



# TEILCHENSTECKBRIEFE

## METHODISCHE ANREGUNGEN UND HINWEISE

Die Teilchensteckbriefe können verwendet werden, um die Materie-, Anti-Materie und Bonteilchen des Standardmodells der Teilchenphysik einzuführen und zu systematisieren. In diesem Dokument finden Sie Anregungen zur Verwendung der Teilchensteckbriefe.

**IMPRESSUM** Herausgeber: Michael Kobel, Thomas Trefzger **Autoren:** Michael Kobel (verantwortlich), Manuela Kuhar, Philipp Lindenau **Redaktion:** Uta Bilow, Flora Brinckmann, Caroline Förster, Michael Kobel, Felix Lehmann, Philipp Lindenau, Franziska Viebach **Layout und Grafiken:** büro quer, www.buero-quer.de, Netzwerk Teilchenwelt, TU Dresden **Projektleitung:** Michael Kobel, Uta Bilow | Netzwerk Teilchenwelt | TU Dresden, Institut für Kern- und Teilchenphysik | www.teilchenwelt.de, mail@teilchenwelt.de, Thomas Trefzger | Julius-Maximilians-Universität Würzburg | Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik **Redaktionsschluss:** Januar 2017 **Lizenz und Nutzung:** Creative Commons 2.0-by-nc-nd | Vervielfältigung und Weiterverbreitung des Inhalts ist bei Nennung der Quelle für Lehrzwecke ohne Rückfragen gestattet, sofern keine Veränderungen vorgenommen werden. Kommerzielle Nutzung, z.B. zu werblichen Zwecken oder in Lehrbüchern, ist ohne Rücksprache nicht gestattet. Es gilt das Impressum unter [www.teilchenwelt.de/service/impressum](http://www.teilchenwelt.de/service/impressum).

PROJEKLEITUNG



KONTEXTMATERIALIEN



PARTNER



SCHIRMHERRSCHAFT



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



## KURZBESCHREIBUNG

Die Teilchensteckbriefe können im Unterricht oder in Teilchenphysik-Masterclasses verwendet werden, um die Materie-, Anti-Materie- und Botenteilchen des Standardmodells der Teilchenphysik einzuführen oder ihre Eigenschaften zu wiederholen. In diesem Dokument finden Sie didaktische und methodische Hinweise zur Verwendung der Teilchensteckbriefe.

Die Teilchensteckbriefe sollten in Farbe auf kräftigem Papier ausgedruckt, ausgeschnitten und ggf. laminiert werden. Ein Satz Teilchensteckbriefe besteht aus 61 Karten: je 24 Materie- und Anti-Materieteilchen, 12 Botenteilchen sowie dem Higgs-Teilchen. Jedes Elementarteilchen besitzt sein eigenes Symbol. Teilchen mit ähnlichen Eigenschaften besitzen dieselbe Symbolform (siehe unten). Anhand der Hintergrundfarben lassen sie sich in Gruppen einteilen: Bei Materie- und Anti-Materieteilchen ist der Hintergrund hellblau, bei Botenteilchen hellgrün. Das Higgs-Teilchen, das zu keiner dieser Gruppen gehört, hat einen violetten Hintergrund.

UP-QUARK NACHWEIS: 1969	UP-QUARK NACHWEIS: 1969	UP-QUARK NACHWEIS: 1969	PHOTON NACHWEIS: 1905	ELEKTRON NACHWEIS: 1897
MATERIETEILCHEN	MATERIETEILCHEN	MATERIETEILCHEN	BOTENTEILCHEN	MATERIETEILCHEN
Masse: $\sim 2 \frac{MeV}{c^2}$	Masse: $\sim 2 \frac{MeV}{c^2}$	Masse: $\sim 2 \frac{MeV}{c^2}$	Masse: $0 \frac{MeV}{c^2}$	Masse: $0,511 \frac{MeV}{c^2}$
Elektrische Ladungszahl: $+\frac{2}{3}$	Elektrische Ladungszahl: $+\frac{2}{3}$	Elektrische Ladungszahl: $+\frac{2}{3}$	Elektrische Ladungszahl: $0$	Elektrische Ladungszahl: $-1$
Starker Farbladungsvektor: <b>blau</b>	Starker Farbladungsvektor: <b>rot</b>	Starker Farbladungsvektor: <b>grün</b>	Starker Farbladungsvektor: <b>farblos 0</b>	Starker Farbladungsvektor: <b>farblos 0</b>
Schwache Ladungszahl: $+\frac{1}{2}$	Schwache Ladungszahl: $+\frac{1}{2}$	Schwache Ladungszahl: $+\frac{1}{2}$	Schwache Ladungszahl: $0$	Schwache Ladungszahl: $-\frac{1}{2}$
Mittlere Lebensdauer: <b>unbegrenzt</b>	Mittlere Lebensdauer: <b>unbegrenzt</b>	Mittlere Lebensdauer: <b>unbegrenzt</b>	Mittlere Lebensdauer: <b>unbegrenzt</b>	Mittlere Lebensdauer: <b>unbegrenzt</b>
			Mittlere Reichweite: <b>unbegrenzt</b>	



Quarks  
mit positiver schwacher Ladung



Quarks  
mit negativer schwacher Ladung



Anti-Quarks  
mit positiver schwacher Ladung



Anti-Quarks  
mit negativer schwacher Ladung



Leptonen  
mit positiv schwacher Ladung



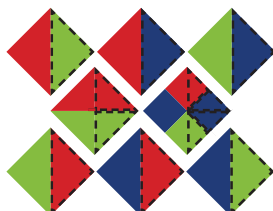
Leptonen  
mit negativer schwacher Ladung



Photon



W- und Z-Teilchen



Gluonen



Higgs-Teilchen



## ALLGEMEINE HINWEISE

### EINORDNUNG IM UNTERRICHT

- ▶ Die Einführung der Elementarteilchen bietet sich ab der 10. Klasse im Rahmen einer Unterrichtsreihe über Teilchenphysik an.
- ▶ Das Material kann zur Einführung der Elementarteilchen oder zur Wiederholung und Festigung eingesetzt werden.
- ▶ Das Thema kann an eine Unterrichtsreihe über Kernphysik oder Radioaktivität angeknüpft werden.
- ▶ Ergänzend zur Einführung der Elementarteilchen bieten sich Unterrichtsstunden zum Thema Wechselwirkungen oder zum Nachweis von Teilchen mittels Detektoren an.
- ▶ Die anschließende Durchführung eines Teilchenphysik-Projektstages (Masterclass) ermöglicht es den Jugendlichen, ihr Wissen aktiv umzusetzen und einen Einblick in die moderne Teilchenphysik zu erhalten. Mehr Informationen finden Sie unter [www.teilchenwelt.de/angebote/masterclasses](http://www.teilchenwelt.de/angebote/masterclasses).

### VORKENNTNISSE

Atomaufbau; Elektronen; elektrische Ladung; Aufbau von Protonen und Neutronen aus Quarks; Vorsilben (Kilo, Mega, Giga...), Elektronenvolt als Energieeinheit, und  $eV/c^2$  als Masseeinheit

### ZIELE

Im Folgenden werden einige Lernziele angegeben, die mit dem Einsatz der Teilchensteckbriefe verfolgt werden können. Je nach dem, welches Vorwissen bereits vorhanden ist, tritt das Festigen bestimmter Kenntnisse an die Stelle des Kennenlernens der Teilchen und ihrer Eigenschaften. Warum es zweckmäßig ist, insbesondere die Ladungsarten bereits vor der Einführung aller Teilchen des Standardmodells zu thematisieren, wird in den Unterrichtsmaterialien (Band 1) von Netzwerk Teilchenwelt beschrieben.

Die Jugendlichen...

- ▶ ... lernen die grundlegenden Eigenschaften von Elementarteilchen (Masse, Ladungen etc.) kennen.
- ▶ ... beschreiben Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Elementarteilchen.
- ▶ ... erklären Unterschiede zwischen Quarks und Leptonen.
- ▶ ... beschreiben die Ordnung der Materieteilchen in drei Generationen.
- ▶ ... vergleichen die Eigenschaften von Materie- und Anti-Materieteilchen.
- ▶ ... lernen die drei Ladungsarten (stark, schwach, elektrisch) kennen.
- ▶ ... lernen die Botenteilchen der drei für die Teilchenphysik relevanten Wechselwirkungen kennen.
- ▶ ... legen mit Hilfe der Teilchensteckbriefe einige zusammengesetzte Teilchen, z.B. Proton und Neutron, sowie Teilchenumwandlungen.

### ZEITBEDARF

Abhängig von der verwendeten Methode benötigen Sie 10–20 Minuten zur Erklärung und Durchführung. Danach sollte eine Auswertung erfolgen.



#### Unterrichtsmaterial zur Astro-/Teilchenphysik

[www.teilchenwelt.de/tp](http://www.teilchenwelt.de/tp)

#### weiterführende Links und Literaturtipps

[www.teilchenwelt.de/material](http://www.teilchenwelt.de/material)



## METHODISCHE ANREGUNGEN

### METHODE 1: TEILCHEN SORTIEREN

- ▶ **Beschreibung:** Jeder Teilnehmer erhält einen Teilchensteckbrief. Für diese Methode kann das Higgs-Teilchen weggelassen werden, da es sich in keine Gruppe einordnen lässt. Der Arbeitsauftrag kann lauten: „**Findet euch mit anderen Elementarteilchen in sinnvolle Gruppen zusammen. Überlegt dann, welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede die Teilchen haben. Gibt es eine Ordnung innerhalb eurer Gruppe?**“
- ▶ **Hinweise:** Jeder Teilnehmer setzt sich mit den Eigenschaften „seines“ Elementarteilchens auseinander und vergleicht diese mit anderen. So finden sich die Jugendlichen weitgehend selbstständig in Gruppen zusammen. Die Lehrkraft sollte nur bei Bedarf eingreifen: „Schau dir die Symbole/den Hintergrund an. Suche nach Elementarteilchen, die ähnliche Eigenschaften haben.“
- ▶ **Auswertung:** Die Jugendlichen erläutern, wie und warum sie bestimmte Gruppen gebildet haben. Dabei sollten Gemeinsamkeiten innerhalb der Gruppe und Unterschiede zu anderen Gruppen angesprochen werden sowie die Ordnung innerhalb der Gruppe. Mögliche Gruppierungen wären zum Beispiel: Quarks, Leptonen, Anti-Materie, Botenteilchen.

#### Welchen Namen würdet ihr eurer Gruppe geben? Warum habt ihr eine Gruppe gebildet?

- ▶ Wir sind alle Materieteilchen / Anti-Materieteilchen / Quarks / Neutrinos / Botenteilchen.
- ▶ Wir haben die gleiche Hintergrundfarbe / unsere Teilchensymbole haben dieselbe Form.
- ▶ Wir haben die gleiche elektrische, schwache bzw. starke Ladung.

#### Welche Eigenschaft(en) habt ihr gemeinsam?

- ▶ **elektrische Ladung**
  - ▶ Quarks besitzen eine drittelzählige elektrische Ladungszahl. Elektrisch positiv geladene Quarks wie das Up-Quark besitzen eine elektrische Ladungszahl von  $+ 2/3$ , während elektrisch negativ geladene Quarks wie das Down-Quark eine elektrische Ladungszahl von  $- 1/3$  besitzen.
  - ▶ Leptonen besitzen eine ganzzahlige elektrische Ladungszahl. Neutrinos sind elektrisch neutral, und die elektrisch geladenen Leptonen sind einfach negativ geladen.
  - ▶ Die elektrische Ladung der Anti-Materieteilchen ist jeweils umgekehrt.
  - ▶ Unter den (Anti-)Materieteilchen sind nur die Neutrinos elektrisch neutral.
  - ▶ Die meisten Botenteilchen sind elektrisch neutral (Photon, Gluonen, Z-Teilchen), während die W-Teilchen eine elektrische Ladung besitzen.
- ▶ **Masse**
  - ▶ Photonen und Gluonen besitzen keine Masse, die restlichen Botenteilchen sind sehr massereich (W- und Z-Teilchen).
  - ▶ Neutrinos sind im Vergleich zu anderen Elementarteilchen sehr leicht. Aus experimentellen Daten lassen sich lediglich Grenzen für ihre Masse angeben: Die Masse der Neutrinos ist kleiner als  $0,1 \text{ eV}/c^2$ .
- ▶ **Starke und schwache Ladung**
  - ▶ Quarks besitzen eine von drei starken Ladungen (auch Farbladungen genannt), d.h. sie unterliegen der starken Wechselwirkung. Die Botenteilchen der starken Wechselwirkung (Gluonen) besitzen acht verschiedene Kombinationen aus Farbladungen.
  - ▶ Materie- und Anti-Materieteilchen besitzen eine halbzahlige schwache Ladungszahl. Botenteilchen besitzen entweder eine ganzzahlige schwache Ladungszahl (W-Teilchen) oder die schwache Ladungszahl 0 (Photonen, Gluonen und Z-Teilchen).



## METHODISCHE ANREGUNGEN

### Wie unterscheidet ihr euch innerhalb der Gruppe? Wie würdet ihr euch innerhalb der Gruppe sortieren?

- ▶ nach der elektrischen Ladungszahl.
- ▶ nach der Masse: Zu Up-Quark, Down-Quark, Elektron und Elektron-Neutrino) gibt es jeweils zwei schwerere „Kopien“, die lediglich andere Massen besitzen.
- ▶ ggf. nach dem Nachweisdatum. Hier könnte auffallen, dass massereichere Teilchen tendenziell später entdeckt wurden.

### Was unterscheidet euch jeweils von anderen Gruppen?

- ▶ Die elektrische Ladungszahl von Quarks ist drittelzahlig, die von Leptonen ganzzahlig oder 0.
- ▶ Quarks besitzen eine starke Ladung (Farbladung), Leptonen nicht.
- ▶ Materie- und Anti-Materieteilchen besitzen jeweils dieselbe Masse, aber die entgegengesetzten Ladungen.

### Was unterscheidet Quarks und Leptonen voneinander?

- ▶ Leptonen haben eine ganzzahlige elektrische Ladungszahl, Quarks eine drittelzahlige.
- ▶ Leptonen besitzen keine starke Ladungszahl. Jedes Quark besitzt eine von drei möglichen starken Ladungen (Quarks unterliegen also der starken Wechselwirkung).

### Was unterscheidet Neutrinos von anderen Materieteilchen?

- ▶ Sie haben eine um mindestens fünf Größenordnungen geringere Masse als das nächstschwerere Elementarteilchen (das Elektron) und besitzen nur eine schwache Ladung.

Schließlich können die Eigenschaften der Teilchen anhand von passenden Präsentationsfolien oder Tafelbildern zusammengefasst werden.

## METHODE 2 : STANDARDMODELL-PUZZLE

- ▶ **Beschreibung:** Die Jugendlichen arbeiten in Gruppen. Jede Gruppe erhält einen Satz Steckbriefe. Der Arbeitsauftrag lautet sinngemäß: **„Ordnet die Elementarteilchen in sinnvollen Gruppen an. Überlegt dann, welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede die Teilchen haben. Gibt es eine Ordnung innerhalb der Gruppen?“** Der Fokus liegt hierbei mehr auf dem Gesamtüberblick als auf den einzelnen Eigenschaften der Teilchen. Es können konkurrierende Lösungen entstehen und diskutiert werden.
- ▶ **Auswertung:** siehe Methode 1: Teilchen sortieren



## METHODISCHE ANREGUNGEN

### METHODE 3 : TRITETT-SPIEL

- ▶ **Beschreibung:** Hierbei handelt es sich um eine Abwandlung vom normalen Quartettspiel. Es eignet sich gut dafür, die Teilcheneigenschaften kennenzulernen und zu festigen. Vor dem Spiel sollte ein Überblick über die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den Elementarteilchen gegeben werden, beispielsweise mit Methode 1 oder 2. Sie benötigen für das Spiel einen Kartensatz pro 2-4 Spieler.
- ▶ **Regeln:**
  - ▶ Alle Gluonen werden aussortiert.
  - ▶ Bei 4 Spielern erhält jeder 6 Karten, bei 3 Spielern 7 Karten, bei 2 Spielern 9 Karten.
  - ▶ Ziel ist es, möglichst viele Dreiergruppen (Tritette) abzulegen.
  - ▶ Diese Dreiergruppen bestehen jeweils aus drei Teilchen mit der gleichen Symbolform. Die Gruppen sollten vorher mit den Jugendlichen definiert werden:
    - ▶ Leptonen (Halbkreise)
    - ▶ Quarks mit positiver schwacher Ladungszahl (Dreieck mit Spitze nach oben)
    - ▶ Quarks mit negativer schwacher Ladungszahl (Dreieck mit Spitze nach unten)
    - ▶ Entsprechende Anti-Teilchen-Gruppen
    - ▶ Botenteilchen der schwachen Wechselwirkung (W- und Z-Teilchen)
    - ▶ Das Photon und das Higgs-Teilchen bleiben übrig. Da es keinen physikalischen Grund gibt, sie zu einer Gruppe zusammenzuschließen, sind sie „Schwarze Peter“.
  - ▶ Um die Tritette zu sammeln, fragen die Spieler reihum ihren jeweils rechten Nachbarn nach einer fehlenden Karte.
  - ▶ Es dürfen nur Fragen nach den Teilcheneigenschaften gestellt werden, die im unteren Textfeld angegeben sind
  - ▶ (Masse, Ladungen, Lebensdauer und Reichweite).
  - ▶ Wenn der Gefragte eine passende Karte hat, muss er diese dem Fragenden geben; dieser muss die Karte nehmen, auch wenn er eine andere Karte wollte. Hierin liegt eine reizvolle Schwierigkeit des Spiels.
  - ▶ Wenn der Gefragte keine passende Karte hat, zieht der Fragende eine Karte vom Stapel.
  - ▶ Wenn zu zweit gespielt wird, darf der Gefragte nicht dieselbe Karte zurückgeben, die er gerade bekommen hat.
  - ▶ Wer innerhalb einer bestimmten Zeit die meisten Tritette ablegen kann, hat gewonnen.
- ▶ **Hinweise:** Als Hilfestellung können Sie während des Spiels eine Übersichtsgrafik austeilen oder an die Wand projizieren. Da das Spiel lange dauern kann, sollte vorher eine Zeitbegrenzung (z.B. 15 Minuten) festgelegt werden.

### METHODE 4 : ECKEN-SPIEL

- ▶ **Beschreibung:** Dieses kurze Spiel eignet sich als Einführung zu Beginn einer Unterrichtssequenz zur Teilchenphysik, zur Wiederholung oder auch als Überleitung zu verwandten Themen. Jeder Teilnehmer erhält einen Steckbrief. Die Lehrkraft gibt an, nach welchen Kriterien sich die Jugendlichen auf die Ecken des Raumes verteilen sollen, beispielsweise:
  - ▶ Materie, Anti-Materie, Botenteilchen
  - ▶ Leptonen, Quarks, Botenteilchen
  - ▶ Elektrische Ladungszahl (0, +1/-1, drittelzahlige Ladung)
  - ▶ Starker Farbladungsvektor (Farbe, Anti-Farbe oder farblos)
  - ▶ Schwache Ladungszahl (halbzahlig/ganzzahlig)
  - ▶ Masse ( $m = 0$ ;  $0 < m < 20 \text{ MeV}/c^2$ ;  $20 \text{ MeV}/c^2 < m < 1,5 \text{ GeV}/c^2$ ;  $m > 1,5 \text{ GeV}/c^2$ )
  - ▶ 1./2./3. Generation (wenn diese vorher besprochen wurden)

Die Teilnehmer können sich auch in einer Reihe sortieren:



- ▶ nach der Masse der Teilchen
- ▶ nach dem Jahr ihrer Entdeckung
- ▶ **Auswertung:** siehe Methode 1: Teilchen sortieren. Wenn die Jugendlichen sich nach Masse und Entdeckungsjahr der Teilchen sortieren, sollte auffallen, dass massereichere Teilchen tendenziell später entdeckt wurden. Eine Überleitung zur modernen Forschung mit Teilchenbeschleunigern bietet sich an.

# TEILCHENSTECKBRIEFE

## Kurzbeschreibung

- ▶ Die Teilchensteckbriefe können im Unterricht oder in Teilchenphysik-Masterclasses verwendet werden, um die Materie-, Anti-Materie- und Botenteilchen des Standardmodells der Teilchenphysik einzuführen oder ihre Eigenschaften zu wiederholen.
- ▶ Die Teilchensteckbriefe sollten in Farbe auf kräftigem Papier ausgedruckt, ausgeschnitten und ggf. laminiert werden.
- ▶ Ein Satz Steckbriefe besteht aus 61 Karten: Je 24 Materie- und Anti-Materieteilchen, 12 Botenteilchen sowie dem Higgs-Teilchen.
- ▶ Didaktische und methodische Hinweise zur Verwendung der Steckbriefe finden Sie im Dokument Steckbriefe\_Hinweise.

## BOTENTEILCHEN UND HIGGS-TEILCHEN

<p><b>Z-TEILCHEN</b> NACHWEIS: 1983</p>  <p><b>BOTENTEILCHEN DER SCHWACHEN WECHSELWIRKUNG</b></p> <p>Masse: <math>\sim 91200 \frac{\text{MeV}}{c^2}</math> Elektrische Ladungszahl: <b>0</b> Starker Farbladungsvektor: <b>farblos <math>\vec{0}</math></b> Schwache Ladungszahl: <b>0</b> Mittlere Lebensdauer: <math>3 \cdot 10^{-25} \text{ s}</math> Mittlere Reichweite: <math>10^{-18} \text{ m}</math></p>	<p><b>W<sup>+</sup>-TEILCHEN</b> NACHWEIS: 1983</p>  <p><b>BOTENTEILCHEN DER SCHWACHEN WECHSELWIRKUNG</b></p> <p>Masse: <math>\sim 80400 \frac{\text{MeV}}{c^2}</math> Elektrische Ladungszahl: <b>+1</b> Starker Farbladungsvektor: <b>farblos <math>\vec{0}</math></b> Schwache Ladungszahl: <b>+1</b> Mittlere Lebensdauer: <math>3 \cdot 10^{-25} \text{ s}</math> Mittlere Reichweite: <math>10^{-18} \text{ m}</math></p>	<p><b>W<sup>-</sup>-TEILCHEN</b> NACHWEIS: 1983</p>  <p><b>BOTENTEILCHEN DER SCHWACHEN WECHSELWIRKUNG</b></p> <p>Masse: <math>\sim 80400 \frac{\text{MeV}}{c^2}</math> Elektrische Ladungszahl: <b>-1</b> Starker Farbladungsvektor: <b>farblos <math>\vec{0}</math></b> Schwache Ladungszahl: <b>-1</b> Mittlere Lebensdauer: <math>3 \cdot 10^{-25} \text{ s}</math> Mittlere Reichweite: <math>10^{-18} \text{ m}</math></p>
<p><b>PHOTON</b> NACHWEIS: 1905</p>  <p><b>BOTENTEILCHEN DER ELEKTRO-MAGNETISCHEN WECHSELWIRKUNG</b></p> <p>Masse: <math>0 \frac{\text{MeV}}{c^2}</math> Elektrische Ladungszahl: <b>0</b> Starker Farbladungsvektor: <b>farblos <math>\vec{0}</math></b> Schwache Ladungszahl: <b>0</b> Mittlere Lebensdauer: <b>unbegrenzt</b> Mittlere Reichweite: <b>unbegrenzt</b></p>	<p><b>HIGGS-TEILCHEN</b> NACHWEIS: 2012</p>  <p><b>BOTENTEILCHEN DER SCHWACHEN WECHSELWIRKUNG</b></p> <p>Masse: <math>\sim 125000 \frac{\text{MeV}}{c^2}</math> Elektrische Ladungszahl: <b>0</b> Starker Farbladungsvektor: <b>farblos <math>\vec{0}</math></b> Schwache Ladungszahl: <b><math>-\frac{1}{2}</math></b> Mittlere Lebensdauer: <math>2 \cdot 10^{-22} \text{ s}</math></p>	



STECKBRIEFE

**UP-QUARK**  
NACHWEIS: 1969

**MATERIETEILCHEN**

Masse:  $\sim 2 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
 Elektrische Ladungszahl:  $+\frac{2}{3}$   
 Starker Farbladungsvektor: **blau** ↓  
 Schwache Ladungszahl:  $+\frac{1}{2}$   
 Mittlere Lebensdauer: **unbegrenzt**

**UP-QUARK**  
NACHWEIS: 1969

**MATERIETEILCHEN**

Masse:  $\sim 2 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
 Elektrische Ladungszahl:  $+\frac{2}{3}$   
 Starker Farbladungsvektor: **rot** ↗  
 Schwache Ladungszahl:  $+\frac{1}{2}$   
 Mittlere Lebensdauer: **unbegrenzt**

**UP-QUARK**  
NACHWEIS: 1969

**MATERIETEILCHEN**

Masse:  $\sim 2 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
 Elektrische Ladungszahl:  $+\frac{2}{3}$   
 Starker Farbladungsvektor: **grün** ↘  
 Schwache Ladungszahl:  $+\frac{1}{2}$   
 Mittlere Lebensdauer: **unbegrenzt**

**DOWN-QUARK**  
NACHWEIS: 1969

**MATERIETEILCHEN**

Masse:  $\sim 5 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
 Elektrische Ladungszahl:  $-\frac{1}{3}$   
 Starker Farbladungsvektor: **blau** ↓  
 Schwache Ladungszahl:  $-\frac{1}{2}$   
 Mittlere Lebensdauer: **880 s**

**DOWN-QUARK**  
NACHWEIS: 1969

**MATERIETEILCHEN**

Masse:  $\sim 5 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
 Elektrische Ladungszahl:  $-\frac{1}{3}$   
 Starker Farbladungsvektor: **rot** ↗  
 Schwache Ladungszahl:  $-\frac{1}{2}$   
 Mittlere Lebensdauer: **880 s**

**DOWN-QUARK**  
NACHWEIS: 1969

**MATERIETEILCHEN**

Masse:  $\sim 5 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
 Elektrische Ladungszahl:  $-\frac{1}{3}$   
 Starker Farbladungsvektor: **grün** ↘  
 Schwache Ladungszahl:  $-\frac{1}{2}$   
 Mittlere Lebensdauer: **880 s**

**CHARM-QUARK**  
NACHWEIS: 1974

**MATERIETEILCHEN**

Masse:  $\sim 1300 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
 Elektrische Ladungszahl:  $+\frac{2}{3}$   
 Starker Farbladungsvektor: **blau** ↓  
 Schwache Ladungszahl:  $+\frac{1}{2}$   
 Mittlere Lebensdauer:  $10^{-12} \text{ s}$

**CHARM-QUARK**  
NACHWEIS: 1974

**MATERIETEILCHEN**

Masse:  $\sim 1300 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
 Elektrische Ladungszahl:  $+\frac{2}{3}$   
 Starker Farbladungsvektor: **rot** ↗  
 Schwache Ladungszahl:  $+\frac{1}{2}$   
 Mittlere Lebensdauer:  $10^{-12} \text{ s}$

**CHARM-QUARK**  
NACHWEIS: 1974

**MATERIETEILCHEN**

Masse:  $\sim 1300 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
 Elektrische Ladungszahl:  $+\frac{2}{3}$   
 Starker Farbladungsvektor: **grün** ↘  
 Schwache Ladungszahl:  $+\frac{1}{2}$   
 Mittlere Lebensdauer:  $10^{-12} \text{ s}$





STECKBRIEFE

**STRANGE-QUARK**  
NACHWEIS: 1969

MATERIETEILCHEN

Masse:  $\sim 100 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
Elektrische Ladungszahl:  $-\frac{1}{3}$   
Starker Farbladungsvektor: **blau** ↓  
Schwache Ladungszahl:  $-\frac{1}{2}$   
Mittlere Lebensdauer:  $5 \cdot 10^{-8} \text{s}$

**STRANGE-QUARK**  
NACHWEIS: 1969

MATERIETEILCHEN

Masse:  $\sim 100 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
Elektrische Ladungszahl:  $-\frac{1}{3}$   
Starker Farbladungsvektor: **rot** ↗  
Schwache Ladungszahl:  $-\frac{1}{2}$   
Mittlere Lebensdauer:  $5 \cdot 10^{-8} \text{s}$

**STRANGE-QUARK**  
NACHWEIS: 1969

MATERIETEILCHEN

Masse:  $\sim 100 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
Elektrische Ladungszahl:  $-\frac{1}{3}$   
Starker Farbladungsvektor: **grün** ↘  
Schwache Ladungszahl:  $-\frac{1}{2}$   
Mittlere Lebensdauer:  $5 \cdot 10^{-8} \text{s}$

**TOP-QUARK**  
NACHWEIS: 1995

MATERIETEILCHEN

Masse:  $\sim 173\,000 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
Elektrische Ladungszahl:  $+\frac{2}{3}$   
Starker Farbladungsvektor: **blau** ↓  
Schwache Ladungszahl:  $+\frac{1}{2}$   
Mittlere Lebensdauer:  $6 \cdot 10^{-25} \text{s}$

**TOP-QUARK**  
NACHWEIS: 1995

MATERIETEILCHEN

Masse:  $\sim 173\,000 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
Elektrische Ladungszahl:  $+\frac{2}{3}$   
Starker Farbladungsvektor: **rot** ↗  
Schwache Ladungszahl:  $+\frac{1}{2}$   
Mittlere Lebensdauer:  $6 \cdot 10^{-25} \text{s}$

**TOP-QUARK**  
NACHWEIS: 1995

MATERIETEILCHEN

Masse:  $\sim 173\,000 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
Elektrische Ladungszahl:  $+\frac{2}{3}$   
Starker Farbladungsvektor: **grün** ↘  
Schwache Ladungszahl:  $+\frac{1}{2}$   
Mittlere Lebensdauer:  $6 \cdot 10^{-25} \text{s}$

**BOTTOM-QUARK**  
NACHWEIS: 1977

MATERIETEILCHEN

Masse:  $\sim 4200 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
Elektrische Ladungszahl:  $-\frac{1}{3}$   
Starker Farbladungsvektor: **blau** ↓  
Schwache Ladungszahl:  $-\frac{1}{2}$   
Mittlere Lebensdauer:  $2 \cdot 10^{-12} \text{s}$

**BOTTOM-QUARK**  
NACHWEIS: 1977

MATERIETEILCHEN

Masse:  $\sim 4200 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
Elektrische Ladungszahl:  $-\frac{1}{3}$   
Starker Farbladungsvektor: **rot** ↗  
Schwache Ladungszahl:  $-\frac{1}{2}$   
Mittlere Lebensdauer:  $2 \cdot 10^{-12} \text{s}$

**BOTTOM-QUARK**  
NACHWEIS: 1977

MATERIETEILCHEN

Masse:  $\sim 4200 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
Elektrische Ladungszahl:  $-\frac{1}{3}$   
Starker Farbladungsvektor: **grün** ↘  
Schwache Ladungszahl:  $-\frac{1}{2}$   
Mittlere Lebensdauer:  $2 \cdot 10^{-12} \text{s}$



## MATERIETEILCHEN: LEPTONEN

**ELEKTRON**

NACHWEIS: 1897

 $e^-$ 

MATERIETEILCHEN

Masse:	$0,511 \frac{\text{MeV}}{c^2}$
Elektrische Ladungszahl:	-1
Starker Farbladungsvektor:	farblos $\vec{0}$
Schwache Ladungszahl:	$-\frac{1}{2}$
Mittlere Lebensdauer:	unbegrenzt

**MYON**

NACHWEIS: 1937

 $\mu^-$ 

MATERIETEILCHEN

Masse:	$106 \frac{\text{MeV}}{c^2}$
Elektrische Ladungszahl:	-1
Starker Farbladungsvektor:	farblos $\vec{0}$
Schwache Ladungszahl:	$-\frac{1}{2}$
Mittlere Lebensdauer:	$2,2 \cdot 10^{-6} \text{s}$

**TAUON**

NACHWEIS: 1975

 $\tau^-$ 

MATERIETEILCHEN

Masse:	$1777 \frac{\text{MeV}}{c^2}$
Elektrische Ladungszahl:	-1
Starker Farbladungsvektor:	farblos $\vec{0}$
Schwache Ladungszahl:	$-\frac{1}{2}$
Mittlere Lebensdauer:	$2,9 \cdot 10^{-13} \text{s}$

**ELEKTRON-NEUTRINO**

NACHWEIS: 1956

 $\nu_e$ 

MATERIETEILCHEN

Masse:	$< 0,0000001 \frac{\text{MeV}}{c^2}$
Elektrische Ladungszahl:	0
Starker Farbladungsvektor:	farblos $\vec{0}$
Schwache Ladungszahl:	$+\frac{1}{2}$
Mittlere Lebensdauer:	undefiniert

**MYON-NEUTRINO**

NACHWEIS: 1962

 $\nu_\mu$ 

MATERIETEILCHEN

Masse:	$< 0,0000001 \frac{\text{MeV}}{c^2}$
Elektrische Ladungszahl:	0
Starker Farbladungsvektor:	farblos $\vec{0}$
Schwache Ladungszahl:	$+\frac{1}{2}$
Mittlere Lebensdauer:	undefiniert

**TAU-NEUTRINO**

NACHWEIS: 2000

 $\nu_\tau$ 

MATERIETEILCHEN

Masse:	$< 0,0000001 \frac{\text{MeV}}{c^2}$
Elektrische Ladungszahl:	0
Starker Farbladungsvektor:	farblos $\vec{0}$
Schwache Ladungszahl:	$+\frac{1}{2}$
Mittlere Lebensdauer:	undefiniert



STECKBRIEFE

**ANTI-UP-QUARK**

NACHWEIS: 1969



ANTI-MATERIETEILCHEN

Masse:  $\sim 2 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
 Elektrische Ladungszahl:  $-\frac{2}{3}$   
 Starker Farbladungsvektor: **anti-blau** ↑  
 Schwache Ladungszahl:  $-\frac{1}{2}$   
 Mittlere Lebensdauer: **unbegrenzt**

**ANTI-UP-QUARK**

NACHWEIS: 1969



ANTI-MATERIETEILCHEN

Masse:  $\sim 2 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
 Elektrische Ladungszahl:  $-\frac{2}{3}$   
 Starker Farbladungsvektor: **anti-rot** ↗  
 Schwache Ladungszahl:  $-\frac{1}{2}$   
 Mittlere Lebensdauer: **unbegrenzt**

**ANTI-UP-QUARK**

NACHWEIS: 1969



ANTI-MATERIETEILCHEN

Masse:  $\sim 2 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
 Elektrische Ladungszahl:  $-\frac{2}{3}$   
 Starker Farbladungsvektor: **anti-grün** ↘  
 Schwache Ladungszahl:  $-\frac{1}{2}$   
 Mittlere Lebensdauer: **unbegrenzt**

**ANTI-CHARM-QUARK**

NACHWEIS: 1974



ANTI-MATERIETEILCHEN

Masse:  $\sim 1300 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
 Elektrische Ladungszahl:  $-\frac{2}{3}$   
 Starker Farbladungsvektor: **anti-blau** ↑  
 Schwache Ladungszahl:  $-\frac{1}{2}$   
 Mittlere Lebensdauer:  $10^{-12}$  s

**ANTI-CHARM-QUARK**

NACHWEIS: 1974



ANTI-MATERIETEILCHEN

Masse:  $\sim 1300 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
 Elektrische Ladungszahl:  $-\frac{2}{3}$   
 Starker Farbladungsvektor: **anti-rot** ↗  
 Schwache Ladungszahl:  $-\frac{1}{2}$   
 Mittlere Lebensdauer:  $10^{-12}$  s

**ANTI-CHARM-QUARK**

NACHWEIS: 1974



ANTI-MATERIETEILCHEN

Masse:  $\sim 1300 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
 Elektrische Ladungszahl:  $-\frac{2}{3}$   
 Starker Farbladungsvektor: **anti-grün** ↘  
 Schwache Ladungszahl:  $-\frac{1}{2}$   
 Mittlere Lebensdauer:  $10^{-12}$  s

**ANTI-TOP-QUARK**

NACHWEIS: 1995



ANTI-MATERIETEILCHEN

Masse:  $\sim 173\,000 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
 Elektrische Ladungszahl:  $-\frac{2}{3}$   
 Starker Farbladungsvektor: **anti-blau** ↑  
 Schwache Ladungszahl:  $-\frac{1}{2}$   
 Mittlere Lebensdauer:  $6 \cdot 10^{-25}$  s

**ANTI-TOP-QUARK**

NACHWEIS: 1995



ANTI-MATERIETEILCHEN

Masse:  $\sim 173\,000 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
 Elektrische Ladungszahl:  $-\frac{2}{3}$   
 Starker Farbladungsvektor: **anti-rot** ↗  
 Schwache Ladungszahl:  $-\frac{1}{2}$   
 Mittlere Lebensdauer:  $6 \cdot 10^{-25}$  s

**ANTI-TOP-QUARK**

NACHWEIS: 1995



ANTI-MATERIETEILCHEN

Masse:  $\sim 173\,000 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
 Elektrische Ladungszahl:  $-\frac{2}{3}$   
 Starker Farbladungsvektor: **anti-grün** ↘  
 Schwache Ladungszahl:  $-\frac{1}{2}$   
 Mittlere Lebensdauer:  $6 \cdot 10^{-25}$  s



STECKBRIEFE

**ANTI-DOWN-QUARK**

NACHWEIS: 1969



ANTI-MATERIETEILCHEN

Masse:	$\sim 5 \frac{\text{MeV}}{c^2}$
Elektrische Ladungszahl:	$+\frac{1}{3}$
Starker Farbladungsvektor:	<b>anti-blau</b> ↑
Schwache Ladungszahl:	$+\frac{1}{2}$
Mittlere Lebensdauer:	880 s

**ANTI-DOWN-QUARK**

NACHWEIS: 1969



ANTI-MATERIETEILCHEN

Masse:	$\sim 5 \frac{\text{MeV}}{c^2}$
Elektrische Ladungszahl:	$+\frac{1}{3}$
Starker Farbladungsvektor:	<b>anti-rot</b> ↗
Schwache Ladungszahl:	$+\frac{1}{2}$
Mittlere Lebensdauer:	880 s

**ANTI-DOWN-QUARK**

NACHWEIS: 1969



ANTI-MATERIETEILCHEN

Masse:	$\sim 5 \frac{\text{MeV}}{c^2}$
Elektrische Ladungszahl:	$+\frac{1}{3}$
Starker Farbladungsvektor:	<b>anti-grün</b> ↘
Schwache Ladungszahl:	$+\frac{1}{2}$
Mittlere Lebensdauer:	880 s

**ANTI-STRANGE-QUARK**

NACHWEIS: 1969



ANTI-MATERIETEILCHEN

Masse:	$\sim 100 \frac{\text{MeV}}{c^2}$
Elektrische Ladungszahl:	$+\frac{1}{3}$
Starker Farbladungsvektor:	<b>anti-blau</b> ↑
Schwache Ladungszahl:	$+\frac{1}{2}$
Mittlere Lebensdauer:	$5 \cdot 10^{-8}$ s

**ANTI-STRANGE-QUARK**

NACHWEIS: 1969



ANTI-MATERIETEILCHEN

Masse:	$\sim 100 \frac{\text{MeV}}{c^2}$
Elektrische Ladungszahl:	$+\frac{1}{3}$
Starker Farbladungsvektor:	<b>anti-rot</b> ↗
Schwache Ladungszahl:	$+\frac{1}{2}$
Mittlere Lebensdauer:	$5 \cdot 10^{-8}$ s

**ANTI-STRANGE-QUARK**

NACHWEIS: 1969



ANTI-MATERIETEILCHEN

Masse:	$\sim 100 \frac{\text{MeV}}{c^2}$
Elektrische Ladungszahl:	$+\frac{1}{3}$
Starker Farbladungsvektor:	<b>anti-grün</b> ↘
Schwache Ladungszahl:	$+\frac{1}{2}$
Mittlere Lebensdauer:	$5 \cdot 10^{-8}$ s

**ANTI-BOTTOM-QUARK**

NACHWEIS: 1977



ANTI-MATERIETEILCHEN

Masse:	$\sim 4200 \frac{\text{MeV}}{c^2}$
Elektrische Ladungszahl:	$+\frac{1}{3}$
Starker Farbladungsvektor:	<b>anti-blau</b> ↑
Schwache Ladungszahl:	$+\frac{1}{2}$
Mittlere Lebensdauer:	$2 \cdot 10^{-12}$ s

**ANTI-BOTTOM-QUARK**

NACHWEIS: 1977



ANTI-MATERIETEILCHEN

Masse:	$\sim 4200 \frac{\text{MeV}}{c^2}$
Elektrische Ladungszahl:	$+\frac{1}{3}$
Starker Farbladungsvektor:	<b>anti-rot</b> ↗
Schwache Ladungszahl:	$+\frac{1}{2}$
Mittlere Lebensdauer:	$2 \cdot 10^{-12}$ s

**ANTI-BOTTOM-QUARK**

NACHWEIS: 1977



ANTI-MATERIETEILCHEN

Masse:	$\sim 4200 \frac{\text{MeV}}{c^2}$
Elektrische Ladungszahl:	$+\frac{1}{3}$
Starker Farbladungsvektor:	<b>anti-grün</b> ↘
Schwache Ladungszahl:	$+\frac{1}{2}$
Mittlere Lebensdauer:	$2 \cdot 10^{-12}$ s



## MATERIETEILCHEN: ANTI-LEPTONEN

**POSITRON**

NACHWEIS: 1932

 $e^+$ 

ANTI-MATERIETEILCHEN

Masse:	$0,511 \frac{\text{MeV}}{c^2}$
Elektrische Ladungszahl:	<b>+1</b>
Starker Farbladungsvektor:	<b>farblos <math>\vec{0}</math></b>
Schwache Ladungszahl:	$+\frac{1}{2}$
Mittlere Lebensdauer:	<b>unbegrenzt</b>

**ANTI-MYON**

NACHWEIS: 1937

 $\mu^+$ 

ANTI-MATERIETEILCHEN

Masse:	$106 \frac{\text{MeV}}{c^2}$
Elektrische Ladungszahl:	<b>+1</b>
Starker Farbladungsvektor:	<b>farblos <math>\vec{0}</math></b>
Schwache Ladungszahl:	$+\frac{1}{2}$
Mittlere Lebensdauer:	$2,2 \cdot 10^{-6} \text{s}$

**ANTI-TAUON**

NACHWEIS: 1975

 $\tau^+$ 

ANTI-MATERIETEILCHEN

Masse:	$1777 \frac{\text{MeV}}{c^2}$
Elektrische Ladungszahl:	<b>+1</b>
Starker Farbladungsvektor:	<b>farblos <math>\vec{0}</math></b>
Schwache Ladungszahl:	$+\frac{1}{2}$
Mittlere Lebensdauer:	$2,9 \cdot 10^{-13} \text{s}$

**ANTI-ELEKTRON-NEUTRINO**

NACHWEIS: 1956

 $\bar{\nu}_e$ 

ANTI-MATERIETEILCHEN

Masse:	$< 0,0000001 \frac{\text{MeV}}{c^2}$
Elektrische Ladungszahl:	<b>0</b>
Starker Farbladungsvektor:	<b>farblos <math>\vec{0}</math></b>
Schwache Ladungszahl:	$-\frac{1}{2}$
Mittlere Lebensdauer:	<b>undefiniert</b>

**ANTI-MYON-NEUTRINO**

NACHWEIS: 1962

 $\bar{\nu}_\mu$ 

ANTI-MATERIETEILCHEN

Masse:	$< 0,0000001 \frac{\text{MeV}}{c^2}$
Elektrische Ladungszahl:	<b>0</b>
Starker Farbladungsvektor:	<b>farblos <math>\vec{0}</math></b>
Schwache Ladungszahl:	$-\frac{1}{2}$
Mittlere Lebensdauer:	<b>undefiniert</b>

**ANTI-TAU-NEUTRINO**

NACHWEIS: 2000

 $\bar{\nu}_\tau$ 

ANTI-MATERIETEILCHEN

Masse:	$< 0,0000001 \frac{\text{MeV}}{c^2}$
Elektrische Ladungszahl:	<b>0</b>
Starker Farbladungsvektor:	<b>farblos <math>\vec{0}</math></b>
Schwache Ladungszahl:	$-\frac{1}{2}$
Mittlere Lebensdauer:	<b>undefiniert</b>



STECKBRIEFE

BOTENTEILCHEN: GLUONEN

**GLUON**  
NACHWEIS: 1979

**BOTENTEILCHEN DER STARKEN WECHSELWIRKUNG**

Masse:  $0 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
 Elektrische Ladungszahl: 0  
 Starker Farbladungsvektor: rot ↗ + anti-grün ↘  
 Schwache Ladungszahl: 0  
 Mittlere Lebensdauer: unbegrenzt  
 Mittlere Reichweite:  $10^{-15} \text{ m}$

**GLUON**  
NACHWEIS: 1979

**BOTENTEILCHEN DER STARKEN WECHSELWIRKUNG**

Masse:  $0 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
 Elektrische Ladungszahl: 0  
 Starker Farbladungsvektor: rot ↗ + anti-blau ↑  
 Schwache Ladungszahl: 0  
 Mittlere Lebensdauer: unbegrenzt  
 Mittlere Reichweite:  $10^{-15} \text{ m}$

**GLUON**  
NACHWEIS: 1979

**BOTENTEILCHEN DER STARKEN WECHSELWIRKUNG**

Masse:  $0 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
 Elektrische Ladungszahl: 0  
 Starker Farbladungsvektor: grün ↘ + anti-rot ↗  
 Schwache Ladungszahl: 0  
 Mittlere Lebensdauer: unbegrenzt  
 Mittlere Reichweite:  $10^{-15} \text{ m}$

**GLUON**  
NACHWEIS: 1979

**BOTENTEILCHEN DER STARKEN WECHSELWIRKUNG**

Masse:  $0 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
 Elektrische Ladungszahl: 0  
 Starker Farbladungsvektor: grün ↘ + anti-blau ↑  
 Schwache Ladungszahl: 0  
 Mittlere Lebensdauer: unbegrenzt  
 Mittlere Reichweite:  $10^{-15} \text{ m}$

**GLUON**  
NACHWEIS: 1979

**BOTENTEILCHEN DER STARKEN WECHSELWIRKUNG**

Masse:  $0 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
 Elektrische Ladungszahl: 0  
 Starker Farbladungsvektor: blau ↓ + anti-rot ↗  
 Schwache Ladungszahl: 0  
 Mittlere Lebensdauer: unbegrenzt  
 Mittlere Reichweite:  $10^{-15} \text{ m}$

**GLUON**  
NACHWEIS: 1979

**BOTENTEILCHEN DER STARKEN WECHSELWIRKUNG**

Masse:  $0 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
 Elektrische Ladungszahl: 0  
 Starker Farbladungsvektor: blau ↓ + anti-grün ↘  
 Schwache Ladungszahl: 0  
 Mittlere Lebensdauer: unbegrenzt  
 Mittlere Reichweite:  $10^{-15} \text{ m}$

**GLUON**  
NACHWEIS: 1979

**BOTENTEILCHEN DER STARKEN WECHSELWIRKUNG**

Masse:  $0 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
 Elektrische Ladungszahl: 0  
 Starker Farbladungsvektor: rot ↗ + anti-rot ↗  
 oder grün ↘ + anti-grün ↘  
 Schwache Ladungszahl: 0  
 Mittlere Lebensdauer: unbegrenzt  
 Mittlere Reichweite:  $10^{-15} \text{ m}$

**GLUON**  
NACHWEIS: 1979

**BOTENTEILCHEN DER STARKEN WECHSELWIRKUNG**

Masse:  $0 \frac{\text{MeV}}{c^2}$   
 Elektrische Ladungszahl: 0  
 Starker Farbladungsvektor: rot ↗ + anti-rot ↗ oder  
 grün ↘ + anti-grün ↘ oder blau ↓ + anti-blau ↑  
 Schwache Ladungszahl: 0  
 Mittlere Lebensdauer: unbegrenzt  
 Mittlere Reichweite:  $10^{-15} \text{ m}$