

Herleitung der SWT-Normrelation aus einer vierdimensional isotropen Expansion

Heinrich Feuerbach

2026

Zusammenfassung

Die Strömungs-Widerstands-Theorie (SWT) interpretiert Raum und Zeit als Projektionen einer fundamentalen, vierdimensional isotropen Expansionsstruktur. Der mathematische Kern dieses Ansatzes ist die Normrelation

$$c_0^2 = c^2 + v^2,$$

wobei c_0 die konstante Norm der vierdimensionalen Expansion, c die lokal realisierte zeitartige Komponente und v die resultierende räumliche Komponente bezeichnet.

Der vorliegende Artikel untersucht, unter welchen Voraussetzungen diese Relation streng aus einer vierdimensional isotropen Expansion folgt. Es wird gezeigt, dass die Normrelation nicht allein aus dem Begriff der Isotropie hervorgeht. Erforderlich sind zusätzlich: eine euklidische Viererstruktur des fundamentalen Expansionsraumes, eine konstante Expansionsnorm, eine orthogonale Zerlegung in drei beobachtbare Raumrichtungen und eine zeitartige Expansionsrichtung sowie eine wohldefinierte Projektion auf lokale Beobachter.

Unter diesen Voraussetzungen folgt die SWT-Normrelation unmittelbar aus der Invarianz der euklidischen Vierernorm. Aus ihr ergeben sich der Lorentzfaktor

$$\gamma = \frac{c_0}{c} = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c_0^2}},$$

die kinematische Zeitdilatation und die bekannte Geschwindigkeitsgrenze $v < c_0$. Zugleich wird herausgearbeitet, welche weiteren Annahmen nötig sind, um nicht nur den Lorentzfaktor, sondern die vollständige Lorentztransformation und damit die empirische Struktur der Speziellen Relativitätstheorie zu reproduzieren.

Der Artikel versteht sich als mathematische Fundamentierung der SWT-Normrelation, nicht als Beweis der gesamten Theorie. Er zeigt präzise, was aus der 4D-isotropen Expansion folgt, was zusätzlich postuliert werden muss und an welchen Stellen die SWT experimentell überprüfbare Aussagen macht.

1 Einleitung

Die Strömungs-Widerstands-Theorie (SWT) geht von der Hypothese aus, dass die kosmische Expansion nicht lediglich eine Eigenschaft eines bereits vorhandenen Raumes ist,

sondern die primäre physikalische Struktur darstellt, aus der Raum, Zeit und Gravitation hervorgehen.

Die zentrale geometrische Idee lautet, den beobachtbaren dreidimensionalen Raum als lokale Hyperfläche einer vierdimensionalen, isotrop expandierenden Struktur zu interpretieren. Die Expansionsrichtung normal zur beobachtbaren Hyperfläche wird mit der Zeitrichtung identifiziert, während tangentielle Komponenten als räumliche Bewegung erscheinen.

Aus dieser Geometrie soll die SWT-Normrelation

$$c_0^2 = c^2 + v^2 \tag{1}$$

folgen.

Diese Relation bildet innerhalb der SWT das Fundament für die geometrische Interpretation des Lorentzfaktors, die kinematische Zeitdilatation, die Verbindung zwischen Bewegung und lokal realisierter Zeitstruktur sowie die spätere Erweiterung auf gravitative Felder.

Ziel dieses Artikels ist eine strenge Klärung der logischen Struktur dieser Herleitung. Insbesondere sind drei Fragen zu unterscheiden:

1. Was folgt allein aus einer vierdimensional isotropen Expansion?
2. Welche zusätzlichen geometrischen Voraussetzungen werden benötigt?
3. Welche Aussagen der Speziellen Relativitätstheorie werden dadurch reproduziert und welche nicht?

2 Begriffe und mathematische Voraussetzungen

2.1 Fundamentaler Expansionsraum

Definition 2.1 (Fundamentaler Expansionsraum). *Der fundamentale Expansionsraum sei ein vierdimensionaler reeller Vektorraum*

$$E \simeq \mathbb{R}^4$$

mit positiv definitem Skalarprodukt

$$\langle X, Y \rangle_E.$$

Die zugehörige Norm ist

$$\|X\|_E = \sqrt{\langle X, X \rangle_E}.$$

Die Wahl einer positiv definiten Metrik ist entscheidend. Sie unterscheidet den fundamentalen Expansionsraum von der Minkowski-Raumzeit, deren Metrik indefinit ist.

Die SWT behauptet nicht, dass die beobachtbare Raumzeit selbst euklidisch sei. Vielmehr wird angenommen, dass die Lorentzstruktur als effektive Projektionsstruktur aus einem fundamental euklidischen Expansionsraum hervorgeht.

2.2 Isotrope Expansion

Definition 2.2 (Isotrope Expansion). *Eine Expansion heißt isotrop, wenn ihre lokale Norm unabhängig von der Richtung ist. Für den Expansionsvektor $U \in E$ gilt*

$$\|U\|_E = c_0,$$

wobei $c_0 > 0$ eine universelle Konstante ist.

Isotropie bedeutet hier

$$\|RU\|_E = \|U\|_E$$

für jede Rotation $R \in SO(4)$.

Bemerkung 2.1. *Isotropie allein erzwingt noch keine Zerlegung in Zeit- und Raumanteile. Sie besagt lediglich, dass keine Richtung im fundamentalen Expansionsraum bevorzugt ist.*

2.3 Lokale Zerlegung

Es sei n ein lokaler Einheitsvektor normal zur beobachtbaren dreidimensionalen Hyperfläche:

$$\|n\|_E = 1.$$

Der Expansionsvektor U wird orthogonal zerlegt in

$$U = U_\perp + U_\parallel,$$

mit

$$U_\perp = \langle U, n \rangle_E n$$

und

$$\langle U_\parallel, n \rangle_E = 0.$$

Die SWT identifiziert

$$c := \|U_\perp\|_E, \tag{2}$$

$$v := \|U_\parallel\|_E. \tag{3}$$

Dabei bezeichnet c die lokal realisierte zeitartige Expansionskomponente und v die resultierende räumliche Komponente.

3 Die grundlegenden Postulate

Für eine strenge Herleitung genügen nicht bloß die Aussagen “vierdimensional” und “isotrop”. Erforderlich ist ein explizites Axiomensystem.

Postulat 3.1 (Vierdimensionaler Expansionsraum). *Die fundamentale kinematische Struktur ist ein vierdimensionaler, lokal euklidischer Raum E .*

Postulat 3.2 (Isotropie). *Die fundamentale Expansion besitzt keine ausgezeichnete Richtung.*

Postulat 3.3 (Konstante Expansionsnorm). *Für jeden physikalisch zulässigen lokalen Zustand gilt*

$$\|U\|_E = c_0.$$

Postulat 3.4 (Orthogonale Raum-Zeit-Zerlegung). *Jeder lokale Beobachter definiert eine orthogonale Zerlegung*

$$E = T \oplus S,$$

wobei T eindimensional und S dreidimensional ist.

Postulat 3.5 (Physikalische Identifikation). *Die Norm der Projektion von U auf T wird als lokale Zeitkomponente c interpretiert, die Norm der Projektion auf S als räumliche Geschwindigkeit v .*

Diese Postulate sind die minimale Struktur, aus der die SWT-Normrelation folgt.

4 Herleitung der Normrelation

Satz 4.1 (SWT-Normrelation). *Unter den Postulaten 1–5 gilt*

$$c_0^2 = c^2 + v^2.$$

Beweis. Wegen der orthogonalen Zerlegung

$$U = U_\perp + U_\parallel$$

und

$$\langle U_\perp, U_\parallel \rangle_E = 0$$

gilt nach dem Satz des Pythagoras im euklidischen Viererraum:

$$\|U\|_E^2 = \|U_\perp\|_E^2 + \|U_\parallel\|_E^2.$$

Mit

$$\|U\|_E = c_0, \quad \|U_\perp\|_E = c, \quad \|U_\parallel\|_E = v$$

folgt unmittelbar

$$c_0^2 = c^2 + v^2.$$

□

Die Herleitung ist mathematisch elementar. Ihre physikalische Tragweite liegt nicht in der Pythagoras-Identität selbst, sondern in der Interpretation der Komponenten.

4.1 Komponentendarstellung

Wählt man eine orthonormale Basis

$$(e_x, e_y, e_z, e_t),$$

so gilt

$$U = c_x e_x + c_y e_y + c_z e_z + c e_t.$$

Damit ist

$$c_0^2 = c_x^2 + c_y^2 + c_z^2 + c^2.$$

Definiert man

$$v^2 = c_x^2 + c_y^2 + c_z^2,$$

erhält man erneut

$$c_0^2 = c^2 + v^2.$$

5 Geometrische Parametrisierung

Die Normrelation kann durch einen Winkel θ parametrisiert werden:

$$c = c_0 \cos \theta, \tag{4}$$

$$v = c_0 \sin \theta. \tag{5}$$

Dann gilt automatisch

$$c_0^2 = c^2 \cos^2 \theta + c^2 \sin^2 \theta.$$

Die Bewegung eines Beobachters entspricht in dieser Darstellung einer Rotation des fundamentalen Expansionsvektors relativ zur lokalen Zeitachse.

Für den ruhenden Grenzfall gilt

$$\theta = 0, \quad v = 0, \quad c = c_0.$$

Für den Grenzfall maximaler räumlicher Bewegung gilt

$$\theta \rightarrow \frac{\pi}{2}, \quad v \rightarrow c_0, \quad c \rightarrow 0.$$

6 Ableitung des Lorentzfaktors

Aus

$$c_0^2 = c^2 + v^2$$

folgt

$$c^2 = c_0^2 - v^2.$$

Division durch c_0^2 ergibt

$$\frac{c^2}{c_0^2} = 1 - \frac{v^2}{c_0^2}.$$

Damit

$$\frac{c}{c_0} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}.$$

Definiert man den Realisierungsfaktor

$$\gamma := \frac{c_0}{c},$$

so folgt

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c_0^2}}. \quad (6)$$

Diese Form ist algebraisch identisch mit dem Lorentzfaktor der Speziellen Relativitätstheorie, sofern c_0 mit der invarianten Grenzgeschwindigkeit identifiziert wird.

Korollar 6.1 (Geschwindigkeitsgrenze). *Für reelle c gilt*

$$v \leq c_0.$$

Für massive Beobachter mit $c > 0$ folgt

$$v < c_0.$$

7 Zeitdilatation

Die SWT identifiziert die lokale Eigenzeitrate mit dem Anteil der Expansion, der in der Zeitrichtung realisiert wird:

$$\frac{d\tau}{dt} = \frac{c}{c_0}.$$

Mit Gleichung (6) folgt

$$\frac{d\tau}{dt} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}} = \frac{1}{\gamma}.$$

Somit

$$d\tau = \frac{dt}{\gamma}. \quad (7)$$

Dies reproduziert die kinematische Zeitdilatation der Speziellen Relativitätstheorie.

8 Längenkontraktion

Die Längenkontraktion folgt nicht allein aus der Normrelation. Sie erfordert eine zusätzliche Aussage darüber, wie simultane räumliche Abstände zwischen relativ bewegten Beobachtern definiert werden.

Wird die Standardrelation der Lorentzkinematik zugrunde gelegt, ergibt sich

$$L = \frac{L_0}{\gamma}.$$

Innerhalb der SWT kann dies geometrisch als Projektion eines vierdimensionalen Eigenabstandes auf die lokale Raumhyperfläche interpretiert werden.

Bemerkung 8.1. *Die Normrelation liefert den korrekten Lorentzfaktor, aber nicht ohne weitere Struktur die vollständige Relativität der Gleichzeitigkeit. Daher ist die Längenkontraktion nicht allein durch den 4D-Pythagoras bewiesen.*

9 Von der euklidischen Vierernorm zur Minkowski-Metrik

Ein zentraler Punkt ist die Beziehung zwischen

$$c_0^2 = c^2 + v^2$$

und der Minkowski-Metrik

$$ds^2 = c_0^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2.$$

Die SWT-Normrelation ist positiv definit. Die Minkowski-Metrik ist indefinit. Beide Strukturen sind daher nicht identisch.

Eine Verbindung entsteht, wenn man die lokale Eigenzeit definiert durch

$$c dt = c_0 d\tau.$$

Aus

$$c^2 = c_0^2 - v^2$$

und

$$v^2 = \frac{dx^2 + dy^2 + dz^2}{dt^2}$$

folgt

$$c_0^2 d\tau^2 = c_0^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2.$$

Somit erhält man

$$ds^2 := c_0^2 d\tau^2 = c_0^2 dt^2 - d\mathbf{x}^2. \quad (8)$$

Satz 9.1 (Induzierte Minkowski-Struktur). *Wenn die Eigenzeit durch*

$$d\tau = \frac{c}{c_0} dt$$

definiert wird und $v = d\mathbf{x}/dt$ gilt, dann induziert die SWT-Normrelation die Minkowski-Intervallrelation (8).

Beweis. Aus

$$c_0^2 = c^2 + v^2$$

folgt nach Multiplikation mit dt^2 :

$$c_0^2 dt^2 = c^2 dt^2 + v^2 dt^2.$$

Mit

$$c \, dt = c_0 \, d\tau$$

und

$$v^2 dt^2 = d\mathbf{x}^2$$

ergibt sich

$$c_0^2 dt^2 = c_0^2 d\tau^2 + d\mathbf{x}^2.$$

Umstellen liefert

$$c_0^2 d\tau^2 = c_0^2 dt^2 - d\mathbf{x}^2.$$

□

Damit kann die Minkowski-Struktur als abgeleitete Struktur aufgefasst werden. Die entscheidende zusätzliche Annahme ist jedoch die Identifikation

$$c \, dt = c_0 \, d\tau.$$

10 Herleitung der Lorentztransformation

Die Normrelation allein bestimmt nicht eindeutig die Transformation zwischen Inertialsystemen. Für die vollständige Lorentztransformation werden weitere Annahmen benötigt:

1. Linearität der Transformation zwischen Inertialsystemen,
2. Homogenität von Raum und Zeit,
3. Isotropie des Raumes,
4. Relativitätsprinzip,
5. Invarianz des Intervalls (8).

Unter diesen Annahmen folgt für eine Relativbewegung entlang der x -Achse:

$$x' = \gamma(x - vt), \tag{9}$$

$$t' = \gamma \left(t - \frac{vx}{c_0^2} \right), \tag{10}$$

$$y' = y, \tag{11}$$

$$z' = z. \tag{12}$$

Die SWT liefert somit den Lorentzfaktor aus ihrer Expansionsgeometrie. Die vollständige Lorentztransformation folgt erst nach Hinzunahme der Standardannahmen der Relativitätskinematik.

11 Logische Reichweite der Herleitung

11.1 Streng hergeleitet

Unter den expliziten Axiomen folgen streng:

- die Normrelation $c_0^2 = c^2 + v^2$,
- der Lorentzfaktor $\gamma = 1/\sqrt{1 - v^2/c_0^2}$,
- die Geschwindigkeitsgrenze $v < c_0$,
- die Eigenzeitrate $d\tau = dt/\gamma$, sofern Eigenzeit durch die zeitartige Projektion definiert wird.

11.2 Induzierte, aber zusätzlich interpretierte Struktur

Mit der Identifikation

$$c \, dt = c_0 \, d\tau$$

folgt das Minkowski-Intervall.

11.3 Nicht allein aus der Normrelation hergeleitet

Nicht allein aus der Normrelation folgen:

- die volle Lorentztransformation,
- Relativität der Gleichzeitigkeit,
- Transformation elektromagnetischer Felder,
- relativistische Dynamik,
- gravitative Feldgleichungen,
- Quantisierung.

Diese Punkte benötigen zusätzliche Axiome oder eigenständige SWT-Feldgleichungen.

12 Vergleich mit der Standardrelativität

12.1 Gemeinsame Vorhersagen

Die SWT-Normrelation reproduziert:

- den Lorentzfaktor,
- die kinematische Zeitdilatation,
- die endliche Grenzgeschwindigkeit,
- das Minkowski-Intervall unter der genannten Eigenzeitidentifikation.

12.2 Unterschied der Interpretation

In der Speziellen Relativitätstheorie ist die Minkowski-Metrik fundamental.

In der SWT ist die positiv definite Vierernorm fundamental, während die Minkowski-Metrik als effektiv induzierte Struktur erscheint.

SRT:

Minkowski-Geometrie $\longrightarrow$ Lorentzfaktor.

SWT:

euklidische 4D-Expansionsnorm $\longrightarrow$ Normrelation $\longrightarrow$ Lorentzfaktor $\longrightarrow$ induzierte Minkowski-Struktur.

13 Experimentelle Unterscheidbarkeit

Solange die SWT nur die Lorentzkinematik reproduziert, ist sie experimentell nicht von der SRT unterscheidbar.

Eine eigenständige Theorie entsteht erst durch zusätzliche Vorhersagen, etwa:

- lokale Variation der zeitartigen Expansionskomponente in Gravitationsfeldern,
- Unterschiede zwischen reiner Beschleunigung und gravitativem Feld,
- Abhängigkeit galaktischer Dynamik von Void-Strukturen,
- spezifische SWT-Feldgleichungen.

Die Normrelation ist daher notwendige Grundlage der SWT, aber nicht allein hinreichend für deren empirische Bestätigung.

14 Offene mathematische Fragen

Für eine vollständige Fundamentierung sind insbesondere folgende Punkte zu bearbeiten:

1. globale Differentialgeometrie der expandierenden 4D-Struktur,
2. Definition der beobachtbaren 3D-Hyperfläche,
3. Dynamik des lokalen Normalenfeldes $n(x)$,
4. Beziehung zwischen euklidischer Grundmetrik und effektiver Lorentzmetrik,
5. Kopplung von Materie an den Expansionsvektor,
6. Herleitung der gravitativen Feldgleichungen,
7. Energie-Impuls-Erhaltung in Newton- und SLH-Raum,
8. Quantisierung der Expansionsstruktur.

15 Schlussfolgerung

Die SWT-Normrelation

$$c_0^2 = c^2 + v^2$$

kann streng aus einer vierdimensionalen isotropen Expansion hergeleitet werden, sofern mehrere zusätzliche Voraussetzungen explizit gemacht werden:

1. Der fundamentale Expansionsraum ist lokal euklidisch.
2. Die Expansionsnorm ist universell konstant.
3. Raum- und Zeitanteil bilden orthogonale Projektionen.
4. Die zeitartige Projektion wird physikalisch mit der Eigenzeitrates identifiziert.

Unter diesen Voraussetzungen ist die Normrelation eine direkte Folge des Pythagoras im vierdimensionalen Raum.

Aus ihr folgt unmittelbar der Lorentzfaktor. Die Minkowski-Struktur kann als induzierte Geometrie gewonnen werden, wenn die Eigenzeit durch die zeitartige Projektion definiert wird. Die vollständige Lorentztransformation erfordert jedoch weitere Annahmen, insbesondere Linearität und Relativitätsprinzip.

Damit erreicht die SWT eine mathematisch klare, aber begrenzte Fundamentierung: Die Normrelation ist innerhalb des gewählten Axiomensystems streng hergeleitet. Das Axiomensystem selbst bleibt eine physikalische Hypothese, die durch eigenständige empirische Vorhersagen geprüft werden muss.

Literatur

- [1] Einstein, A.: Zur Elektrodynamik bewegter Körper. *Annalen der Physik* 17, 891–921 (1905).
- [2] Minkowski, H.: Raum und Zeit. *Physikalische Zeitschrift* 10, 75–88 (1909).
- [3] Rindler, W.: *Relativity: Special, General, and Cosmological*. Oxford University Press.
- [4] Misner, C. W.; Thorne, K. S.; Wheeler, J. A.: *Gravitation*. W. H. Freeman (1973).
- [5] Carroll, S.: *Spacetime and Geometry*. Addison-Wesley (2004).
- [6] O’Neill, B.: *Semi-Riemannian Geometry*. Academic Press (1983).
- [7] Feuerbach, H.: Die Strömungs-Widerstands-Theorie (SWT), Teil 1: Grundlagen, Relativität und Gravitation. Version 1.0 (2026).