

# Einheitenkonventionen und die Lichtgeschwindigkeit $c$

$E=mc^2$  vs.  $E=m$ : Zwei äquivalente Perspektiven

Natürliche Einheiten, SI-Einheiten und die T0-Sichtweise

Johann Pascher

Januar 2025

## Zusammenfassung

Dieses Dokument untersucht die Frage, wann man  $c=1$  setzen kann (natürliche Einheiten) und wann man die volle Form  $E=mc^2$  mit  $c=299\,792\,458\text{ m/s}$  (SI-Einheiten) benötigt. Parallel zur Behandlung der Feinstrukturkonstante  $\alpha$  in Dokument 101 zeigt sich: Beide Perspektiven sind mathematisch äquivalent und unterscheiden sich nur in der Wahl des Einheitensystems. Die T0-Theorie offenbart, dass  $c$  kein fundamentales Naturgesetz, sondern ein dynamisches Verhältnis  $L/T$  ist. Aus T0-Sicht kann  $c=1$  gesetzt werden (Planck-Einheiten, Teilchenphysik), während für technische Anwendungen und Präzisionsmessungen SI-Einheiten mit explizitem  $c$  erforderlich sind. Die Äquivalenz  $E=mc^2 \leftrightarrow E=m$  gilt exakt in natürlichen Einheiten. Referenzen: Dokumente 013 (SI-System), 014 (nat./SI), 015 (Systematik), 077 ( $E=mc^2$ -Analyse), 101 ( $\alpha$ -Konventionen).

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung: Die Frage nach $c=1$	2
1.1	Die zentrale Frage	2
1.2	Historischer Kontext	2
2	Natürliche Einheiten: Wann $c=1$ gültig ist	2
2.1	Definition natürlicher Einheiten	2
2.2	Anwendungsbereiche	3
2.3	Mathematische Konsistenz	3
2.4	T0-Perspektive: $c$ als Verhältnis	3

3	SI-Einheiten: Wann $c=299\,792\,458$ m/s benötigt wird	3
3.1	Die SI-Definition (seit 2019)	3
3.2	Anwendungsbereiche	4
3.3	Mathematische Form	4
3.4	Umrechnung zwischen Einheitensystemen	4
4	Vergleich mit $\alpha$ : Parallele Struktur	5
4.1	Zwei analoge Konventionen	5
4.2	Gemeinsame Prinzipien	5
4.3	T0-Reduktion	5
5	Wann welches System verwenden?	5
5.1	Entscheidungsmatrix	5
5.2	Empfehlungen	5
6	Häufige Missverständnisse	6
6.1	Missverständnis: $c=1$ ist nur eine Näherung	6
6.2	Missverständnis: $E=m$ gilt nur für Photonen	6
6.3	Missverständnis: $c$ ist eine fundamentale Naturkonstante	6
6.4	Missverständnis: Natürliche Einheiten ändern die Physik	7
7	T0-Perspektive: $c$ als dynamisches Verhältnis	7
7.1	Die T0-Grundrelation	7
7.2	Implikationen	7
7.3	Vergleich mit Dokument 077	7
8	Mathematische Konsistenz	8
8.1	Energie-Impuls-Relation	8
8.2	Lorentz-Transformation	8
8.3	Klein-Gordon-Gleichung	8
9	Referenzen zu T0-Dokumenten	9
9.1	Verwandte Dokumente	9
9.2	Ableitungshierarchie	9

# 1 Einleitung: Die Frage nach $c=1$

## 1.1 Die zentrale Frage

Die Frage "Wann kann man  $c=1$  setzen?" ist analog zur Frage "Wann kann man  $\alpha=1$  setzen?", die in Dokument 101 behandelt wurde. In beiden Fällen geht es um **Einheitenkonventionen**, nicht um fundamentale Physik.

### Zentrale These

**$E=mc^2$  und  $E=m$  sind mathematisch identisch!**

- In SI-Einheiten:  $E = mc^2$  mit  $c = 299\,792\,458$  m/s
- In natürlichen Einheiten:  $E = m$  mit  $c = 1$

Beide Formen beschreiben dieselbe Physik – nur die Einheitenwahl unterscheidet sich.

## 1.2 Historischer Kontext

Einstein schrieb 1905 die berühmte Formel:

$$E = mc^2 \quad (1)$$

Diese Form war notwendig, weil er in **SI-Einheiten** arbeitete, wo Länge (Meter), Zeit (Sekunde) und Masse (Kilogramm) unabhängige Dimensionen haben.

**Moderne Teilchenphysik** verwendet stattdessen:

$$E = m \quad (\text{in natürlichen Einheiten mit } c = \hbar = 1) \quad (2)$$

# 2 Natürliche Einheiten: Wann $c=1$ gültig ist

## 2.1 Definition natürlicher Einheiten

In natürlichen Einheiten setzt man:

$$c = 1, \quad \hbar = 1, \quad (\text{optional: } k_B = 1) \quad (3)$$

**Mathematische Bedeutung:**

$$c = 1 \quad \Rightarrow \quad \text{Länge} \equiv \text{Zeit} \quad (4)$$

$$\hbar = 1 \quad \Rightarrow \quad \text{Energie} \equiv \text{inverse Zeit} \quad (5)$$

## 2.2 Anwendungsbereiche

Natürliche Einheiten sind angemessen in:

- **Planck-Skala:** Quantengravitation, fundamentale Theorie
  - **Teilchenphysik:** Hochenergiephysik, QFT, Standardmodell
  - **Kosmologie:** Frühe Universen, inflationäre Modelle
  - **Theoretische Arbeit:** Mathematische Ableitungen, Symmetrien
- Vorteil:** Formeln werden einfacher, physikalische Zusammenhänge klarer.

## 2.3 Mathematische Konsistenz

In natürlichen Einheiten gilt:

$$E^2 = p^2 + m^2 \quad (6)$$

Im Ruhesystem ( $p = 0$ ):

$$E = m \quad (7)$$

Dies ist exakt – **keine Näherung**.

## 2.4 T0-Perspektive: c als Verhältnis

Die T0-Theorie zeigt (siehe Dokument 077):

$$c = \frac{L}{T} \quad (8)$$

**c ist kein fundamentales Naturgesetz, sondern ein *Verhältnis*!**

Mit der T0-Grundrelation:

$$T \cdot m = 1 \quad (\text{Zeit-Masse-Dualität}) \quad (9)$$

folgt, dass c ein dynamisches Verhältnis ist, das mit der Massenskala variiert.

**Implikation:** In Planck-Einheiten, wo  $t_P = \ell_P/c$ , ist  $c=1$  die natürliche Wahl.

# 3 SI-Einheiten: Wann $c=299\,792\,458$ m/s benötigt wird

## 3.1 Die SI-Definition (seit 2019)

Das moderne SI-System definiert seit 2019:

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s (exakt)} \quad (10)$$

Diese Wahl ist eine **Konvention**, die das Meter über die Sekunde definiert.

### 3.2 Anwendungsbereiche

SI-Einheiten mit explizitem  $c$  sind erforderlich in:

- **Ingenieurwesen:** GPS, Telekommunikation, Lasertechnik
  - **Präzisionsmessungen:** Atomuhren, Interferometrie, Metrologie
  - **Experimentalphysik:** Labormessungen mit SI-geeichten Geräten
  - **Angewandte Physik:** Energieberechnungen, Dosimetrie
  - **Öffentlichkeit & Lehre:** Verständlichkeit, historische Kontinuität
- Vorteil:** Praktische Berechenbarkeit mit geeichten Messgeräten.

### 3.3 Mathematische Form

In SI-Einheiten:

$$E = \gamma mc^2 \quad (11)$$

mit dem Lorentzfaktor:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (12)$$

Im Ruhesystem ( $v = 0$ ,  $\gamma = 1$ ):

$$E = mc^2 \quad (13)$$

### 3.4 Umrechnung zwischen Einheitensystemen

Von natürlichen Einheiten zu SI:

$$E_{\text{nat}} = m_{\text{nat}} \quad (14)$$

$$\Downarrow \quad (\text{Multiplikation mit } c^2) \quad (15)$$

$$E_{\text{SI}} = m_{\text{SI}} \cdot c^2 \quad (16)$$

**Beispiel:** Elektronmasse

$$m_e = 0,511 \text{ MeV} \quad (\text{natürliche Einheiten}) \quad (17)$$

$$m_e = 9,109 \times 10^{-31} \text{ kg} \quad (\text{SI}) \quad (18)$$

$$E_e = m_e c^2 = 0,511 \text{ MeV} = 8,187 \times 10^{-14} \text{ J} \quad (19)$$

Konvention	Feinstrukturkonstante $\alpha$	Lichtgeschwindigkeit $c$
Natürlich	$\alpha = 1$ (Heaviside-Lorentz)	$c = 1$ (Planck-Einheiten)
SI / Standard	$\alpha = 1/137,036$ (Gauss-SI)	$c = 299\,792\,458$ m/s
Dokument	101 (Zirkularität-Konstanten)	134 (Einheitenkonventionen $c$ )

Tabelle 1: Parallele Struktur:  $\alpha$  und  $c$  als Konventionen

## 4 Vergleich mit $\alpha$ : Parallele Struktur

### 4.1 Zwei analoge Konventionen

### 4.2 Gemeinsame Prinzipien

Beide Fälle zeigen:

- **Physik ist invariant** unter Einheitenwahl
- **Natürliche Einheiten** vereinfachen theoretische Arbeit
- **SI-Einheiten** ermöglichen praktische Anwendungen
- **T0-Theorie**: Beide sind abgeleitete Konventionen, nicht fundamental

### 4.3 T0-Reduktion

Aus T0-Sicht (siehe Dokument 101):

$$\xi \rightarrow D_f \rightarrow E_0 \rightarrow \alpha \rightarrow \hbar, c, G \rightarrow \text{alle anderen Konstanten} \quad (20)$$

**Nur  $\xi = \frac{4}{3} \times 10^{-4}$  ist fundamental.**

Sowohl  $\alpha$  als auch  $c$  sind abgeleitete Größen oder Konventionen.

## 5 Wann welches System verwenden?

### 5.1 Entscheidungsmatrix

### 5.2 Empfehlungen

**Verwende natürliche Einheiten ( $c=1$ ), wenn:**

- Du theoretische Ableitungen durchführst
- Symmetrien und invariante Strukturen wichtig sind
- Formeln vereinfacht werden sollen
- Du in Teilchenphysik oder Kosmologie arbeitest

**Verwende SI-Einheiten ( $c$  explizit), wenn:**

Kontext	Natürliche Einheiten ( $c=1$ )	SI-Einheiten ( $c$ explizit)
Theoretische Physik	✓	
Quantenfeldtheorie	✓	
Hochenergiephysik	✓	
Kosmologie (früh)	✓	
Experimentalphysik		✓
Ingenieurwesen		✓
Präzisionsmessungen		✓
Angewandte Physik		✓
Lehre		✓

**Tabelle 2:** Anwendungsbereiche der Einheitensysteme

- Du experimentelle Messungen planst oder auswertest
- Technische Berechnungen erforderlich sind
- Ergebnisse für Nicht-Physiker verständlich sein sollen
- Historische Kontinuität wichtig ist

## 6 Häufige Missverständnisse

### 6.1 Missverständnis: $c=1$ ist nur eine Näherung

**FALSCH.**  $c=1$  ist **exakt** in natürlichen Einheiten, nicht eine Näherung.  
Es ist eine Wahl des Einheitensystems, die definiert:

$$\text{Längeneinheit} = \text{Zeiteinheit} \quad (21)$$

Analog: In Planck-Einheiten ist  $\hbar = 1$  exakt, nicht näherungsweise.

### 6.2 Missverständnis: $E=m$ gilt nur für Photonen

**FALSCH.** In natürlichen Einheiten gilt  $E = m$  für **alle** Teilchen im Ruhesystem.  
Für Photonen ( $m = 0$ ) gilt:  $E = p$  (in natürlichen Einheiten) oder  $E = pc$  (in SI).

### 6.3 Missverständnis: $c$ ist eine fundamentale Naturkonstante

**T0-Sichtweise:**  $c$  ist ein **Verhältnis**  $L/T$ , keine fundamentale Konstante.

Mit der T0-Dualität  $T \cdot m = 1$  variiert  $c$  dynamisch mit der Massenskala:

$$c = \frac{L}{T} = L \cdot m \quad (22)$$

Nur in SI-Einheiten wird  $c$  *per Definition* fixiert.

## 6.4 Missverständnis: Natürliche Einheiten ändern die Physik

**FALSCH.** Die Physik ist unabhängig vom Einheitensystem.

Alle **dimensionslosen** Größen (z.B.  $\xi$ ,  $\alpha$ , Massenverhältnisse) sind invariant.  
Nur dimensionsbehaftete Größen ändern ihre Zahlenwerte.

# 7 T0-Perspektive: $c$ als dynamisches Verhältnis

## 7.1 Die T0-Grundrelation

Aus Dokument 077:

$$T \cdot m = 1 \quad (\text{Zeit-Masse-Dualität}) \quad (23)$$

Dies bedeutet:

$$T \propto \frac{1}{m} \quad (24)$$

$$L \propto \frac{1}{m} \quad (\text{über Compton-Wellenlänge}) \quad (25)$$

$$\Rightarrow c = \frac{L}{T} \propto \frac{1/m}{1/m} = \text{skalenabhängig} \quad (26)$$

## 7.2 Implikationen

### 1. $c$ ist nicht universell konstant im T0-Rahmen:

In verschiedenen Massenskalen können unterschiedliche effektive  $c$ -Werte auftreten.

### 2. SI-Definition $c=299\,792\,458$ m/s ist eine Kalibrierung:

Diese Fixierung definiert das Meter über die Sekunde – eine metrologische Konvention.

### 3. Natürliche Einheiten $c=1$ sind T0-konsistent:

In Planck-Einheiten, wo  $t_P \propto \ell_P$ , ist  $c=1$  die natürliche Wahl.

## 7.3 Vergleich mit Dokument 077

Dokument 077 argumentiert: " $E=mc^2 = E=m$  – Die Konstanten-Illusion entlarvt"

**Präzisierung hier:**

- $E=mc^2$  (SI) und  $E=m$  (natürlich) sind *äquivalent*, nicht identisch

- Der Unterschied liegt im *Einheitensystem*, nicht in der Physik
- Einsteins  $c$ -Fixierung ist eine *Konvention*, kein Fehler
- T0 zeigt:  $c$  ist ein Verhältnis, das je nach Skala variieren kann

## 8 Mathematische Konsistenz

### 8.1 Energie-Impuls-Relation

In natürlichen Einheiten ( $c = 1$ ):

$$E^2 = p^2 + m^2 \quad (27)$$

In SI-Einheiten:

$$E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2 \quad (28)$$

Beide Formen sind mathematisch äquivalent.

### 8.2 Lorentz-Transformation

In natürlichen Einheiten:

$$E' = \gamma(E - p \cdot v) \quad (29)$$

In SI-Einheiten:

$$E' = \gamma(E - p \cdot v \cdot c^2) \quad (30)$$

Die Physik bleibt invariant.

### 8.3 Klein-Gordon-Gleichung

In natürlichen Einheiten:

$$(\partial_\mu \partial^\mu + m^2)\phi = 0 \quad (31)$$

In SI-Einheiten:

$$\left( \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \nabla^2 + \frac{m^2 c^2}{\hbar^2} \right) \phi = 0 \quad (32)$$

Identische Physik, unterschiedliche Notation.

## 9 Referenzen zu T0-Dokumenten

### 9.1 Verwandte Dokumente

- **Dokument 013:** SI-System und T0-Theorie
- **Dokument 014:** Natürliche vs. SI-Einheiten
- **Dokument 015:** Systematik natürlicher Einheiten
- **Dokument 077:**  $E=mc^2 = E=m$  Analyse
- **Dokument 101:** Zirkularität der Konstanten ( $\alpha$ -Konventionen)
- **Dokument 133:** Fraktale Korrektur  $K_{\text{frak}}$  Herleitung

### 9.2 Ableitungshierarchie

Die T0-Hierarchie (aus Dokument 101):

$$\xi \rightarrow D_f \rightarrow E_0 \rightarrow \alpha \rightarrow \hbar, c, G \rightarrow \text{Massenverhältnisse} \quad (33)$$

zeigt, dass sowohl  $\alpha$  als auch  $c$  abgeleitete Größen sind.