Apeiron: Grundlagen eines universalen Trägeransatzes

— eine effektive Feldtheorie und ihr Forschungsprogramm

Josip Fellner
Independent Researcher
ORCID: 0009-0003-1705-3985
info@apeironfield.com

Redaktionelle Version 3.0 — Publikationsausgabe 3.0-publication.1
25. September 2026

Deutsche technische Begleitfassung. Vollständige Übersetzung der englischen redaktionellen Version 3.0; keine eigenständige Veröffentlichung und keine neue wissenschaftliche Version. Die wissenschaftlichen Aussagen, Formeln, Parameter und Nummern folgen der englischen Vorlage. Literaturtitel und die ursprünglichen Textbezeichnungen innerhalb von Formeln bleiben zur eindeutigen Zuordnung erhalten. Die begleitende Übersetzungsnotiz dokumentiert die Zuordnung zu den englischen Quelldateien und zur englischen PDF.

Zusammenfassung

Apeiron schlägt einen universalen fundamentalen dynamischen Träger als gemeinsame physikalische Grundlage unterschiedlich organisierter Erscheinungsformen von Materie, Phänomenen des dunklen Sektors und effektiver kausaler Geometrie vor. Diese Arbeit gibt dem Forschungsansatz durch eine ausdrücklich spezifizierte lokale effektive Skalarfeldtheorie mit drei Feldern eine konkrete mathematische Grundlage. Der beibehaltene Beitrag umfasst eine festgelegte Wirkung und einen Parameter-Benchmark, geprüfte Feldgleichungen und einen geprüften Energie-Impuls-Tensor, die korrigierte kinetische Phasennormierung, ein bereits geprüftes lokales Spektrum und eine bedingte charakteristische Beziehung. Im zulässigen Bereich mit zeitartigem Gradienten ist die charakteristische Phasenausbreitung positiv und nicht schneller als der metrische Kegel; auf dem ausgewählten statischen Hintergrund teilen die drei Felder den metrischen Kegel. Dieselbe Wirkung liefert eine präzise kosmologische Einschränkung: Ihre Nullenergiebedingung schlieSSt zusammen mit minimaler Einstein-Kopplung und räumlich flacher homogener Geometrie einen nichtsingulären Bounce innerhalb dieses Bereichs aus. Dies benennt Voraussetzungen, die für diesen kosmologischen Übergang nicht ausreichen, statt jede mögliche Trägerrealisierung zu prüfen oder die gesonderte Frage lokaler Rückwandlung in schwarzen Löchern zu entscheiden. Die ursprünglichen Zweige zu Geometrie, Rückwandlung, Entropie und bedingter Quantenstruktur bestimmen weitere zu untersuchende physikalische Verbindungen. Ein gestuftes Forschungsprogramm benennt die nächsten Ergebnisse: Trägerdynamik und effektives Matching, Verbindungen zu physikalischen Sektoren und Geometrie, kontrollierte Entwicklung sowie unabhängig kalibrierte Beobachtungstests. Die effektive Theorie ist ein ausdrücklich ausgearbeiteter Sektor; sie und beobachtete physikalische Strukturen aus dem universalen Träger herzuleiten bleibt die zentrale Grundlagenaufgabe. Die Darstellung erhält die mathematischen Ergebnisse, ihre Annahmen und den bestehenden wissenschaftlichen Status, ohne neue Berechnungen oder empirische Bestätigung einzuführen.

1 Beitrag und physikalischer Geltungsbereich

Der Apeiron-Ansatz verbindet eine vereinheitlichende physikalische Hypothese mit einer festgelegten effektiven Feldtheorie und einem Programm, das beide miteinander verbinden soll. Die Hypothese fragt, ob die physikalische Vielfalt des Universums aus unterschiedlichen Organisationen eines einzigen fundamentalen dynamischen Trägers entstehen kann. Ihr angestrebter

Erkenntnisgewinn ist eine gemeinsame dynamische Erklärung, die sowohl Unterschiede als auch einschränkende Beziehungen zwischen Materie, Phänomenen des dunklen Sektors und kausaler Geometrie reproduziert.

Der konkrete Beitrag ist die beibehaltene lokale Skalartheorie. Ihre Wirkung legt die Gleichungen, den Energie-Impuls-Tensor und den zulässigen Bereich fest. Korrigierte kinetische Normierung, das bereits geprüfte lokale Spektrum und die charakteristische Beziehung liefern bestimmte Ausgangspunkte für weitere theoretische Arbeit und bedingte Tests. Die kosmologische Analyse klärt auSSerdem, welche Kombination von Annahmen keinen nichtsingulären Bounce liefern kann. Diese Ergebnisse betreffen die ausgewählte effektive Theorie; der universale Träger ist die umfassendere physikalische Hypothese, mit der sie noch zu verbinden ist.

Die Quellen sind der ursprüngliche Apeiron-Preprint v1.6, seine beibehaltene kanonische Spezifikation v1.5 und der wiedergewonnene interne Skalar-EFT-Bestand [1, 2]. Die Abschnitte 3–5 und Anhang A behalten die mathematischen Kerndateien der Version 2 unverändert bei. Diese redaktionelle Version ordnet Erklärung und Forschungsprioritäten neu, ohne Gleichungen, Annahmen, Parameter oder wissenschaftliche Einstufungen zu ändern. Der Änderungsnachweis trennt diese Darstellungsänderungen von den bewahrten Quellenergebnissen.

Die Arbeit formuliert zunächst die Trägerhypothese und die Rollen ihrer wesentlichen Zweige. AnschlieSSend stellt sie die konkrete effektive Theorie und ihre bedingte Testperspektive vor und entwickelt darauf aufbauend das Forschungsprogramm. Jede Stufe benennt die vorhandene Grundlage, die gesuchte physikalische Verbindung und die Bedingungen zur Beurteilung einer vorgeschlagenen Realisierung. Diese Reihenfolge hält erreichte Ergebnisse sichtbar und macht aus ihrem präzisen Geltungsbereich ausdrückliche nächste Aufgaben.

2 Die Hypothese eines universalen fundamentalen Trägers

2.1 Der physikalische Vorschlag

Apeiron postuliert einen einzigen universalen fundamentalen dynamischen Träger, dessen unterschiedlich organisierte Zustände der beobachtbaren Materie, den Phänomenen des dunklen Sektors und der effektiven kausalen Geometrie zugrunde liegen könnten. Dies ist die leitende Hypothese des Programms. Ihr Ziel ist eine gemeinsame physikalische Erklärung scheinbar verschiedener Sektoren durch deren Zustände, Organisation und Dynamik. Eine erfolgreiche Realisierung müsste sowohl ihre Unterschiede als auch ihren gemeinsamen Ursprung erklären.

Die Begriffe erfüllen bestimmte Aufgaben. *Universal* bezeichnet die beabsichtigte Reichweite über die physikalischen Sektoren hinweg. *Fundamental* verortet den Träger unterhalb der effektiven Beschreibungen dieser Sektoren. *Träger* benennt die vorgeschlagene physikalische Grundlage, deren Organisation sie ermöglicht; der Begriff identifiziert weder ein bestimmtes beobachtetes Teilchen noch legt er einen mikroskopischen Zustandsraum fest. Die ursprüngliche Formulierung wählt weder ein Gitter von Konstituenten noch ein zusätzliches kanonisches Skalarfeld oder eine eindeutige prä-geometrische Dynamik. Solche Entscheidungen wären substanzielle theoretische Festlegungen, die in einer Realisierung spezifiziert und geprüft werden müssten. Die Quelle dieser Interpretation ist die ursprüngliche Ein-Träger-Aussage in Abschnitt 3.4 des Preprints v1.6, ergänzt durch ihre kausal-geometrische Weiterentwicklung in den Abschnitten 11.1–11.4 [1].

Nach diesem Vorschlag ist gewöhnliche baryonische Materie eine organisierte Manifestation desselben Trägers. Gravitationswirkungen, die dunkler Materie ähneln, und ein großskaliges Verhalten, das dunkler Energie ähnelt, sind mögliche Manifestationen oder dynamische Zustände und keine unabhängig postulierten fundamentalen Substanzen. Dies ist ein vorgeschlagener Erklärungszusammenhang, keine bereits durch die nachstehende Skalarwirkung gelieferte Identifikation. Der Higgs/QCD-Zweig fragt entsprechend, ob bekannte Strukturen als organisierte niederenergetische Manifestationen entstehen können, wobei die etablierten Strukturen des Standardmodells und der $SU(3)$-Rahmen der QCD beibehalten werden. Eine nützliche Herleitung muss deren Inhalt reproduzieren; ihre bloße Umbenennung würde nichts erklären.

Zusätzliche Teilchen sind grundsätzlich mit einer Ein-Träger-Ontologie vereinbar. Ihre Existenz allein würde diese daher weder widerlegen noch bestätigen. Eine konkrete Apeiron-Realisierung muss stattdessen ihre Eigenschaften dynamisch erklären und einen unabhängig überprüfbaren Zusammenhang liefern. Abschnitt 7 stellt diese Anforderung an Erweiterungen, einschließlich Vorschlägen für den dunklen Sektor.

2.2 Die effektive Theorie als konkrete Grundlage

Die Hypothese motiviert den Weg von einer zugrunde liegenden physikalischen Erklärung zu kontrollierten Beschreibungen und anschließend zu Beobachtungen. Effektive Felder bezeichnen Freiheitsgrade, die in einem angegebenen Regime nützlich sind. Ihre Anzahl muss nicht mit der Anzahl fundamentaler Konstituenten übereinstimmen. Die drei Variablen σ, θ, χ des beibehaltenen Modells sind daher keine drei fundamentalen Substanzen, und keine von ihnen ist automatisch mit dem gesamten universalen Träger identisch. Die radialen beziehungsweise ordnungsparameterartigen und phasenartigen Beschreibungen sind effektive Interpretationen; sie begründen kein fundamentales kanonisches komplexes Feld.

Das lokale Skalarmodell liefert etwas Konkretes: eine Wirkung, einen gewählten Parameterpunkt, Feldgleichungen, einen zulässigen Bereich und überprüfbare Folgerungen. Der logische Zusammenhang führt von der festgelegten Wirkung zu diesen Folgerungen. Diese Wirkung aus dem universalen Träger herzuleiten oder beobachtete Materie aus ihren Moden abzuleiten erfordert weitere Abbildungen und Dynamiken. Diese Unterscheidung benennt die nächste theoretische Arbeit, die der universalen Hypothese eine kontrollierte physikalische Realisierung geben soll.

Der nichtkanonische Druck gehört zum etablierten Rahmen der k-Essenz [3]. Der Beitrag dieser Arbeit besteht in der quellentreuen Formulierung des konkreten Apeiron-Sektors und seiner Einordnung in ein umfassenderes Programm. Das Programm beansprucht keine Priorität für diesen allgemeinen mathematischen Rahmen.

2.3 Geometrie und eine gemeinsame kausale Grenze

Der ursprüngliche Kausalitätsvorschlag besagt, dass eine stabile beobachtbare Phase des Trägers eine einzige effektive Geometrie für Licht, Materie und Gravitation trägt. Seine schematische Struktur lässt sich schreiben als

$$\mathcal{A} \longrightarrow G_{\mu\nu}[\mathcal{A}] \longrightarrow \{\text{light, matter, gravity}\}. \tag{1}$$

Hier ist $\mathcal{A}$ eine kollektive Beschreibung des vorgeschlagenen Trägers, und $G_{\mu\nu}[\mathcal{A}]$ bezeichnet die beabsichtigte effektive Geometrie. Weder eine Trägerwirkung noch die angegebene Abbildung wird durch diesen schematischen Ausdruck spezifiziert. Insbesondere ist $G_{\mu\nu}[\mathcal{A}]$ hier nicht der Einstein-Tensor $G_{\mu\nu}$, der später in den konventionellen Gravitationsgleichungen verwendet wird. Die schematische Quellennotation wird nur in (1) beibehalten.

Das Ziel ist eine gemeinsame endliche Grenzgeschwindigkeit in der beobachtbaren Phase. Die Quelle erfordert weder eine gesonderte universale mikroskopische Geschwindigkeit c_A noch eine verborgene gewöhnliche Eigenzeit für Photonen oder eine klassische brechende Substanz, die Licht von einer höheren gewöhnlichen Geschwindigkeit abbremst. Ein vorgeschlagener tiefer liegender Entwicklungsparameter ist noch keine hergeleitete physikalische Uhr. Der Ursprung der Lorentz-Symmetrie und die universale Kopplung an eine einzige Metrik bleiben theoretische Aufgaben. Ebenso wenig bestimmt dieser Vorschlag den c zugewiesenen numerischen SI-Wert.

Die beibehaltene Wirkung liefert später ein präzises, enger begrenztes Ergebnis: Ihre kanonischen Felder besitzen den metrischen Hauptkegel, und ihr Phasensektor besitzt im angegebenen Bereich einen kontrollierten charakteristischen Kegel, der bei verschwindendem Gradienten mit dem metrischen Kegel zusammenfällt. Dies liefert eine Konsistenzeigenschaft dieses effektiven

Sektors. Die universale Kopplung von Licht, Materie und Gravitation auf physikalischen Hintergründen erfordert eine gesonderte Herleitung.

2.4 Organisation, Rückwandlung und Entropie

Extreme Krümmung motiviert einen zweiten Quellenzweig: Organisierte materieartige Manifestationen könnten sich zu fundamentaleren Apeiron-Zuständen hin desorganisieren. Die ursprüngliche, nach der Festschreibung hinzugefügte Rückwandlungserweiterung verwendet eine Organisationsvariable s, ein Transportfeld u^μ und eine Krümmungsantwortvariable, die hier zur Unterscheidung vom skalaren kinetischen Koeffizienten $K(z)$ mit $\mathcal{R}$ bezeichnet wird. Die vorgeschlagenen Beziehungen lauten

$$0 \le s \le 1, \qquad u^\mu \nabla_\mu s = -\Gamma_{\mathrm{rec}}\, C(\mathcal{R})\, s, \qquad \Gamma_{\mathrm{rec}} \ge 0, \quad 0 \le C < 1, \tag{2}$$

$$\tau_{\mathcal{R}} u^\mu \nabla_\mu \mathcal{R} = W - \mathcal{R}, \qquad W \ge 0, \tag{3}$$

$$\nabla_\mu T^{\mu\nu}_{\mathrm{AP}} = 0. \tag{4}$$

Die Endpunkte $s = 1$ und $s = 0$ bezeichnen organisierte materieartige beziehungsweise fundamentalere Trägerzustände. Letzterer ist weder ein Nichts noch ein zusätzlich identifiziertes Feld. Diese Beziehungen reproduzieren die Form der gesonderten Erweiterung aus Abschnitt 10.5 des Preprints; ihre Antwortvariable und Relaxationszeit wurden lediglich gemeinsam umbenannt. Eine Identifikation $s = \sigma$ oder $\mathcal{R} = K(z)$ ist nicht impliziert.

Der ursprüngliche Zweig berichtet ein konstruktives Ergebnis zur strukturellen Machbarkeit: Gerichtete Desorganisation, die Erhaltung des gesamten Energie-Impuls-Tensors und eine verträgliche kausale Entwicklung können auf der angegebenen effektiven Ebene zusammen bestehen. Die Gleichungen (2)–(4) allein schließen dieses System nicht. Konstitutive Funktionen, ein gesamter Energie-Impuls-Tensor und Kopplungen an den Skalarsektor sind erforderlich, bevor eine vollständige Entwicklung oder eine Hyperbolizitätsaussage beurteilt werden kann. Sie sind keine Ergänzungen der Wirkung in Abschnitt 3.

Der begleitende Informations- und Entropievorschlag nimmt eine Umwandlung oder Neukodierung innerhalb eines einzigen physikalischen Systems an, anstelle einer Vernichtung von Information. Informationserhaltung ist von konstanter Entropie zu unterscheiden. Entropie kann erzeugt, übertragen oder umverteilt werden; eine neu entstandene beobachtbare Phase niedriger Entropie müsste in einer umfassenderen Entropiebilanz berücksichtigt werden. Die ursprüngliche Motivation durch Genesis und zyklische Entwicklung bleibt auf dieser Annahmenebene erhalten. Eine quantitative Gesamtentropiebilanz und eine Prüfung des verallgemeinerten zweiten Hauptsatzes sind weiterhin erforderlich. Auch die lokale kovariante Erhaltung des Energie-Impuls-Tensors in (4) liefert für sich genommen keine global erhaltene kosmologische Energiegröße [1, Abschnitte 10.5–10.6].

2.5 Der bedingte Quantenzweig

Die Verschränkungserweiterung der Quelle ist bedingt: *Falls* der Träger quantenhaft ist und nichtseparable Zustände unterstützt, lassen sich räumlich getrennte Manifestationen als Teile eines gemeinsamen Quantenzustands beschreiben. Die üblichen Regeln für Quantenzustände und Messungen werden vorausgesetzt. Der Vorschlag leitet weder die Born-Regel her noch ersetzt er diese Regeln durch ein Bell-lokales klassisches Modell verborgener Variablen. Bells Ergebnis schränkt diese letztere Klasse unter den jeweils angegebenen Annahmen ein [4]. Quantennichtseparabilität ermöglicht unter den üblichen Messregeln kein kontrollierbares überlichtschnelles Signal [5, Abschnitte 2.4–2.5]. Die Trägerinterpretation liefert derzeit keine eigenständige Verschränkungsvorhersage jenseits dieses Rahmens [1, Abschnitt 11A].

Diese Zweige formulieren den ursprünglichen physikalischen Anspruch. Ihre gemeinsame Realisierung erfordert explizite Verbindungen zwischen Trägerdynamik, effektiven Variablen,

Geometrie, Quantenzuständen und Organisation. Die folgenden Abschnitte stellen zunächst die ausdrücklich formulierte effektive Theorie und ihre bedingte Testbeziehung vor. Das Forschungsprogramm überführt die ausstehenden Verbindungen anschlieSSend in bestimmte Aufgaben mit beurteilbaren Ergebnissen.

3 Ein eindeutig festgelegtes Modell

3.1 Quellenidentität und Konventionen

Die verwendete Quellenkombination besteht aus dem Preprint v1.6 (21. September 2026), seiner beibehaltenen kanonischen Spezifikation v1.5 (20. September 2026) und den wiedergewonnenen internen Materietermen aus S06. Die Spezifikation enthält weiterhin eine ältere Versionsangabe in ihrer einleitenden Überschrift; die Dateiversion und der jeweilige Abschnitt identifizieren die Quelle. Die gewählte Materiewirkung wird aus den expliziten kovarianten Skalartermen der wiedergewonnenen internen Originalquellen und den festgeschriebenen globalen Funktionen rekonstruiert, die deren Spektrum und kosmologischer Laufzeitimplementierung zugrunde liegen. Die Identifikation dieser kovarianten Materietheorie mit dem operationalen homogenen Apeiron-Ansatz ist ein ausdrücklich erklärtes, quellenbasiertes Modellpostulat; der homogene Preprint leitet keine eindeutige kovariante Vervollständigung her. Durchgehend verwenden wir das globale quartische Potential und den abgeschirmten Portal-Benchmark. Die begleitende Quellenmatrix identifiziert die ursprünglichen Nachrichten, Laufzeitdefinitionen, Preprint-Versionen und vorhandenen unabhängigen Prüfungen [1, 2, 6]. Auch die allgemeine Mehrfeld-Störungstheorie zeigt, weshalb nicht angenommen werden darf, dass eine homogene Spezifikation jede störungstheoretische Eigenschaft festlegt [7].

Wir arbeiten in vier Dimensionen mit der Metriksignatur $(-,+,+,+)$ und den Einheiten $\hbar = c = 1$. Die reduzierte Planck-Masse ist $M_{\rm Pl}$. Die reellen Felder σ, θ, χ besitzen die Massendimension eins. Wir definieren

$$z = \frac{\sigma}{f_\sigma}, \qquad z_c = \frac{2}{\sqrt{3}}, \qquad X = -\frac{1}{2} g^{\mu\nu} \nabla_\mu \theta \nabla_\nu \theta. \tag{5}$$

Damit besitzt X die Massendimension vier. Die Koordinate θ ist eine reelle lokale Phasenkoordinate und kein global periodisch identifiziertes Feld: Trotz des periodischen Portals enthält das vollständige Potential eine lineare Verkippung und ein Polynom. Die vorgeschlagene Parametrisierung $(v+\sigma)e^{i\theta/f_{\rm phase}}$ leitet diese Wirkung nicht aus einem kanonischen komplexen Skalarfeld her.

Wir verwenden $\Box = g^{\mu\nu}\nabla_\mu\nabla_\nu$ und $T_{\mu\nu} = -2(-g)^{-1/2}\delta S_{\rm m}/\delta g^{\mu\nu}$. Auf einem homogenen, räumlich flachen Friedmann–Robertson–Walker-Hintergrund (FRW) gilt $\Box\theta = -\ddot{\theta} - 3H\dot{\theta}$. Variationen besitzen kompakten Träger; andernfalls werden verträgliche Randdaten und die erforderlichen gravitativen Randterme vorausgesetzt.

3.2 Wirkung und exakte Koeffizientenfunktionen

Das Postulat für den Materiesektor lautet

$$S_{\rm m} = \int {\rm d}^4x\sqrt{-g}\,\mathcal{L}_{\rm m}, \qquad \mathcal{L}_{\rm m} = -\frac{1}{2}(\nabla\sigma)^2 + P(X,\sigma,\theta) - \frac{1}{2}(\nabla\chi)^2 - \frac{1}{2}m_\chi^2(\sigma,\theta)\chi^2, \tag{6}$$

mit

$$F(z;b) = \frac{1}{4}z^4 - \frac{1}{2}z^2 + bz, \tag{7}$$

$$b_\theta(\theta) = b_* + b_1\frac{\theta}{M_{\mathrm{Pl}}}, \tag{8}$$

$$b(X,\theta) = b_\theta(\theta) - \frac{5X}{\Lambda^4}, \tag{9}$$

$$m_\chi^2 = m_{\chi 0}^2 + 2\lambda(v+\sigma)^2\cos\left(\frac{2\theta}{f_{\mathrm{phase}}}\right), \tag{10}$$

$$P = X + \frac{5(z-z_c)^2}{3\Lambda^4}X^2 - E_c F(z;b(X,\theta)) - V_s(\theta). \tag{11}$$

Die exakt äquivalente Form ist

$$P = K(z)X + a(z)X^2 - U(\sigma,\theta), \tag{12}$$

$$K(z) = 1 + \frac{5E_c z}{\Lambda^4}, \qquad a(z) = \frac{5(z-z_c)^2}{3\Lambda^4}, \tag{13}$$

$$U = E_c\left[\frac{1}{4}z^4 - \frac{1}{2}z^2 + b_\theta(\theta)z\right] + V_s(\theta). \tag{14}$$

Der Beitrag $5E_c z/\Lambda^4$ zu K folgt aus der ursprünglichen X-abhängigen Verkippung. Ihn wegzulassen verändert die Theorie und ihre kanonische Normierung. Das Symbol $K(z)$ bezeichnet eine Koeffizientenfunktion, nicht auf jedem Hintergrund die vollständige kinetische Matrix. Die Funktion $a(z)$ hat nichts mit einem FRW-Skalenfaktor zu tun.

Das Portal ist quadratisch in χ und besitzt eine exakte $\chi \mapsto -\chi$-Symmetrie. Diese endliche Trunkierung legt weder einen nichtlinearen Sättigungsmechanismus in einem tachyonischen Bereich noch eine quantentheoretisch vollständige Portaltheorie fest.

3.3 Parameter und beibehaltener Benchmark

Die Parameter mit Massendimension eins sind $\Lambda, f_\sigma, f_{\mathrm{phase}}, v, m_{\chi 0}$ sowie die Referenznormierung H_*. Die Größen E_c, V_s besitzen die Dimension vier, a die Dimension minus vier; K, b_*, b_1, λ sind dimensionslos. Neben den vorgeschriebenen Funktionsformen sind die Parameter Modelleingaben. Der folgende beibehaltene numerische Punkt ist ein archivierter Benchmark, keine anhand gemessener Unsicherheiten gewonnene Bestimmung.

Größe	Gewählter Wert
Λ/M_{Pl}	0.0023
f_σ/M_{Pl}	0.025
H_*/M_{Pl}	2×10^{-6}
E_c/M_{Pl}^4	$4.8\times10^{-13} = 0.04\times3(H_*/M_{\mathrm{Pl}})^2$
$b_*,\ b_1$	$0.35,\ -0.0478$
$f_{\mathrm{phase}}/M_{\mathrm{Pl}}$	0.8549468502440697
v/M_{Pl}	0.03272387838931097
λ	$1.6740193604000272\times10^{-5}$
$m_{\chi 0}/M_{\mathrm{Pl}}$	$9.817951142008693\times10^{-5}$

Wir schreiben $\vartheta = \theta/M_{\mathrm{Pl}}$ und

$$V_s(\theta) = M_{\mathrm{Pl}}^4\sum_{j=0}^{4} d_j\vartheta^j. \tag{15}$$

Die festgeschriebenen Koeffizienten sind

$$d_0 = 1.1971212004620583 \times 10^{-11}, \qquad d_1 = 9.87022611239063 \times 10^{-14},$$
$$d_2 = -1.0336424891583054 \times 10^{-13}, \qquad d_3 = 1.189490499106138 \times 10^{-10},$$
$$d_4 = 1.2236365189926054 \times 10^{-10}.$$

Die gedruckten Stellen bewahren den Quellenpunkt; sie drücken keine experimentelle Präzision aus. H_* legt diese Normierung fest und ist nicht die Hubble-Rate des weiter unten betrachteten statischen Hintergrunds. Die Quellenbezeichnung *screened* (abgeschirmt) bezeichnet die archivierte Wahl der Portalparameter, kein Ergebnis über radiativen Schutz in allen Ordnungen. Die generischen Portal-Standardwerte der archivierten Klasse `Params` beschreiben einen anderen Benchmark und werden hier nicht verwendet.

4 Dynamik, Nebenbedingungen und lokale Gültigkeit

4.1 Materiegleichungen und optionale Gravitationsgleichungen

Bei partiellen Ableitungen von $P(X, \sigma, \theta)$ werden die jeweils anderen aufgeführten Argumente festgehalten. Die Variation von (6) ergibt

$$\Box\sigma + P_\sigma - \tfrac{1}{2}(\partial_\sigma m_\chi^2)\chi^2 = 0, \tag{16}$$
$$\nabla_\mu(P_X \nabla^\mu\theta) + P_\theta - \tfrac{1}{2}(\partial_\theta m_\chi^2)\chi^2 = 0, \tag{17}$$
$$\Box\chi - m_\chi^2\chi = 0. \tag{18}$$

Für die gewählte Theorie gilt

$$P_X = K + 2aX, \qquad P_{XX} = 2a, \tag{19}$$
$$P_\sigma = K_{,\sigma}X + a_{,\sigma}X^2 - U_{,\sigma}, \qquad P_\theta = -U_{,\theta}, \tag{20}$$
$$P_{X\sigma} = K_{,\sigma} + 2a_{,\sigma}X, \qquad P_{X\theta} = 0. \tag{21}$$

Der Energie-Impuls-Tensor lautet

$$T_{\mu\nu} = \nabla_\mu\sigma\nabla_\nu\sigma + P_X\nabla_\mu\theta\nabla_\nu\theta + \nabla_\mu\chi\nabla_\nu\chi + g_{\mu\nu}\mathcal{L}_\mathrm{m}. \tag{22}$$

Bei festgehaltener Metrik sind dies Materiegleichungen. Ist die Gravitation dynamisch, wird als zusätzliches Postulat die minimale Einstein-Kopplung eingeführt:

$$S_\mathrm{g} = \int \mathrm{d}^4x\sqrt{-g}\,\frac{M_\mathrm{Pl}^2}{2}R, \qquad M_\mathrm{Pl}^2 G_{\mu\nu} = T_{\mu\nu}, \tag{23}$$

mit der Krümmungskonvention $G_{00} = 3H^2$ im flachen FRW-Fall. Dies entspricht der archivierten FRW-Konvention und leitet weder die Raumzeit noch die Einstein-Gravitation aus den Skalarfeldern her. Unter Verwendung der Materiegleichungen folgt aus der Diffeomorphismeninvarianz $\nabla_\mu T^{\mu\nu} = 0$.

Im flachen FRW-Fall mit homogenen Feldern gilt $X = \dot\theta^2/2$ und

$$\rho = \tfrac{1}{2}\dot\sigma^2 + 2XP_X - P + \tfrac{1}{2}\dot\chi^2 + \tfrac{1}{2}m_\chi^2\chi^2, \tag{24}$$
$$p = \tfrac{1}{2}\dot\sigma^2 + P + \tfrac{1}{2}\dot\chi^2 - \tfrac{1}{2}m_\chi^2\chi^2, \tag{25}$$
$$3M_\mathrm{Pl}^2H^2 = \rho, \qquad -2M_\mathrm{Pl}^2\dot H = \rho + p, \qquad \dot\rho + 3H(\rho + p) = 0. \tag{26}$$

Die Energiedichteidentität des P-Sektors ist ein Standardergebnis der k-Essenz [8]; die kanonischen Sektoren und das Portal werden hier explizit beibehalten. Die Feldgleichungen reduzieren

sich auf

$$\ddot{\sigma} + 3H\dot{\sigma} - P_\sigma + \tfrac{1}{2}(\partial_\sigma m_\chi^2)\chi^2 = 0, \tag{27}$$

$$D\ddot{\theta} + 3HP_X\dot{\theta} + P_{X\sigma}\dot{\sigma}\dot{\theta} - P_\theta + \tfrac{1}{2}(\partial_\theta m_\chi^2)\chi^2 = 0, \tag{28}$$

$$\ddot{\chi} + 3H\dot{\chi} + m_\chi^2\chi = 0, \tag{29}$$

wobei $D = P_X + 2XP_{XX} = K + 6aX$ ist. Der gemischte Term in (28) ist wegen der σ-Abhängigkeit des kinetischen Phasenkoeffizienten erforderlich. Die Friedmann-Gleichung schränkt die Anfangsdaten ein; die anfängliche Hubble-Rate kann nicht unabhängig davon frei gewählt werden. Diese klassischen homogenen Gleichungen sind nicht die vollständige operationale Quantenabbildung, in der renormierte Erwartungswerte der χ-Moden gesonderte Quellterme liefern.

4.2 Gültigkeitsbereich und Anfangsdaten

Der hier gewählte Geltungsbereich ist eine lokale klassische Theorie auf Baumebene um einen festgelegten glatten Hintergrund. Die Skala Λ kennzeichnet einen Operatorkoeffizienten. Sie begründet weder einen scharfen physikalischen Cutoff noch eine Schranke für jeden ausgelassenen Operator oder eine kontrollierte Quantenentwicklung. Eine quantentheoretische Anwendung würde einen Zustand, Renormierungsvorschriften und zusätzliche Gegenoperatoren erfordern.

Für einen zeitartigen oder verschwindenden Gradienten $\nabla\theta$ fordern wir

$$X \geq 0, \qquad P_X = K + 2aX > 0, \qquad D = K + 6aX > 0. \tag{30}$$

Diese Bedingungen liefern positive kinetische Phasenkoeffizienten und positive Koeffizienten der räumlichen Gradienten im Ruhesystem des zeitartigen Gradienten. Wegen $a \geq 0$ ist $K > 0$ eine hinreichende Einschränkung für alle solchen X; sie ist nicht bei jedem nichtverschwindenden X notwendig. Für nichtverschwindende nullartige oder raumartige Gradienten müssen stattdessen das vollständige Hauptsymbol und eine gemeinsame Cauchy-Hyperfläche geprüft werden. Die nachstehende Formel für zeitartige Gradienten darf nicht ohne Nachweis auf diese Klasse ausgedehnt werden.

In der Nähe des gewählten konstanten Vakuums fordern wir zusätzlich $m_\chi^2 > 0$, eine positive kanonisch normierte σ–θ-Hesse-Matrix und hinreichend kleine Fluktuationen, die innerhalb dieses Bereichs bleiben. Diese lokalen Bedingungen beweisen nicht die Stabilität jeder wechselwirkenden oder gravitativen Störung. Für $m_\chi^2 < 0$ zeigt der quadratische χ-Sektor den Beginn einer tachyonischen Instabilität an, liefert jedoch keinen beschränkten nichtlinearen Endzustand. Für den uneingeschränkten Feldraum wird keine physikalische Zulässigkeit behauptet: Auch K kann bei hinreichend negativem z sein Vorzeichen ändern.

Ein Anfangswertproblem muss die Felder und ihre Normalableitungen auf einer gemeinsamen raumartigen Hyperfläche sowie verträgliche räumliche Randbedingungen festlegen. Bei dynamischer Metrik sind außerdem geometrische und extrinsische Daten erforderlich, welche die gravitativen Nebenbedingungen erfüllen. Die Gleichungen (6)–(15) wählen weder eine eindeutige kosmologische Trajektorie noch einen Quantenzustand aus. Hier wird keine neue Berechnung der historischen kosmologischen Entwicklung vorgenommen.

5 Folgerungen aus der gewählten Wirkung

5.1 Charakteristischer Kegel und Energiebedingung

Die Konstruktion der Charakteristiken ist für nichtkanonische Skalarfelder etabliert [9]. Die Linearisierung des Teils mit den höchsten Ableitungen in (17) ergibt

$$\mathcal{G}_\theta^{\mu\nu} = P_X g^{\mu\nu} - P_{XX}\nabla^\mu\theta\nabla^\nu\theta. \tag{31}$$

Die kanonischen Gleichungen für σ und χ besitzen den metrischen Hauptkegel. Ihre Kopplungen an θ führen in dieser Formulierung zu Mischungen in niedrigeren Ableitungsordnungen, jedoch nicht zu außerdiagonalen Termen mit zweiten Ableitungen.

Satz 1 (Lokaler Kegel und eine Einschränkung für flache FRW-Modelle)**.** *Auf einem Hintergrund mit zeitartigem Gradienten, der* (30) *erfüllt, beträgt die charakteristische Ausbreitungsgeschwindigkeit der Phase in ihrem lokalen Ruhesystem*

$$c_\theta^2 = \frac{P_X}{D} = \frac{K + 2aX}{K + 6aX}, \qquad 0 < c_\theta^2 \leq 1. \tag{32}$$

Bei verschwindendem Gradienten liefert derselbe Ausdruck den metrischen Kegel, sofern $K > 0$ gilt. In einem gesamten Bereich mit $P_X > 0$ erfüllt der Materie-Energie-Impuls-Tensor die Nullenergiebedingung bezüglich der Metrik. Folglich kann eine räumlich flache FRW-Lösung mit der Einstein-Kopplung (23) *innerhalb dieses Bereichs keinen nichtsingulären Bounce durchlaufen, der $\dot{H} > 0$ bei $H = 0$ erfordert.*

Beweis. Im Ruhesystem des zeitartigen Gradienten hat (31) die Koeffizienten $(-D, P_X, P_X, P_X)$. Die zugehörige charakteristische Gleichung liefert daher (32). Die Positivität folgt aus (30); die obere Schranke folgt aus $D - P_X = 4aX \geq 0$. Gleichheit tritt für $aX = 0$ ein. Bei verschwindendem Gradienten lautet das Symbol $Kg^{\mu\nu}$. Für jeden bezüglich der Metrik nullartigen Vektor n^μ ergibt (22)

$$T_{\mu\nu} n^\mu n^\nu = (n\cdot\nabla\sigma)^2 + P_X (n\cdot\nabla\theta)^2 + (n\cdot\nabla\chi)^2 \geq 0. \tag{33}$$

Im homogenen FRW-Fall gilt $\rho + p = \dot{\sigma}^2 + 2XP_X + \dot{\chi}^2 \geq 0$; somit folgt aus (26), dass $\dot{H} \leq 0$ ist. Dies widerspricht innerhalb dieses Bereichs der angegebenen Bounce-Bedingung. □

Dies ist eine Aussage über die Charakteristiken der dargestellten lokalen Gleichungen, nicht über eine frequenzunabhängige Gruppengeschwindigkeit jeder massiven gemischten Normalmode. Sie unterscheidet sich außerdem von einer niederfrequenten Schallgeschwindigkeit nach dem Ausintegrieren anderer Felder; eine kontrollierte Elimination schwerer Moden hat eigene Voraussetzungen [10]. Die physikalische Anwendung erfordert einen Frequenzbereich unterhalb eines begründeten EFT-Cutoffs und oberhalb der Massen, relevanten Mischungsraten und Skalen der Hintergrundänderung. Allein das formale Hauptsymbol begründet kein solches nichtleeres physikalisches Fenster. Es leitet weder den gemessenen Wert von c noch einen gemeinsamen Kegel für nicht spezifizierte Materie, globale kausale Vollständigkeit oder die exakte ultraviolette Frontgeschwindigkeit einer vervollständigten Theorie her. Die Einschränkung für einen Bounce setzt räumliche Flachheit, minimale Einstein-Kopplung und den zulässigen Bereich voraus; sie schließt Konstruktionen, die diese Annahmen ändern, nicht aus.

5.2 Konstanter Materiehintergrund und beibehaltenes Spektrum

Für $X = \chi = 0$ lauten die stationären Materiegleichungen

$$z_0^3 - z_0 + b_\theta(\theta_0) = 0, \qquad E_c z_0 \frac{b_1}{M_{\rm Pl}} + V_s'(\theta_0) = 0. \tag{34}$$

Die vorhandene Quellenlösung mit negativem z ist

$$\sigma_0/M_{\rm Pl} \simeq -0.02886751345948129, \tag{35}$$

$$\theta_0/M_{\rm Pl} \simeq -0.7301292774006391, \qquad z_0 \simeq -1.1547005383792515. \tag{36}$$

Sie unterscheidet sich vom kosmologischen Anfangsast mit positivem z. Eine Trajektorie, die beide verbindet, wird dadurch nicht angegeben.

Mit $q = (\delta\sigma, \delta\theta)^T$ definieren wir

$$\mathcal{K}_0 = \mathrm{diag}(1, K_0), \quad K_0 = 1 + \frac{5E_c z_0}{\Lambda^4} \simeq 0.9009694329240460, \tag{37}$$

sowie die Hesse-Matrix des Potentials

$$\mathcal{H}_0 = \begin{pmatrix} E_c(3z_0^2 - 1)/f_\sigma^2 & E_c b_1/(f_\sigma M_{\mathrm{Pl}}) \\ E_c b_1/(f_\sigma M_{\mathrm{Pl}}) & V_s''(\theta_0) \end{pmatrix}. \tag{38}$$

Die quadratische lokale Materie-Lagrangedichte lautet

$$\mathcal{L}_{\mathrm{m}}^{(2)} = -\tfrac{1}{2}\nabla q^T \mathcal{K}_0 \nabla q - \tfrac{1}{2} q^T \mathcal{H}_0 q - \tfrac{1}{2}(\nabla\delta\chi)^2 - \tfrac{1}{2} m_{\chi,\mathrm{vac}}^2 (\delta\chi)^2. \tag{39}$$

Die Eigenwerte von $\mathcal{K}_0^{-1/2}\mathcal{H}_0\mathcal{K}_0^{-1/2}$ sind die beiden kanonisch normierten Massenquadrate. Die vorhandenen S06-Berechnungen und ihre unabhängigen Prüfungen [6] ergeben

$$\frac{m_1^2}{M_{\mathrm{Pl}}^2} \simeq 2.90211845795\times10^{-10}, \quad \frac{m_2^2}{M_{\mathrm{Pl}}^2} \simeq 2.30400046423\times10^{-9}, \quad \frac{m_{\chi,\mathrm{vac}}^2}{M_{\mathrm{Pl}}^2} \simeq 9.57111\times10^{-9}. \tag{40}$$

Diese Zahlen werden aus dem geprüften Bestand übernommen; sie werden weder als neu berechnete Trajektorien noch als experimentell bestimmte Massen dargestellt. Positive Krümmung impliziert kein asymptotisch stabiles Teilchen: Die ursprüngliche Wechselwirkungsanalyse erlaubt $\phi_2 \to \phi_1\phi_1$. Die lokale Entwicklung bei festgehaltener Metrik behauptet ebenso wenig eine exakte Minkowski-Lösung bei dynamischer Gravitation. Der Wert $U(\sigma_0, \theta_0)$ muss in die Einstein-Gleichungen eingehen; eine nahezu vollständige Aufhebung mit den gedruckten Koeffizienten ist keine exakte Identität für die Vakuumenergie.

Die frühere Aussage $P_X(0) = 1$ im Preprint beziehungsweise in der Spezifikation [1] wird zu $P_X(0) = K_0$ korrigiert. Dennoch gilt für $X = 0$ weiterhin $D = K_0$, sodass $c_\theta^2 = 1$ erhalten bleibt. Die Korrektur der Normierung ist für die Massenmatrix und die Wechselwirkungen wesentlich, auch wenn dieses Verhältnis unverändert bleibt.

6 Eine konkrete bedingte Testperspektive

Ein Test muss eine Beobachtungsgröße mit den Feldern und dem Hintergrund dieser Wirkung verknüpfen. Betrachten wir einen Bereich mit kalibriertem zeitartigem Phasengradienten und einem bestimmten lokalen Ruhesystem. Unabhängige Eingaben wären der Hintergrund z, X, die in K, a eingehenden Parameter, die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Referenzmetrik, eine Detektorkopplung, die die Phasenstörung auswählt, sowie ein Frequenzfenster, in dem sowohl die Hauptteilnäherung als auch die EFT-Trunkierung gelten. Gleichung (32) sagt dann ihren charakteristischen Kegel voraus. Eine gemessene Charakteristik, die nach gemeinsamer Kontrolle von Kalibrierungs- und Modellfehlern mit dieser Beziehung unvereinbar ist, würde dieses festgelegte Modell in dem angegebenen Regime verwerfen.

Für den hinreichenden Teilbereich $K > 0$ sei $q_X = aX/K \geq 0$. Dieselbe Beziehung lautet

$$c_\theta^2 = \frac{1 + 2q_X}{1 + 6q_X}, \qquad q_X = \frac{1 - c_\theta^2}{6c_\theta^2 - 2} \qquad (\tfrac{1}{3} < c_\theta^2 \leq 1). \tag{41}$$

Die Umkehrung liefert nur die Kombination q_X; eine Geschwindigkeitsmessung allein kann nicht sämtliche Wirkungsparameter oder den Hintergrund bestimmen. Der untere Grenzwert wird bei wachsendem q_X angenähert und berechtigt nicht dazu, beliebig große X außerhalb eines kontrollierten EFT-Regimes zu wählen. Dieser zusätzliche Wertebereich verwendet $K > 0$ und nicht nur die allgemeineren Bedingungen (30).

Hier werden weder eine Detektorkopplung noch ein zugängliches experimentelles System oder ein begründetes Messfehlerbudget hergeleitet. Es handelt sich daher um eine festgelegte Falsifikationsbeziehung und eine Eingabeliste für einen künftigen Test, nicht um einen unmittelbar ausführbaren Laborvorschlag oder eine empirische Validierung. Eine kosmologische Anwendung würde zusätzlich Anfangsdaten unter Nebenbedingungen, gegebenenfalls einen Quantenzustand, Transferfunktionen und kontrollierte Fehler aus Rückwirkung beziehungsweise ausgelassenen Operatoren benötigen. Der Benchmark in (40) liefert ein weiteres bedingtes Vorwärtsziel, sobald eine physikalische Identifikation angegeben wird; seine Moden beobachteten Teilchen zuzuordnen ist derzeit nicht gestützt.

7 Ein Forschungsprogramm auf Grundlage der effektiven Theorie

7.1 Was als Fortschritt gilt

Die Hypothese des universalen Trägers liefert einen leitenden Vorschlag; eine *Realisierung* trifft einschränkende Festlegungen über Zustände, Dynamik und Beobachtungsbeziehungen. Diese Arbeit legt einen lokalen Skalarsektor fest, der hier als beibehaltene effektive Realisierung bezeichnet wird. Das umfassendere Forschungsprogramm besteht darin, die Verbindungen zu konstruieren und zu prüfen, die diesem Sektor und schließlich auch weiteren Sektoren eine gemeinsame physikalische Grundlage geben würden.

Wir verwenden vier Evidenzkategorien. Eine *Hypothese* formuliert einen vorgeschlagenen physikalischen Zusammenhang. Ein *hergeleitetes Ergebnis* folgt aus festgelegten Gleichungen und Annahmen. Ein *beibehaltener Benchmark* dokumentiert eine vorhandene numerische Wahl oder ein vorhandenes Ergebnis samt Herkunftsnachweis. Eine *offene Aufgabe* erfordert eine fehlende Herleitung, Eingabe oder Prüfung. Eine Übereinstimmung innerhalb einer Kategorie darf nicht stillschweigend eine andere begründen. Insbesondere ist mathematische Konsistenz eine notwendige Arbeit auf dem Weg zu einer physikalischen Theorie, während empirische Stützung einen Vergleich mit Beobachtungen erfordert.

Das Programm folgt den Abhängigkeiten seiner Aufgaben. Eine konkrete Realisierung muss ihre Freiheitsgrade und ihr Regime benennen, die Dynamik und Matching-Abbildungen angeben und interne Kontrolle nachweisen; erst dann kann sie kalibrierte Beobachtungsgrößen mit Daten vergleichen. Einige Zweige können parallel entwickelt werden, sie können aber eine fehlende Voraussetzung nicht aus der bloßen Existenz eines anderen Zweigs entlehnen. Jede Version muss ihr Ziel, ihre Annahmen, den zulässigen Parameterspielraum oder die Schätzregel, den Gültigkeitsbereich, die vorhergesagten Beziehungen, die Fehlerbehandlung und die Entscheidungskriterien vor ihrer entscheidenden mathematischen, numerischen oder beobachtungsbezogenen Auswertung festschreiben.

7.2 Stufe I: Trägerzustände und effektives Matching

Die erste Grundlagenaufgabe besteht darin, einen Zustandsraum und eine Dynamik des Trägers festzulegen, zusammen mit einer Konstruktion zur Vergröberung oder zum Matching, die einen effektiven Sektor ergibt. Für den skalaren Ansatz muss das Ergebnis die Rollen von σ, θ, χ identifizieren und die Koeffizientenfunktionen sowie den Gültigkeitsbereich der Wirkung reproduzieren; bei Abweichungen muss es eine neue Version benennen. Eine bloße Neuinterpretation der drei Symbole ließe die Erklärungslücke unverändert.

Die mathematische Prüfung fragt, ob die vorgeschlagene Abbildung tatsächlich die deklarierte Dynamik mit kontrollierten Resttermen über ein nichtleeres Regime erzeugt. Werden die beanspruchten effektiven Gleichungen nicht reproduziert, ist der Zustandsraum inkonsistent oder sind die ausgelassenen Terme unkontrolliert, so ist die beanspruchte Realisierung in diesem Re-

gime ausgeschlossen. Fehlt die Abbildung, bleibt die Aufgabe offen. Ein Erfolg begründet diese Verbindung; er identifiziert den Sektor noch nicht mit beobachteten Teilchen.

7.3 Stufe II: Physikalische Sektoren und universale Geometrie

Eine Verbindung zum Materiesektor muss die relevanten Symmetrien, Freiheitsgrade, Wechselwirkungen und gemessenen Zusammenhänge innerhalb angegebener Toleranzen reproduzieren. Im Higgs/QCD-Ansatz sind die etablierten Strukturen des Standardmodells und der QCD Randbedingungen für die Konstruktion. Ein Ansatz für den dunklen Sektor muss festlegen, welche gravitativen oder kosmologischen Beobachtungsgrößen aus welchen Trägerzuständen entstehen und wie sie von Parametern abhängen. Ein andernorts entdecktes Teilchen kann nur durch eine explizite dynamische Erweiterung mit unabhängig prüfbarem Inhalt aufgenommen werden.

Für die kausale Geometrie ist das geforderte Ergebnis eine Herleitung der gemeinsamen effektiven Metrik und der Kopplungen für die physikalischen Sektoren in der beanspruchten Phase, einschließlich einer kontrollierten Behandlung von Korrekturen und Stabilität. Das Ergebnis zum skalaren Hauptkegel in Abschnitt 5 ist eine lokale Eingabe, nicht diese vollständige Herleitung. Eine festgelegte Realisierung scheitert, wenn ihre vorhergesagten physikalischen Ausbreitungs- oder Kopplungsbeziehungen jenseits der deklarierten Unsicherheiten mit angemessen kalibrierten Beobachtungen kollidieren. Auch eine fortbestehende interne Unvereinbarkeit ihrer Sektoren widerlegt diese Realisierung. Ist ein Sektor oder ein Fehlerbudget nicht spezifiziert, ist das Ergebnis unvollständig und nicht experimentell bestätigt.

Diese Anforderungen geben der Universalität physikalischen Inhalt: Ein Mechanismus muss mehrere Sektoren einschränken. Unabhängig anpassbare Beschreibungen, die jeden Sektor ohne eine sektorübergreifende Beziehung beschreiben können, würden dieses Ziel noch nicht erreichen.

7.4 Stufe III: Kontrollierte Entwicklung und extreme Regime

Für den gegenwärtigen Skalarsektor müssen konsistente Anfangsdaten, ein kontrollierter Bereich von Hintergründen und eine Abschätzung der Trunkierungsfehler für die vorgeschlagene Anwendung angegeben werden. Ein lokales Vakuumspektrum kann keine Langzeitentwicklung absichern. Die quadratische χ-Trunkierung liefert in einem tachyonischen Bereich keinen beschränkten Endzustand; jede stabilisierende Wechselwirkung ist eine neu festgelegte Zutat, deren Folgen geprüft werden müssen. Ein quantenkosmologischer Ansatz benötigt außerdem einen Zustand, Renormierungsentscheidungen und eine kontrollierte Konstruktion der Antwort.

Der Rückwandlungsansatz muss die Gleichungen (2)–(4) schließen, ihre Kopplung an organisierte Materie und Geometrie herstellen und die vollständige Entropiebilanz durch den vorgeschlagenen Übergang verfolgen. Eine vervollständigte Version wird in einem beanspruchten Regime verworfen, wenn sie ihre erforderlichen Erhaltungsbedingungen, Bedingungen für kausale Wohlgestelltheit oder Entropiebedingungen verletzt. Ein nicht geschlossener Energie-Impuls-Tensor oder ein unbekannter Entropiefluss darf nicht als erfolgreicher Übergang gewertet werden.

Die kosmologische Analyse liefert eine konkrete Orientierung für die weitere Modellbildung. Für die beibehaltene Skalarwirkung impliziert positives P_X die Nullenergiebedingung, und minimale Einstein-Gravitation im räumlich flachen FRW-Fall impliziert $\dot{H} \leq 0$. Ein nichtsingulärer Bounce, der $\dot{H} > 0$ bei $H = 0$ erfordert, ist daher ausgeschlossen, solange diese Annahmen gelten. Eine Genesis- oder zyklische Realisierung, die einen solchen Bounce benötigt, muss mindestens eine Annahme ausdrücklich ändern oder ihren Geltungsbereich verlassen und die Gültigkeit der resultierenden Theorie nachweisen. Die bloße Berufung auf die Trägerinterpretation beseitigt dieses Hindernis nicht. Satz 1 enthält den beibehaltenen Beweis.

Räumliche Homogenität betrifft das Fehlen räumlicher Veränderungen des gewählten Hintergrunds auf jeder kosmologischen Zeitscheibe. Sie verlangt weder zeitunabhängige Felder noch konstante Expansion oder gleichförmige Ausbreitung von Störungen. Die Bounce-Bedingung im flachen FRW-Fall betrifft Kontraktion und erneute Expansion des gesamten Modelluniversums.

Der Rückwandlungszweig der Quelle schlägt dagegen eine lokale Organisationsänderung bei extremer Krümmung vor. Der Bounce-Befund stellt weder einen Nachweis noch einen Ausschluss dieses gesonderten lokalen Mechanismus dar. Räumliche Strukturen oder Strömungen lösen das kosmologische Hindernis nicht von sich aus: Die Nullenergie-Identität der beibehaltenen Wirkung bleibt überall gültig, wo ihr Phasenkoeffizient positiv ist, ohne homogene Felder zu verlangen. Eine vorgeschlagene Erweiterung muss ihre Dynamik festlegen und die Gültigkeit veränderter Annahmen nachweisen.

7.5 Stufe IV: Ein diskriminierendes Beobachtungsprogramm

Ein physikalischer Test erfordert eine Vorwärtsabbildung von der Theorie und einem kalibrierten Hintergrund auf eine Detektor-Beobachtungsgröße. Abschnitt 6 liefert aus der vorliegenden Wirkung eine bedingte Beziehung für die Phasencharakteristik und nennt die fehlenden Eingaben. Eine brauchbare Umsetzung muss zeigen, dass die Messung diese Beziehung in einem nichtleeren Frequenzfenster isoliert, mit unabhängiger Kalibrierung und kontrollierten Modell- und Instrumentenfehlern. Eine Parameterkombination anzupassen ist nicht dasselbe, wie sämtliche Parameter zu identifizieren.

Vor einem Test sollte dessen Versionsprotokoll den zulässigen Parameterbereich, die Behandlung von Störparametern und Kalibrierung, alternative Erklärungen, die Vergleichsstatistik und die zu dieser Messung passenden Entscheidungsschwellen festhalten. Ohne ein tatsächliches Protokoll wird hier weder eine numerische Schwelle noch eine statistische Konfidenzaussage beansprucht. Daten außerhalb des Gültigkeitsbereichs können über die beanspruchte Vorhersage nicht entscheiden; Daten innerhalb dieses Bereichs können eine festgelegte Realisierung verwerfen, wenn die vorab deklarierte Beziehung scheitert. Eine Übereinstimmung stützt die geprüfte Beziehung in dem Maß, in dem Alternativen und Unsicherheiten geklärt wurden. Sie ist kein eindeutiger Nachweis der universalen Ontologie.

7.6 Beurteilbarer Fortschritt und versionierte Ergebnisse

Jede Stufe muss für ihr angegebenes Ziel eines von drei Ergebnissen liefern: *innerhalb des deklarierten Geltungsbereichs nachgewiesen*, *gescheitert* oder *ungeklärt*. Ein mathematischer Widerspruch oder eine unter kontrollierten Bedingungen gescheiterte Beobachtungsvorhersage ist ein Scheitern der Version, die diese Aussage getroffen hat. Fehlende Eingaben und unzureichende Präzision sind ungeklärte Ergebnisse, keine Erfolge. Eine neue Wechselwirkung, ein veränderter Hintergrund, ein neuer Trägerzustandsraum oder eine erweiterte Kalibrierungsfreiheit erzeugt eine neue Version. Die gescheiterte Version und der Grund ihrer Änderung bleiben dokumentiert; eine reparierte Version muss eine weitere überprüfbare Folgerung liefern. Deren prospektive Prüfung oder unabhängige Einschränkung darf nicht aus denselben Informationen gewählt werden, die zur Begründung oder Abstimmung der Reparatur dienten; eine Übereinstimmung mit diesen Informationen ist retrospektiv.

Die vorliegende effektive Theorie gibt dem Programm einen konkreten Ausgangspunkt; kontrollierte Verbindungen und diskriminierende Beziehungen bestimmen seine nächsten physikalischen Erkenntnisgewinne. Die uneingeschränkte Aussage, alles habe einen einzigen Träger, wählt für sich genommen keine diskriminierende Beobachtung aus. Das Programm verpflichtet sich deshalb zur Bewertung eingeschränkter Realisierungen, statt jedes denkbare Ergebnis als Stützung derselben abgeschlossenen Theorie zu behandeln. Kann keine kontrollierte Verbindung oder diskriminierende Beziehung konstruiert werden, hat das Programm sein physikalisches Ziel nicht erreicht. Wiederholtes Anpassen durch unbeschränkte Ergänzungen wäre ein Hinweis auf dieses Ausbleiben eines Erklärungsfortschritts. Die vorliegende Arbeit liefert einen konkreten effektiven Sektor und ein versioniertes Arbeitsprogramm; ihre fundamentale Aussage bleibt eine Hypothese, deren wissenschaftlicher Wert von der Erfüllung dieser Aufgaben abhängt.

8 Verhältnis zur vorhandenen Studie des inversen Problems

Die gesonderte P01-Studie *Identifiability and calibration limits of a single dispersion branch in a two-field effective theory* [11] liefert einen nützlichen methodischen Vergleich: Ein Vorwärtsmodell festzulegen, seine Parameter aus exakten Beobachtungen zu identifizieren und bei endlichen Fehlern eine verlässliche Schlussfolgerung zu gewinnen sind verschiedene Aufgaben. Diese Studie verwendet ihre eigene Wirkung bei festgehaltener Metrik und einen zeitlich fortschreitenden Hintergrund. Ihre exakten Rekonstruktionsergebnisse und ihr klassisches Matching-Beispiel können daher nicht ohne eine explizite Abbildung von Feldern, Koeffizienten, Hintergrund und Beobachtungsprotokoll auf die Wirkung dieser Arbeit übertragen werden.

Auch ihre retrospektive Plasmon-Polariton-Anwendung validiert Apeiron nicht. In dieser Anwendung ist die unbeobachtete obere Lücke nicht unabhängig abgesichert, Kalibrierungsfreiheit bleibt relevant, und deterministische Kompatibilitätsschwellen sind keine experimentellen Konfidenzintervalle. Wir behalten die vorhandene P01-Publikation und ihren Reproduktionsbestand als unterstützendes Material bei, ohne ihre historischen Anpassungen neu zu berechnen oder ihren Datensatz als Test des vorliegenden Kerns umzudeuten. Der Reproduktionsindex der lokalen Begleitunterlagen nennt die exakten Quellpfade und Prüfsummen.

9 Erreichter Beitrag und nächste theoretische Arbeit

9.1 Die vorhandene theoretische Grundlage

Der vorliegende Beitrag hat drei miteinander verbundene Teile: eine quellentreue Formulierung der Hypothese des universalen Trägers, ein methodisch geordnetes Programm zu ihrer physikalischen Realisierung und einen vollständig spezifizierten effektiven Sektor. Die beibehaltene Wirkung, die Gleichungen, der Gültigkeitsbereich, das Ergebnis zu den Charakteristiken, die Einschränkung aus der Energiebedingung und die Vorschrift zur kanonischen Massenbestimmung gehören demselben mathematischen Modell an. Der festgeschriebene numerische Punkt ist ein beibehaltener Benchmark mit zuvor geprüften Ergebnissen. Diese Ergebnisse bilden eine theoretische Grundlage für die nächsten physikalischen Zuordnungen; eine beobachtete Identifikation des Trägers bleibt zu erarbeiten.

Der umfassendere historische Bestand behält seinen ursprünglichen Status. Der Preprint v1.6 berichtet einen gespeicherten Protokollstatus `HARD-PASS` für v7.13; zugleich berichtet er, dass ein späterer Clean-Room-Vergleich diese Klassifikation nicht reproduzierte und die Reproduktionsstufe V4 durch eine unabhängige Abbildung offenblieb [1, S. 2]. Diese Arbeit führt jene Abbildung weder erneut aus noch ersetzt sie deren renormierten Modenquellen-Abschluss durch eine klassische homogene χ-Entwicklung. Die lokalen Skalarprüfungen und das historische kosmologische Protokoll sind unterschiedliche Evidenzbestände. Die unabhängige Reproduktion der historischen Abbildung bleibt eine gesonderte Forschungsaufgabe mit ihrem bisherigen offenen Status.

9.2 Forschungsaufgaben aus dem gegenwärtigen Geltungsbereich

Das globale quartische Phasenpotential und der abgeschirmte Portal-Benchmark definieren die beibehaltene Version. Ein lokal rekonstruiertes Potential, generische unabgeschirmte Portal-Standardwerte oder ein stabilisierender χ^4-Term wären andere Festlegungen und erforderten eine explizite neue Analyse. Der kosmologische Anfangsast mit positivem z und das lokale Vakuum mit negativem z sind unterschiedliche Hintergründe; eine verbindende Trajektorie wird nicht angegeben. Auch positive lokale Massen begründen kein asymptotisch stabiles Teilchenspektrum, wie der in Abschnitt 5.2 angegebene erlaubte Zerfall zeigt.

Das optionale schwere Skalarfeld mit der Quelle $J = g_0(z-z_c)X$ ist ein bedingter Vervollständigungsansatz. Die vollständige Erzeugung des dargestellten Koeffizienten aX^2 legt $g_0^2/(2M_S^2) =$

$5/(3\Lambda^4)$ fest, nicht aber eine absolute Mediatormasse. Ein solcher Austausch muss den damit vollständig erzeugten Operator ersetzen, statt ihn doppelt zu zählen. Ein Vierfeld-Kontaktkoeffizient ist nicht die vollständige massive Streuamplitude in gekoppelten Kanälen, und eine masselose Halbschranken-Diagnose ist kein abgesicherter physikalischer Cutoff. Allgemeine Analytizitäts- und Positivitätsargumente erfordern ihre eigenen Streuannahmen [12]. Eine konstante Determinante eines rein gaußschen Integrals über das schwere Feld zeigt nicht, dass das vollständige gemischte Schwer-Leicht-Matching auf Einschleifenebene verschwindet. Diese Unterscheidungen bleiben Teil der Interpretation der beibehaltenen Theorie.

Die nächste Grundlagenarbeit ist damit konkret: Trägerdynamik und Matching definieren, physikalische Materie und universale Geometrie reproduzieren, nichtlineare und quantentheoretische Antwortsektoren schließen und einen kalibrierten Beobachtungstest konstruieren. Die Rückwandlungs- und Entropiezweige erfordern einen konstitutiven und thermodynamischen Abschluss. Der Quantenzweig benötigt eine explizite physikalische Realisierung, die über die bedingte Verwendung der üblichen Quantenregeln hinausgeht. Die gegenwärtige Quelle entscheidet nicht über die mikroskopische Ontologie, indem sie eine dieser Aufgaben vorab auswählt.

10 Schlussfolgerung

Der Apeiron-Ansatz verfügt jetzt über eine festgelegte effektive Feldtheorie mit geprüften lokalen Folgerungen: eine gemeinsame Wirkung und einen Energie-Impuls-Tensor, korrigierte Phasennormierung, ein beibehaltenes lokales Spektrum und eine kontrollierte charakteristische Beziehung. Ihre kosmologische Analyse klärt die Annahmen, unter denen ein nichtsingulärer Bounce im flachen FRW-Fall nicht verfügbar ist. Dies ist eine nützliche Vorgabe für die weitere Modellbildung, getrennt von der Frage lokaler Rückwandlung und von der vollständigen Hypothese des universalen Trägers. Die umfassenderen Quellenzweige liefern zusätzliche physikalische Fragen und, soweit berichtet, strukturelle Machbarkeit auf ihrem angegebenen Niveau. Die nächsten Erkenntnisgewinne sind ausdrückliche Verbindungen von der Trägerdynamik zu effektiven Variablen, beobachteten Sektoren und Geometrie, gefolgt von kontrollierter Entwicklung und unabhängig kalibrierten Tests. Jede Realisierung muss ihre Annahmen festhalten und dokumentieren, ob ihre vorgeschlagene Verbindung innerhalb des Geltungsbereichs nachgewiesen ist, scheitert oder ungeklärt bleibt. Der Beitrag ist eine konkrete theoretische Grundlage mit Forschungsprogramm; die universale physikalische Erklärung bleibt das Ziel dieses Programms.

Autor, Finanzierung und Erklärungen

Josip Fellner ist unabhängiger Forscher (ORCID: 0009-0003-1705-3985). Korrespondenz: info@apeironfield.com. Diese Arbeit wurde vom Autor selbst finanziert. KI-Werkzeuge unterstützten die Quellenorganisation, Texterstellung, Übersetzungsvorbereitung, Konsistenzprüfungen, Dokumentproduktion und interne Prüfungen; sie werden nicht als Autoren aufgeführt, und diese Prüfungen sind keine externe Begutachtung. Der Autor erklärt, dass keine finanziellen oder nichtfinanziellen Interessenkonflikte bestehen.

Copyright 2026 Josip Fellner. Eigene Texte und Begleitmaterialien stehen unter Creative Commons Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0). Mitgelieferter eigener Code steht unter der MIT-Lizenz. Fremdmaterial behält seine eigenen Rechte und ist von diesen Lizenzierungen ausgenommen.

A Explizite Ableitungen und Variationsprüfungen

Für eine direkte Implementierung der Feldgleichungen gilt

$$K_{,\sigma} = \frac{5E_c}{f_\sigma \Lambda^4}, \qquad a_{,\sigma} = \frac{10(z - z_c)}{3 f_\sigma \Lambda^4}, \tag{42}$$

$$U_{,\sigma} = \frac{E_c}{f_\sigma}(z^3 - z + b_\theta), \qquad U_{,\theta} = \frac{E_c b_1 z}{M_{\mathrm{Pl}}} + V_s'(\theta), \tag{43}$$

$$(\partial_\sigma m_\chi^2) = 4\lambda(v + \sigma)\cos\left(\frac{2\theta}{f_{\mathrm{phase}}}\right), \qquad (\partial_\theta m_\chi^2) = -\frac{4\lambda(v + \sigma)^2}{f_{\mathrm{phase}}}\sin\left(\frac{2\theta}{f_{\mathrm{phase}}}\right). \tag{44}$$

Setzt man $\delta X = -\nabla^\mu\theta\nabla_\mu\delta\theta$ in die Wirkung ein und integriert einmal partiell, erhält man (17). Die Entwicklung ihres ersten Terms ergibt

$$\nabla_\mu(P_X\nabla^\mu\theta) = \mathcal{G}_\theta^{\mu\nu}\nabla_\mu\nabla_\nu\theta + P_{X\sigma}\nabla_\mu\sigma\nabla^\mu\theta + P_{X\theta}\nabla_\mu\theta\nabla^\mu\theta. \tag{45}$$

Der letzte Term verschwindet für dieses Modell. Wertet man den mittleren Term auf einem homogenen Hintergrund aus, liefert er nach Multiplikation mit minus eins den gemischten Term in (28). Die Variation nach der Metrik liefert (22); bei der Kontraktion mit einem nullartigen Vektor entfällt der Term $g_{\mu\nu}\mathcal{L}_{\mathrm{m}}$, und es folgt (33).

B Evidenz, Versionierung und Reproduktionsumfang

Die begleitende Aussagen-Quellen-Matrix bindet die grundlegenden Aussagen an den Preprint v1.6, insbesondere an die Abschnitte 3.4, 10.5–10.6, 11.1–11.4 und 11A. Sein exakter Originalhash und die physischen Seitenpositionen sind dokumentiert. Die Matrix des effektiven Kerns und der Reproduktionsindex identifizieren die wiedergewonnene interne Wirkung, die numerischen Quellen und die früheren Prüfungen. Bestehende Quellen und die gesamte v1-Lieferung bleiben unverändert. Dateihashes verifizieren den exakt beibehaltenen Kern und den Ableitungsanhang gegenüber v2. Formel-, Zitat- und Querverweisinventare dokumentieren die englisch-deutsche Zuordnung.

Das Publikationspaket unterscheidet Dokumentproduktion von wissenschaftlicher Reproduktion. Diese Publikationsausgabe setzt die englische Arbeit und ihre deutsche Fachübersetzung neu; die illustrierten Begleitfassungen behalten ihre zuvor geprüften Dateien der Ausgabe 3.1. Sie führt keine neue Berechnung historischer Trajektorien, Spektren, Schleifen oder kosmologischer Abbildungen durch. Die frühere begrenzte Konventionsprüfung umfasst 14 exakte rational-polynomiale Identitäten und eine ausdrücklich gekennzeichnete Gleitkommaillustration; sie ist keine neue Vakuumsuche. Die Beibehaltung dieser Ergebnisse erweitert ihren Geltungsbereich nicht.

Die englische Arbeit ist die Publikationshauptfassung. Begleitmaterial sind die vollständige deutsche Fachübersetzung und vier illustrierte Einstiege auf Deutsch, Englisch, Französisch und Kroatisch mit dem deutschen Titel Apeiron — Idee und Forschung (illustrierte Ausgabe 3.1). Die Einstiege erläutern den Forschungsansatz und ersetzen die Facharbeit nicht. Die bewahrten Pakete zur lokalen Theorie und zur Version 2 bleiben historische Evidenz im Archiv des Autors; sie sind nicht vollständig im öffentlichen Quellenpaket enthalten. Die öffentliche README benennt die veröffentlichten Dokumente, editierbaren Quellen und den Umfang der beigefügten Herkunftsnachweise.

Literatur

[1] Apeiron preprint. Apeiron preprint, version 1.6, 2026. 21 September. Local source document; retained canonical specification v1.5. Exact files, sections and hashes are identified in the accompanying source-version report.

[2] Apeiron original sources. Apeiron recovered original internal scalar-EFT sources and frozen runtime, 2026. S06 source archive: covariant matter terms, global quartic potential and screened portal benchmark. Original message identifiers, runtime hashes and evidence roles are given in the accompanying claim/source matrix.

[3] C. Armendáriz-Picón, T. Damour, and V. Mukhanov. k-inflation. *Phys. Lett. B*, 458:209–218, 1999. doi: 10.1016/S0370-2693(99)00603-6. URL https://arxiv.org/abs/hep-th/9904075v1.

[4] J. S. Bell. On the einstein podolsky rosen paradox. *Physics Physique Fizika*, 1:195–200, 1964. doi: 10.1103/PhysicsPhysiqueFizika.1.195. URL https://journals.aps.org/ppf/abstract/10.1103/PhysicsPhysiqueFizika.1.195.

[5] John Preskill. Lecture notes for physics 219: Quantum computation, chapter 2: Foundations i, 2015. URL https://www.preskill.caltech.edu/ph219/chap2_15.pdf. Sections 2.4–2.5. California Institute of Technology.

[6] Apeiron S06 review. S06 original matching and independent channel review, 2026. 23 September. Existing internal derivations and checks, not external peer review; exact result and review files are indexed in the accompanying reproduction record.

[7] David Langlois, Sébastien Renaux-Petel, Danièle A. Steer, and Takahiro Tanaka. Primordial perturbations and non-gaussianities in DBI and general multi-field inflation. *Phys. Rev. D*, 78:063523, 2008. doi: 10.1103/PhysRevD.78.063523. URL https://arxiv.org/abs/0806.0336v1.

[8] Jaume Garriga and V. F. Mukhanov. Perturbations in k-inflation. *Phys. Lett. B*, 458:219–225, 1999. doi: 10.1016/S0370-2693(99)00602-4. URL https://arxiv.org/abs/hep-th/9904176v1.

[9] Eugeny Babichev, Viatcheslav Mukhanov, and Alexander Vikman. k-essence, superluminal propagation, causality and emergent geometry. *JHEP*, 02:101, 2008. doi: 10.1088/1126-6708/2008/02/101. URL https://arxiv.org/abs/0708.0561v1.

[10] Ana Achúcarro, Vicente Atal, Sebastián Céspedes, Jinn-Ouk Gong, Gonzalo A. Palma, and Subodh P. Patil. Heavy fields, reduced speeds of sound and decoupling during inflation. *Phys. Rev. D*, 86:121301, 2012. doi: 10.1103/PhysRevD.86.121301. URL https://arxiv.org/abs/1205.0710v2.

[11] Josip Fellner. Identifiability and calibration limits of a single dispersion branch in a two-field effective theory, 2026. Separate P01 preprint, scientific version 1.0 of 23 September; administrative publication edition 1.0-publication.1. Its reconstruction and robustness results apply within its own stated scope.

[12] Allan Adams, Nima Arkani-Hamed, Sergei Dubovsky, Alberto Nicolis, and Riccardo Rattazzi. Causality, analyticity and an IR obstruction to UV completion. *JHEP*, 10:014, 2006. doi: 10.1088/1126-6708/2006/10/014. URL https://arxiv.org/abs/hep-th/0602178v2.