

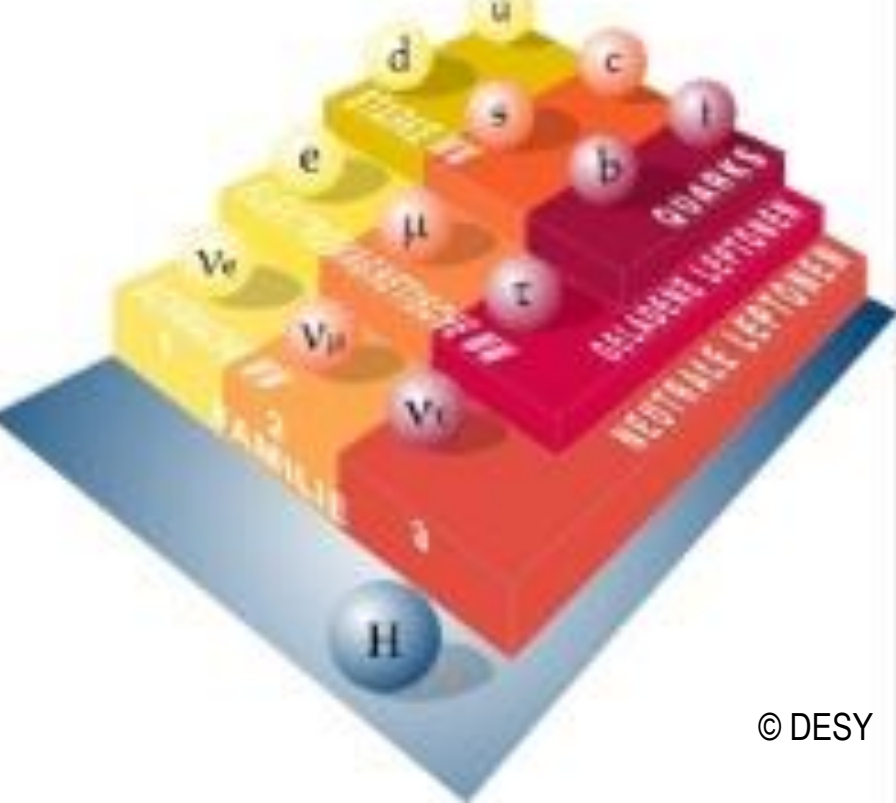


# Das Standardmodell: Teilchenzoo oder geniales System?

Ein erprobter Erklärungsansatz



NETZWERK  
TEILCHENWELT



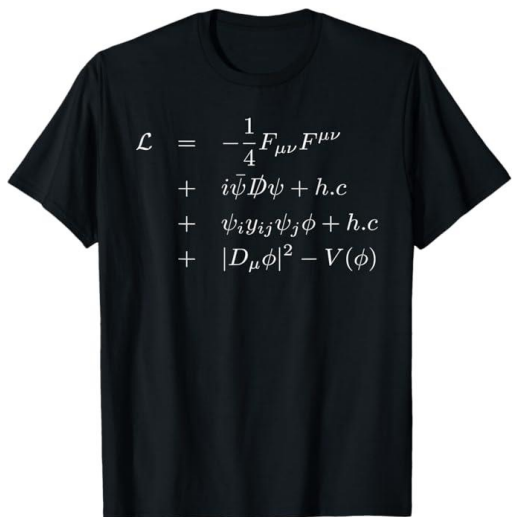
© DESY

## Standardmodell der Elementarteilchen

	Drei Generationen der Materie (Fermionen)			Wechselwirkungen (Bosonen)	
	I	II	III		
Masse	≈2,2 MeV/c <sup>2</sup>	≈1,28 GeV/c <sup>2</sup>	≈173,1 GeV/c <sup>2</sup>	0	≈124,97 GeV/c <sup>2</sup>
Ladung	2/3	2/3	2/3	0	0
Spin	1/2	1/2	1/2	1	0
	<b>u</b> Up	<b>c</b> Charm	<b>t</b> Top	<b>g</b> Gluon	<b>H</b> Higgs
	<b>d</b> Down	<b>s</b> Strange	<b>b</b> Bottom	<b>γ</b> Photon	
	<b>e</b> Elektron	<b>μ</b> Myon	<b>τ</b> Tauon	<b>Z</b> Z-Boson	
	<b>ν<sub>e</sub></b> Elektron-Neutrino	<b>ν<sub>μ</sub></b> Myon-Neutrino	<b>ν<sub>τ</sub></b> Tauon-Neutrino	<b>W</b> W-Boson	

QUARKS (left side)  
 LEPTONEN (left side)  
 EICHBOSONEN VEKTORBOSONEN (right side)  
 SKALARBOSONEN (right side)

© MissMJ & Cush / Polluks



13.11.2024



<https://x.com/OxfordPhysics/status/1339584868825485322>

# 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

# Didaktisches Konzept

- ▶ Netzwerk Teilchenwelt hat gemeinsam mit Lehrkräften ein didaktisches Konzept für Teilchenphysik im Unterricht erarbeitet.
- ▶ Wichtiges Ziel war, besser an bekanntem Wissen zu orientieren und neuen Stoff darauf aufzubauen
- ▶ Hauptkonzept: “Wechselwirkungen statt Teilchen”

**KOSTENFREI ERHÄLTLICH!**

## UNTERRICHTSMATERIALIEN 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 Hefreihe mit Unterrichtsmaterialien zur Teilchenphysik entwickelt. Sie soll Lehrkräften Ideen, Anregungen und Hintergrundinformationen für ihren Unterricht geben.

Die Materialien können per E-Mail an [info@leifphysik.de](mailto:info@leifphysik.de) angefordert oder unter [www.leifphysik.de/tp](http://www.leifphysik.de/tp) heruntergeladen werden.

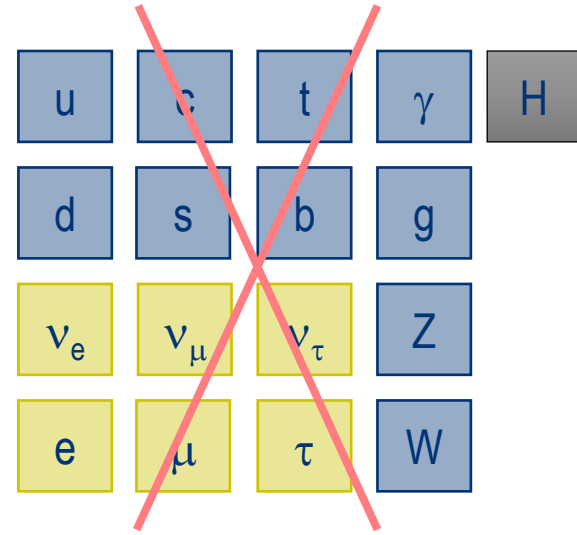
**FOLGENDE BÄNDE SIND VERFÜGBAR:**

- Mikrokurse
- Kosmische Strahlung
- Forschungsmethoden
- Wechselwirkungen und Teilchen

**JOACHIM HERZ STIFTUNG**  **PHYSIK**  **NETZWERK TEILCHENWELT** 

# 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
  
- ▶ Übertragen auf die Teilchenphysik
  - Regeln = Wechselwirkungen, Erhaltungssätze,...
  - Spieler = Elementarteilchen
  
- ▶ Wieso also bei der Behandlung des Standardmodells mit den Teilchen beginnen?
  - Nur u,d,e sind für Aufbau der Materie nötig
  - Warum es genau diese Teilchen gibt, kann nicht vorhergesagt werden (nicht verstanden!)

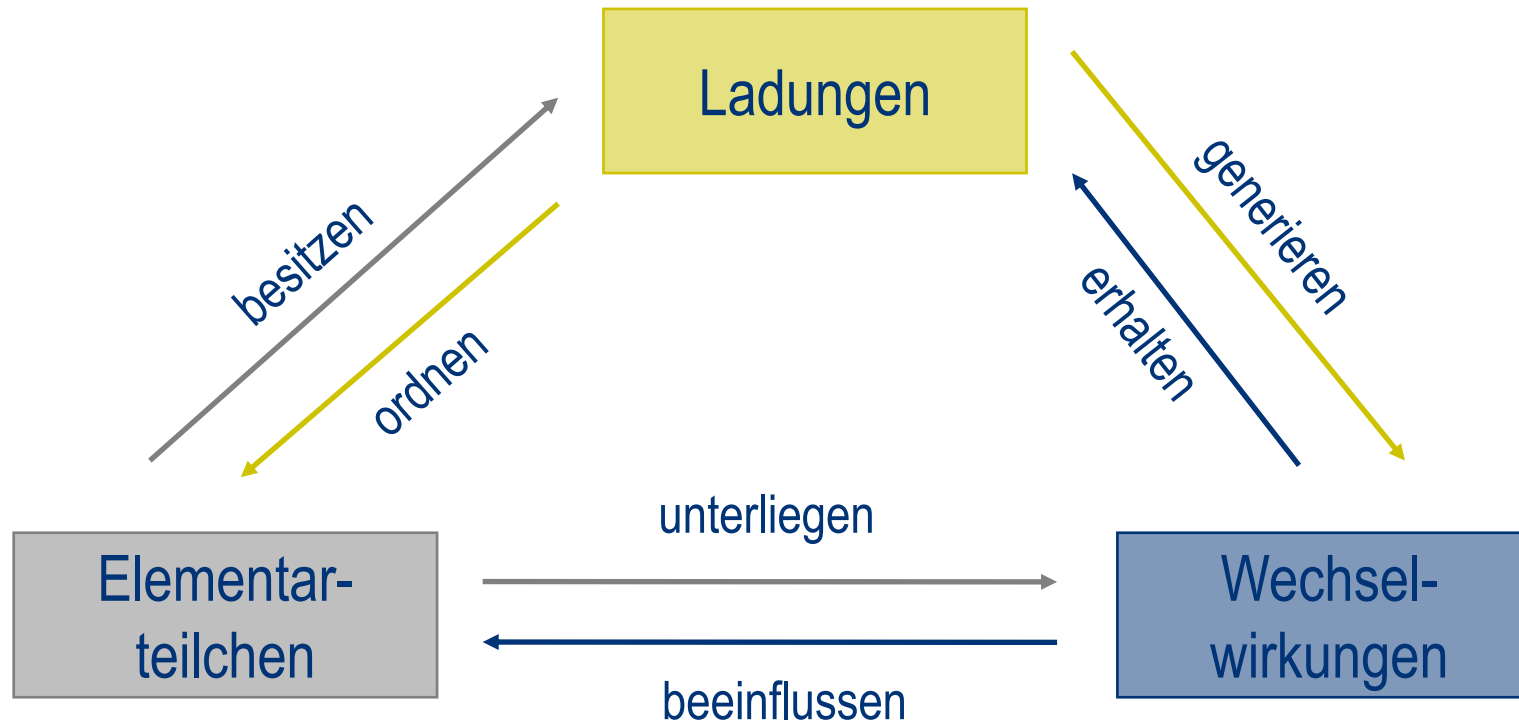




# Das Standardmodell der Teilchenphysik

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

# Die drei Basiskonzepte des Standardmodells



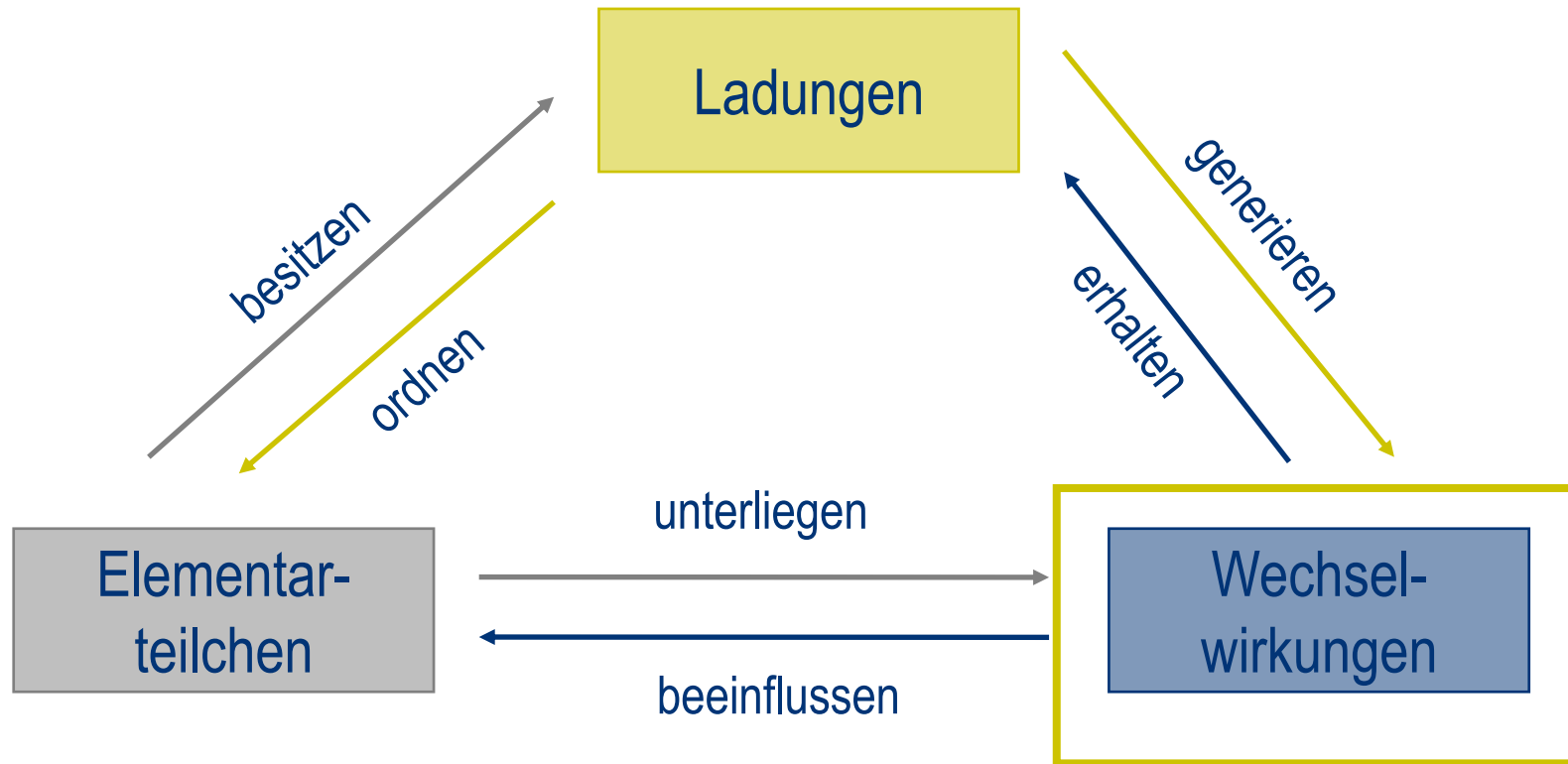


# Roter Faden

- ▶ Physik versucht, Wirklichkeit möglichst einfach zu beschreiben
- ▶ führt zu 4 fundamentalen **Wechselwirkungen**
- ▶ Wechselwirkung:  
Kraft + Umwandlung + Erzeugung + Vernichtung
- ▶ Verallgemeinerung von “**Ladung**”  
→ 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

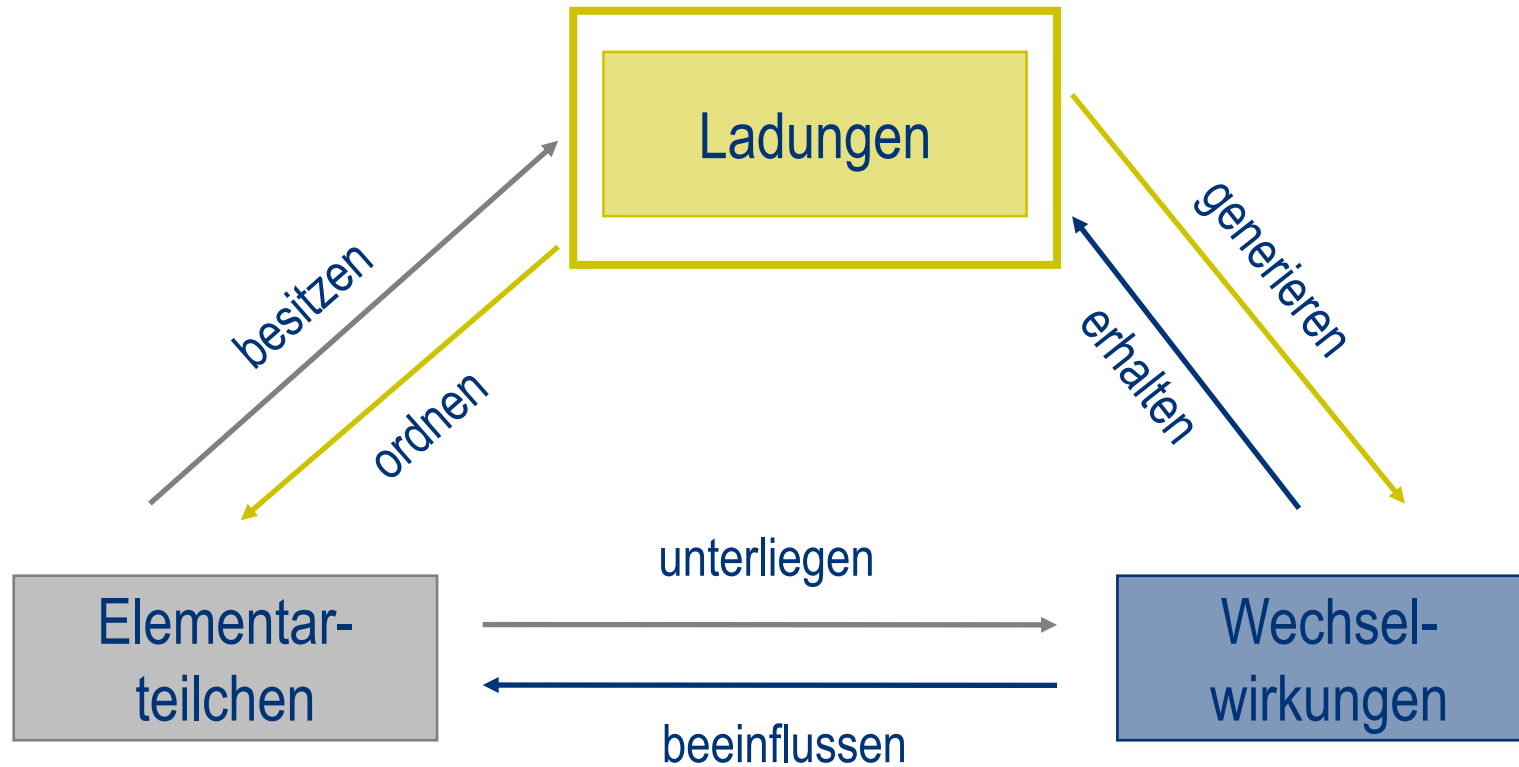


# Basiskonzept: Wechselwirkungen

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



# Didaktische Hinweise

## Verallgemeinerung vom Ladungsbegriff:

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

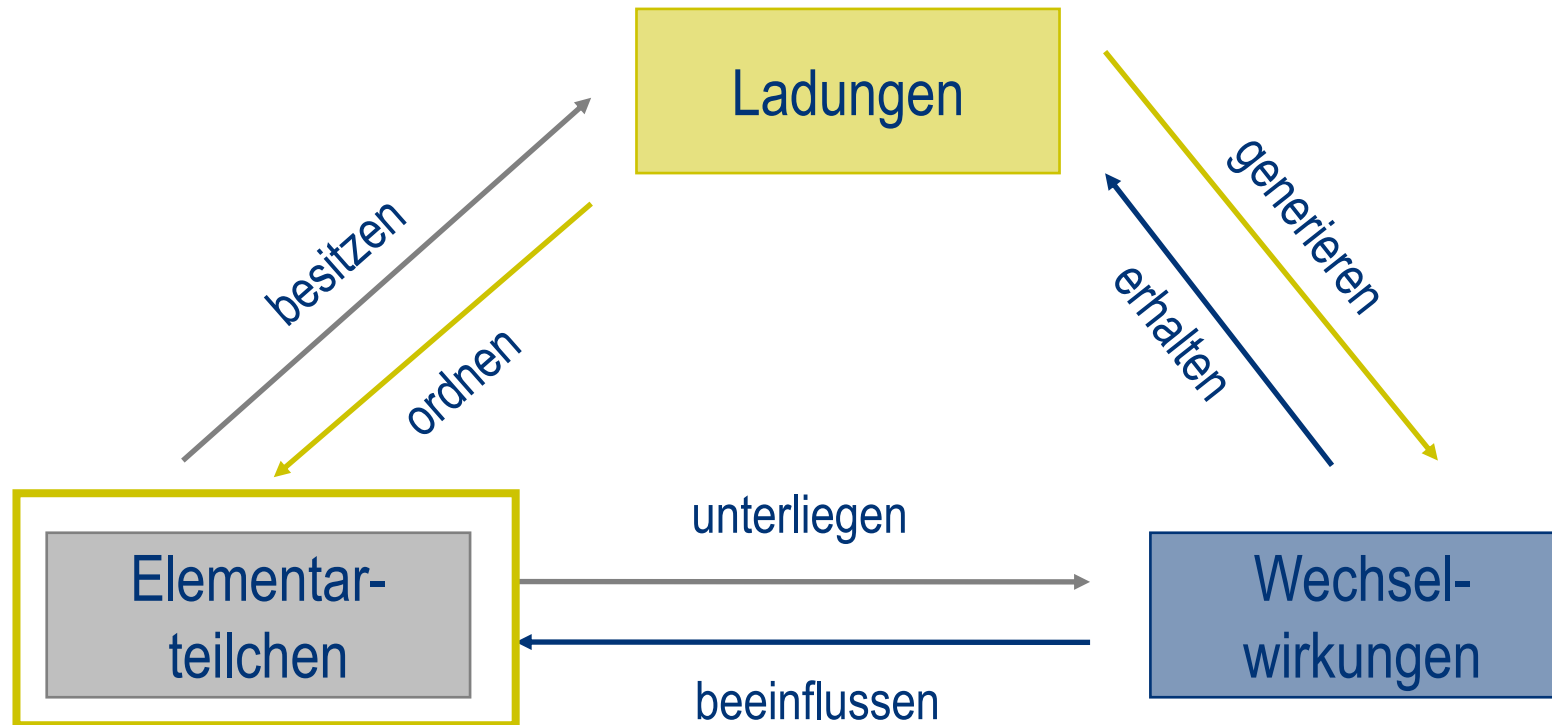
# Konzept der Ladung

- ▶ 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

# Die drei Basiskonzepte des Standardmodells





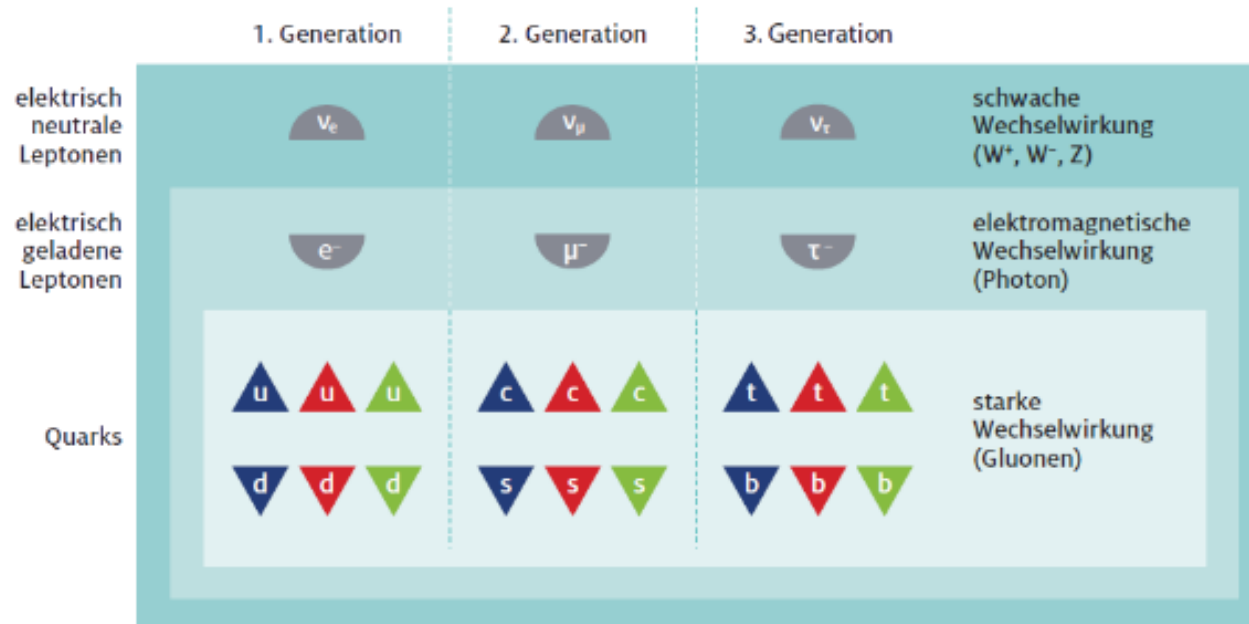
# Didaktische Hinweise

”Botenteilchen” oder “Austauschteilchen” oder “Bosonen” ?

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

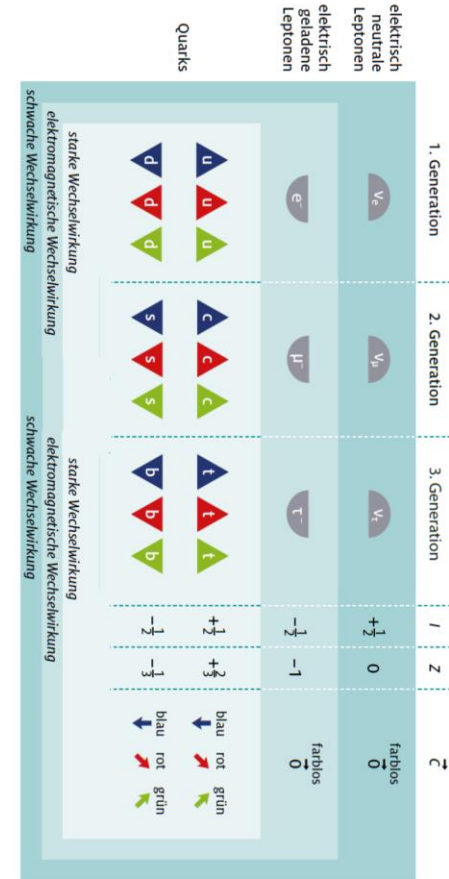
# Materieteilchen

- ▶ 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).



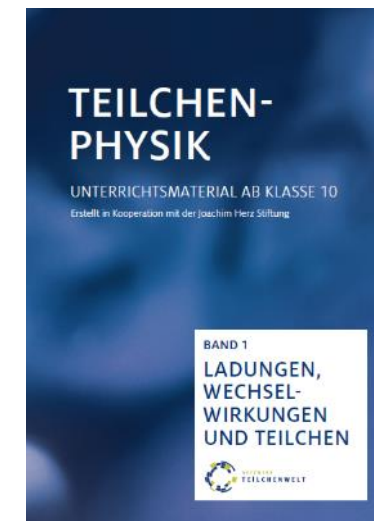
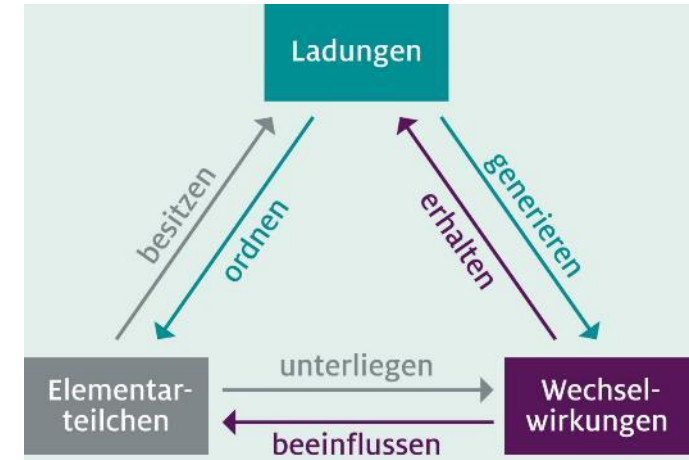
# Analogie zum Periodensystem

- ▶ 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



# Band 1: Ladungen, Wechselwirkungen u. Teilchen

- ▶ Ca. 100 Seiten Hintergrundinformationen
- ▶ Einführung in das Standardmodell
- ▶ Spiralcurriculum, didaktische u. fachliche Hinweise
- ▶ Anknüpfungspunkte an typische Lehrplaninhalte
- ▶ Konsistente und schulgeeignete Begriffsbildung





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

[mail@teilchenwelt.de](mailto:mail@teilchenwelt.de)



PROJEKTLEITUNG



PARTNER



SCHIRMHERRSCHAFT



FÖRDERER

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



DR. HANS RIEGEL-STIFTUNG