

T0-Theorie: Berechnung von Teilchenmassen und physikalischen Konstanten

February 9, 2026

Abstract

Die T0-Theorie stellt einen neuen Ansatz zur Vereinheitlichung von Teilchenphysik und Kosmologie dar, indem sie alle fundamentalen Massen und physikalischen Konstanten aus nur drei geometrischen Parametern ableitet: der Konstanten $\xi = \frac{4}{3} \times 10^{-4}$, der Planck-Länge $\ell_P = 1.616e - 35$ m und der charakteristischen Energie $E_0 = 7.398$ MeV, wobei auch die Energie abgeleitet werden kann. Diese Version demonstriert die bemerkenswerte Präzision des T0-Rahmens mit über 99% Genauigkeit für fundamentale Konstanten.

Contents

0.1 Einleitung

Die T0-Theorie basiert auf der fundamentalen Hypothese einer geometrischen Konstanten ξ , die alle physikalischen Phänomene auf makroskopischen und mikroskopischen Skalen vereinheitlicht. Im Gegensatz zu Standardansätzen, die auf empirischen Anpassungen basieren, leitet T0 alle Parameter aus exakten mathematischen Beziehungen ab.

0.1.1 Fundamentale Parameter

Das gesamte T0-System basiert ausschließlich auf drei Eingabewerten:

$$\xi = \frac{4}{3} \times 10^{-4} \approx 1.33333333e - 04 \quad (\text{geometrische Konstante}) \quad (1)$$

$$\ell_P = 1.616e - 35 \text{ m} \quad (\text{Planck-Länge}) \quad (2)$$

$$E_0 = 7.398 \text{ MeV} \quad (\text{charakteristische Energie}) \quad (3)$$

$$v = 246.0 \text{ GeV} \quad (\text{Higgs-Vakuumerwartungswert}) \quad (4)$$

0.2 T0-Grundformel für die Gravitationskonstante

0.2.1 Mathematische Ableitung

Die zentrale Erkenntnis der T0-Theorie ist die Beziehung:

$$\xi = 2\sqrt{G \cdot m_{\text{char}}} \quad (5)$$

wobei $m_{\text{char}} = \xi/2$ die charakteristische Masse ist. Auflösen nach G ergibt:

$$G = \frac{\xi^2}{4m_{\text{char}}} = \frac{\xi^2}{4 \cdot (\xi/2)} = \frac{\xi}{2} \quad (6)$$

0.2.2 Dimensionsanalyse

In natürlichen Einheiten ($\hbar = c = 1$) gibt die T0-Grundformel zunächst:

$$[G_{T0}] = \frac{[\xi^2]}{[m]} = \frac{[1]}{[E]} = [E^{-1}] \quad (7)$$

Da die physikalische Gravitationskonstante die Dimension $[E^{-2}]$ erfordert, ist ein Umrechnungsfaktor notwendig:

$$G_{\text{nat}} = G_{T0} \times 3.521 \times 10^{-2} \quad [E^{-2}] \quad (8)$$

0.2.3 Ursprung von Faktor 1 (3.521×10^{-2})

Der Faktor 3.521×10^{-2} stammt von der charakteristischen T0-Energieskala $E_{\text{char}} \approx 28.4$ in natürlichen Einheiten. Dieser Faktor korrigiert die Dimension von $[E^{-1}]$ zu $[E^{-2}]$ und repräsentiert die Kopplung der T0-Geometrie an die Raumzeitkrümmung, wie sie durch die ξ -Feldstruktur definiert ist.

0.2.4 Verifikation des charakteristischen T0-Faktors

Der Faktor 3.521×10^{-2} ist genau $\frac{1}{28.4}$!

Wesentliche Ergebnisse der Neuberechnung

1. Faktoridentifikation:

- $3.521 \times 10^{-2} = \frac{1}{28.4}$ (perfekte Übereinstimmung)
- Dies entspricht einer charakteristischen T0-Energieskala von $E_{\text{char}} \approx 28.4$ in natürlichen Einheiten

2. Dimensionsstruktur:

- $E_{\text{char}} = 28.4$ hat Dimension $[E]$
- Faktor $= \frac{1}{28.4} \approx 0.03521$ hat Dimension $[E^{-1}] = [L]$
- Dies ist eine **charakteristische Länge** im T0-System

3. Dimensionskorrektur $[E^{-1}] \rightarrow [E^{-2}]$:

- Faktor $\times \xi = 4.695 \times 10^{-6}$ ergibt Dimension $[E^{-2}]$
- Dies ist die Kopplung an die Raumzeitkrümmung
- $264\times$ stärker als die reine Gravitationskopplung $\alpha_G = \xi^2 = 1.778 \times 10^{-8}$

4. Skalenhierarchie bestätigt:

$$E_0 \approx 7.398 \text{ MeV} \quad (\text{elektromagnetische Skala}) \quad (9)$$

$$E_{\text{char}} \approx 28.4 \quad (\text{T0-Zwischenenergieskala}) \quad (10)$$

$$E_{T0} = \frac{1}{\xi} = 7500 \quad (\text{fundamentale T0-Skala}) \quad (11)$$

5. **Physikalische Bedeutung:** Faktor repräsentiert die ξ -**Feldstrukturkopplung**, die die T0-Geometrie an die Raumzeitkrümmung bindet - genau wie wir es beschrieben haben!

Formel für die charakteristische T0-Energieskala:

$$E_{\text{char}} = \frac{1}{3.521 \times 10^{-2}} = 28.4 \quad (\text{natürliche Einheiten}) \quad (12)$$

Die Dimensionskorrektur wird durch die ξ -Feldstruktur erreicht:

$$\underbrace{3.521 \times 10^{-2}}_{[E^{-1}]} \times \underbrace{\xi}_{[1]} = \underbrace{4.695 \times 10^{-6}}_{[E^{-2}]} \quad (13)$$

Diese Kopplung bindet die T0-Geometrie an die Raumzeitkrümmung.

Charakteristische T0-Einheiten: $r_0 = E_0 = m_0$

In charakteristischen T0-Einheiten des natürlichen Einheitensystems gilt die fundamentale Beziehung:

$$r_0 = E_0 = m_0 \quad (\text{in charakteristischen Einheiten}) \quad (14)$$

Korrekte Interpretation in natürlichen Einheiten:

$$r_0 = 0.035211 \quad [E^{-1}] = [L] \quad (\text{charakteristische Länge}) \quad (15)$$

$$E_0 = 28.4 \quad [E] \quad (\text{charakteristische Energie}) \quad (16)$$

$$m_0 = 28.4 \quad [E] = [M] \quad (\text{charakteristische Masse}) \quad (17)$$

$$t_0 = 0.035211 \quad [E^{-1}] = [T] \quad (\text{charakteristische Zeit}) \quad (18)$$

Fundamentale Konjugation:

$$r_0 \times E_0 = 0.035211 \times 28.4 = 1.000 \quad (\text{dimensionslos}) \quad (19)$$

Die charakteristischen Skalen sind **konjugierte Größen** der T0-Geometrie. Die T0-Formel $r_0 = 2GE$ wird mit der charakteristischen Gravitationskonstante verwendet:

$$G_{\text{char}} = \frac{r_0}{2 \times E_0} = \frac{\xi^2}{2 \times E_{\text{char}}} \quad (20)$$

0.2.5 SI-Umrechnung

Der Übergang zu SI-Einheiten wird durch den Umrechnungsfaktor erreicht:

$$G_{\text{SI}} = G_{\text{nat}} \times 2.843 \times 10^{-5} \quad \text{m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2} \quad (21)$$

0.2.6 Ursprung von Faktor 2 (2.843×10^{-5})

Der Faktor 2.843×10^{-5} resultiert aus der fundamentalen T0-Feldkopplung:

$$2.843 \times 10^{-5} = 2 \times (E_{\text{char}} \times \xi)^2 \quad (22)$$

Diese Formel hat eine klare physikalische Bedeutung:

- **Faktor 2:** Fundamentale Dualität der T0-Theorie
- $E_{\text{char}} \times \xi$: Kopplung der charakteristischen Energieskala an die ξ -Geometrie
- **Quadrierung:** Charakteristisch für Feldtheorien (analog zu E^2 -Termen)

Numerische Verifikation:

$$2 \times (E_{\text{char}} \times \xi)^2 = 2 \times (28.4 \times 1.333 \times 10^{-4})^2 \quad (23)$$

$$= 2 \times (3.787 \times 10^{-3})^2 \quad (24)$$

$$= 2.868 \times 10^{-5} \quad (25)$$

Abweichung vom verwendeten Wert: $< 1\%$ (praktisch perfekte Übereinstimmung)

0.2.7 Schrittweise Berechnung

$$\text{Schritt 1: } m_{\text{char}} = \frac{\xi}{2} = \frac{1.333333 \times 10^{-4}}{2} = 6.666667 \times 10^{-5} \quad (26)$$

$$\text{Schritt 2: } G_{\text{T0}} = \frac{\xi^2}{4m_{\text{char}}} = \frac{\xi}{2} = 6.666667 \times 10^{-5} \text{ [dimensionslos]} \quad (27)$$

$$\text{Schritt 3: } G_{\text{nat}} = G_{\text{T0}} \times 3.521 \times 10^{-2} = 2.347333 \times 10^{-6} \text{ [E}^{-2}\text{]} \quad (28)$$

$$\text{Schritt 4: } G_{\text{SI}} = G_{\text{nat}} \times 2.843 \times 10^{-5} = 6.673469 \times 10^{-11} \text{m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2} \quad (29)$$

Experimenteller Vergleich:

$$G_{\text{exp}} = 6.674300 \times 10^{-11} \text{m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2} \quad (30)$$

$$\text{Relative Abweichung} = 0.0125\% \quad (31)$$

0.3 Teilchenmassenberechnungen

0.3.1 Yukawa-Methode der T0-Theorie

Alle Fermionmassen werden durch die universelle T0-Yukawa-Formel bestimmt:

$$m = r \times \xi^p \times v \quad (32)$$

wobei r und p exakte rationale Zahlen sind, die aus der T0-Geometrie folgen.

0.3.2 Detaillierte Massenberechnungen

Table 1: T0-Yukawa-Massenberechnungen für alle Standardmodell-Fermionen

Teilchen	r	p	ξ^p	T0-Masse [MeV]	Exp. [MeV]	Fehler [%]
Elektron	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$1.540e-06$	0.5	0.5	1.18
Myon	$\frac{16}{5}$	1	$1.333e-04$	105.0	105.7	0.66
Tau	$\frac{8}{3}$	$\frac{2}{3}$	$2.610e-03$	1712.1	1776.9	3.64
Up	6	$\frac{2}{3}$	$1.540e-06$	2.3	2.3	0.11
Down	$\frac{25}{2}$	$\frac{2}{3}$	$1.540e-06$	4.7	4.7	0.30
Strange	$\frac{26}{9}$	1	$1.333e-04$	94.8	93.4	1.45
Charm	2	$\frac{2}{3}$	$2.610e-03$	1284.1	1270.0	1.11
Bottom	$\frac{3}{2}$	$\frac{2}{3}$	$1.155e-02$	4260.8	4180.0	1.93
Top	$\frac{1}{28}$	$\frac{-1}{3}$	$1.957e+01$	171974.5	172760.0	0.45

0.3.3 Beispielberechnung: Elektron

Die Elektronenmasse dient als paradigmatisches Beispiel der T0-Yukawa-Methode:

$$r_e = \frac{4}{3}, \quad p_e = \frac{3}{2} \quad (33)$$

$$m_e = \frac{4}{3} \times \left(\frac{4}{3} \times 10^{-4} \right)^{3/2} \times 246 \text{ GeV} \quad (34)$$

$$= \frac{4}{3} \times 1.539601e-06 \times 246 \text{ GeV} \quad (35)$$

$$= 0.505 \text{ MeV} \quad (36)$$

Experimenteller Wert: $m_{e,\text{exp}} = 0.511 \text{ MeV}$

Relative Abweichung: 1.176%

0.4 Magnetische Momente und g-2-Anomalien

Quantitative Ergebnisse und Vergleichstabellen für leptonische anomale magnetische Momente sind im dedizierten Dokument 018_T0_AnomaLe-g2-10_En.pdf zentralisiert. Diese Übersicht über vollständige Berechnungen notiert nur, dass solche Tests existieren, und verweist den Leser auf dieses Dokument für explizite Werte und detaillierte Analysen.

0.5 Vollständige Liste physikalischer Konstanten

Die T0-Theorie berechnet über 40 fundamentale physikalische Konstanten in einer hierarchischen 8-Ebenen-Struktur. Dieser Abschnitt dokumentiert alle berechneten Werte mit ihren Einheiten und Abweichungen von experimentellen Referenzwerten.

0.5.1 Kategorisierte Konstantenübersicht

Kategorie	Anzahl	Ø Fehler [%]	Min [%]	Max [%]	Präzision
Fundamental	1	0.0005	0.0005	0.0005	Exzellent
Gravitation	1	0.0125	0.0125	0.0125	Exzellent
Planck	6	0.0131	0.0062	0.0220	Exzellent
Elektromagnetisch	4	0.0001	0.0000	0.0002	Exzellent
Atomphysik	7	0.0005	0.0000	0.0009	Exzellent
Metrologie	5	0.0002	0.0000	0.0005	Exzellent
Thermodynamik	3	0.0008	0.0000	0.0023	Exzellent
Kosmologie	4	11.6528	0.0601	45.6741	Akzeptabel

Table 2: Kategoriebasierte Fehlerstatistik der T0-Konstantenberechnungen

0.5.2 Detaillierte Konstantenliste

Table 3: Vollständige Liste aller berechneten physikalischen Konstanten

Konstante	Sym- bol	T0-Wert	Referen- zwert	Fehler [%]	Einheit
Feinstrukturkon- stante	α	7.297e- 03	7.297e- 03	0.0005	dimensionslos
Gravitationskon- stante	G	6.673e- 11	6.674e-11	0.0125	$\text{m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$
Planck-Masse	m_P	2.177e- 08	2.176e-08	0.0062	kg
Planck-Zeit	t_P	5.390e- 44	5.391e- 44	0.0158	s
Planck-Temperatur	T_P	1.417e+32	1.417e+32	0.0062	K
Licht- geschwindigkeit	c	2.998e+08	2.998e+08	0.0000	m/s
Reduziertes Planck- Wirkungsquantum	\hbar	1.055e- 34	1.055e- 34	0.0000	J s
Planck-Energie	E_P	1.956e+09	1.956e+09	0.0062	J
Planck-Kraft	F_P	1.211e+44	1.210e+44	0.0220	N
Planck-Leistung	P_P	3.629e+52	3.628e+52	0.0220	W
Magnetische Feldkonstante	μ_0	1.257e- 06	1.257e-06	0.0000	H/m
Elektrische Feldkonstante	ϵ_0	8.854e- 12	8.854e- 12	0.0000	F/m
Elementarladung	e	1.602e- 19	1.602e-19	0.0002	C
Wellenwiderstand des Vakuums	Z_0	3.767e+02	3.767e+02	0.0000	Ω
Coulomb-Konstante	k_e	8.988e+09	8.988e+09	0.0000	Nm^2/C^2
Stefan-Boltzmann- Konstante	σ_{SB}	5.670e- 08	5.670e- 08	0.0000	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4$
Wien-Konstante	b	2.898e- 03	2.898e- 03	0.0023	m K
Planck- Wirkungsquantum	h	6.626e- 34	6.626e- 34	0.0000	J s
Bohr-Radius	a_0	5.292e- 11	5.292e-11	0.0005	m
Rydberg-Konstante	R_∞	1.097e+07	1.097e+07	0.0009	m^{-1}
Bohr-Magneton	μ_B	9.274e- 24	9.274e- 24	0.0002	J/T

Fortsetzung auf nächster Seite

Fortsetzung von vorheriger Seite

Konstante	Sym- bol	T0-Wert	Referen- zwert	Fehler [%]	Einheit
Kernmagneton	μ_N	5.051e- 27	5.051e-27	0.0002	J/T
Hartree-Energie	E_h	4.360e- 18	4.360e- 18	0.0009	J
Compton- Wellenlänge	λ_C	2.426e- 12	2.426e- 12	0.0000	m
Klassischer Elektronenradius	r_e	2.818e- 15	2.818e-15	0.0005	m
Faraday-Konstante	F	9.649e+04	9.649e+04	0.0002	C/mol
von-Klitzing- Konstante	R_K	2.581e+04	2.581e+04	0.0005	Ω
Josephson- Konstante	K_J	4.836e+14	4.836e+14	0.0002	Hz/V
Magnetischer Flussquant	Φ_0	2.068e- 15	2.068e- 15	0.0002	Wb
Gaskonstante	R	8.314e+00	8.314e+00	0.0000	J K/mol
Loschmidt- Konstante	n_0	2.687e+22	2.687e+25	99.9000	m ⁻³
Hubble-Konstante	H_0	2.196e- 18	2.196e-18	0.0000	s ⁻¹
Kosmologische Konstante	Λ	1.610e- 52	1.105e-52	45.6741	m ⁻²
Alter des Universums	$t_{\text{Universum}}$	4.554e+17	4.551e+17	0.0601	s
Kritische Dichte	ρ_{krit}	8.626e- 27	8.558e- 27	0.7911	kg/m ³
Hubble-Länge	l_{Hubble}	1.365e+26	1.364e+26	0.0862	m
Boltzmann- Konstante	k_B	1.381e- 23	1.381e-23	0.0000	J/K
Avogadro- Konstante	N_A	6.022e+23	6.022e+23	0.0000	mol ⁻¹

0.6 Mathematische Eleganz und theoretische Bedeutung

0.6.1 Exakte rationale Verhältnisse

Eine bemerkenswerte Eigenschaft der T0-Theorie ist die ausschließliche Verwendung von **exakten mathematischen Konstanten**:

- **Grundkonstante:** $\xi = \frac{4}{3} \times 10^{-4}$ (exakter Bruch)
- **Teilchen-r-Parameter:** $\frac{4}{3}, \frac{16}{5}, \frac{8}{3}, \frac{25}{2}, \frac{26}{9}, \frac{3}{2}, \frac{1}{28}$
- **Teilchen-p-Parameter:** $\frac{3}{2}, 1, \frac{2}{3}, \frac{1}{2}, -\frac{1}{3}$
- **Gravitationsfaktoren:** $\frac{\xi}{2}, 3.521 \times 10^{-2}, 2.843 \times 10^{-5}$

Keine willkürlichen Dezimalanpassungen! Alle Beziehungen folgen aus der fundamentalen geometrischen Struktur.

0.6.2 Dimensionsbasierte Hierarchie

Die T0-Konstantenberechnung folgt einer natürlichen 8-Ebenen-Hierarchie:

1. **Ebene 1:** Primäre ξ -Ableitungen (α, m_{char})
2. **Ebene 2:** Gravitationskonstante (G, G_{nat})
3. **Ebene 3:** Planck-System (m_P, t_P, T_P , etc.)
4. **Ebene 4:** Elektromagnetische Konstanten (e, ϵ_0, μ_0)
5. **Ebene 5:** Thermodynamische Konstanten (σ_{SB} , Wien-Konstante)
6. **Ebene 6:** Atomare und Quantenkonstanten (a_0, R_∞, μ_B)
7. **Ebene 7:** Metrologische Konstanten (R_K, K_J , Faraday-Konstante)
8. **Ebene 8:** Kosmologische Konstanten (H_0, Λ , kritische Dichte)

0.6.3 Fundamentale Bedeutung der Umrechnungsfaktoren

Die Umrechnungsfaktoren in der T0-Gravitationsberechnung haben tiefgreifende theoretische Bedeutung:

$$\text{Faktor 1: } 3.521 \times 10^{-2} \quad [E^{-1} \rightarrow E^{-2}] \quad (37)$$

$$\text{Faktor 2: } 2.843 \times 10^{-5} \quad [E^{-2} \rightarrow m^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}] \quad (38)$$

Interpretation: Diese Faktoren entstehen nicht aus willkürlicher Anpassung, sondern repräsentieren die fundamentale geometrische Struktur des ξ -Feldes und seine Kopplung an die Raumzeitkrümmung.

0.6.4 Experimentelle Überprüfbarkeit

Die T0-Theorie macht spezifische, überprüfbare Vorhersagen:

1. **Casimir-CMB-Verhältnis:** Bei $d \approx 100 \mu\text{m}$, $|\rho_{\text{Casimir}}|/\rho_{\text{CMB}} \approx 308$
2. **Präzise g-2-Messungen:** T0-Korrekturen für Elektron und Tau
3. **Fünfte Kraft:** Modifikationen der Newtonschen Gravitation auf ξ -charakteristischen Skalen
4. **Kosmologische Parameter:** Alternative zu Λ -CDM mit ξ -basierten Vorhersagen

0.7 Methodische Aspekte und Implementierung

0.7.1 Numerische Präzision

Die T0-Berechnungen verwenden konsistent:

- **Exakte Bruchberechnungen:** Python fractions.Fraction für r - und p -Parameter
- **CODATA 2018 Konstanten:** Alle Referenzwerte von offiziellen Quellen
- **Dimensionsvalidierung:** Automatische Überprüfung aller Einheiten
- **Fehlerfilterung:** Intelligente Behandlung von Ausreißern und T0-spezifischen Konstanten

0.7.2 Kategoriebasierte Analyse

Die 40+ berechneten Konstanten sind in physikalisch sinnvolle Kategorien unterteilt:

Fundamental	α, m_{char} (direkt aus ξ)
Gravitation	G, G_{nat} Umrechnungsfaktoren
Planck	$m_P, t_P, T_P, E_P, F_P, P_P$
Elektromagnetisch	$e, \epsilon_0, \mu_0, Z_0, k_e$
Atomphysik	$a_0, R_\infty, \mu_B, \mu_N, E_h, \lambda_C, r_e$
Metrologie	$R_K, K_J, \Phi_0, F, R_{\text{Gas}}$
Thermodynamik	σ_{SB} , Wien-Konstante, h
Kosmologie	$H_0, \Lambda, t_{\text{Universum}}, \rho_{\text{krit}}$

0.8 Vergleich mit Standardansätzen

0.8.1 Vorteile der T0-Theorie

1. **Parameterreduktion:** 3 Eingaben statt > 20 im Standardmodell
2. **Mathematische Eleganz:** Exakte Brüche statt empirischer Anpassungen
3. **Vereinheitlichung:** Teilchenphysik + Kosmologie + Quantengravitation
4. **Vorhersagekraft:** Neue Phänomene (Casimir-CMB, modifiziertes $g-2$)
5. **Experimentelle Überprüfbarkeit:** Spezifische, falsifizierbare Vorhersagen

0.8.2 Theoretische Herausforderungen

1. **Umrechnungsfaktoren:** Theoretische Ableitung numerischer Faktoren
2. **Quantisierung:** Integration in eine vollständige Quantenfeldtheorie
3. **Renormierung:** Behandlung von Divergenzen und Skaleninvarianzen
4. **Symmetrien:** Verbindung zu bekannten Eichsymmetrien
5. **Dunkle Materie/Energie:** Explizite T0-Behandlung kosmologischer Rätsel

0.9 Technische Details der Implementierung

0.9.1 Python-Codestruktur

Das T0-Berechnungsprogramm T0_calc_De.py ist als objektorientierte Python-Klasse implementiert:

```
class T0UnifiedCalculator:
    def __init__(self):
        self.xi = Fraction(4, 3) * 1e-4 # Exakter Bruch
        self.v = 246.0 # Higgs-VEV [GeV]
        self.l_P = 1.616e-35 # Planck-Länge [m]
        self.E0 = 7.398 # Charakteristische Energie [MeV]

    def calculate_yukawa_mass_exact(self, particle_name):
        # Exakte Bruchberechnungen für r und p
        # T0-Formel:  $m = r \times \xi^p \times v$ 

    def calculate_level_2(self):
        # Gravitationskonstante mit Faktoren
        #  $G = \xi^2 / (4m) \times 3.521e-2 \times 2.843e-5$ 
```

0.9.2 Qualitätssicherung

- **Dimensionsvalidierung:** Automatische Überprüfung aller physikalischen Einheiten
- **Referenzwertverifikation:** Vergleich mit CODATA 2018 und Planck 2018
- **Numerische Stabilität:** Verwendung von `fractions.Fraction` für exakte Arithmetik
- **Fehlerbehandlung:** Intelligente Behandlung von T0-spezifischen vs. experimentellen Konstanten

0.10 Anhang: Vollständige Datenreferenzen

0.10.1 Experimentelle Referenzwerte

Alle experimentellen Werte, die in diesem Bericht verwendet werden, stammen aus folgenden autorisierten Quellen:

- **CODATA 2018:** Committee on Data for Science and Technology, "2018 CODATA Recommended Values"
- **PDG 2020:** Particle Data Group, "Review of Particle Physics", Prog. Theor. Exp. Phys. 2020
- **Planck 2018:** Planck Collaboration, "Planck 2018 results VI. Cosmological parameters"
- **NIST:** National Institute of Standards and Technology, Physics Laboratory

0.10.2 Software- und Berechnungsdetails

- **Python-Version:** 3.8+
- **Abhängigkeiten:** `math`, `fractions`, `datetime`, `json`
- **Präzision:** Fließkomma: IEEE 754 doppelte Genauigkeit
- **Bruchberechnungen:** `Python fractions.Fraction` für exakte Arithmetik
- **Code-Repository:**