage lautet daher nicht, dass die Photonenergie keine räumliche Information besitzt. Sie lautet:

$$\boxed{v = c: \quad r_{\mathrm{manifest}} = 0, \qquad r_\gamma^{(\mathrm{kod})} > 0.} \tag{203}$$

Erst im Wechselwirkungsfall kann die kodierte räumliche Information als diskreter räumlich-energetischer Zustand hervortreten. Damit wird die alltägliche fehlende Photon–Photon-Wechselwirkung bei ungestörter Translation qualitativ verständlich, ohne aus dieser Deutung bereits einen quantitativen Photon–Photon-Streuquerschnitt abzuleiten.

## 25.7 Die experimentelle Grenze $v \leq c$

Für einen kontrollierten Transport von Energie oder Information ist keine Ausbreitung mit $v > c$ experimentell nachgewiesen. Im Rahmen der EKT wird deshalb

$$\boxed{v \leq c} \tag{204}$$

als phänomenologische Randbedingung verwendet. Der freie Photonenzustand besitzt mit

$$v = c \tag{205}$$

die maximale Translationsgeschwindigkeit.

Eine zusätzliche Energie kann deshalb nicht durch eine weitere Steigerung der Translationsgeschwindigkeit auf $v > c$ dargestellt werden. Für den freien Photonenzustand gilt

$$E_\gamma = h\nu, \qquad \lambda_E = \frac{c}{\nu}. \tag{206}$$

Daher folgt bei $v = c$ unmittelbar

$$\boxed{E_\gamma \uparrow \implies \nu \uparrow \implies \lambda_E \downarrow} \tag{207}$$

und umgekehrt

$$\boxed{E_\gamma \downarrow \implies \nu \downarrow \implies \lambda_E \uparrow .} \tag{208}$$

Eine Blauverschiebung erfordert damit keine Überlichtgeschwindigkeit. Die zusätzliche Energie erscheint bei maximaler Translation in einer höheren Frequenz und einer entsprechend engeren Energiekodierung. Eine Rotverschiebung beschreibt den umgekehrten energetischen Zustand.

## 25.8 Reale Medien: drei verschiedene räumliche Größen

Bei der Wechselwirkung mit einem realen Medium ist der freie Photonenzustand verlassen. Das Medium besitzt selbst Energie, Masse und räumliche Struktur. Für die Beschreibung müssen deshalb mindestens drei Längenskalen unterschieden werden.

Die intrinsische Energiekodierung des Photonenzustandes sei

$$\boxed{\lambda_E = \frac{c}{\nu}.} \tag{209}$$

Die longitudinale Periodizität der tatsächlichen Propagation im Medium ist dagegen

$$\boxed{\lambda_{\text{prop}} = \frac{v}{\nu}.} \tag{210}$$

Für $v = c$ gilt

$$\lambda_{\text{prop}} = \lambda_E. \tag{211}$$

Bei verlangsamter Propagation mit $v < c$ folgt hingegen

$$\boxed{\lambda_{\text{prop}} = \frac{v}{c}\lambda_E < \lambda_E.} \tag{212}$$

Zusätzlich kann im Wechselwirkungsprozess ein isotroper, mediumabhängiger Wechselwirkungsraum auftreten. Dessen charakteristische Größe sei zunächst lediglich mit

$$\boxed{R_{\text{int}}} \tag{213}$$

bezeichnet. Es ist ausdrücklich nicht vorausgesetzt, dass

$$R_{\text{int}} = \lambda_E \qquad \text{oder} \qquad R_{\text{int}} = \lambda_{\text{prop}} \tag{214}$$

gilt.

Damit werden drei verschiedene räumliche Bedeutungen getrennt:

$$\boxed{\lambda_E \text{ Energiekodierung}, \qquad \lambda_{\text{prop}} \text{ longitudinale Propagation}, \qquad R_{\text{int}} \text{ isotroper Wechselwirkungsraum.}} \tag{215}$$

## 25.9 Der Sonderfall einer konstant gemessenen Frequenz im Medium

Wird für den weiterpropagierenden Photonenzustand im Medium dieselbe Frequenz gemessen wie vor dem Eintritt,

$$\nu_{\text{out}} = \nu_{\text{in}}, \tag{216}$$

dann bleibt für diesen gemessenen Zustand

$$E_\gamma = h\nu \tag{217}$$

und damit auch

$$\lambda_E = \frac{c}{\nu} \tag{218}$$

konstant. Gleichzeitig kann jedoch

$$v < c \tag{219}$$

gelten, sodass

$$\lambda_{\text{prop}} = \frac{v}{\nu} < \lambda_E. \tag{220}$$

Die konstante Frequenz zwingt somit nicht dazu, den gesamten räumlichen Wechselwirkungszustand als unverändert anzusehen. Innerhalb der EKT kann zusätzlich ein isotroper Wechselwirkungsraum $R_{\text{int}}$ auftreten, der aus der Überlagerung der Photonenkodierung mit der bereits vorhandenen Raum- und Materieenergie des Mediums hervorgeht.

Dabei ist zu beachten, dass eine am Ausgang gemessene konstante Frequenz allein keine vollständige Aussage über die Wechselwirkungsgeschichte eines Ensembles von Photonen liefert. Energie kann in realen Medien über verschiedene Kanäle abgegeben, aufgenommen, gestreut oder vollständig absorbiert werden. Die quantitative Aufteilung dieser Prozesse ist mediumabhängig und wird hier nicht als allgemeines EKT-Gesetz postuliert.

## 25.10 Warum die Masse–Radius-Konstantengleichung nicht auf ein makroskopisches Medium übertragen werden darf

Die in der EKT fundamentale Beziehung

$$mr = F_{\text{EK}} \tag{221}$$

beschreibt einen Elementarkörper. Reale Medien wie Glas, Wasser, Luft oder andere Festkörper und Flüssigkeiten sind dagegen makroskopische Vielteilchensysteme. Für deren Gesamtmasse und äußere Abmessungen gilt die Elementarkörperbeziehung nicht.

Dieser Unterschied ist für die Photon–Medium-Wechselwirkung wesentlich. Wird eine Energie $\Delta E$ auf ein Medium übertragen, so besitzt sie das Massenäquivalent

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}. \tag{222}$$

Gegenüber der bereits vorhandenen makroskopischen Masse $M_{\text{Medium}}$ ist dieser zusätzliche Massenanteil bei gewöhnlichen optischen Wechselwirkungen außerordentlich klein:

$$\boxed{\frac{\Delta m}{M_{\text{Medium}}} \ll 1.} \tag{223}$$

Aus dieser vernachlässigbaren, zusätzlichen Masse darf daher nicht über

$$mr = F_{\text{EK}} \tag{224}$$

auf eine entsprechende Radiusänderung des makroskopischen Mediums geschlossen werden. Die Masse–Radius-Konstantengleichung ist keine Zustandsgleichung eines Glasblocks, einer Flüssigkeit oder eines anderen makroskopischen Körpers.

Damit kann eine Photon–Medium-Wechselwirkung räumlich und energetisch relevant sein, obwohl die mit der übertragenen Energie verbundene zusätzliche Masse gegenüber der Gesamtmasse des Mediums praktisch keine beobachtbare Änderung seiner makroskopischen Abmessungen bewirkt.

## 25.11 Überlagerung, Energieaustausch und das Prinzip des Ausgleichs

Bei einer Wechselwirkung mit einem realen Medium überlagert sich die Photon-Materiewelle nicht mit einem energieleeren Raum. Das Medium besitzt bereits Energie und räumliche Struktur. Deshalb ist der Wechselwirkungsprozess grundsätzlich bidirektional zu denken: Die Photonenergie kann an das Medium abgegeben werden; umgekehrt kann Energie aus dem Medium auf den Photonenzustand übertragen werden.

Qualitativ sind damit drei Fälle möglich:

$$\Delta E_\gamma < 0, \qquad \Delta E_\gamma = 0, \qquad \Delta E_\gamma > 0. \tag{225}$$

Welche Richtung tatsächlich eintritt, hängt von den konkreten energetischen Verhältnissen und den Eigenschaften des Mediums ab. Innerhalb der EKT wird dies als Prinzip des energetischen Ausgleichs verstanden. Die Photon-Medium-Wechselwirkung ist damit kein notwendig monotoner Energieverlust, sondern ein dynamischer Ortsprozess, bei dem vorhandene Energie des Mediums selbst Bestandteil der Wechselwirkung ist.

Eine Überlagerung ohne vollständige Absorption ist dabei nicht mit einer einfachen Addition zweier Elementarkörperradien gleichzusetzen. Der zusätzliche Wechselwirkungsraum $R_{\mathrm{int}}$ beschreibt einen gemeinsamen räumlich-energetischen Zustand, dessen konkrete Geometrie von der Art des Mediums und vom Photonenzustand abhängt.

## 25.12 Bewusste Grenze der quantitativen Beschreibung

An dieser Stelle wird bewusst keine allgemeine quantitative Gleichung für $R_{\mathrm{int}}$, den Energieaustausch oder die Änderung der Propagationsgeschwindigkeit eingeführt. Reale Medien besitzen eine Vielzahl voneinander abhängiger Eigenschaften, unter anderem Materialstruktur, Dichte, Temperatur, Absorption, Streuung, Dispersion und frequenzabhängige Resonanzen. Eine allgemeine Gleichung ohne zusätzliche experimentelle Randbedingungen würde deshalb freie Wechselwirkungsparameter einführen, ohne den phänomenologischen Mechanismus tatsächlich zu bestimmen.

Der hier entwickelte Ansatz bleibt daher ausdrücklich qualitativ. Festgehalten werden lediglich die ontologischen Unterscheidungen:

1. Das freie Photon bei $v = c$ besitzt keine bereits manifestierte massegebundene räumliche Ausdehnung.
2. Seine Energie $E_\gamma = h\nu$ enthält eine räumliche Kodierung, für die

$$\lambda^*_{C,\gamma} = \lambda_{\mathrm{MW}} = \frac{c}{\nu} \tag{226}$$

und

$$r_\gamma^{(\mathrm{kod})} = \frac{2}{\pi}\lambda^*_{C,\gamma} \tag{227}$$

gelten.

3. Das Energieäquivalent und der Kodierungsradius erfüllen

$$m_\gamma^* r_\gamma^{(\mathrm{kod})} = F_{\mathrm{EK}}. \tag{228}$$

4. Kodierte räumliche Information und manifestierter Wechselwirkungsraum sind nicht dasselbe.
5. Bei $v < c$ sind Energiekodierung $\lambda_E$ und Propagationsperiodizität $\lambda_{\mathrm{prop}}$ grundsätzlich zu unterscheiden.
6. Ein zusätzlicher isotroper Wechselwirkungsraum $R_{\mathrm{int}}$ ist mediumabhängig und wird nicht mit einer der beiden vorherigen Längenskalen gleichgesetzt.
7. Reale Medien sind makroskopische Vielteilchensysteme; die Elementarkörpergleichung $mr = F_{\mathrm{EK}}$ darf nicht auf ihre Gesamtmasse und Gesamtgröße übertragen werden.
8. Das Massenäquivalent einer bei gewöhnlichen optischen Prozessen übertragenen Energie ist gegenüber der Masse eines makroskopischen Mediums sehr klein und liefert daher keine relevante makroskopische Radiusänderung über die Elementarkörperbeziehung.
9. Energieabgabe und Energieaufnahme sind im Wechselwirkungsprozess grundsätzlich beide möglich; ihre konkrete Ausprägung bleibt mediumabhängig.

Damit wird das Photon innerhalb der EKT als informationeller Energiezustand beschrieben, dessen räumliche Kodierung im Zustand maximaler Translation noch nicht mit einer bereits manifestierten materiellen Ausdehnung identisch ist. Erst die Wechselwirkung macht die kodierte räumliche Information als diskreten räumlich-energetischen Zustand wirksam. Die konkrete Photon–Medium-Dynamik bleibt eine eigenständige, von den Eigenschaften des jeweiligen Mediums abhängige Fragestellung.

# 26 Das relativistische Geschwindigkeitsadditionstheorem

**Kinematik - vermeintlich experimentelle Nachweise - fehlende Realphysik**

**Realphysik - Elementarkörpertheoriebetrachtungen**

## 26.1 Vergleichende Einleitung - Realphysik vs. SRT/SM

**Die kinematische Illusion und die dynamische Realität: Warum das SRT-Additionstheorem nur ein „Reverse-Engineering“ der Realität ist**

### 26.1.1 Die Brücke zur Realphysik: Das Michelson-Morley-Experiment als empirischer Anker

Es ist ein weitverbreiteter epistemologischer Irrtum anzunehmen, das Geschwindigkeitsadditionstheorem der Speziellen Relativitätstheorie (SRT) habe die reale Physik aus ersten Prinzipien heraus erklärt. Das Gegenteil ist der Fall: Die Mathematik der SRT ist ein rein kinematisches Konstrukt leerer Inertialsysteme, das ontologisch blind für reale Zustandsänderungen ist. Dass diese Mathematik dennoch korrekte numerische Vorhersagen für reale Experimente liefert, liegt nicht an ihrer inneren physikalischen Wahrheit, sondern daran, dass sie ein Reverse-Engineering der Realität darstellt. Die Lorentz-Transformation (und damit das Additionstheorem) wurde nicht deduktiv aus der Natur der Materie abgeleitet, sondern induktiv so lange zurechtgebogen, bis sie das reale, phänomenologische Nullresultat des Michelson-Morley-Experiments mathematisch reproduzieren konnte. Das Michelson-Morley-Experiment ist somit die einzige, aber entscheidende

Brücke, die diese ansonsten unphysikalische Koordinatenmathematik mit der realen Welt verbindet. Die Standardphysik feiert dies als Triumph der Theorie, übersieht dabei aber, dass sie lediglich eine phänomenologische Beobachtung (die Isotropie von c c) in einen formalen, aber kausal leeren mathematischen Apparat übersetzt hat.

### 26.1.2 Der fundamentale Verstoß gegen die Energieerhaltung im Standardmodell

Noch gravierender ist jedoch die Tatsache, dass das SRT-Geschwindigkeitsadditionstheorem im strengen Rahmen des Standardmodells (SM) niemals als physikalisch konsistent deklariert werden dürfte. Betrachten wir zwei Körper, die sich mit hoher Geschwindigkeit aufeinander zubewegen. Klassisch würde ihre Relativgeschwindigkeit $v_1 + v_2$ betragen, was einer bestimmten kinetischen Energie entspricht. Das SRT-Additionstheorem dämpft diese Geschwindigkeit auf einen Wert unterhalb der Lichtgeschwindigkeit c. Die entscheidende Frage lautet: Wo bleibt die „fehlende“ kinetische Energie, die durch diese Dämpfung aus der klassischen Bilanz verschwindet? Im Standardmodell gibt es darauf keine kausale Antwort. Da das SM Teilchen als nulldimensionale Punkte ohne innere räumliche Struktur betrachtet und das Konzept der Raumenergie kategorisch ablehnt, hat diese Energie keinen physischen Ort, an den sie abgegeben werden könnte. Das SM rettet sich durch den buchhalterischen Trick der „relativistischen Massenzunahme“, der jedoch keine dynamische Erklärung liefert, wie oder wo diese Energie physikalisch gespeichert wird. Ein Modell, das bei der Addition von Bewegungszuständen Energiebilanzen nur durch formale Umdefinitionen (und nicht durch reale Speichermechanismen) ausgleicht, verstößt im Kern gegen das Prinzip der kausalen Energieerhaltung.

### 26.1.3 Die EKT-Lösung: Raumenergie als das fehlende Glied der Bilanz

Die Elementarkörpertheorie (EKT) löst dieses Dilemma nicht durch kinematische Tricks, sondern durch eine echte dynamische Zustandsbeschreibung. In der EKT ist die scheinbar „fehlende“ Translationsenergie keineswegs verloren. Sie wird bei der Annäherung und Wechselwirkung zwingend in Raumenergie transformiert.

Gemäß der bimodalen Geometrie der EKT führt eine reale Dynamisierung (oder Abbremsung) zu einer isotropen Umverteilung der Energie:

Der masseverkörperte Kernradius $r(v)$ kontrahiert. Die kinetische Energie verkörpert sich gleichzeitig als realer, isotroper Raum in Form des Materiewellenradius $r_{MW}$.

Die Energie, die das SRT-Additionstheorem aus der reinen Translationsbilanz „herausrechnet“, ist in der EKT exakt die Energie, die benötigt wird, um diese geometrische Neuordnung (die Expansion der Materiewellen-Hülle und die Kompression des Kerns) zu vollziehen. Konkrete Ausführungen, Details und Herleitungen siehe Kapitel 26.3↓ .

## 26.2 Das relativistische Geschwindigkeitsadditionstheorem im Bild der Standardphysik

Das sogenannte relativistische Additionstheorem für Geschwindigkeiten gehört zu den bekanntesten mathematischen Resultaten der Speziellen Relativitätstheorie (SRT). Seine physikalische Bedeutung wird jedoch nicht von seiner mathematischen Herkunft getrennt. Insbesondere wird nicht nur von der Standardphysik suggeriert, sondern behauptet, das Additionstheorem beschreibe einen realen dynamischen Vorgang zwischen zwei mit hoher Geschwindigkeit bewegten Körpern. Genau dies leistet seine Herleitung und Bedeutung nicht.

Ausgangspunkt der SRT sind zwei Inertialsysteme $S$ und $S'$, die sich mit der konstanten Relativgeschwindigkeit $v$ gegeneinander bewegen. Für eine Bewegung in $x$-Richtung lautet die Lorentz-Transformation

$$x' = \gamma_v(x - vt), \qquad t' = \gamma_v\left(t - \frac{vx}{c^2}\right),$$

mit

$$\gamma_v = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

Durch Differentiation erhält man

$$dx' = \gamma_v(dx - v\,dt),$$

$$dt' = \gamma_v\left(dt - \frac{v\,dx}{c^2}\right).$$

Mit

$$u = \frac{dx}{dt}, \qquad u' = \frac{dx'}{dt'}$$

folgt unmittelbar

$$u' = \frac{u - v}{1 - \dfrac{uv}{c^2}}.$$

Algebraisches Auflösen nach $u$ ergibt

$$\boxed{u = \frac{u' + v}{1 + \dfrac{u'v}{c^2}}}.$$

Damit ist das Geschwindigkeitsadditionstheorem bereits vollständig hergeleitet. Bemerkenswert ist gerade, **was in dieser Herleitung überhaupt nicht vorkommt**: Kraft, Beschleunigung, Energieübertragung, Impulsübertragungsprozess, Masse, Radius, Materiewelle und Wechselwirkung zweier realer Körper. Es handelt sich um die Transformation des Quotienten $dx/dt$, nachdem Raum- und Zeitkoordinaten zwischen zwei Inertialsystemen gemäß der Lorentz-Transformation miteinander verknüpft wurden.

Das Additionstheorem ist damit seinem Ursprung nach **Kinematik, nicht Dynamik**. Es beantwortet die Frage, welche Geschwindigkeit einem Vorgang nach der mathematischen Transformation von einem Inertialsystem in ein anderes zugeordnet wird. Es beantwortet nicht die Frage, was physikalisch mit zwei realen Entitäten geschieht, die sich aufeinander zubewegen.

Dieser Unterschied wird besonders deutlich, wenn zwei reale Teilchen $A$ und $B$ betrachtet werden, die in einem gemeinsamen experimentellen Aufbau mit hohen Geschwindigkeiten aufeinander zufliegen. Solange zwischen ihnen keine relevante Wechselwirkung stattfindet, besitzt jedes Teilchen seinen eigenen realen Bewegungszustand. Das Teilchen $A$ besitzt Energie und Impuls

$$E_A, \qquad p_A,$$

das Teilchen $B$

$$E_B, \qquad p_B.$$

Ihre bloße gegenseitige Annäherung verändert diese Energien nicht. Insbesondere gibt es weder in der Standardphysik noch in der EKT einen physikalischen Mechanismus, durch den

beide Teilchen bereits während ihrer weitgehend wechselwirkungsfreien Annäherung kinetische Energie abgeben müssten, nur damit irgendeine aus einem Inertialsystemwechsel berechnete Relativgeschwindigkeit kleiner als $c$ bleibt.

Das ist insbesondere mit der Standardmodellphysik- Energieerhaltung unvereinbar. Würde man das Geschwindigkeitsadditionstheorem fälschlich als reale dynamische Zustandsänderung interpretieren, müsste man erklären, wohin die vermeintlich zur Reduktion der Geschwindigkeit abgegebene Energie gelangt. Einen solchen Energieübertragungsprozess enthält das Additionstheorem nicht – und die SRT behauptet einen solchen Prozess auch nicht. Die mathematisch transformierte Geschwindigkeit ist deshalb gerade **nicht als durch einen realen Energieverlust erzeugte neue Geschwindigkeit der beiden Teilchen zu interpretieren**.

Dieser Punkt gewinnt durch die räumliche Struktur realer Teilchen zusätzlich an Bedeutung. Ein hochenergetisches Teilchen wechselwirkt nicht deshalb mit einem weit entfernten zweiten Teilchen, weil ein Beobachter beiden bestimmte Geschwindigkeiten zuordnet. Bis die jeweiligen Wechselwirkungsbereiche einander erreichen, existiert kein Grund für eine gegenseitige dynamische Zustandsänderung. Im Bild der EKT betrifft dies sowohl den Elementarkörperradius als auch die mit dem jeweiligen Impuls verbundene Materiewelle. Beide räumlichen Größen sind bei hochenergetischen Teilchen außerordentlich klein. Eine reale gegenseitige Beeinflussung setzt deshalb eine entsprechende räumliche Annäherung beziehungsweise Wechselwirkung voraus.

Die Aussage, die Teilchen "wissen" bis kurz vor der Kollision nichts voneinander, ist in diesem Sinne keine anthropomorphe Behauptung, sondern bezeichnet das Fehlen eines physikalischen Wechselwirkungskanals über große Abstände. Erst wenn eine reale Wechselwirkung einsetzt, können Energie und Impuls übertragen oder neu verteilt werden. Bis dahin gibt es keinen realphysikalischen Prozess, der die kinetische Energie eines Teilchens allein aufgrund der Geschwindigkeit eines anderen Teilchens verändert.

Die folgend genannten Experimente messen bei genauer Betrachtung andere Größen.

Ein besonders deutliches Beispiel ist das hochpräzise Experiment von Botermann et al. aus dem Jahr 2014. Schon der Titel der Arbeit lautet *Test of Time Dilation Using Stored Li$^+$ Ions as Clocks at Relativistic Speed*. Verwendet wurden gespeicherte $^7$Li$^+$-Ionen mit $\beta = v/c = 0{,}338$ im ESR-Speicherring in Darmstadt. Zwei Laserstrahlen wurden parallel und antiparallel zum Ionenstrahl ausgerichtet und die für Resonanz erforderlichen Doppler-verschobenen Frequenzen gemessen. Die Autoren beschreiben selbst als Ziel die Überprüfung der Beziehung zwischen Zeitdilatationsfaktor und Geschwindigkeit. Das Experiment ist damit ein hochpräziser Test einer Zeitdilatations-/Dopplerbeziehung, **kein unmittelbarer experimenteller Test des Geschwindigkeitsadditionstheorems**. Die Originalarbeit ist hier direkt erreichbar: Botermann et al., Physical Review Letters 113, 120405 (2014).

Dasselbe gilt für die Arbeit von Saathoff et al. aus dem Jahr 2003 mit dem Titel *Improved Test of Time Dilation in Special Relativity*. Dort wurden $^7$Li$^+$-Ionen im Heidelberger TSR-Speicherring bei

$$v = 0{,}064c$$

untersucht. Gemessen wurden die Doppler-verschobenen Frequenzen eines optischen Übergangs in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung mit einer relativen Genauigkeit von etwa $10^{-9}$. Die Autoren geben ausdrücklich an, damit die relativistische Dopplerformel zu bestätigen und Abweichungen vom Zeitdilatationsfaktor

$$\gamma_{\mathrm{SR}} = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

einzuschränken. Auch hier wird also nicht experimentell geprüft, ob zwei reale aufeinander zufliegende Teilchen eine durch das Geschwindigkeitsadditionstheorem definierte dynamische

Relativgeschwindigkeit besitzen. Die Originalarbeit ist hier direkt erreichbar: Saathoff et al., Physical Review Letters 91, 190403 (2003).

Selbst die bereits 1979 erschienene Arbeit von Combley, Farley, Field und Picasso trägt den weitreichenden Titel *Experiments as a Test of Special Relativity*. Ein Blick auf den tatsächlich untersuchten Inhalt ist deshalb besonders aufschlussreich. Die Autoren analysieren Lebensdauermessungen von Elektronen und Myonen bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten, vergleichen Transformationseigenschaften von Zeit, elektromagnetischem Feld und Masse und untersuchen die Thomas-Präzession. Die Ergebnisse werden von den Autoren als mit der SRT übereinstimmend bezeichnet. Ein direkter experimenteller Test des Geschwindigkeitsadditionstheorems ist jedoch auch diese Arbeit nicht. Die Originalarbeit ist hier direkt erreichbar: Combley et al., Physical Review Letters 42, 1383 (1979).

Damit soll nicht pauschal behauptet werden, diese Experimente seien falsch oder ihre Messresultate bedeutungslos. Entscheidend ist jedoch die logisch korrekte Zuordnung dessen, **was tatsächlich gemessen wurde**. Eine gemessene Dopplerverschiebung ist zunächst eine gemessene Dopplerverschiebung; eine gemessene verlängerte Lebensdauer ist zunächst eine gemessene Lebensdauer; eine bestätigte Energie-Impuls-Beziehung ist eine bestätigte Energie-Impuls-Beziehung. Daraus darf nicht ohne weiteren experimentellen Nachweis geschlossen werden, jede andere mathematische Relation desselben theoretischen Formalismus sei damit ebenfalls unmittelbar experimentell bestätigt.

Hinzu kommt bei den genannten Lithiumexperimenten ein bemerkenswerter Punkt: Beide verwenden **Speicherringe**. Beim Experiment von 2003 handelt es sich ausdrücklich um den Heavy-Ion Storage Ring TSR in Heidelberg, beim Experiment von 2014 um den ESR-Speicherring in Darmstadt. Ein in einem Ring umlaufendes Ion besitzt jedoch keinen konstanten Geschwindigkeitsvektor. Auch wenn der Betrag

$$|\mathbf{v}|$$

über einen Bahnabschnitt praktisch konstant sein kann, ändert sich fortwährend die Richtung:

$$\boxed{\frac{d\mathbf{v}}{dt} \neq 0.}$$

Damit besitzt das Teilchen eine Beschleunigung. Für eine ideale Kreisbahn gilt

$$a_{\mathrm{r}} = \frac{v^2}{R}.$$

Der reale Teilchenzustand in einem Ringbeschleuniger ist deshalb **kein globaler inertialer Bewegungszustand**. Für die Analyse können selbstverständlich lokale tangentiale Inertialsysteme eingeführt werden. Das ist mathematisch legitim, ändert aber nichts daran, dass der reale experimentelle Vorgang selbst eine beschleunigte Bewegung darstellt. Gerade deshalb sollte ein Speicherringexperiment nicht undifferenziert als unmittelbare physikalische Realisierung zweier globaler SRT-Inertialsysteme bezeichnet werden.

Die genannten Präzisionsexperimente stellen keinen experimentellen Nachweis des Additionstheorems als realen Wechselwirkungsprozess zweier Körper dar. Die reale Kollision zweier hochenergetischer Teilchen ist ein dynamisches Aufeinandertreffen von Energie, Impuls und Wechselwirkung. Innerhalb der EKT kommen Elementarkörperradius, dynamisierte Masseenergie und Materiewelle als reale Zustandsgrößen hinzu.

Eine zweite, davon unabhängige Ebene betrifft die Energie-Masse-Beziehung

$$E = mc^2.$$

Auch hier muss zwischen der experimentellen Bestätigung einer **Relation** und der theoretischen **Herleitung dieser Relation** unterschieden werden. Massendefektmessungen können mit sehr hoher Genauigkeit zeigen, dass einer Massendifferenz $\Delta m$ eine Energiedifferenz

$$\Delta E = \Delta m\, c^2$$

entspricht. Damit ist jedoch nicht automatisch Einsteins historische Herleitung dieser Beziehung bewiesen.

Das vorliegende EKT-Dokument untersucht gerade diesen Punkt. Einsteins ursprünglicher Weg von 1905 verwendet ein Gedankenexperiment mit Lichtemission und gelangt über eine Entwicklung für kleine Geschwindigkeiten zum Vergleich mit der klassischen kinetischen Energie. Die entscheidende Näherung beruht auf

$$\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = 1 + \frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2} + \frac{3}{8}\frac{v^4}{c^4} + \dots$$

und für

$$v \ll c$$

auf der Reduktion auf den führenden Term. Das Dokument weist deshalb darauf hin, dass dieser historische Weg keine eigenständige allgemeine Herleitung von $E = mc^2$ aus einer realen Struktur der Materie liefert.

Bei späteren formal exakten Standardwegen verschiebt sich das Problem. In der Viererimpulsdarstellung wird die Minkowski-Struktur bereits vorausgesetzt und anschließend die Ruheenergie als

$$E_0 = m_0 c^2$$

identifiziert. Bei der Herleitung über Arbeit und relativistischen Impuls tritt entsprechend eine Integrationskonstante auf, deren physikalische Identifikation als Ruheenergie zusätzlich vorgenommen werden muss. Das EKT-Dokument kritisiert deshalb nicht die nachfolgende Algebra, sondern die fehlende unabhängige physikalische Herleitung genau derjenigen Energie-Masse-Struktur, die anschließend verwendet wird.

Ein bewegter Elementarkörper besitzt aufgrund seiner Geschwindigkeit einen dynamisierten Zustand mit entsprechend erhöhter Masseenergie, verändertem, verkleinerten Radius, wobei sich die Gesamtenergie des Elementarköpers **nicht** ändert. Es wird Raumenergie in Masseenergie transformiert.

Die Elementarkörpertheorie beginnt nicht mit einer Transformation zwischen Beobachtern, sondern mit der geometrischen und energetischen Struktur des Elementarkörpers. Aus dem Freylingschen Eingriff, der radialsymmetrischen Kugeloberflächendynamik und der Masse-Radius-Kopplung wird zunächst die Energie des ruhenden Elementarkörpers gewonnen. Die Beziehung

$$E = m_0 c^2$$

erscheint damit nicht als nachträgliche Identifikation einer Integrationskonstanten, sondern als Resultat der inneren Energie-Radius-Struktur. Darauf aufbauend ergibt sich für den bewegten Zustand

$$r(v) = r_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

und aus

$$m(v)r(v) = m_0 r_0 = F_{\mathrm{EK}}$$

die dynamisierte Masse

$$m(v) = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Damit erhält eine mathematische Struktur, die äußerlich bekannten relativistischen Beziehungen entspricht, innerhalb der EKT eine andere Herleitung: Sie wird als reale Veränderung der Masse-Radius-Verkörperung des bewegten Elementarkörpers interpretiert.

Hieraus folgt zugleich eine wichtige methodische Konsequenz für Kollisionsexperimente. Die Translationsenergie zweier gegeneinander beschleunigter Teilchen ist vor der Kollision **nicht verschwunden** und muss auch nicht künstlich reduziert werden, damit eine transformierte Relativgeschwindigkeit unterhalb von $c$ bleibt.

## 26.3 Das Geschwindigkeitsadditionstheorem im Bild der Elementarkörpertheorie

Die folgende Darstellung stützt sich ausschließlich auf die EKT-eigene Geometrie (Freylingscher Eingriff, Masse-Radius-Invariante, bimodale Moden-Interferenz) sowie auf die Forderungen der Radialsymmetrie und der Unüberschreitbarkeit der Lichtgeschwindigkeit. Die zentrale Normierungsfunktion wird phänomenologisch aus der Überlagerung der Raumenergie-Moden hergeleitet und durch Randbedingungen sowie das Prinzip der Parsimonie algebraisch bestätigt.

### 26.3.1 Ausgangspunkt: Der Freylingsche Eingriff und die Phasenbeschreibung

Jeder Elementarkörper ist durch die isotrop-radiale Entwicklung

$$r(t) = r_0 \sin\left(\frac{ct}{r_0}\right) \tag{229}$$

charakterisiert. Die Geschwindigkeit ergibt sich als Ableitung:

$$v(t) = c\cos\left(\frac{ct}{r_0}\right). \tag{230}$$

Mit dem Phasenwinkel $\theta = ct/r_0$ gilt die Zuordnung

$$\beta = \frac{v}{c} = \cos\theta, \qquad \frac{r(v)}{r_0} = \sin\theta = \sqrt{1-\beta^2}. \tag{231}$$

Der dynamische Faktor $\gamma = 1/\sin\theta$ beschreibt die Kontraktion des Kernradius und zugleich die Dichte der begleitenden Raumenergie-Hülle. Die fundamentale Invariante

$$m(v)\, r(v) = m_0 r_0 = F_{EK} = \frac{2h}{\pi c} \tag{232}$$

bleibt in jedem Bewegungszustand erhalten. Geschwindigkeit ist in der EKT kein äußerer Parameter, sondern ein direkter Indikator für den Transformationsgrad zwischen massegebundener Energie und Raumenergie.

### 26.3.2 Das Ur-Prinzip der Wechselwirkung: Radienaddition

Jede reale, inelastische Wechselwirkung zweier Elementarkörper findet im gemeinsamen geometrischen Ursprung statt. Die dynamisierten Radien addieren sich:

$$r_{\text{ges}} = r_1 + r_2 = r_{01} \sin\theta_1 + r_{02} \sin\theta_2. \tag{233}$$

Der resultierende Gesamtzustand soll selbst wieder ein gültiger Elementarkörper sein, d. h. er muss sich in der Form

$$r_{\text{ges}} = r_{0,\text{ges}} \sin\theta_{\text{rel}} \tag{234}$$

schreiben lassen und die Invariante $m \cdot r = F_{EK}$ erfüllen. Gleichzeitig müssen die longitudinalen (gerichteten) Anteile $\cos\theta_1$ und $\cos\theta_2$ zu einem neuen longitudinalen Anteil $\cos\theta_{\text{rel}}$ zusammentreten.

### 26.3.3 Geometrisch-energetische Herleitung: Moden-Interferenz im energetischen Raum

Die EKT liefert eine direkte phänomenologische Herleitung der Zustandsüberlagerung aus der bimodalen Geometrie der Elementarkörper. Jeder Zustand $Z_i$ lässt sich als Phasor auf dem Einheitskreis der Transformation darstellen:

$$\mathbf{Z}_i = \begin{pmatrix} \cos\theta_i \\ \sin\theta_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{Longitudinal-Modus (Translation)} \\ \text{Transversal-Modus (Manifestation)} \end{pmatrix}. \tag{235}$$

Bei inelastischer Wechselwirkung treffen die beiden Oszillationszentren im gemeinsamen geometrischen Ursprung ($r = 0$) aufeinander. Da der Raum in der EKT kein passiver Behälter, sondern ein energetisch aktives Medium ist (Axiom 1), ist die Überlagerung keine bloße Vektoraddition, sondern eine Interferenz ihrer Raumenergie-Zustände.

Die bimodale Geometrie erzwingt dabei die Aufteilung in zwei kollektive Intensitäten:

1. **Kollektive Manifestations-Intensität:** Die Fähigkeit, einen neuen gemeinsamen Radius auszubilden, ist proportional zum Produkt der individuellen transversalen Entwicklungsgrade:
$$I_{\text{manifest}} \propto \sin\theta_1 \cdot \sin\theta_2. \tag{236}$$

2. **Kollektive Konnektivitäts-Basis:** Die Fähigkeit des Raumes, die ungebundene Translationsenergie aufzunehmen, setzt sich zusammen aus der ungestörten räumlichen Einheit (1) und der projektiven Überlagerung der beiden gerichteten Translationsanteile:
$$I_{\text{connect}} \propto 1 + \cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2. \tag{237}$$

Der Entwicklungsgrad des resultierenden Gesamtsystems im transversalen Modus ist das Verhältnis dieser beiden Intensitäten:

$$\sin\theta_{\text{rel}} = \frac{I_{\text{manifest}}}{I_{\text{connect}}} = \frac{\sin\theta_1 \sin\theta_2}{1 + \cos\theta_1 \cos\theta_2}. \tag{238}$$

Der Nenner $N = 1 + \cos\theta_1 \cos\theta_2$ ist somit keine nachträgliche algebraische Anpassung, sondern die energetische Quittung der Moden-Kopplung. Er beschreibt exakt, wie stark die beiden Oszillationsfrequenzen im Ursprung geometrisch ineinandergreifen.

### 26.3.4 Der longitudinale Anteil und der Einheitskreis

Jeder gültige Elementarkörper-Zustand – einzeln oder kombiniert – muss auf dem Einheitskreis der Transformation liegen:

$$\sin^2\theta_{\text{rel}} + \cos^2\theta_{\text{rel}} = 1. \tag{239}$$

Da wir $\sin\theta_{\text{rel}}$ aus der Moden-Interferenz bereits kennen, können wir diese Identität nutzen, um den longitudinalen Anteil $\cos\theta_{\text{rel}}$ zwingend abzuleiten:

$$\cos^2\theta_{\text{rel}} = 1 - \sin^2\theta_{\text{rel}} = 1 - \left(\frac{\sin\theta_1 \sin\theta_2}{1 + \cos\theta_1 \cos\theta_2}\right)^2. \tag{240}$$

Auf gemeinsamen Nenner gebracht:

$$\cos^2\theta_{\text{rel}} = \frac{(1 + \cos\theta_1 \cos\theta_2)^2 - \sin^2\theta_1 \sin^2\theta_2}{(1 + \cos\theta_1 \cos\theta_2)^2}. \tag{241}$$

Erweitern wir den Zähler mit $\sin^2\theta = 1 - \cos^2\theta$, so ergibt sich:

$$\text{Zähler} = (1 + \cos\theta_1 \cos\theta_2)^2 - (1 - \cos^2\theta_1)(1 - \cos^2\theta_2). \tag{242}$$

Das Ausmultiplizieren liefert:

$$\text{Zähler} = (1 + 2\cos\theta_1 \cos\theta_2 + \cos^2\theta_1 \cos^2\theta_2) - (1 - \cos^2\theta_1 - \cos^2\theta_2 + \cos^2\theta_1 \cos^2\theta_2). \tag{243}$$

Nach dem Kürzen verbleibt exakt:

$$\text{Zähler} = \cos^2\theta_1 + 2\cos\theta_1 \cos\theta_2 + \cos^2\theta_2 = (\cos\theta_1 + \cos\theta_2)^2. \tag{244}$$

Damit folgt für das Quadrat des longitudinalen Anteils:

$$\cos^2\theta_{\text{rel}} = \frac{(\cos\theta_1 + \cos\theta_2)^2}{(1 + \cos\theta_1 \cos\theta_2)^2}. \tag{245}$$

Wegen der Positivität der gerichteten Anteile im EKT-Zustandsraum ergibt sich durch Wurzelziehen unmittelbar:

$$\cos\theta_{\text{rel}} = \frac{\cos\theta_1 + \cos\theta_2}{1 + \cos\theta_1 \cos\theta_2}. \tag{246}$$

Dies bestätigt, dass die aus der Interferenz hergeleitete Konnektivitäts-Basis $N = 1 + \cos\theta_1 \cos\theta_2$ exakt die Randbedingungen der EKT erfüllt: Sie ist symmetrisch, geht für $\theta_2 = 0$ in $\cos\theta_1$ über und verhindert für $\theta_1 = \theta_2 = 0$ (Lichtgeschwindigkeit), dass $\cos\theta_{\text{rel}} > 1$ wird.

### 26.3.5 Das Additionstheorem

Da in der EKT $\beta = \cos\theta$ gilt, erhalten wir aus dem longitudinalen Anteil unmittelbar

$$\beta_{\text{rel}} = \frac{\beta_1 + \beta_2}{1 + \beta_1\beta_2} \tag{247}$$

und damit das Geschwindigkeits-Additionstheorem

$$v_{\text{rel}} = \frac{v_1 + v_2}{1 + \dfrac{v_1 v_2}{c^2}}. \tag{248}$$

### 26.3.6 Numerische Überprüfung: Der symmetrische Fall $v_1 = -v_2$

Als konsistente Plausibilitätsprüfung und physikalische Bewährungsprobe betrachten wir den Fall zweier identischer Elementarkörper, die sich mit entgegengesetzter Geschwindigkeit $v$ aufeinander zubewegen (Schwerpunktsystem). Es gilt:

$$\beta_1 = \beta, \quad \beta_2 = -\beta \quad \Longrightarrow \quad \cos\theta_1 = \beta, \quad \cos\theta_2 = -\beta. \tag{249}$$

Einsetzen dieser Werte in die hergeleitete Normierungsformel liefert für den resultierenden longitudinalen Anteil:

$$\cos\theta_{\text{rel}} = \frac{\beta + (-\beta)}{1 + \beta(-\beta)} = \frac{0}{1 - \beta^2} = 0. \tag{250}$$

Daraus folgt zwingend $\theta_{\text{rel}} = \pi/2$ und somit für die resultierende Geschwindigkeit:

$$v_{\text{rel}} = c \cdot 0 = 0. \tag{251}$$

**Physikalische Bewertung:** Dieses Ergebnis ist exakt das, was die Physik fordert. Bei einer vollständig inelastischen Wechselwirkung (Verschmelzung) zweier symmetrischer Zustände im gemeinsamen geometrischen Ursprung muss der resultierende Gesamtzustand zur Ruhe kommen.

Die Tatsache, dass der Nenner $1 + \cos\theta_1 \cos\theta_2$ in diesem Fall zu $1 - \beta^2$ wird und den Zähler $\cos\theta_1 + \cos\theta_2 = 0$ sicher in den Ruhezustand überführt, beweist, dass die EKT-Geometrie den Energie- und Impulserhaltungssatz im Schwerpunktssystem naturnotwendig und ohne jeden zusätzlichen ad-hoc-Formalismus abbildet. Die Formel ist damit nicht nur eine mathematische Konstruktion zur Vermeidung imaginärer Radien, sondern besitzt falsifizierbare physikalische Konsistenz.

### 26.3.7 Ontologische Einordnung

Das Theorem beschreibt in der EKT weder die relative Wahrnehmung von Beobachtern noch eine rein kinematische Eigenschaft von Inertialsystemen. Es ist die notwendige geometrisch-energetische Verknüpfungsregel, die aus der Überlagerung zweier dynamisierter Elementarkörper folgt. Seine mathematische Form ist der Ausdruck dafür, wie sich die Masse-Radius-Invariante und die radialsymmetrische Existenzbedingung bei der realen Überlagerung von Bewegungszuständen erhalten.

Die Übereinstimmung mit der aus dem Michelson-Morley-Experiment und der Lichtpropagation gewonnenen Formel ist kein Zufall: Das Photon markiert den Grenzfall $v = c$, $r_{\text{manifest}} = 0$. Jede Mathematik, die auf diesen Grenzfall kalibriert ist, muss sicherstellen, dass materielle Zustände ($v < c$) diese Grenze nicht überschreiten. Die EKT liefert den physischen Grund: die endliche Kapazität des Raumes, Energie in Form von Radius und Materiewelle zu verkörpern, zusammen mit der Forderung, dass jeder kombinierte Zustand wieder auf dem Einheitskreis der Transformation liegt.

### 26.3.8 Status

Die Herleitung stützt sich auf:

- die EKT-Phasenzuordnung aus dem Freylingschen Eingriff,
- die Radienaddition als Ur-Prinzip der Wechselwirkung,
- die geometrisch-energetische Moden-Interferenz (Phasor-Darstellung), aus der sich die Intensitätsverhältnisse und damit der Normierungsfaktor $N = 1 + \cos\theta_1 \cos\theta_2$ zwingend ergeben,

- die algebraische Bestätigung durch Randbedingungen (Symmetrie, Ruhe- und Lichtgeschwindigkeitsbedingung) sowie das Prinzip der Parsimonie,
- die algebraische Erzwingung der transversalen Relation durch den Einheitskreis.

Damit ist das relativistische Geschwindigkeits-Additionstheorem nicht nur als algebraisch kanonische Lösung, sondern als direkte Konsequenz der bimodalen EKT-Geometrie und der Raumenergie-Interferenz begründet.

# 27 Phänomenologische Grenzen der Klassischen Elektrodynamik und Quantenelektrodynamik (QED)

## 27.1 Realphysik vs. Maxwell & Co

Um die obige Analyse und ontologische Konstruktion im Rahmen der Elementarkörpertheorie vergleichend verstehen zu können, folgt die (»fehlende«) Beschreibung der Anatomie des Photons aus Sicht der Standardphysik. Die klassische Beschreibung elektromagnetischer Strahlung bietet keine phänomenologische Erklärung für den kontinuierlichen Übergang von Energie von der Quelle in das sich ausbreitende Fernfeld. Lehrbücher präsentieren lediglich formale Energiebilanzen mit Mittelwerten, Feldquadraten und dem Poynting-Vektor, ohne einen intuitiven Mechanismus für die Dynamik der E- und B-Feld- Energie anzubieten. Insbesondere ist der Begriff eines lokalen „Energiependels“ zwischen dem elektrischen und magnetischen Feld im Fernfeld phänomenologisch irreführend. Die Quantenelektrodynamik (QED) liefert keinerlei Phänomenologie. Folgend wird u.a. die Problematik der Felddarstellung und der Nahfeld-Fernfeld-Unterscheidung sowie die »phänomenologische Unfähigkeit« der QED analysiert und »beleuchtet«.

Die klassische Elektrodynamik basiert auf den Maxwell-Gleichungen und beschreibt elektromagnetische Strahlung als wellenartige Feldausbreitung. Obwohl diese Theorie formal (zumindest makroskopisch betrachtet) korrekte Energiebilanzen liefert, beantwortet sie eine entscheidende Frage nicht: *Wie genau gelangt die Energie von der oszillierenden Quelle in das sich ausbreitende Fernfeld?*

Es gibt keinen kontinuierlich beobachtbaren energetischen Prozess für die E-B-Wechselfelddynamik, der, in einer dynamischen Analogie, beispielsweise der Umwandlung zwischen potentieller und kinetischer Energie vergleichbar wäre. Stattdessen beschränkt sich die klassische Theorie auf mathematische Buchhaltung:

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0}\vec{E} \times \vec{B}, \tag{252}$$

$$u = \frac{1}{2}\left(\varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{\mu_0}B^2\right). \tag{253}$$

**Bedeutung:**

- **Poynting-Vektor** $\vec{S}$: Beschreibt die Richtung und Dichte des Energieflusses. Das Kreuzprodukt zeigt, dass der Fluss senkrecht zur Ebene der Felder $\vec{E}$ und $\vec{B}$ steht.
- **Energiedichte** $u$: Beschreibt die im Raum gespeicherte Energie pro Volumeneinheit als Summe der Beiträge des elektrischen ($\varepsilon_0 E^2/2$) und magnetischen Feldes ($B^2/(2\mu_0)$).

Der Poynting-Vektor und die Energiedichte sind formale Größen, die die Energieerhaltung bei korrekter Berechnung gewährleisten. Sie erklären jedoch nicht den *physikalischen Prozess* des Energietransfers selbst.

## 27.2 Phänomenologische Defizite der klassischen Feldvorstellung

Die Illusion der flächig endlichen Felder

### 27.2.1 Das klassische Problem

In der klassischen Elektrodynamik werden elektrische und magnetische Felder visuell und konzeptionell als **flächig endlich** dargestellt. Dies manifestiert sich in zwei zentralen Lehrbuchdarstellungen:

1. **Feldlinienbilder eines Dipols:** Es werden geschlossene Schleifen gezeichnet, die sich von der Quelle lösen.
2. **Ablöseprozess:** Die Vorstellung, dass sich diese Schleifen von der Antenne „ablösen“ und als eigenständige, in sich geschlossene Gebilde durch den leeren Raum wandern.

### 27.2.2 Die phänomenologische Lücke

Es existiert keine physikalische Begründung dafür, *wie* sich eine Feldlinie von der Quelle „abschneidet“ oder „ablöst“. Die Mathematik der Maxwell-Gleichungen liefert zwar eine korrekte Energiebilanz (Energieerhaltung), aber sie beschreibt keinen **kausalen Mechanismus** für diesen Ablöseprozess. Die Darstellung des Feldes als eine Art elastisches, flächiges Gebilde ist eine Fiktion, die durch die mathematische Kontinuitätsbedingung ($\nabla \cdot \vec{B} = 0$) erzwungen wird. Experimentell ist dieses flächige Gebilde jedoch nicht als Substanz nachweisbar.

### 27.2.3 Die EKT-Position

Die Elementarkörper-Theorie kritisiert diese Darstellung als phänomenologisch unbegründet. Für die EKT existiert das „Feld“ nicht als kontinuierliche, flächige Substanz im Raum. Stattdessen wird postuliert:

- Das Photon ist ein **informationeller Zustand** eines Elementarkörpers in maximaler Bewegung (raum- und masselos).
- Die beobachtbare räumliche Ausdehnung (z. B. das Interferenzmuster) entsteht **ausschließlich bei der Wechselwirkung** mit Materie (Detektor, Spalt), nicht während der freien Ausbreitung.
- Die Frage nach der „Flächigkeit“ oder dem „Ablösen“ des Feldes ist somit ein **Artefakt der klassischen Feldvorstellung**, welches durch die Annahme einer diskreten, informationellen Entität aufgelöst wird.

## 27.3 Die willkürliche Grenze zwischen Nah- und Fernfeld

### 27.3.1 Definition gemäß herrschender Meinung

Die Unterscheidung zwischen Nah- und Fernfeld ist in der Standardphysik **keine scharfe physikalische Grenze**, sondern eine mathematische Näherung, die vom Abstand $r$ zur Quelle im Verhältnis zur Wellenlänge $\lambda$ abhängt.

**Konkrete Antwort auf die Grenzfrage:** Es gibt **keinen konkreten Ort**. Bei einem Abstand von $r \approx \lambda/(2\pi)$ sind die Beiträge der Nahfeld-Terme (die mit $1/r^3$ abfallen) und der Fernfeld-Terme (die mit $1/r$ abfallen) in der Formel für die Feldstärke eines Hertzschen Dipols **betragsmäßig gleich groß**. Jenseits dieses Abstands dominiert zunehmend das Fernfeld. Der Übergang ist **fließend**.

| **Zone** | **Bedingung (Abstand $r$ zu Wellenlänge $\lambda$)** | **Physikalische Bedeutung** |
|---|---|---|
| Reaktives Nahfeld | $r \ll \lambda/(2\pi) \approx \lambda/6$ | Energie pendelt zwischen Quelle und Feld hin und her (Blindleistung). Verhält sich wie statisches Kondensator-/Spulenfeld. |
| Übergangszone | $r \approx \lambda$ | Komplexes Mischfeld; mathematisch nicht trivial vereinfachbar. |
| Fernfeld | $r \gg \lambda/(2\pi)$ | Energie fließt nur noch von der Quelle weg. $E$ und $B$ sind in Phase. Keine Rückkopplung zur Quelle. |

Tabelle 2: Zoneneinteilung nach Abstand und Wellenlänge

### 27.3.2 Phänomenologische Kritik der EKT

Die klassische Physik kann nicht erklären, *wie* die Energie den „Sprung“ vom pendelnden Nahfeld (wo sie wieder zurückfließen *kann*) in das abgestrahlte Fernfeld (wo sie für immer weg *ist*) schafft. Es handelt sich um eine reine mathematische Buchhaltung der $1/r^n$-Terme, nicht um eine Beschreibung eines physikalischen Prozesses.

Die EKT interpretiert diesen Übergang wie folgt:

- **Nahfeld:** Der Elementarkörper (Photon) ist noch im **Prozess der Emission** begriffen. Er ist noch an die Quelle gebunden – eine sinusförmige Reduktion, die noch nicht abgeschlossen ist.
- **Fernfeld:** Der Elementarkörper ist **vollständig emittiert**. Er bewegt sich als raum- und masseloser Zustand maximaler Bewegung. Die „Energie“ ist in diesem Zustand reine **Information**, die sich erst bei einer Wechselwirkung im Fernfeld als physikalische Wirkung (Impuls, Erwärmung) manifestiert.

## 27.4 Das Missverständnis des Fernfeld-„Pendels“

Eine weit verbreitete Nahfeld-Lehrbuchillustration legt nahe, dass dann im Fernfeld, ohne Phasenverschiebung von E- und B- Feld, die Energie lokal zwischen elektrischem und magnetischem Feld oszilliert. Das ist phänomenologisch inkorrekt. Auffällig ist hier: Eine entsprechende Illustration des E-B-Fernfeldes, wie bei beim Nahfeld, wird stets vermieden. Für eine sich ausbreitende Welle im Fernfeld gilt:

- Es gibt kein lokales „Energiependel“ zwischen $E$ und $B$.
- Nullstellen oder Maxima der Feldamplituden bedeuten nicht, dass Energie lokal erscheint oder verschwindet.
- Die Welle ist ein sich ausbreitendes Energiemuster, kein stationäres Schwingungssystem.

Die typische Darstellung von Energiemaxima und -minima im Fernfeld ist eine mathematische Projektion der Feldamplituden, nicht physikalische Phänomenologie. In Wirklichkeit enthält das Fernfeld nur *Energiefluss*, der kontinuierlich von der Quelle wegströmt – ohne lokale Speicherzustände. Jede Intuition eines lokalen Pendelverhaltens ist irreführend.

## 27.5 Die Masse-Radius-Konstantengleichung

Eine bemerkenswerte Eigenschaft der Elementarkörperdynamik ist die Zeitunabhängigkeit

$$\frac{m(t)}{r(t)} = \frac{\dot{m}(t)}{\dot{r}(t)} = \frac{\ddot{m}(t)}{\ddot{r}(t)} = \frac{m_0}{r_0} = \frac{\pi c}{2h} \cdot m_0^2 = \frac{2h}{\pi c} \cdot \frac{1}{r_0^2} \tag{254}$$

Diese Konstanz demonstriert die tiefe innere Konsistenz der Theorie. Das Verhältnis $\frac{m(t)}{r(t)}$ ist nicht nur zeitlich konstant, sondern auch gleich dem Verhältnis ihrer zeitlichen Ableitungen, was auf eine perfekte Synchronisation in der Evolution von Masse und Radius hinweist. Die fundamentale Beziehung lautet:

$$m_0 \cdot r_0 = F_{EK} = \frac{2h}{\pi c} \quad \text{mit} \quad F_{EK} \approx 1,407 \cdot 10^{-42}\,\text{kg·m} \tag{255}$$

Aus den Bewegungsgleichungen und der assoziierten Comptonwellenlänge folgt für jeden Elementarkörper im Ruhezustand (Elektron, Proton, Myon, Pion) dasselbe konstante Produkt $m_0 r_0 = 2h/(\pi c)$, unabhängig vom Teilchen.

## 27.6 Experimentelle Bestätigung durch Streuquerschnitte

Die folgende Zusammenstellung zeigt, dass der aus der Masse-Radius-Kopplung abgeleitete klassische Radius in sämtlichen etablierten Streuformeln auftritt – ein starkes Indiz für die physikalische Realität des masse-inhärenten Radius $r_0$.

### 27.6.1 Comptonwellenlänge als Messgröße für den Radius

Die Comptonwellenlänge $\lambda_C = h/(m_0 c)$ ist eine gemessene Größe (CODATA):

- Elektron: $\lambda_C \approx 2{,}426 \cdot 10^{-12}\,\text{m}$
- Proton: $\lambda_C \approx 1{,}321 \cdot 10^{-15}\,\text{m}$

In der EKT gilt der geometrische Zusammenhang $\lambda_C = \frac{\pi}{2} r_0$. Begründung: Bei der Entstehung eines Elementarkörpers aus einem Photon durchläuft der Radius eine Sinus-Entwicklung. Nach einer Viertelperiode $t = \pi r_0/(2c)$ ist der Radius maximal $r = r_0$. Die während dieser Viertelperiode zurückgelegte Strecke auf der Kugeloberfläche ist $\frac{\pi}{2} r_0$ – die Comptonwellenlänge. Daraus folgt:

$$r_0 = \frac{2}{\pi} \lambda_C = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{h}{m_0 c} \tag{256}$$

Da $\lambda_C$ gemessen ist, ist $r_0$ eine Messgröße – unabhängig von der Anerkennung durch die Standardphysik.

### 27.6.2 Klassischer Radius als Wechselwirkungsradius

In allen Streuformeln tritt der klassische Radius auf:

$$r_{\text{kl}} = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 m_0 c^2} \tag{257}$$

In der EKT wird dieser ausgedrückt als:

$$r_{\text{kl}} = \frac{\alpha}{4} r_0 \tag{258}$$

wobei $\alpha \approx 1/137$ die Feinstrukturkonstante ist. Der Faktor $\alpha/4$ ist das Verhältnis von elektrischer Energie zur Gesamtenergie.

**Beispiele:**

- Elektron: $r_e \approx 1{,}54 \cdot 10^{-12}\,\text{m}$ (masse-inhärenter Radius), $r_{e,\text{kl}} \approx 2{,}82 \cdot 10^{-15}\,\text{m}$ (klassischer Radius)
- Proton: $r_p = \frac{2}{\pi} \lambda_{C,p} \approx 8{,}41 \cdot 10^{-16}\,\text{m}$, $r_{p,\text{kl}} = \frac{\alpha}{4} r_p \approx 1{,}54 \cdot 10^{-18}\,\text{m}$

### 27.6.3 Sieben experimentell bestätigte Streuformeln

In allen folgenden, experimentell vielfach bestätigten Formeln tritt der klassische Elektronenradius $r_{\mathrm{kl}}$ auf. Die Standardphysik kann nicht erklären, warum diese Größe immer wieder in genau derselben Kombination vorkommt – sie akzeptiert sie als „nützliche Konstante“ ohne physikalische Realität. Die EKT interpretiert $r_{\mathrm{kl}} = \frac{\alpha}{4} r_0$ als skalierten realen Radius.

**Thomson-Streuung:**

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = r_{\mathrm{kl}}^2 \cdot \frac{1+\cos^2\theta}{2}, \qquad \sigma_{\mathrm{Thomson}} = \frac{8\pi}{3} r_{\mathrm{kl}}^2 \tag{259}$$

**Møller-Streuung:**

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = r_{\mathrm{kl}}^2 \cdot \frac{(3+\cos^2\theta)^2}{\sin^4\theta} \cdot \frac{\gamma^2}{\beta^4} \cdot (\text{Spin-Terme}) \tag{260}$$

**Bethe-Bloch-Sternheimer-Gleichung:**

$$-\frac{dE}{dx} = 2\pi N_A r_{\mathrm{kl}}^2 m_e c^2 \rho \frac{Z}{A} \frac{z^2}{\beta^2} \left[ \ln\left( \frac{2 m_e c^2 \beta^2 \gamma^2 W_{\max}}{I^2} \right) - 2\beta^2 - \delta - \frac{2C}{Z} \right] \tag{261}$$

**Photoelektrischer Effekt:**

$$\sigma_{\mathrm{photo}} = 4\sqrt{2}\,\alpha^4 \sigma_0 Z^5 \left( \frac{m_e c^2}{E_\gamma} \right)^{7/2}, \qquad \sigma_0 = \frac{8\pi}{3} r_{\mathrm{kl}}^2 \tag{262}$$

**Paarbildung:**

$$\sigma_{e^-e^+} \approx 4\alpha r_{\mathrm{kl}}^2 Z^2 \left[ \frac{7}{9} \ln\left( \frac{2E_\gamma}{m_e c^2} \right) - \frac{109}{54} \right] \tag{263}$$

**Compton-Streuung (Klein-Nishina):**

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = r_{\mathrm{kl}}^2 \left( \frac{\omega'}{\omega} \right)^2 \left( \frac{\omega}{\omega'} + \frac{\omega'}{\omega} - \sin^2\theta \right), \tag{264}$$

$$\frac{\omega'}{\omega} = \frac{1}{1 + \frac{\hbar\omega}{m_e c^2}(1-\cos\theta)} \tag{265}$$

**Kramers-Heisenberg-Formel:**

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = r_{\mathrm{kl}}^2 \left( \frac{\omega'}{\omega} \right) \left| \epsilon' \cdot \epsilon - \frac{1}{m_e} \sum_j \frac{\langle n|\epsilon' \cdot \vec{p}|j\rangle\langle j|\epsilon \cdot \vec{p}|i\rangle}{\omega_{ji} - \omega} + \cdots \right|^2 \tag{266}$$

### 27.6.4 Übertragung auf das Proton – Analogie und Konsistenz

Für jedes Elementarteilchen gilt die Masse-Radius-Konstantengleichung $m_0 r_0 = 2h/(\pi c)$. Der masse-inhärente Protonenradius ist $r_p = \frac{2h}{\pi c m_p} = \frac{2}{\pi}\lambda_{C,p} \approx 8{,}412 \cdot 10^{-16}\,\mathrm{m}$. Der klassische Protonenradius ist $r_{p,\mathrm{kl}} = \frac{\alpha}{4} r_p \approx 1{,}535 \cdot 10^{-18}\,\mathrm{m}$.

**Anwendung: Coulomb-Streuung an Restgaspartikeln.** Die Verlustrate eines Ionenstrahls lautet:

$$\Gamma_{\mathrm{Streu}} = \frac{2\pi Z^2 r_{p,\mathrm{kl}}^2 c n_{sc}}{A^2 \gamma^2 \beta^3} \left( \frac{\langle \beta_h \rangle}{\varepsilon_{acc,h}} + \frac{\langle \beta_v \rangle}{\varepsilon_{acc,v}} \right) \tag{267}$$

Die Standardphysik betrachtet den klassischen Protonenradius als reine Rechengröße. Das Proton hat einen konstanten Ladungsradius von etwa $0{,}84 \cdot 10^{-15}\,\mathrm{m}$ – etwa 500-mal größer als $r_{p,\mathrm{kl}}$. Die Standardphysik erklärt diesen Unterschied nicht konsistent. Die EKT hingegen deutet $r_{p,\mathrm{kl}} = \frac{\alpha}{4} r_p$ als skalierten tatsächlichen Radius für die Coulomb-Streuung. Der Faktor $\alpha/4$ ergibt sich aus dem Verhältnis von elektrischer Energie zur Gesamtenergie. Die Streuung „sieht“ nicht den vollen masse-inhärenten Radius $r_p$, sondern den effektiven Wechselwirkungsradius – konsistent mit dem Elektron.

## 27.7 Elektrische Ladung und die Feinstrukturkonstante in der EKT

### 27.7.1 Die Elementarkörperladung $q_0$

Elektrische Ladung ist ein Sekundärbegriff der herrschenden Physik, der eine „phänomenologische Entität" suggeriert, die von der Masse (und dem Radius) des Ladungsträgers entkoppelt ist. Basierend auf der Elementarkörpertheorie sind jedoch alle Ladungswechselwirkungen auf Masse-Radius-Kopplungen zurückführbar.

Die Selbstenergie einer Ladung $q_0$ im Abstand $r_0$ ist gleich der Ruheenergie der Masse $m_0$:

$$m_0 r_0 \cdot c^2 = \frac{q_0^2}{4\pi\varepsilon_0} \tag{34}$$

Mit der Abkürzung $f_7 = 4\pi\varepsilon_0 c^2 = 10^7\,\mathrm{A^2 s^2 kg^{-1} m^{-1}}$:

$$q_0 = \pm\sqrt{8\varepsilon_0 hc} = \pm\sqrt{f_7 \cdot F_{EK}} = \pm 2 \cdot \sqrt{2\varepsilon_0 hc} \tag{35}$$

Numerisch:

$$q_0 = 3.7510920453946 \cdot 10^{-18}\,\mathrm{As} \tag{268}$$

Dies ist die **doppelte Planck-Ladung**. Sie ist geschwindigkeitsinvariant, da das Produkt $m(v)r(v) = m_0 r_0$ konstant ist.

### 27.7.2 Die elektrische Elementarladung $e$

Die Feinstrukturkonstante $\alpha$ ergibt sich aus dem Vergleich von elektrischer Energie und Gesamtenergie:

$$\frac{e^2}{8\varepsilon_0 hc} = \frac{\alpha}{4} = \frac{e^2}{q_0^2} \tag{Ea4}$$

Daraus folgt die Beziehung zwischen $e$ und $q_0$:

$$\boxed{e = \frac{\sqrt{\alpha}}{2} \cdot q_0} \tag{eq}$$

Somit ist $\alpha$ keine freie Naturkonstante, sondern folgt aus dem Verhältnis zweier Ladungen. Das energetische Maß ist in diesem Sinne nicht $\alpha$, sondern $\alpha/4$, das Verhältnis von elektrischer Energie zu masse-radius-gekoppelter Gesamtenergie.

### 27.7.3 Die erweiterte Masse-Radius-Konstantengleichung

Aus den obigen Beziehungen folgt:

$$\frac{4}{\alpha} \cdot \frac{e^2}{f_7} = m_0 r_0 = \frac{F_{EK}}{\pi c} = \frac{2h}{\pi c} \tag{F1}$$

Dies zeigt die Konsistenz des gesamten Ladungskonzepts mit der fundamentalen Masse-Radius-Kopplung.

## 27.8 Das fundamentale Missverständnis der herrschenden Physik

> *„Das grundsätzliche Mißverständnis ('außerhalb' der Elementarkörpertheorie) besteht darin, dass die Eigenschaften eines wechselwirkenden Photons auf den »Ruhezustand« des Photons projiziert werden."*

Der »Ruhezustand« des Photons ist jedoch gemäß den Gleichungen der **raum- und masselose, „lichtschnelle" (Energie-)Zustand**. Dies bedeutet: Eine Information breitet sich gerichtet aus, die sich erst bei Absorption des Photons „entfaltet" (ausschwingt) und dann die zeitabhängigen messtypischen Phänomene der Interferenz und des (massebehafteten) Stoßes zeigt.

**Information als materieller Zustand = Elementarkörper**

**Zustand als Information = Photon**

## 27.9 Information als Energieform

Die zeitlich begrenzte Interaktion des Photons reduziert sich auf die **«sinusförmige Ausschwingung»** des Photons. Bei dieser materiebildenden Reaktion wird phänomenologisch raum- und masselose, „reine" Bewegungsenergie in einen masse-gekoppelten Raum umgewandelt. Hier werden plausible Zusammenhänge zwischen Information (Entropie), Energie, Masse und Raum „sichtbar". Daraus folgt: **Information ist eine Energieform.** Die Gleichung $E = m_0c^2$ steckt also nicht nur im masse-gekoppelten Raum, sondern auch in der **Information über diesen Zustand** im Photon.

## 27.10 Wissenschaftstheoretische Einordnung: Die Asymmetrie der Bringschuld in der QED

Die vorangegangenen Abschnitte haben gezeigt, dass die klassische Elektrodynamik keine phänomenologische Erklärung für den Übergang von der Quelle ins Fernfeld liefert. Die QED verzichtet gänzlich auf eine Beschreibung, die auf unmittelbarer Anschauung oder einem mechanistischen Modell beruht. Stattdessen wird das Photon funktional und mathematisch-formal über seine Rolle im theoretischen Rahmenwerk definiert: als Quant des elektromagnetischen Feldes, als Eichboson der $U(1)$-Symmetrie oder als Austauschteilchen der elektromagnetischen Kraft. Die Suche nach einer tieferen „Anatomie" oder einem Mechanismus des Photons wird im Rahmen der QED als physikalisch nicht sinnvoll deklariert. Es gilt per Definition als fundamentales, punktförmiges Teilchen ohne innere Struktur.

## 27.11 Verzicht aus Notwendigkeit, nicht aus Stärke

Die gängige Formulierung, die QED „verzichte bewusst" auf eine Phänomenologie, ist eine sprachliche Euphemisierung. Wissenschaftshistorisch und logisch präziser formuliert: Die QED muss verzichten, weil ihr Formelgerüst (Lagrangedichte, Pfadintegrale, Renormierung) keine räumlich-zeitliche Anschauung dessen liefert, was zwischen Emission und Absorption tatsächlich „ist". Es handelt sich hierbei nicht um einen freiwilligen Erkenntnisverzicht, sondern um eine zwingende Konsequenz der mathematischen Struktur der Theorie.

## 27.12 Die doppelte Bewertung von Anschauung und Formalismus

Hier offenbart sich eine wissenschaftstheoretische Asymmetrie in der Bewertung physikalischer Modelle:

**(1) Für alternative Modelle (wie die EKT):** Wird das Fehlen eines komplexen, etablierten mathematischen Apparats oder die Abweichung vom Standardmodell sofort als Ausschlusskriterium gewertet. Die SM-Forderung lautet beispielsweise: „Zeige die Gleichung, die den Spin exakt als Eigenwert einer Darstellung der Poincaré-Gruppe liefert, sonst ist es keine Physik."

**(2) Für das Standardmodell (QED):** Wird das Fehlen jeglicher Anschauung als epistemische Tugend umgedeutet. Es heißt dann: „Die Natur ist nun mal nicht anschaulich. Wer Anschauung sucht, hat die Quantenmechanik nicht verstanden." Die Theorie wird gegen den Vorwurf der Unverständlichkeit immunisiert.

## 27.13 Die Grenzen der rein formalen Konsistenz

Diese Haltung übersieht, dass mathematische Konsistenz nicht zwingend mit physikalischer Realität gleichzusetzen ist. Ein Paradebeispiel hierfür ist das Banach-Tarski-Paradoxon. Die Mathematik (unter Annahme des Auswahlaxioms) erlaubt es formal, eine Kugel vom Volumen 1 in endlich viele Teile zu zerlegen und daraus zwei Kugeln vom Volumen 1 zusammenzusetzen. Phänomenologisch ist dies vollkommener Unsinn – kein physikalischer Prozess kann dies leisten. Das Paradoxon zeigt die Grenzen der formalen Axiomatik gegenüber der physikalischen Messbarkeit und Anschauung auf.

In analoger Weise erlaubt die Mathematik der QED die Einführung „virtueller Photonen" oder „Vakuumfluktuationen", um Kraftvermittlung zu beschreiben. Phänomenologisch ist die Vorstellung, dass permanent etwas aus dem Nichts entsteht und sofort wieder verschwindet, ebenso unbefriedigend wie das Banach-Tarski-Resultat. Die Aussage der QED, das Photon sei ein „punktförmiges Teilchen ohne innere Struktur", ist im Grunde das Eingeständnis: Die Theorie versagt bei der Frage nach der räumlichen Beschaffenheit, also wird der Raum an dieser Stelle als Punkt-Singularität definiert.

### 27.13.1 Umkehrung der Bringschuld

Die EKT stellt die wissenschaftliche Bringschuld um. Während die QED von der EKT einen komplexen Formalismus fordert, fordert die EKT von der QED einen phänomenologischen Mechanismus:

- **QED-Forderung an EKT:** „Zeige mir den mathematischen Formalismus, der alle bekannten Streuquerschnitte reproduziert!"
- **EKT-Antwort:** Die in Abschnitt 4.4 zusammengestellten sieben Streuformeln enthalten sämtlich den klassischen Radius $r_{\mathrm{kl}} = \frac{\alpha}{4} r_0$, der sich direkt aus der Masse-Radius-Kopplung $m_0 r_0 = 2h/(\pi c)$ ergibt. Die EKT liefert damit eine einheitliche phänomenologische Basis für genau jene Streuquerschnitte, deren formale Berechnung die QED für sich reklamiert.
- **EKT-Forderung an QED:** „Zeige mir den Mechanismus des Energietransfers von der Antenne ins Fernfeld ohne Zuhilfenahme von Fiktionen wie virtuellen Teilchen, flächigen Feldern oder instantanen Kollapsen!"

Die QED hat auf die letzte Frage keine Antwort. Die EKT liefert mit den Gleichungen $r(t)$ und $m(t)$ eine explizite, raum-zeitliche Beschreibung der Zustandsänderung, die sowohl mathematisch minimal als auch phänomenologisch nachvollziehbar ist.

## 27.14 Vergleich: Klassische Elektrodynamik vs. Elementarkörper-Theorie (EKT)

Die EKT bietet eine radikal andere Perspektive: Photonen werden als Elementarkörper in einem Zustand maximaler Bewegung interpretiert, deren physikalische Manifestation erst bei der

Wechselwirkung sichtbar wird.

## 27.15 Beugung und Interferenz

| **Aspekt** | **Klassische Sicht** | **EKT-Sicht** |
|---|---|---|
| Modell | Licht = Welle → Interferenz durch Überlagerung | Photon = Elementarkörper in maximaler Bewegung (raum- und masselos) |
| Ursprung der Muster | Wellenüberlagerung | Räumlich begrenzte Wechselwirkung des Photons mit Spalten/Detektoren, phasensynchron |

Tabelle 3: Vergleich von Beugung und Interferenz

Kernidee: Interferenz entsteht nicht durch Oszillation des Photons selbst, sondern durch die strukturierte Manifestation seiner informationellen Energie bei der Wechselwirkung.

## 27.16 Compton-Streuung

| **Aspekt** | **Klassische Sicht** | **EKT-Sicht** |
|---|---|---|
| Modell | Photon = Teilchen → Impulsübertrag | Photon trifft Elektron → sinusförmige Entfaltung setzt ein; kinetische Energie geht in den massiven Zustand des Elektrons über |
| Mechanismus | Teilchenstoß | Manifestation der Zustandsänderung des Photon-Elementarkörpers |

Tabelle 4: Vergleich der Compton-Streuung

Kernidee: Compton-Effekt = lokale Zustandsänderung des Photons, kein kontinuierlicher Energiefluss durch ein Wellenfeld.

## 27.17 Paarbildung und -vernichtung

| **Aspekt** | **Klassische Sicht** | **EKT-Sicht** |
|---|---|---|
| Modell | Photonenenergie → Teilchen-Antiteilchen | Mindestens zwei Elementarkörper erforderlich; ein Photon allein ist ein reiner Bewegungszustand |
| Mechanismus | Energie → Masse | Synchronisation zweier sinusförmiger Entfaltungen → Masse entsteht aus informationeller Energie |

Tabelle 5: Vergleich der Paarbildung

Kernidee: Massenbildung = materielle Realisierung informationeller Energie, keine intrinsische Eigenschaft des Photons.

## 27.18 Strahlungsdruck und Gravitation

| **Aspekt** | **Klassische Sicht** | **EKT-Sicht** |
|---|---|---|
| Strahlungsdruck | Photonenimpuls | Informationelle Energie → physikalische Kraft bei Absorption |
| Gravitation | Masse/Teilchen erzeugt Gravitationskraft | Manifestierte Masse aus Elementarkörpern → gravitativ wirksam |

Tabelle 6: Vergleich von Strahlungsdruck und Gravitation

Kernidee: Physikalische Effekte der Strahlung werden erst bei lokaler Manifestation informationeller Energie sichtbar, nicht intrinsisch aus der Feldenergie abgeleitet.

## 27.19 Zusammenfassung der phänomenologischen Implikationen

| **Experiment** | **Klassische Sicht** | **EKT-Sicht (Phänomenologisch)** |
|---|---|---|
| Beugung / Interferenz | Welle → Überlagerung | Photon = informationeller Zustand; räumlich begrenzte Entfaltung bei Wechselwirkung |
| Compton | Teilchen → Impulsübertrag | Sinusförmige Entfaltung → kinetische Energie → Massenübertrag |
| Paarbildung | Energie → Masse | Zwei synchronisierte Elementarkörper → Manifestation von Masse |
| Strahlungsdruck | Photonenimpuls | Informationelle Energie → physikalische Kraft bei Wechselwirkung |
| Gravitation | Masse/Teilchen | Manifestierte Masse aus Elementarkörpern → gravitativ wirksam |

Tabelle 7: Vergleich der phänomenologischen Interpretationen

## 27.20 Kernaussagen

Die EKT bietet ein intuitives, phänomenologisches Konzeptmodell, das klassische Paradoxa auflöst:

- Photonen sind keine intrinsischen Wellen oder Teilchen, sondern Zustände reiner Bewegungsinformation.
- Der Nullpunkt repräsentiert nicht „Nichts“, sondern den maximalen Bewegungszustand – die (zeitlose) Lichtgeschwindigkeit.
- Ihre physikalische Manifestation in Form von Masse, Impuls oder Energie erfolgt erst bei der Wechselwirkung als sinusförmige Ausschwingung.
- Nullstellen, Maxima oder scheinbare „Pendelbewegungen“ der Energie im Fernfeld existieren nicht als physikalische Realität; Energie entfaltet sich kontinuierlich und lokal während der Wechselwirkung.
- Beugung, der Compton-Effekt, Paarbildung, Strahlungsdruck und Gravitation werden durch die Entfaltung informationeller Energie phänomenologisch verständlich.
- Information und materieller Zustand sind zwei Seiten derselben Medaille, verbunden durch die fundamentale Masse-Radius-Kopplung $m_0 r_0 = 2h/(\pi c)$.

- Die sieben in Abschnitt 4.4 aufgeführten Streuformeln belegen die experimentelle Relevanz des aus der Masse-Radius-Kopplung abgeleiteten klassischen Radius $r_{\mathrm{kl}} = \frac{\alpha}{4} r_0$.
- Wissenschaftstheoretisch ist der phänomenologische Verzicht der QED keine Tugend, sondern eine Notwendigkeit.

Die EKT ersetzt die abstrakte, formale Beschreibung durch ein intuitives, minimal konsistentes Modell, das die Manifestation von Energie und Masse als Zustand versteht, nicht als kontinuierliche Feldoszillation.

## .1 Zusätzliche Informationen - Ist die Quantenmechanik unverständlich?

Eine weit verbreitete und gern geäußerte Schutzbehauptung besagt, dass die Quantenmechanik (QM) zwar unverständlich, irgendwie »seltsam« sei, aber wissenschaftlich betrachtet, sehr voraussagepräzise ist.

Das hat(te) für die »QM-Bewahrer« den Vorteil, das sich nahezu niemand aufgerufen fühlt(e), sich kritisch mit Annahmen und Aussagepostulaten der QM zu beschäftigen.

Erst einmal, die Quantenmechanik ist aus mathematischer Sicht nicht »seltsam«. Es gibt im großen »Spektrum der Mathematik« deutlich schwierigere, komplexere und vor allen Dingen deutlich abstraktere Themenfelder. Siehe beispielsweise »Differentialtopologie« und »Abstrakte Algebra«.

### .1.1 Mathematische Hintergründe, ursprünglicher Sinn und Zweck, willentlicher Verzicht auf Anschauung

Gemäß dem Satz von Weierstraß lassen sich „beliebige“ Kurven durch „Sinus-Kosinus-Funktions-Kombinationen“ zumindest abschnittsweise nähern. Wenn die Funktion in einen neuen (Teil-) Abschnitt wechselt, werden im Grenzübergang die einzelnen Abschnitte immer kürzer und »schrumpfen« schließlich auf Punkte zusammen. Die Funktion wird punktweise angenähert. In diesem Grenzfall ist wieder das ursprüngliche Bild der differenzierbaren Mannigfaltigkeit erreicht, in dem jetzt die Eigenbasis des Bewegungsraums die Bausteine aus den Sinus- und Kosinus-Funktionen sind. Ohne auf weitere mathematische Fragen einzugehen folgt, dass jede mathematische Funktion $f(t)$ durch folgende Gleichung entwickelt werden kann (Fourier-Reihe):

Fourierreihen lassen sich in der Form:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos(kt) + b_k \sin(kt))$$

darstellen.

$$a_k = c_k + c_{-k} \quad k \geq 0$$

$$b_k = i(c_k - c_{-k}) \quad k \geq 1$$

$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t) \cdot \cos(kt)\, dt \quad k \geq 0$$

$$b_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t) \cdot \sin(kt)\, dt \quad k \geq 1$$

Räume mit dieser Struktur werden als Hilbert-Räume bezeichnet. Im 20. Jahrhundert wurde dieser Ansatz erst in die Atomspektroskopie und dann allgemein in Quantenfeldtheorien eingeführt.

So wie ein Klang in dem Grundton $x$ und die Obertöne $2x$, $3x$, $4x$ ... darstellbar ist, wird in der Quantenfeldtheorie der Zustand eines Teilchens (z.B. eines Elektrons) in einen Grundzustand $x$ und höhere Zustände zerlegt. Am Anfang steht also die qualitative Zerlegung in Grundelemente, dann folgt für jedes Grundelement die Zerlegung in die „Obertonreihe“ (Fourier-Reihe). Insgesamt können nun Wahrscheinlichkeiten definiert respektive (interpretiert) gemessen werden, mit denen sich das Elektron in einem der möglichen Zustände befindet. Wenn man genauer hinschaut folgt hier die ganzzahlige Quantisierung banalerweise aus der mathematischen Darstellung. Der Formalismus ermöglicht nun die vermeintliche „Bequemlichkeit“ sich nicht realobjekt-inhaltlich mit der Phänomenologie der Quantisierung auseinandersetzen zu müssen um Ergebnisse zu erhalten.

### .1.2 Kopenhagener Deutung von 1927

Im Zuge der Kopenhagener Interpretation der Quantenmechanik ist der Realitätsverlust methodisch und gewollt. Gemäß der Kopenhagener Deutung von 1927 ist der Wahrscheinlichkeitscharakter quantentheoretischer Vorhersagen nicht Ausdruck der Unvollkommenheit der Theorie, sondern des prinzipiell indeterministischen (unvorhersagbaren) Charakters von quantenphysikalischen Naturvorgängen. Des Weiteren »ersetzen« die »Objekte des Formalismus« die Realität, ohne selbst eine Realität zu besitzen. Die Kopenhagener Deutung zeichnet sich durch die Bequemlichkeit aus, die sie ihren »Gläubigen« liefert. Der Welle-Teilchen-Dualismus gestattet(e) ein »Umsteigen« auf die »Welle« mit einer $e$-Funktion mit komplexem Exponent, welcher gemäß Fourier-Theorems es wiederum gestattet »ALLES« stückweise monotone, also auch jedes experimentelle Ergebnis, formal mathematisch darzustellen. Die statistische Deutung hält von der Mühe ab, den physikalischen Prozeß zu erkunden, Anschaulichkeit und Phänomenologie werden ausgeblendet. Interessanterweise war es Albert Einstein (1879 – 1955) der die Quantenmechanik »schon früh« – nachvollziehbar argumentativ begründet – als unbrauchbar identifizierte:

> *..."die $\psi$-Funktion ist als Beschreibung nicht eines Einzelsystems, sondern einer Systemgemeinschaft aufzufassen. Roh ausgesprochen lautet dies Ergebnis: Im Rahmen der statistischen Interpretation gibt es keine vollständige Beschreibung des Einzelsystems. Vorsichtig kann man so sagen: Der Versuch, die quantentheoretische Beschreibung der individuellen Systeme aufzufassen, führt zu unnatürlichen theoretischen Interpretationen, die sofort unnötig werden, wenn man die Auffassung akzeptiert, daß die Beschreibung sich auf die Systemgesamtheit und nicht auf das Einzelsystem bezieht. Es wird dann der ganze Eiertanz zur Vermeidung des 'Physikalisch-Realen' überflüssig. Es gibt jedoch einen einfachen physiologischen Grund dafür, warum diese naheliegende Interpretation vermieden wird. Wenn nämlich die statistische Quantentheorie das Einzelsystem (und seinen zeitlichen Ablauf) nicht vollständig zu beschreiben vorgibt, dann erscheint es unvermeidlich, anderweitig nach einer vollständigen Beschreibung des Einzelsystems zu suchen, dabei wäre von vornherein klar, daß die Elemente einer solchen Beschreibung innerhalb des Begriffsschemas der statistischen Quantentheorie nicht enthalten wäre. Damit würde man zugeben, daß dieses Schema im Prinzip nicht als Basis der theoretischen Physik dienen könne. Die statistische Theorie würde – im Fall des Gelingens solcher Bemühungen – im Rahmen der zukünftigen Physik eine einigermaßen analoge Stellung einnehmen wie die statistische Mechanik im Rahmen der klassischen Mechanik."*
>
> – A. Einstein, *Out of my later years.* Phil Lib. New York 1950, Seite 498

Einsteins unschlagbare Argumente wurden und werden bis heute ignoriert. Einsteins kritische Äußerungen, insbesondere zur Quantenmechanik, führten letztendlich zu seiner Isolation. Er war

zwar später ein »Medienstar« aber wissenschaftlich ohne weitere Bedeutung.

Der große Mathematiker, John von Neumann (geb. Neumann János 1903 – 1957) publizierte 1932 sein opus magnum über die Mathematischen Grundlagen der Quantenmechanik. Das Datum der Publikation dieses Buchs hielt Carl-Friedrich von Weizsäcker für den Beginn der „Machtübernahme“ der Mathematik in der theoretischen Physik. Doch schon vor diesem Datum befielen von Neumann Zweifel an seiner Theorie. Dann im Jahr 1935 wies er nach, dass jede Theorie der Quantenmechanik, die auf dem »Hilbertraum« als Bezugsbasis entwickelt wird, physikalisch inakzeptabel ist. Jeden klaren Kommentar in der Öffentlichkeit darüber vermied er sein Leben lang, obwohl er zusammen mit F. J. Murray in einer Serie von mathematisch höchst innovativen Publikationen zur Algebra (Von-Neumann-Algebren) nachwies, wie eine zutreffende Fassung der Quantenmechanik zu gestalten sei.

Im wahrlich umfangreichen Bestand an Publikationen zur Quantentheorie findet man zu von Neumanns Dilemma kaum eine substantielle Notiz. Erst 44 Jahre nach seinem Tod im Jahr 1957 kann die Fachöffentlichkeit aus mehreren privaten Äußerungen erfahren, warum von Neumann niemals sein berühmtes Buch von 1932 widerrufen oder zurückgezogen hat. Das Motiv war einfach: Seine »Falsifikation« hätte niemand der Fachkollegen ernst genommen, da z. B. der »Hilbertraum« weltweit längst zum Grundbestand der Quantentheorie gehört. Aber auch gravierende thermodynamische Einwände spielten eine Rolle, mit denen sich außer von Neumann keiner der großen Quantenheroen in ihren Lehrbüchern befasste. (Quelle: *Nichtmechanistische Darstellung der physikalischen Disziplinen als mathematische Systemtheorie*, Vilmos Balogh)

### .1.3 Voraussagefähigkeit der Quantenmechanik

Die innerhalb der Quantenmechanik (QM) und daraus folgend innerhalb der Quantenfeldtheorien (QFTn) verwendete, teils neu definierte Mathematik (Stichworte: Störungstheorie, Regularisierung, Renormierung), ist phänomenologisch unbegründet. Sie ist formal(-axiomatisch) deutlich komplexer und schwieriger verständlich als die bloße Erkenntnis, dass beispielsweise Energie-Niveaus in Abhängigkeit der Hauptquantenzahl $n$ mit $1/(n^2-(n+1)^2)$ »quantisiert« sind, kommt aber über den Status einer Rechenvorschrift nicht hinaus. Zudem gibt es im Rahmen der Störungstheorie keine formal-analytischen Lösungen. Wenn also Quantenelektrodynamik (QED) basierend von einer hervorragenden Übereinstimmung von Theorie und Experiment berichtet wird, dann handelt es sich um gigantische Lösungssysteme, dessen iterative Ergebnisse den Meßwerten immer wieder angepasst wurden. Die einen sagen es nicht, die anderen durchschauen es nicht.

## .2 Mythos »Theorieschaft« [Theorie schafft]

Praktisch orientierte Ägypter, Römer und Griechen erschufen lange vor Einführung der Integral- und Differentialrechnung, lange vor theoretischen Modellen zur Tragfähigkeit und Biegemöglichkeit von Balken und Säulen, komplexe Bauwerke, deren Fragmente teils auch heute noch zu besichtigen sind. Nicht die Theorie zum Halbleiter schuf den Halbleiter, der Halbleiter als elektrotechnisches Bastel- und Tüftler-Objekt ließ Spielraum für theoretische Betrachtungen. Funktionierende Technik als Innovation Angewandter Physik bedarf und bedurfte versuchsfreudiger „Macher“, (Miß-)Erfolge (trial & error) zeigten den Weg.

### .2.1 Physik und Philosophie – Thesen und Realität

„Die Physik beantwortet Wie-Fragen, die Philosophie beantwortet Warum-Fragen.“ Naja, Philosophen äußern Meinungen, selten bis nie handelt es sich um Antworten, die inhaltlich über willkürliche, subjektive Bewertungen hinausgehen. Im Rahmen der Angewandten Physik gibt es praktische Antworten, die im Ergebnis beispielsweise Speichermedien, Kommunikation und realen Transport möglich machen. In der Modernen Theoretischen Physik gibt es seit mehr als

100 Jahren keine Antworten mehr, die phänomenologisch basierend begründet sind, sofern man anschauliche Realphysik fordert.

Um übergeordnet verstehen zu können, warum sich das Standardmodell der (Elementar-) Teilchenphysik (**SM**) und das Kosmologische Standardmodell (**ΛCDM-Modell**) ohne große Gegenwehr etablieren konnten, ist zu bemerken, dass diese Modellbetrachtungen für die Realphysikforschung sprich Material- und Anwendungs-Forschung **keinerlei Bedeutung** hatten und haben. Das gilt sowohl für die „Diagnostik" (Materialuntersuchungen), als auch für die Konstruktion von (Material-)Anwendungen.

Tatsache ist: Theoretische Modelle hink(t)en stets der (meßbaren) Realität hinterher. Der Mythos, das hochkomplexe, mathematische Theorien die Wirklichkeit beschreiben und Neues generieren konnten und können, lebt. Dass jedoch die Voraussagefähigkeiten der theoretischen Modelle, bei genauer Sicht, Ergebnisse von immer wieder (neu) durchgeführten Nachkorrekturen sind, erschließt sich den meisten Interessierten nicht. Realobjekt-Interpretationen werden im Rahmen der Standardmodelle aus mathematisch formalisierten (mitunter esoterischen) Konzepten geboren. Theoretisches wurde über Jahrzehnte immer wieder genaueren Meßergebnissen angepasst. Sei es durch Zusatzrechnungen, neue Quantenzahlen, neue Wechselwirkungspostulate und neuen Substrukturthesen, sowie extrem zeitintensiven, iterativ-algorithmisch nachkorrigierten Ergebnissen mittels Cluster-Rechenanlagen respektive »Super-Computern«.

### .2.2 Exemplarisch: Berechnungen zum anomalen magnetischen Moment des Elektrons

Siehe: *Calculating the five-loop QED contribution to the electron anomalous magnetic moment: Graphs without lepton loops*, veröffentlicht im November 2019.

Autor: Dr. Sergey Volkov [Fachgebiete u.a. Kern- und Elementarteilchen-Physik, Relativitätstheorie]. Da die Ergebnisse von den vom Autor vorgegebenen Anfangsparametern sowie den theoretischen Modellerwartungen im Hinblick auf ergebnisorientierte, experimentelle Werte abhängig sind, stellt sich hier, auch ohne jegliche Kenntnis der Berechnungs-Details, die zentrale Frage, ob der Autor – stellvertretend für alle Autoren dieser Art von »Berechnungen« – nicht realisiert, das die so erzielten Ergebnisse selbstprophetisch sind respektive einen methodischen Selbstbetrug abbilden.

| | **Calc 1** | **Calc 2** |
|---|---|---|
| Value | 6.74(13) | 6.84(12) |
| $\sigma_t/\sigma_i$ | 1.31 | 1.31 |
| $N_{\text{total}}$ | $15 \times 10^{13}$ | $17 \times 10^{13}$ |
| $N_{\text{EIA}}$ | $34 \times 10^{12}$ | $39 \times 10^{12}$ |
| $N_{\text{fail}}$ | $38 \times 10^{10}$ | $42 \times 10^{10}$ |
| $N_{128}$ | $67 \times 10^{6}$ | $73 \times 10^{6}$ |
| $N_{\text{fail 192}}$ | 10787 | 2453 |
| $N_{256}$ | 8669 | 0 |
| $N_{\text{dens out of double}}$ | $11 \times 10^{5}$ | $13 \times 10^{5}$ |
| Total calculation time, GPU-hours | 19515 | 20341 |
| Total calculation time: $\sim$ 813 Tage (Calc 1) / $\sim$ 848 Tage (Calc 2) | | |

Tabelle 8: Technische Informationen zur Fünf-Loop-QED-Berechnung (Auszug)

Quelle: *Calculating the five-loop QED contribution to the electron anomalous magnetic moment: Graphs without lepton loops*, `https://journals.aps.org/prd/pdf/10.1103/PhysRevD.100.096004`

### .2.3 Kritische Stimmen zur Renormierung und Regularisierung

Um einen Eindruck von der grundsätzlichen Theorie-Problematik der „Strahlungskorrekturen“ in einem historischen Zusammenhang zu bekommen, empfiehlt sich der Beitrag von Mario Bacelar Valente: *The renormalization of charge and temporality in quantum electrodynamics.*

An konkreten Beispielen zeigt Valente auf, wie ergebnisorientierte, teils willkürliche „mathematische Erweiterungen und Umformungen“ in die Berechnungen einfließen und wie „hier und da“ Terme als unphysikalisch erklärt und deren Divergenzen nicht weiter berücksichtigt werden. Das ist höchst problematisch, da keine verbindlich axiomatischen Regeln gelten. Des Weiteren wird deutlich, dass keine physikalischen Interpretationen existieren, die die mathematischen Prozeduren mit phänomenologischen Inhalten ffüllen.

**Meinungen (Textauszüge):**

Selbst in Anbetracht der Genauigkeit der Theorie bei niedrigeren Energien **vertrat Schwinger die Ansicht, dass das Renormierungsverfahren, das es ermöglicht, die Unendlichkeiten in den Berechnungsergebnissen zu vermeiden, letztendlich aus der Physik ausgeschlossen werden muss**. Die Position von **Paul Dirac** war diesbezüglich ähnlich: »Ich bin sehr unzufrieden mit der Situation, weil diese sogenannte »gute Theorie« die Vernachlässigung von Unendlichkeiten beinhaltet, die in ihren Gleichungen auftauchen.«

*“Even considering the accuracy of the theory at lower energies, Schwinger considered that the renormalization procedure, that permits avoiding the infinites in the results of the calculations, ultimately has to be excluded from physics. Regarding this problem the position of Paul Dirac was even less sympathetic: “I am very dissatisfied with the situation, because this so-called “good theory” does involve neglecting infinities which appear in its equations.”*

(Kragh, H. (1990, 184). *Dirac: a scientific biography.* Cambridge: Cambridge University Press.)

**Landau** vertrat die Auffassung, dass die Grenzen der Quantenelektrodynamik noch drastischer seien, weil sie auf sehr grundlegende strukturelle Probleme im Aufbau der Theorie zurückzuführen seien: Für sie waren allein schon das Konzept eines lokalen Feldoperators und die Postulierung eines detaillierten Mechanismus für die Wechselwirkung in einer mikroskopischen Raumzeitregion völlig inakzeptabel.

*“Landau considered that the limitations of quantum electrodynamics were even more drastic, because they would be due to very basic structural problems in the design of the theory: “for them the very concept of a local field operator and the postulation of any detailed mechanism for interaction in a microscopic spacetime region were totally unacceptable”.”*

(Cao, T. Y., & Schweber, S. S. (1993). The conceptual foundations and philosophical aspects of renormalization theory. *Synthese*, 97, 33–108.)

**Richard Feynman** schrieb in *The Strange Theory of Light and Matter* (1985):

„Das Shell-Spiel, das wir spielen, wird technisch als »Renormalisierung« bezeichnet. Aber egal wie schlau das Wort ist, ich würde es immer noch als schwachen Prozess bezeichnen! Der Rückgriff auf einen solchen Hokuspokus hat uns daran gehindert zu beweisen, dass die Theorie der Quantenelektrodynamik mathematisch in sich konsistent ist. Es ist überraschend, dass sich die Theorie auf die eine oder andere Weise als in sich konsistent erwiesen hat. Ich vermute, dass Renormalisierung mathematisch nicht legitim ist.“

*“The shell game that we play is technically called ’renormalization’. But no matter how clever the word, it is still what I would call a dippy process! Having to resort to such hocus-pocus has prevented us from proving that the theory of quantum electrodynamics is mathematically self-consistent. It’s surprising that the theory still hasn’t been proved self-consistent one way or the other by now; I suspect that renormalization is not mathematically legitimate.”*

**Paul Dirac** schrieb 1963 in dem Artikel *The Evolution of the Physicist's Picture of Nature*:

"Die meisten Physiker sind sehr zufrieden mit der Situation. Sie sagen: 'Die Quantenelektrodynamik ist eine gute Theorie, über die wir uns keine Gedanken mehr machen müssen.' Ich muss sagen, dass ich mit der Situation sehr unzufrieden bin, denn diese so genannte 'gute Theorie' beinhaltet die Vernachlässigung von Unendlichkeiten, die in ihren Gleichungen auftauchen, und zwar auf eine willkürliche Weise. Das ist einfach keine vernünftige Mathematik. Vernünftige Mathematik beinhaltet, dass man eine Größe vernachlässigt, wenn sie klein ist – und nicht, dass man sie vernachlässigt, nur weil sie unendlich groß ist und man sie nicht haben will!"

*"Most physicists are very satisfied with the situation. They say: 'Quantum electrodynamics is a good theory and we do not have to worry about it any more.' I must say that I am very dissatisfied with the situation because this so-called 'good theory' does involve neglecting infinities which appear in its equations, ignoring them in an arbitrary way. This is just not sensible mathematics. Sensible mathematics involves disregarding a quantity when it is small – not neglecting it just because it is infinitely great and you do not want it!"*

**Abdus Salam** schrieb 1972 in *Infinity Suppression Gravity Modified Quantum Electrodynamics II*:

"Die feldtheoretischen Unendlichkeiten, die erstmals bei der Berechnung der Eigenmasse des Elektrons durch Lorentz auftraten, halten sich in der klassischen Elektrodynamik seit siebzig und in der Quantenelektrodynamik seit etwa fünfunddreißig Jahren. Diese langen Jahre der Frustration haben in der Fachwelt eine merkwürdige Zuneigung zu den Unendlichkeiten und einen leidenschaftlichen Glauben daran hinterlassen, dass sie ein unvermeidlicher Teil der Natur sind; so sehr, dass sogar die Andeutung einer Hoffnung, dass sie vielleicht doch umgangen werden können – und endliche Werte für die Renormierungskonstanten berechnet werden können – als irrational angesehen wird."

*"Field-theoretic infinities — first encountered in Lorentz's computation of electron self-mass — have persisted in classical electrodynamics for seventy and in quantum electrodynamics for some thirty-five years. These long years of frustration have left in the subject a curious affection for the infinities and a passionate belief that they are an inevitable part of nature; so much so that even the suggestion of a hope that they may, after all, be circumvented — and finite values for the renormalization constants computed — is considered irrational."*

**Paul Dirac** (weiteres Zitat):

"Die Renormierung ist nur ein Notbehelf. Unsere Vorstellungen müssen sich grundlegend ändern, wahrscheinlich so grundlegend wie der Übergang von der Bohrschen Bahntheorie zur Quantenmechanik. Wenn sich eine Zahl als unendlich herausstellt, die eigentlich endlich sein sollte, sollte man zugeben, dass mit den Gleichungen etwas nicht stimmt, und nicht hoffen, dass man eine gute Theorie bekommt, indem man die Zahl einfach aufbessert."

*RRenormalization is just a stop-gap procedure. There must be some fundamental change in our ideas, probably a change just as fundamental as the passage from Bohr's orbit theory to quantum mechanics. When you get a number turning out to be infinite which ought to be finite, you should admit that there is something wrong with your equations, and not hope that you can get a good theory just by doctoring up that number."*

Quelle: *Something is wrong in the state of QED ...* – Renormierung und Regularisierung (Fragmentarisches zum Grundverständnis)

### .2.4 Das »zauberhafte« fine-tuning – die an den Haaren herbeigezogene Feinabstimmung

Während die dimensionale Regularisierung aus Sicht des SM vor allem praktisch ist, kann man sich »dort« auf den Standpunkt stellen, das die Impulsintegrale bei einem bestimmten

Maximalimpuls $\Lambda$ abgeschnitten werden, da bei größeren Impulsen das Standardmodell durch eine andere (vereinheitlichende) Theorie ersetzt werden muss. Eine natürliche Wahl für $\Lambda$ wäre dann $\Lambda \sim m_{\text{Planck}}$. Berechnet man die Strahlungskorrekturen zu den Fermionmassen, dann erhält man daraus einen zum Logarithmus von $\Lambda$ proportionalen Korrekturterm, der auch bei $\Lambda \sim m_{\text{Planck}}$ nur wenige Prozent der nnacktenMMasse ausmacht. Anders bei der Higgs-Masse: Hier liefert die Strahlungskorrektur einen zu $\Lambda$ proportionalen Anteil. Die Higgs-Masse $m_H \sim 125$ GeV führt zu der Situation, **dass sich die Strahlungskorrekturen und die nackte Masse auf 17 (siebzehn!!!) Nachkommastellen genau aufheben müssen!**

Wikipedia »berichtet« zur Orientierung (für das "Gemeine Volk")

zum fine-tuning ppassenden"Hierachieproblem u.a.:

[deutsch:] *»Auch wenn das Higgs-Boson zentraler Bestandteil des Standardmodells der Elementarteilchenphysik ist, ist das Hierarchieproblem kein Problem des Standardmodells selbst... Streng genommen kann das Hierarchieproblem innerhalb des Standardmodells nicht einmal formuliert werden, da eine Berechnung der Higgs-Masse dort nicht möglich ist...."*

[englisch:] *Suppose a physics model requires four parameters which allow it to produce a very high-quality working model, generating predictions of some aspect of our physical universe. Suppose we find through experiments that the parameters have values: 1.2, 1.31, 0.9 and 404,331,557,902,116,024,553,602,703,216.58 (roughly* $4 \times 10^{29}$*). Scientists might wonder how such figures arise. But in particular, might be especially curious about a theory where three values are close to one, and the fourth is so different; in other words, the huge disproportion we seem to find between the first three parameters and the fourth. We might also wonder if one force is so much weaker than the others that it needs a factor of* $4 \times 10^{29}$ *to allow it to be related to them in terms of effects, how did our universe come to be so exactly balanced when its forces emerged? In current particle physics, the differences between some parameters are much larger than this, so the question is even more noteworthy."*

Nun, das das nichts mehr mit exakter Wissenschaft sondern nur noch mit brachialem Wünsch-Dir-Was-Denken und Wünsch-Dir-Was-Machen, egal zu welchem absurden Preis, zu tun hat, steht – analytisch rational betrachtet – außer Frage.

Es gibt eine Vielzahl weiterer – wahrlich unglaublicher – Aspekte zur Renormierung und Regularisierung, deren hier explizite Erörterung bei Weitem den Rahmen sprengen und unnötig den Fokus verschieben würde.

Um es kurz und plakativ »zu machen«: So definierte sich später fortschreitend die Quantenmechanik, bereits in den Anfängen Quantenelektrodynamik (QED) und Quantenchromodynamik (QCD). Es wird solange (mathematisch) modelliert, bis die gewünschten Ergebnisse vorliegen, was mitunter – trotz »Super-Computern« – Jahre dauert.

---

## Weiterführendes - Gesamtübersicht

`https://www.dualismus.net/elementarybodytheory/website/`