


Feynman-Rhombino und Quark-Tower

Die Elementarteilchenphysik spielend entdecken

Philipp Lindenau, Sebastian Fabianski, Otmar Winkler
TU Dresden, Netzwerk Teilchenwelt

DPG Frühjahrstagung | Dortmund (virtuell)
18.03.2021



“[...]We do not know what the rules of the game are; all we are allowed to do is to watch the playing. Of course, if we watch long enough, we may eventually catch on to a few of the rules. The rules of the game are what we mean by fundamental physics [...].”

-Richard P. Feynman

Feynman-Rhombino

Ein dominoartiges Spiel
zu Feynman-Diagrammen



NETZWERK
TEILCHENWELT

Feynman-Rhombino



Feynman-Rhombino



NETZWERK
TEILCHENWELT QUARKS, ELEKTRONEN & CO.



DAS PROJEKT | AKTUELLES | MITMACHEN | ANGEBOTE | **MATERIAL** | FORUM

Jugendliche | Lehrkräfte | Vermittler | Teilchenphysik

Entdecke die Astro-/Teilchenphysik!



Materialien für Lehrkräfte

Materialien für Vermittler

Linksammlung zur Teilchenphysik (nach Kategorien sortiert)

Linksammlung zur Teilchenphysik (nach Themen sortiert)

► <https://www.teilchenwelt.de/material/feynman-rhombino>

Entwicklung

- ▶ Idee: Otmar Winkler, CERN Summer School 2017





Entwicklung

- ▶ Idee: Otmar Winkler, CERN Summer School 2017
- ▶ Zielgruppe: Schüler:innen Sek II, Studierende

Entwicklung

- ▶ Idee: Otmar Winkler, CERN Summer School 2017
- ▶ Zielgruppe: Schüler:innen Sek II, Studierende
- ▶ (Weiter)Entwicklung:
Philipp Lindenau
Claudia Behnke
Otmar Winkler
- ▶ Feedback von Lehrkräften
und Studierende bei
verschiedenen
Veranstaltungen, z. B.
CERN Summerschool 2019





Vorwissen und Lernziele

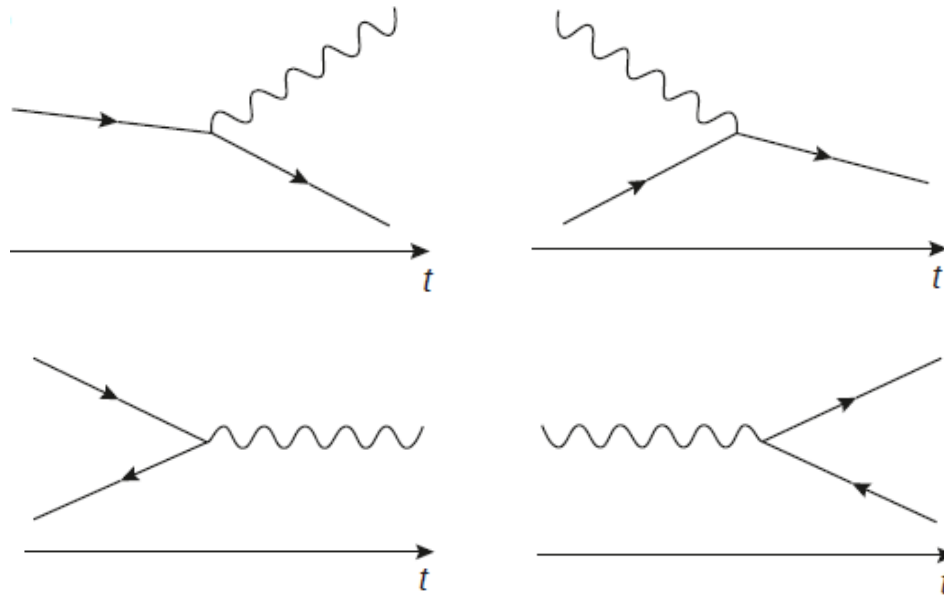
► Vorwissen:

- Materieteilchen, Botenteilchen und fundamentale Wechselwirkungen des Standardmodells
- Ladungen des Standardmodells und Ladungserhaltung
- Symbolik von Feynman-Diagrammen und fundamentale Vertices

Vorwissen und Lernziele

► Vorwissen:

- Materieteilchen, Botenteilchen und fundamentale Wechselwirkungen des Standardmodells
- Ladungen des Standardmodells und Ladungserhaltung
- Symbolik von Feynman-Diagrammen und fundamentale Vertices



Vorwissen und Lernziele

▶ Vorwissen:

- Materieteilchen, Botenteilchen und fundamentale Wechselwirkungen des Standardmodells
- Ladungen des Standardmodells und Ladungserhaltung;
- Symbolik von Feynman-Diagrammen und fundamentale Vertices

▶ Lernziele:

- Interesse wecken/festigen
- Kenntnisse zur Symbolik von FD und fundamentalen Vertices festigen
- Erhaltungssätze für elektrische und schwache Ladung anwenden
- Erlaubte Vertices konstruieren und verbotene identifizieren
- Gefühl für stochastischen Charakter der Teilchenphysik entwickeln

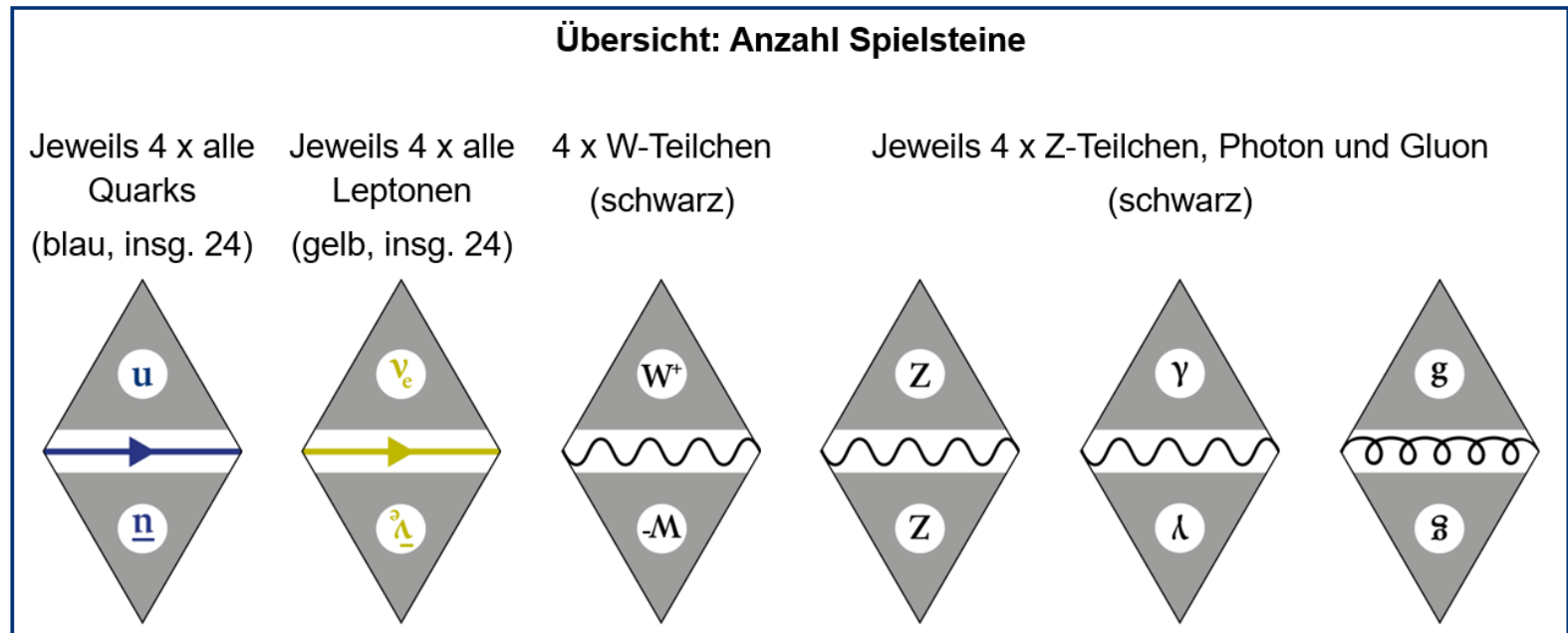


Inhalte Spielanleitung

- ▶ Spielregeln
- ▶ Beispiele
- ▶ Druckvorlage
- ▶ Hilfsmaterialien
- ▶ Methodische und didaktische Hinweise für Lehrkräfte
- ▶ Ausblick auf ergänzende Materialien

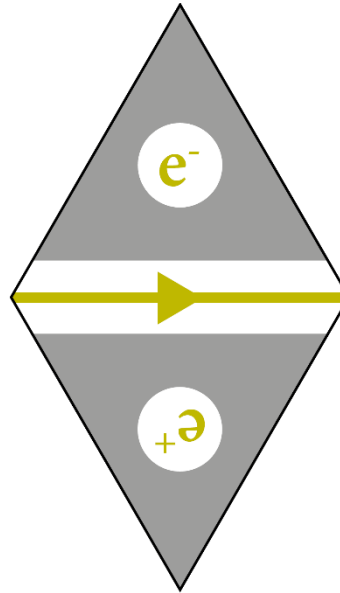
Spielsteine

- ▶ Spielsteine = Rhombinos = Teilchen



Symbolik der Rhombinos

- ▶ Ein Rhombino kann sowohl Teilchen als auch Antiteilchen repräsentieren.
- ▶ Zeit von links nach rechts



Symbolik der Rhombinos

- ▶ Ein Rhombino kann sowohl Teilchen als auch Antiteilchen repräsentieren
- ▶ Zeit von links nach rechts

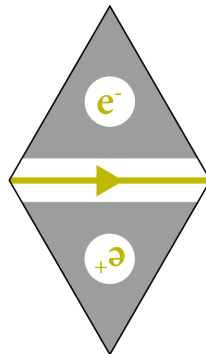


Grundlegende Spielregeln

- ▶ Jede:r beginnt mit 5 Rhombinos auf der Hand.
- ▶ Ein Start-Rhombino wird vom Nachziehstapel aufgedeckt.
- ▶ Reihum werden Rhombinos gemäß der Regeln für Feynman-Diagramme angelegt.
- ▶ Wer nicht legen kann, zieht Rhombino vom Nachziehstapel.
- ▶ Wer zuerst kein Rhombino mehr auf der Hand hat, gewinnt.
- ▶ Bei mehreren Spielen: Spieler:innen erhalten Punkte für übrige Rhombinos auf der Hand abhängig von deren Ruheenergie
→ Wer am Ende die wenigsten Punkte hat gewinnt.

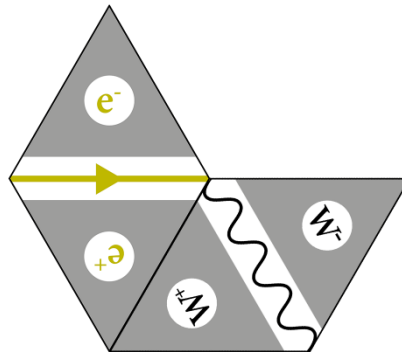
Beispiel Spielablauf

- ▶ Start-Rhombino: Elektron



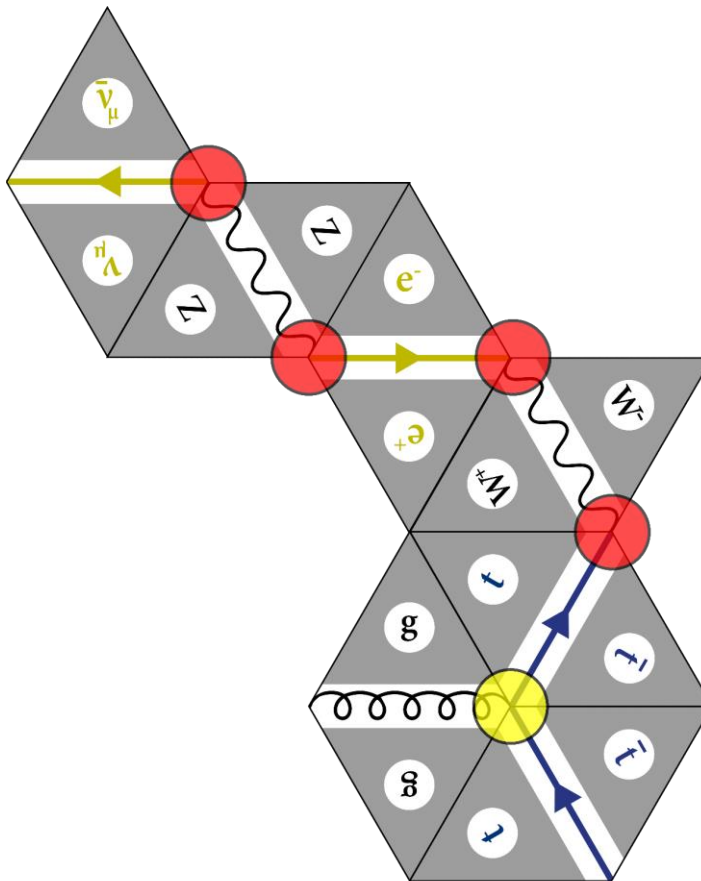
Beispiel Spielablauf

- ▶ W-Teilchen wird rechts angelegt (Abstrahlung)



Beispiel Spielablauf

- ▶ Spielfeld nach 5 weiteren Zügen



Kooperatives Spiel

- ▶ Noch nicht ausführlich getestet
- ▶ Rhombinos der Spieler:innen für alle sichtbar
- ▶ Alle gewinnen zusammen, wenn Gesamtzahl der Rhombinos nur noch der Anzahl der Mitspieler:innen entspricht.
- ▶ Insbesondere geeignet für Anfänger:innen bzw. sehr heterogene Lerngruppen
- ▶ Gemeinsame vorausschauende Planung als zusätzliche strategische Komponente



Quark-Tower

Ein Wackelturm aus Quarks

Von: Sebastian Fabianski und Philipp Lindenau



NETZWERK
TEILCHENWELT

Motivation

- ▶ In diesem Jahr wird eine Wanderausstellung zur Elementarteilchenphysik starten.
- ▶ Entwickelt im vom BMBF geförderten Projekt KONTAKT

URKNALE
UNTERWEGS

- ▶ Kontakt: Joseph Piergrossi
joseph.piergrossi@desy.de



Motivation

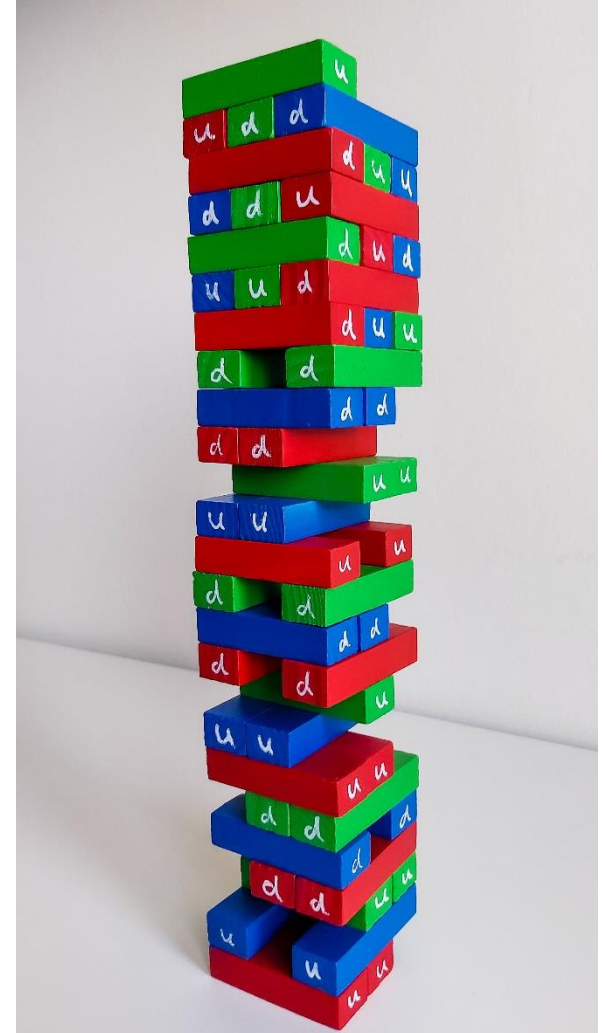
- ▶ Zielgruppe: Breite Öffentlichkeit
- ▶ Spiel als Eyecatcher → 1 Meter hoher Turm
- ▶ Auch ohne umfassendes Fachwissen spielbar
 - Nutzung allgemein bekannter Spielmechaniken
 - Einfache Regeln
 - Geeignet für Kinder, während Eltern sich andere Ausstellungsinhalte anschauen

Idee: Adaption des Wackelturms bzw. „Jenga“



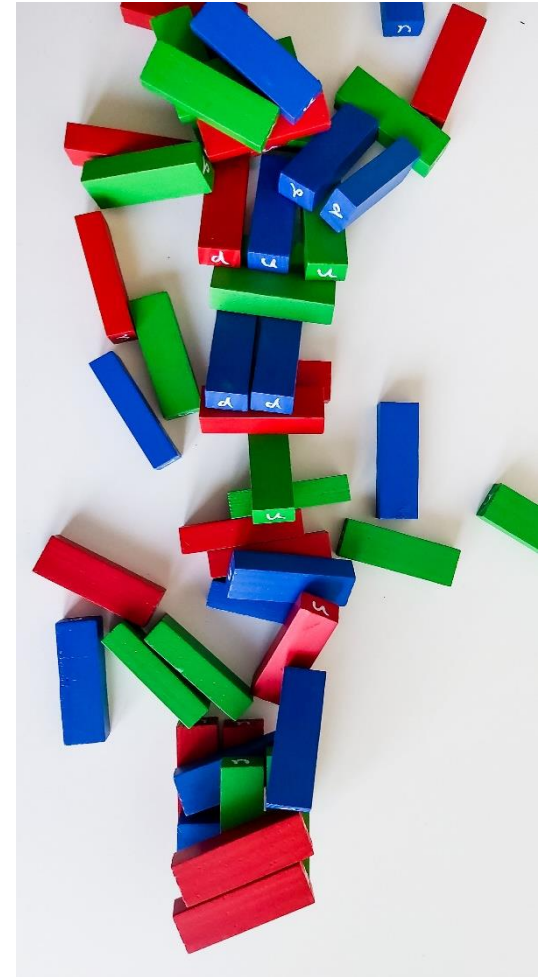
Spielregeln

- ▶ Spielsteine müssen aus dem Turm gezogen und oben abgelegt werden.
- ▶ Es existieren u- und d-Steine (Quarks) in den Farben rot, blau und grün (jeweils 9).
- ▶ In der obersten Ebene muss jeweils ein farbneutrales Proton oder Neutron gelegt werden.



Spielregeln

- ▶ Spielsteine müssen aus dem Turm gezogen und oben abgelegt werden.
- ▶ Es existieren u- und d-Steine (Quarks) in den Farben rot, blau und grün (jeweils 9).
- ▶ In der obersten Ebene muss jeweils ein farbneutrales Proton oder Neutron gelegt werden.
- ▶ Wer den Turm zum Einsturz bringt, verliert.



Spielregeln „ohne Physik“

- ▶ Es müssen 3 unterschiedliche Farben gelegt werden.
- ▶ Es dürfen keine 3 gleichen Buchstaben gelegt werden.

→ Normales „Jenga“ mit zusätzlichen Einschränkungen

- ▶ Handreichung bald verfügbar unter:

<https://www.teilchenwelt.de/material/quark-tower>

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

philipp.lindenau@tu-dresden.de

www.teilchenwelt.de

PROJEKTLEITUNG



PARTNER



SCHIRMHERRSCHAFT



FÖRDERER

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



DR. HANS RIEGEL-STIFTUNG



www.facebook.de/teilchenwelt/



NETZWERK
TEILCHENWELT

Backup

Quark-Tower: Spielregeln

▶ Das 3-Personen-Problem

- Bei 3 Spieler:innen muss immer die gleiche Person den letzten Stein einer Ebene legen.

→ Mehr Einschränkungen

- Lösung: Wird 2 mal hintereinander das gleiche Nukleon vervollständigt, muss der bzw. die nächste 2 Steine ziehen.

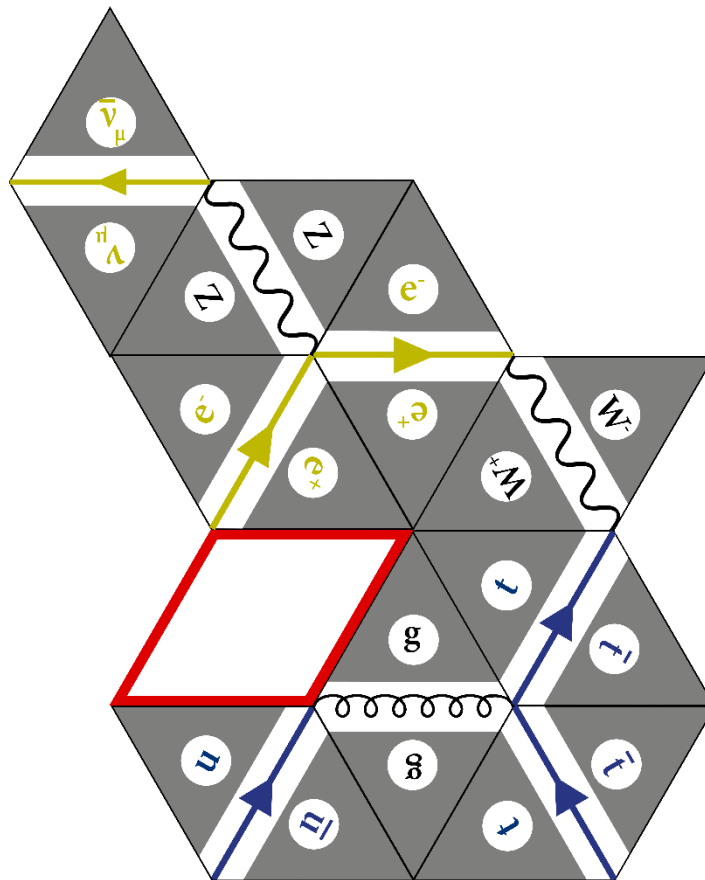


Quark-Tower: Spielregeln – Expertenversion

- ▶ In oberster Reihe kann ein Stein ausgetauscht werden.
 - Beta-Umwandlung

- ▶ Ursprünglicher Stein wird oben aufgelegt
 - Einschränkung der Möglichkeiten der nachfolgenden Spieler:in

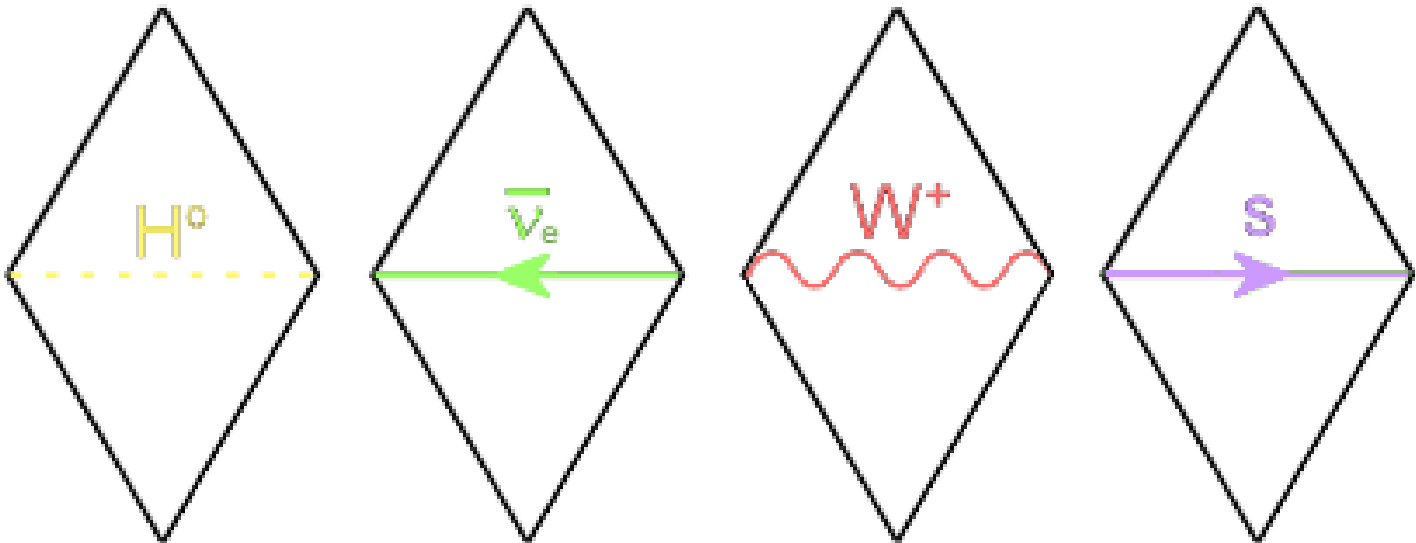
Feynman-Rhombino: Falsches Legen



Feynman-Rhombino kann mit oder ohne Sanktionen für falsches Legen gespielt werden (siehe Anleitung).

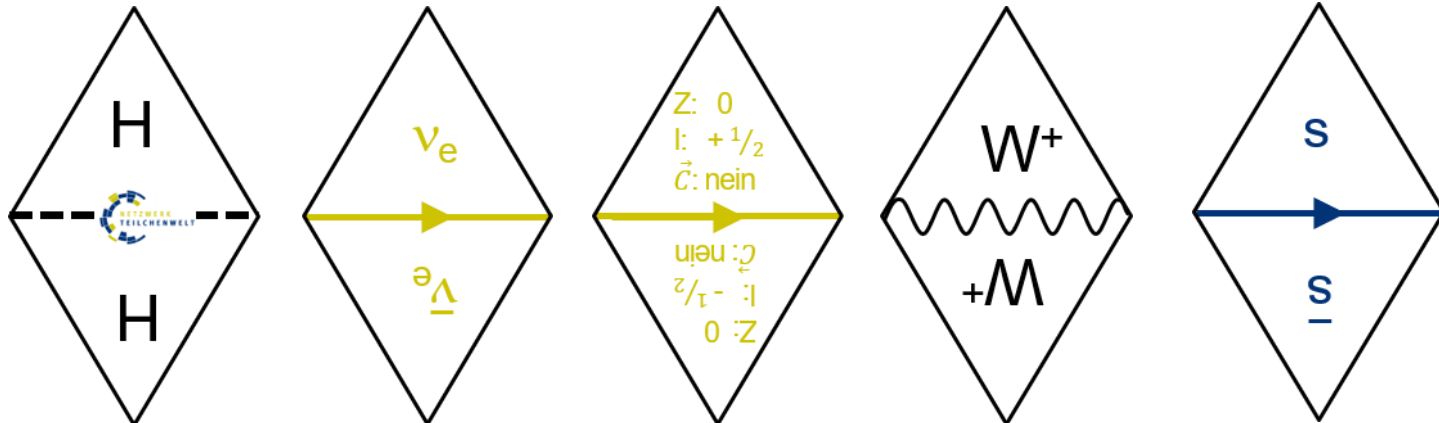
Feynman-Rhombino: Evolution der Rhombinos

► Erster Entwurf 2017



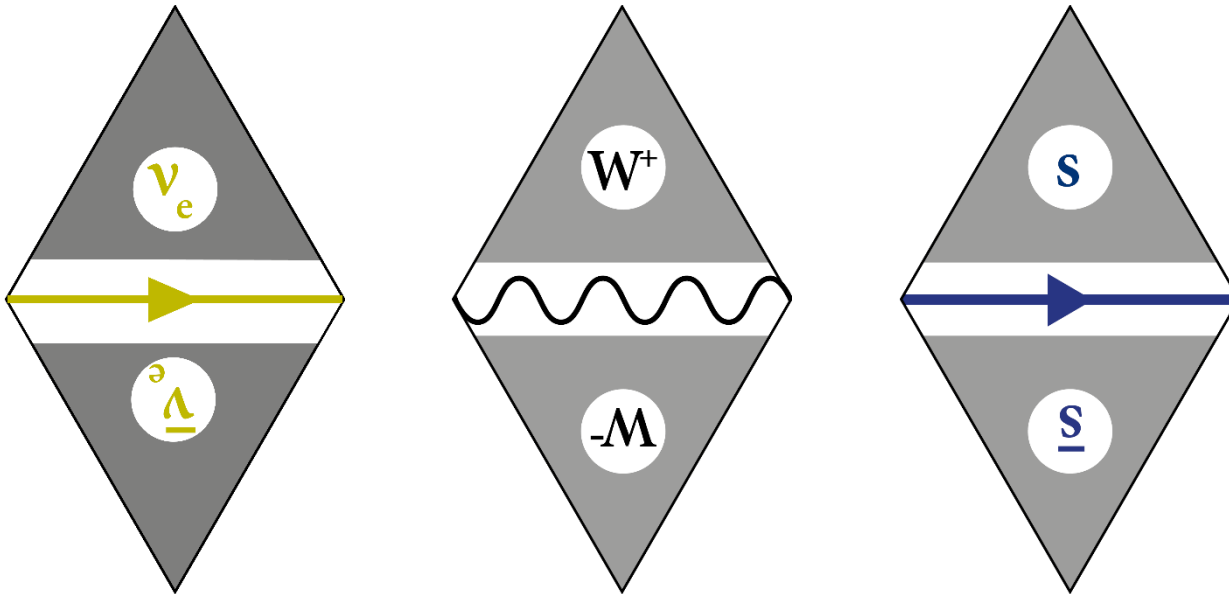
Feynman-Rhombino: Evolution der Rhombinos

► Überarbeitung 2018



Feynman-Rhombino: Evolution der Rhombinos

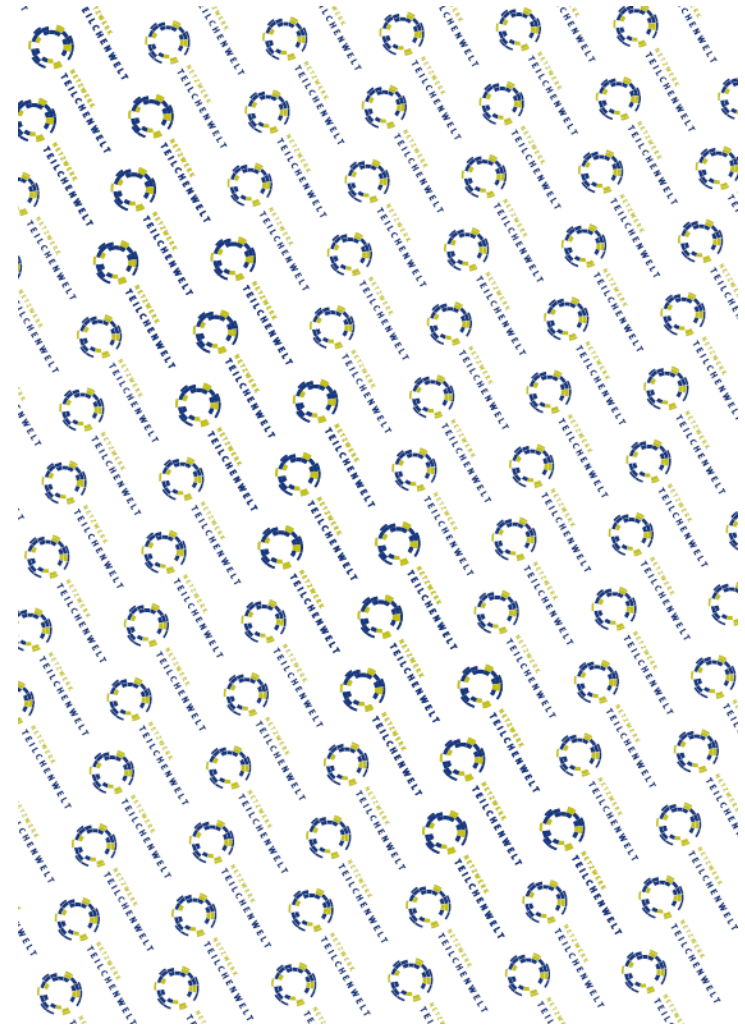
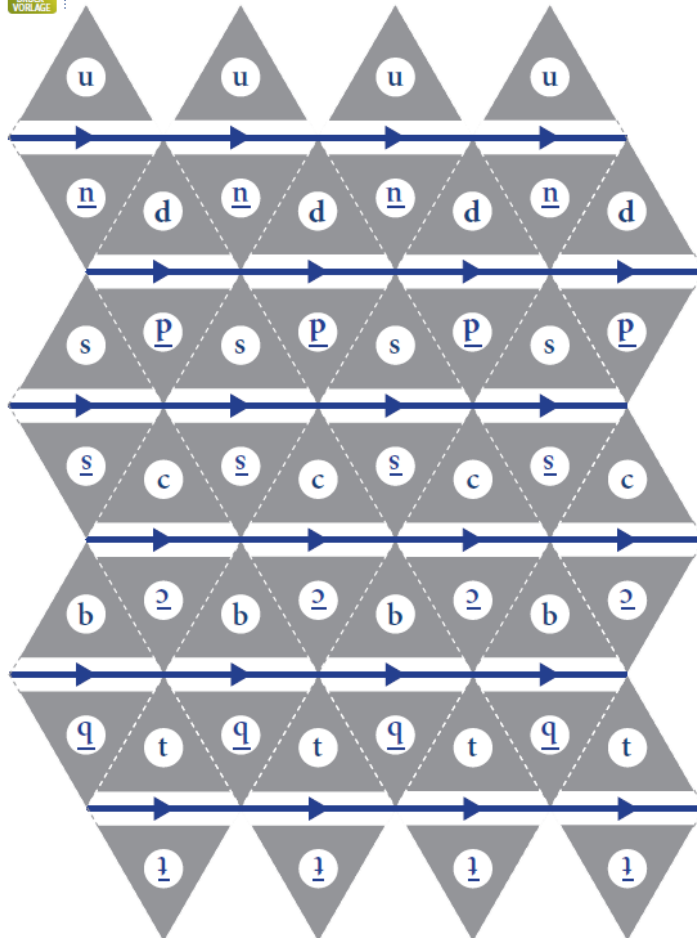
► Finale Version 2020



Feynman-Rhombino: Druckvorlage



FEYNMAN-RHOMBINO



Feynman-Rhombino: Hilfsmittel

► Übersicht wichtiger Teilcheneigenschaften (Auszug)

MATERIETEILCHEN

| Name | Symbol | Schwache Ladungszahl I | Elektrische Ladungszahl Z | Farbladung | Ruheenergie in GeV | Teilchengeneration |
|---|------------------------------|------------------------|---------------------------|------------|--------------------|--------------------|
| Up-Quark Nachweis 1969 | u | $+\frac{1}{2}$ | $+\frac{2}{3}$ | vorhanden | ~0,002 | 1. Generation |
| Down-Quark Nachweis 1969 | d | $-\frac{1}{2}$ | $-\frac{1}{3}$ | vorhanden | ~0,005 | 1. Generation |
| Charm-Quark Nachweis 1974 | c | $+\frac{1}{2}$ | $+\frac{2}{3}$ | vorhanden | ~1,3 | 2. Generation |
| Strange-Quark Nachweis 1969 | s | $-\frac{1}{2}$ | $-\frac{1}{3}$ | vorhanden | ~0,1 | 2. Generation |
| Top-Quark Nachweis 1995 | t | $+\frac{1}{2}$ | $+\frac{2}{3}$ | vorhanden | ~173 | 3. Generation |
| Bottom-Quark Nachweis 1977 | b | $-\frac{1}{2}$ | $-\frac{1}{3}$ | vorhanden | ~42 | 3. Generation |
| Elektron-Neutrino Nachweis 1956 | ν_e | $+\frac{1}{2}$ | 0 | keine | <0,000 000 000 1 | 1. Generation |
| Elektron Nachweis 1897 | e^- | $-\frac{1}{2}$ | -1 | keine | 0,000 511 | 1. Generation |
| Myon-Neutrino Nachweis 1962 | ν_μ | $+\frac{1}{2}$ | 0 | keine | <0,000 000 000 1 | 2. Generation |
| Myon Nachweis 1937 | μ^- | $-\frac{1}{2}$ | -1 | keine | 0,106 | 2. Generation |
| Tau-Neutrino Nachweis 2000 | ν_τ | $+\frac{1}{2}$ | 0 | keine | <0,000 000 000 1 | 3. Generation |
| Tauon Nachweis 1975 | τ^- | $-\frac{1}{2}$ | -1 | keine | 1,777 | 3. Generation |

Feynman-Rhombino: Hilfsmittel

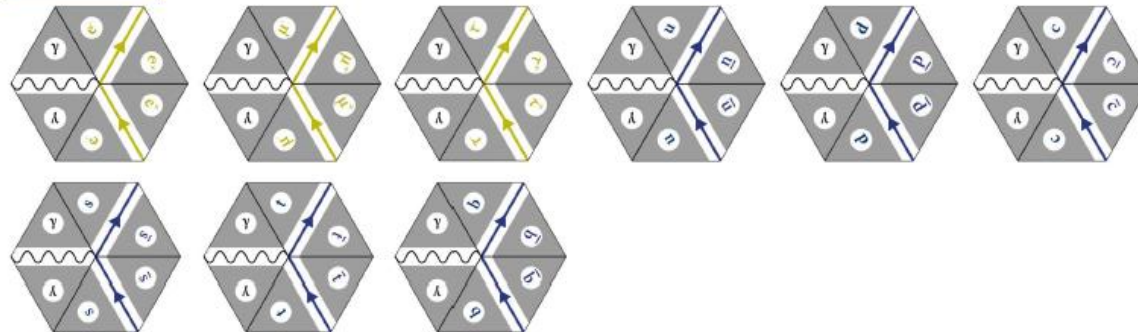
► Übersicht erlaubter Vertices (Auszug)



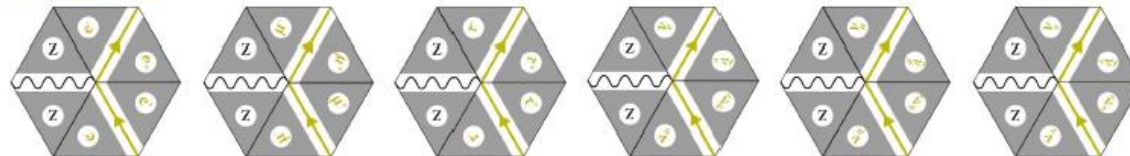
Übersicht aller erlaubten Vertices

Auf diesem Blatt sind alle erlaubten Vertices der Paarerzeugung geordnet nach beteiligten Botenteilchen abgedruckt. Durch Drehen der Vertices bzw. des Blattes erhält man außerdem alle erlaubten Vertices der Botenteilchen-Emission, -Absorption sowie der Paarvernichtung.

Vertices mit Photonen

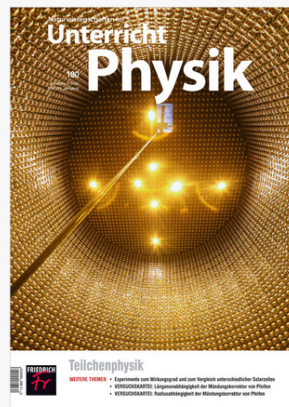


Vertices mit Z-Teilchen



Feynman-Rhombino im Themenheft Teilchenphysik

<https://www.friedrich-verlag.de/physik/unterricht-physik-digital/teilchenphysik-4905>



Teilchenphysik

Unterricht Physik | Ausgabe Nr. 180/2020

Elementarteilchen – ein Thema, das viele Menschen fasziniert. Die Fragen nach dem Woher und Wohin des Universums sowie nach den elementaren Bausteinen und Wechselwirkungen der Materie sind die Triebfeder für aufwendige Experimente. Die Erforschung der Elementarteilchen bedeutet, zum Aller kleinsten vorzudringen, zugleich Einblick in die Vergangenheit des Universums zu gewinnen sowie heutige Boten aus dem Weltall zu vermessen. Dennoch bleiben ungeklärte Fragen, welche die Elementarteilchenphysik zu einem dankbaren Thema machen, um die Neugier der Jugendlichen anzuregen und ihnen neue Welten zu eröffnen.

Dieses Heft liefert Ihnen Fachinformationen und Ideen, um Aspekte der Teilchenphysik im Unterricht kompetent und interessant zu unterrichten

➤ Ausgabe kaufen

➤ Zeitschrift abonnieren