

Das Standardmodell: Teilchenzoo oder geniales System?

Ein erprobter Erklärungsansatz

Didaktisches Konzept

- ▶ Netzwerk Teilchenwelt hat in den letzten ~ 5 Jahren viel Aufwand betrieben, um didaktisches Konzept für Teilchenphysik im Unterricht zu erarbeiten.
- ▶ Wichtiges Ziel war, besser an bekanntem Wissen zu orientieren und neuen Stoff darauf aufzubauen
- ▶ Hauptkonzept: “Wechselwirkungen statt Teilchen”



**FOLGENDE BÄNDE
SIND VERFÜGBAR:**

- Mikrokurse
- Kosmische Strahlung
- Forschungsmethoden
- Wechselwirkungen
und Teilchen

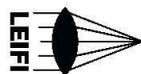


**KOSTENFREI
ERHÄLTlich!**

UNTERRICHTS- MATERIALIEN ZUR TEILCHENPHYSIK

Teilchenphysik ist aktuell und spannend. Die Joachim Herz Stiftung und das Netzwerk Teilchenwelt haben gemeinsam mit Wissenschaftlern und Lehrkräften dieses Thema für den Physikunterricht aufgegriffen und eine Heftreihe mit Unterrichtsmaterialien zur Teilchenphysik entwickelt. Sie soll Lehrkräften Ideen, Anregungen und Hintergrundinformationen für ihren Unterricht geben.

Die Materialien können per E-Mail an info@leifiphysik.de angefordert oder unter www.leifiphysik.de/tp heruntergeladen werden.



PHYSIK



**NETZWERK
TEILCHENWELT**



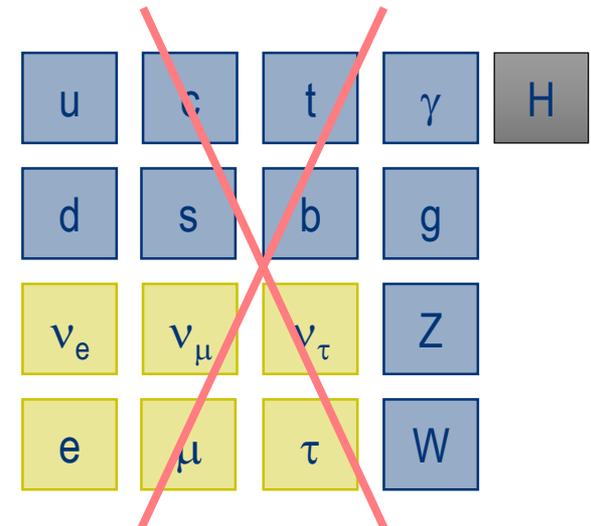
Das Standardmodell der Teilchenphysik

► Das Standardmodell

- Elegantes Theoriegebäude („Quantenfeldtheorie“) mit großer Vorhersagekraft
angereichert mit experimentellen Erkenntnissen
- Grundlage: Fundamentale Symmetrien
(lokale Eichsymmetrien)
- Beschreibt alle bekannten Wechselwirkungen auf Teilchenebene
- Wurde 1960er und 1970er Jahren entwickelt.
Seitdem in zahlreichen Experimenten überprüft und bestätigt

Fußball-Analogie

- ▶ Wie erklärt man jemandem etwas Unbekanntes? z.B. Fußball...
 - Man beginnt mit den Grundregeln
 - **Nicht:** mit der Anzahl der Spieler oder gar deren Positionen
 - Regeln = Wechselwirkungen, Erhaltungssätze,...
 - Spieler = Elementarteilchen
- ▶ Wieso also bei der Behandlung des Standardmodells damit beginnen??
 - Nur u,d,e sind für Aufbau der Materie nötig
 - Warum es genau diese Teilchen gibt, kann nicht vorhergesagt werden (nicht verstanden!)



Das Standardmodell der Teilchenphysik

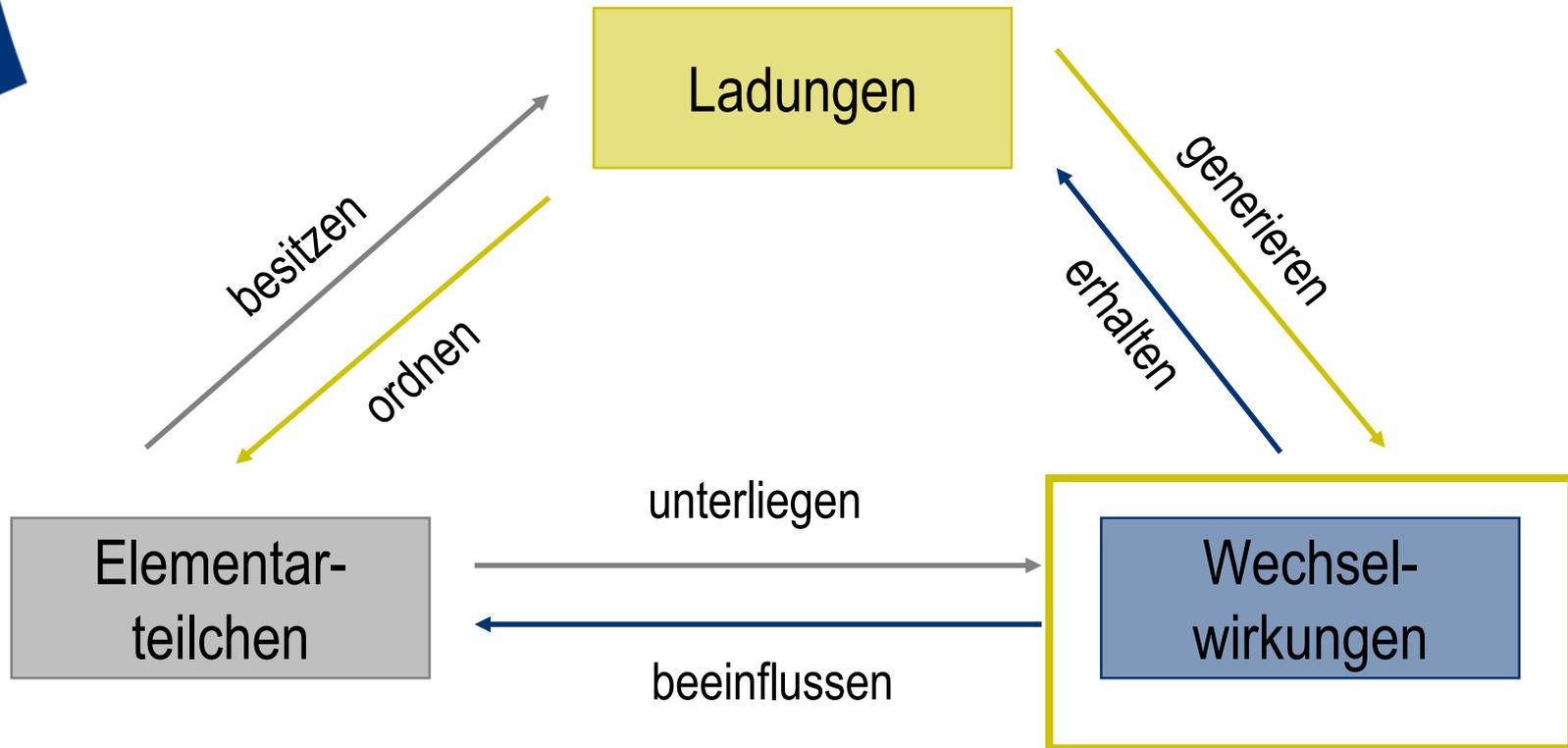
- ▶ Grundlage: Konsequenzen fundamentaler Symmetrien (lokale Eichsymmetrien)
 - Ladungen und Wechselwirkungen
 - Nicht: Liste der existierenden Teilchen
 - Sondern: Regeln, die beschreiben, wie diese wechselwirken

u	c	t	γ	H
d	s	b	g	
ν_e	ν_μ	ν_τ	Z	
e	μ	τ	W	

Roter Faden

- ▶ Physik versucht, Wirklichkeit möglichst einfach zu beschreiben
- ▶ führt zu 4 fundamentalen Wechselwirkungen
- ▶ Wechselwirkung:
Kraft + Umwandlung + Erzeugung + Vernichtung
- ▶ Verallgemeinerung von “Ladung”
 - ⑩ Erhaltungssätze, Ladungsvektoren
- ▶ Übertragung vom Konzept “Feldlinien” zu Botenteilchen
- ▶ Ladungszustände (Multiplets) für verschiedene Teilchen
- ▶ Ordnungsschema für Elementarteilchen in Analogie zu Periodensystem

Die drei Basiskonzepte des Standardmodells

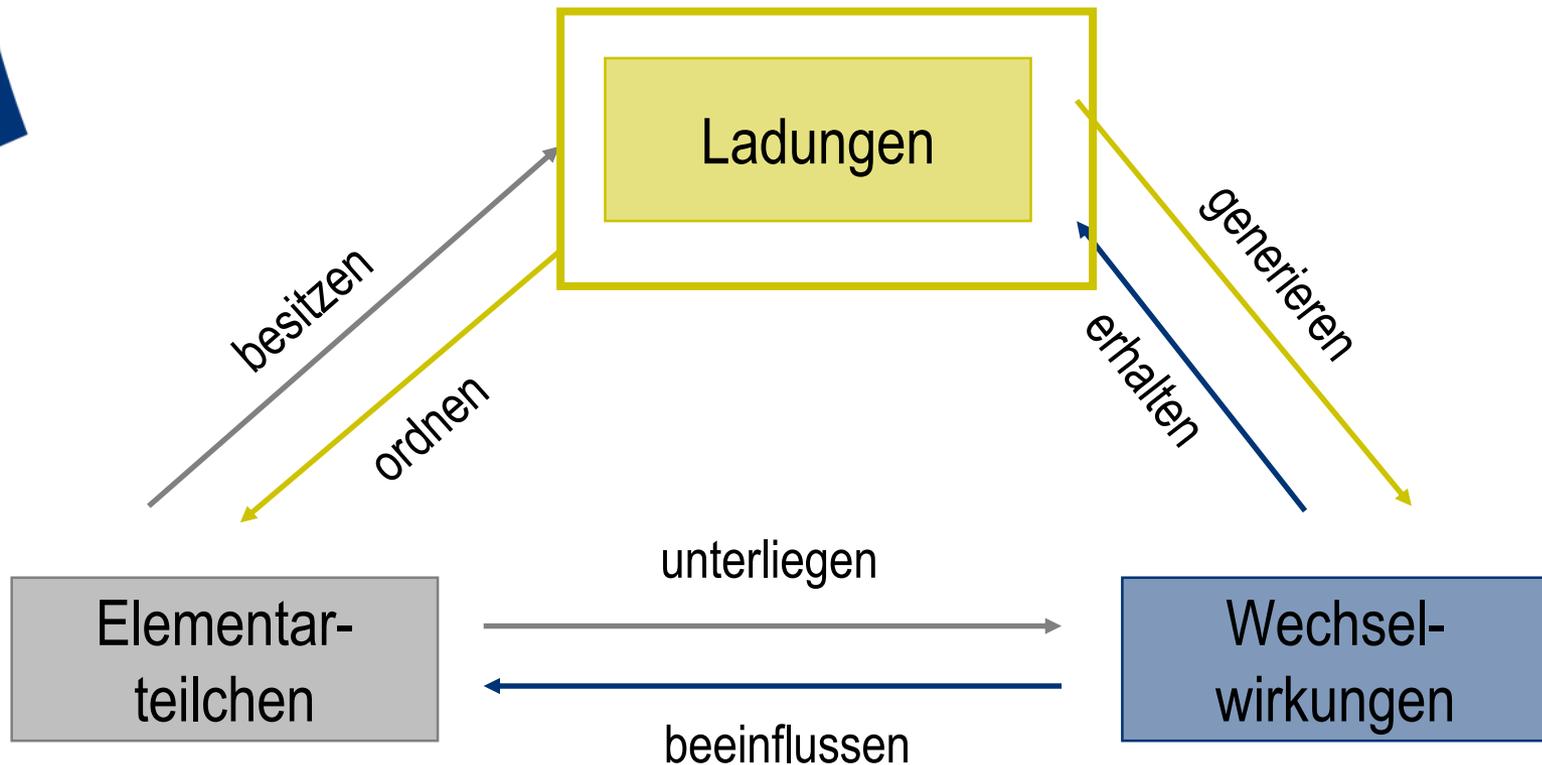


Basiskonzept: Wechselwirkungen

**Basiskonzept:
Wechselwirkung**
= Kraft + Umwandlung +
Erzeugung + Vernichtung

- ▶ Alle bekannten Vorgänge im Universum lassen sich auf 4 fundamentale Wechselwirkungen zurückführen
 - (Gravitation, elektromagnetische, schwache und starke WW)
- ▶ 3 dieser Wechselwirkungen werden im Standardmodell der Teilchenphysik beschrieben **und besitzen sehr ähnliche Grundprinzipien**
- ▶ Die Wechselwirkungen des Standardmodells werden **durch Ladungen hervorgerufen**

Die drei Basiskonzepte des Standardmodells



Erweiterung: Konzept der Ladung

- ▶ **Einführung:** Zu jeder Wechselwirkung existiert eine Ladung
- ▶ Ladungszahlen bzw. -vektoren als charakteristische Teilcheneigenschaften

- ▶ Bekannt:

- Elektrische Ladung

elektrische Ladungszahl

Z

- ▶ Neu:

- Schwache Ladung

schwache Ladungszahl

I

- Starke (Farb-)Ladung

starker Farbladungsvektor

\rightarrow

C

- ▶ Produkt zweier Ladungen kann positiv oder negativ sein



Fachliche Didaktische Hinweise

Verallgemeinerung vom Ladungsbegriff:

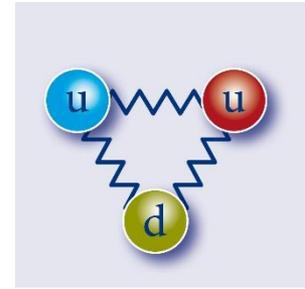
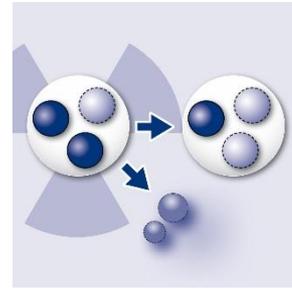
- ▶ Wichtig: elektromagnetische Ladung nicht als “Ladung” abkürzen!
- ▶ behindert Verständnis vom allgemeinen Ladungsbegriff
- ▶ Betonung von Ladungszahl/-vektor als Teilcheneigenschaft

Konzept der Ladung

- ▶ Ladungszahlen bzw. -vektoren sind charakteristische **Teilcheneigenschaften**
- ▶ Teilchen nehmen nur dann an einer bestimmten Wechselwirkung teil, wenn sie die Ladung der entsprechenden **Wechselwirkung** besitzen

Und:

- ▶ Ladungszahlen bzw. -vektoren dienen als **Ordnungsprinzip** für Teilchen
- ▶ Ladungszahlen bzw. vektoren sind fundamentale **Erhaltungsgrößen**
 - Grundlage der Symmetrien des Standardmodells

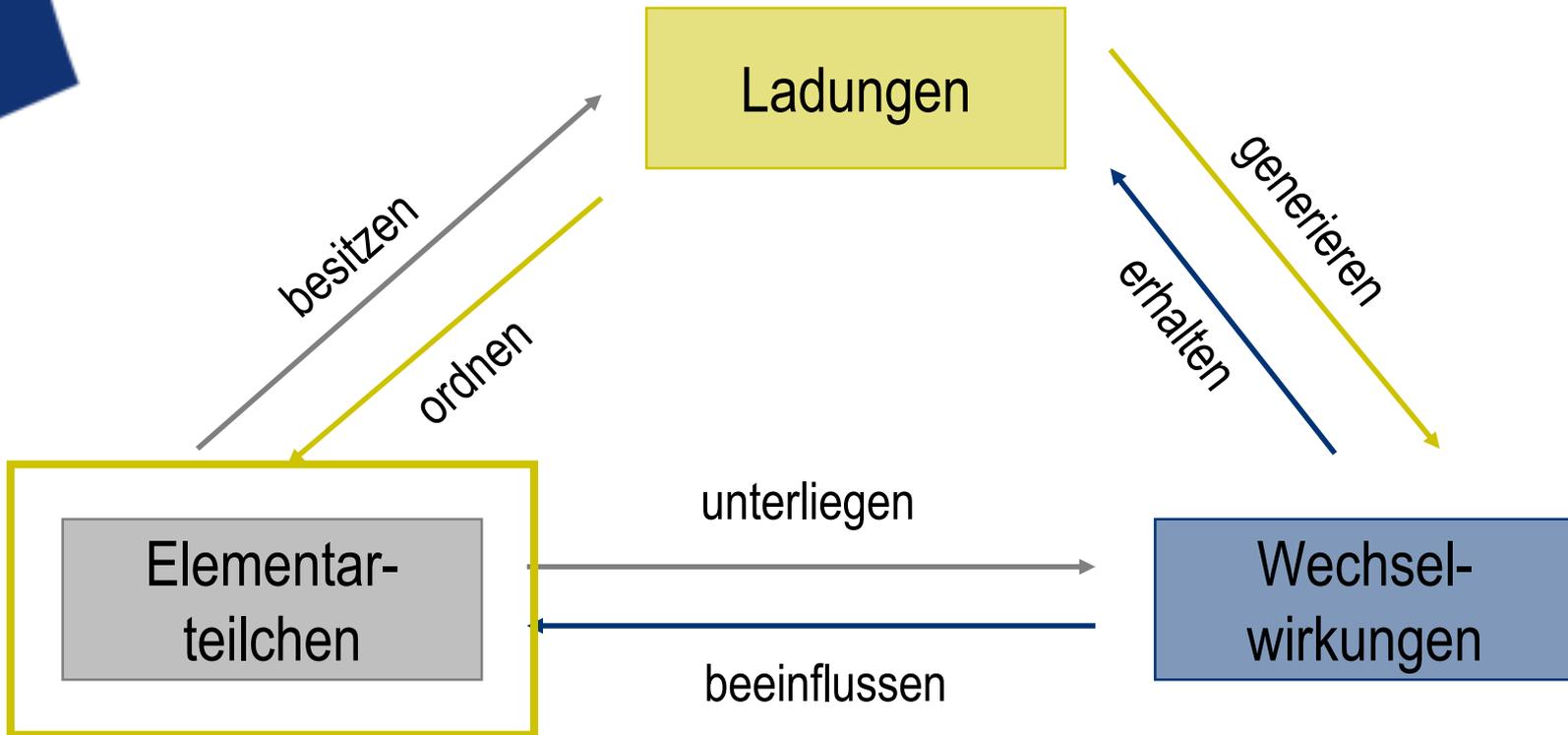


- **eindeutige Vorhersage** möglich,
ob bestimmte Prozesse erlaubt oder unmöglich sind
(und sogar ihrer Wahrscheinlichkeiten)

aus

- Energie- und Impulserhaltung
- **Erhaltung aller drei Ladungen**
- Beachtung der Teilchen-“Multipletts“

Die drei Basiskonzepte des Standardmodells





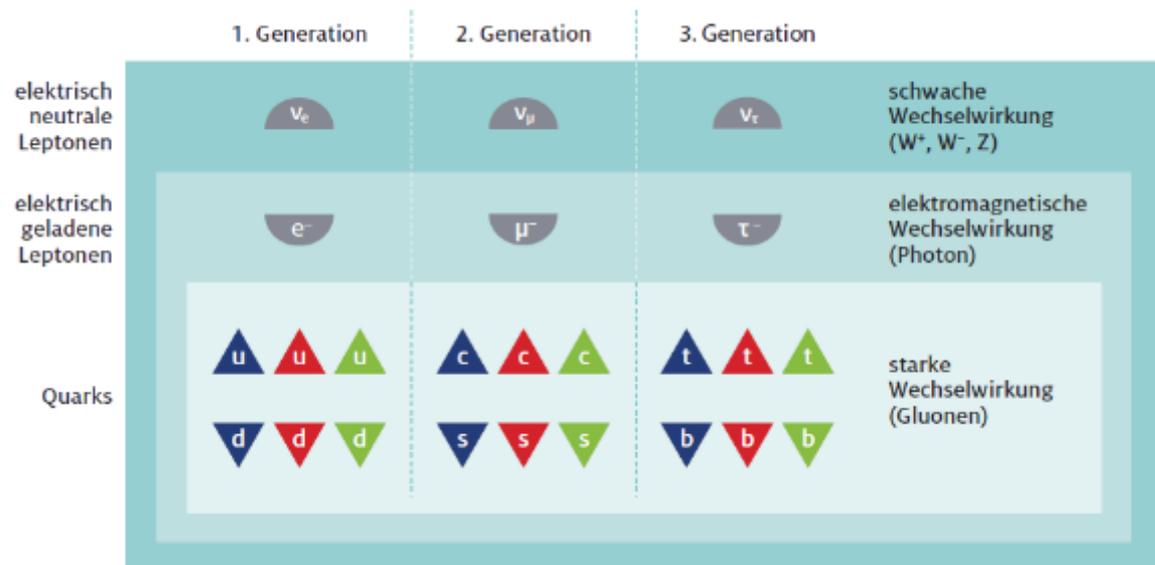
Fachliche Didaktische Hinweise

”Botenteilchen” statt “Austauschteilchen” oder “Bosonen”

- ▶ “Austauschteilchen” betont Vermittlung von Kräften durch Austauschteilchen
- ▶ Soll Fehlvorstellung vorbeugen, dass Botenteilchen von anderen “besessen” oder “übergeben” werden

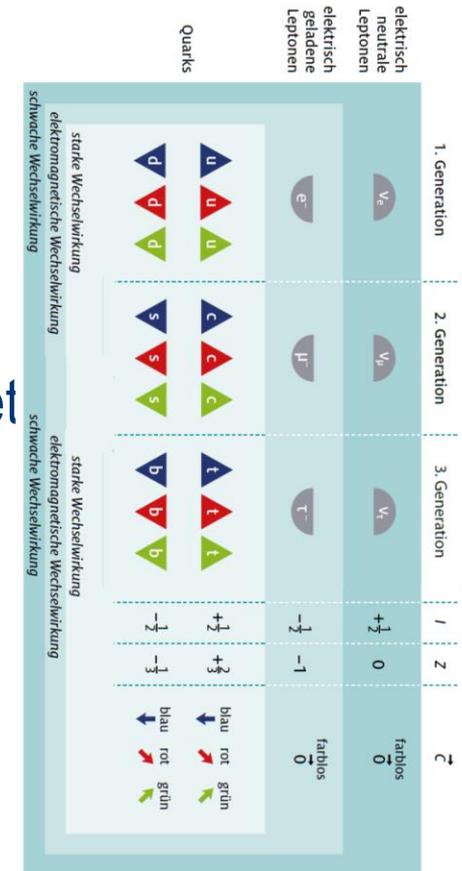
Materieteilchen

- ▶ Stabile Materie in unserer Umgebung besteht nur aus Teilchen der ersten Generation: Elektronen, Up- und Down-Quarks.
- ▶ Von ihnen gibt es je zwei massereichere, instabile „Kopien“ mit gleichen Ladungen (2. und 3. Generation).



Analogie zum Periodensystem

- ▶ Teilchen sind nach Ladungen geordnet, analog den chemischen Elementen in den Hauptgruppen
- ▶ Im PSE sind die chemischen Elemente innerhalb einer Hauptgruppe von oben nach unten nach ihrer Masse aufsteigen geordnet





Konzept: Multipletts

- ▶ Teilchen lassen sich anhand ihrer Ladungen ordnen
- ▶ Die Zahl und Multipletts der Botenteilchen werden aus den Symmetrien des Standardmodells vorhergesagt
- ▶ Für die Materieteilchen findet man experimentell
 - Dupletts der schwachen Wechselwirkung (nicht vorhersagbar!)
 - Tripletts der starken Wechselwirkung (nicht vorhersagbar!)
 - Singulett der elektromagnetischen Wechselwirkung (vorhersagbar)
- ▶ Umwandlungen nur innerhalb der Multipletts möglich
 - (zuzüglich: hier nicht diskutierte Effekte der Zustandsmischung)