



11:15 – 12:00 Uhr

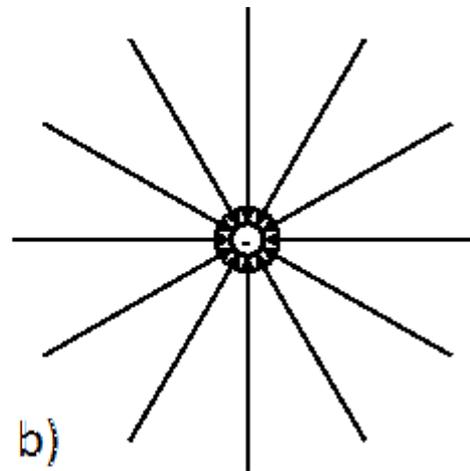
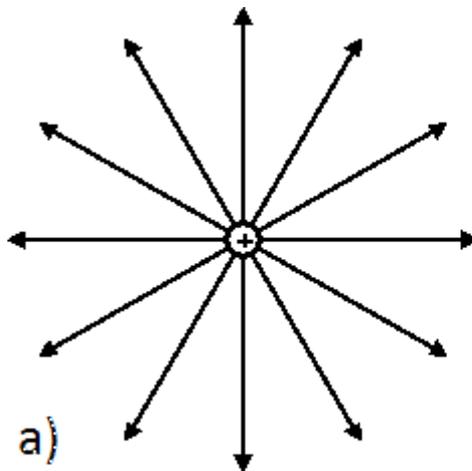
Fachvortrag II

Darstellen von Wechselwirkungen

► Klassische Physik: Feldlinien

für Wechselwirkungen mit unendlicher Reichweite
hier: elektromagnetische Wechselwirkung

$$F = Q \cdot E$$



$$A = 4\pi r^2$$

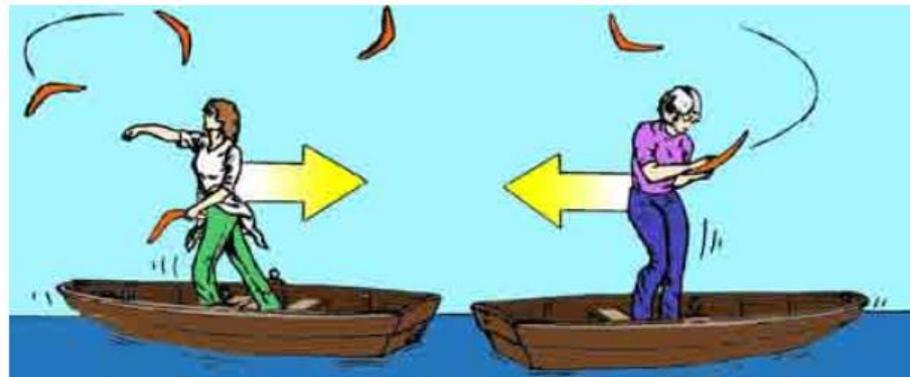
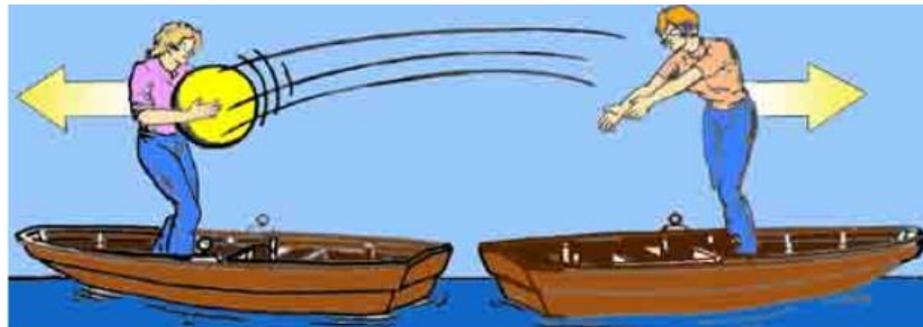
↓

$$F \sim \frac{1}{4\pi r^2}$$

Darstellen von Wechselwirkungen

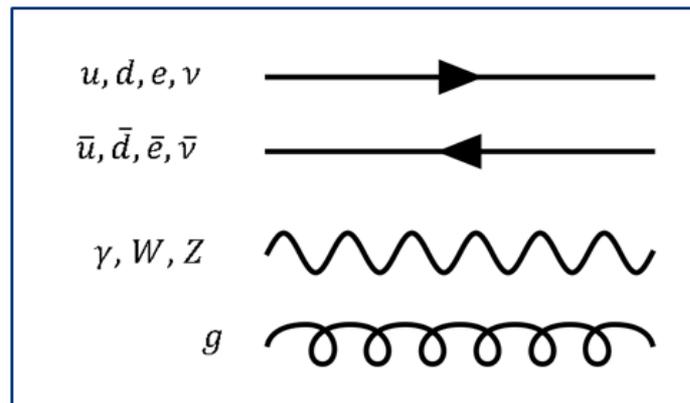
► Analogie: Austausch eines Botenteilchens

Anstelle der Feldlinien kann die elektromagnetische Wechselwirkung auch durch den Austausch eines Botenteilchens beschrieben werden



Feynman-Diagramme

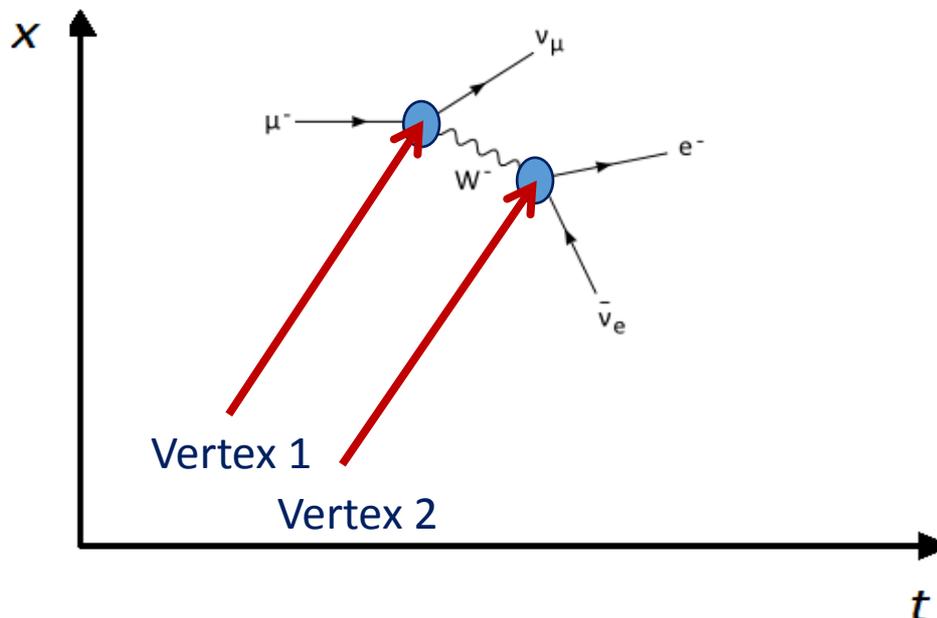
► Aufbau



Feynman-Diagramme

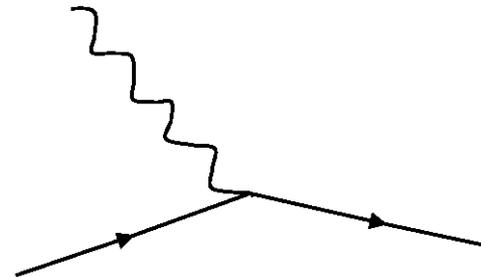
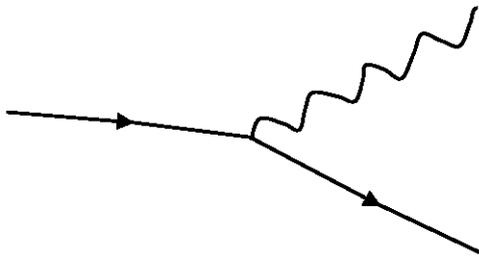
► Begriffsklärung:

- Vertex / Vertices (plural)
- Wechselwirkung wird dadurch dargestellt, dass sich die Teilchen treffen (an einem „bestimmtem Ort“, zur einer „bestimmten Zeit“)



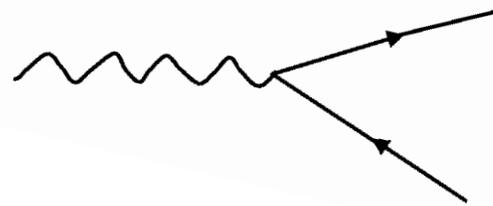
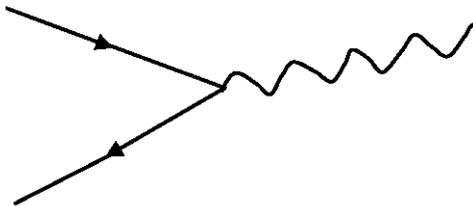
Grundbausteine 1/2

► Abstrahlung und Einfang eines Botenteilchens



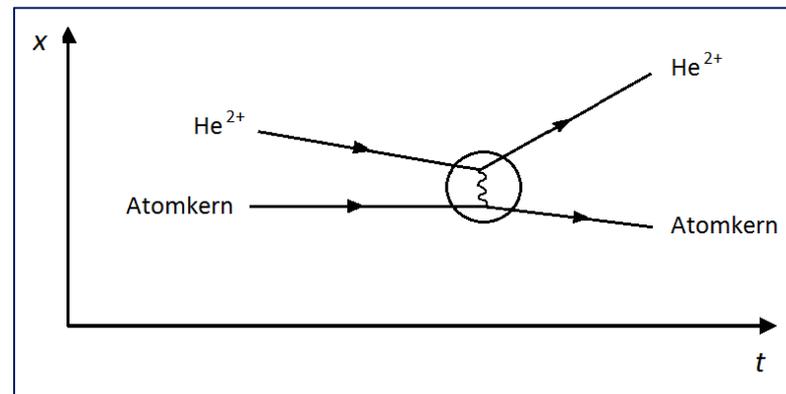
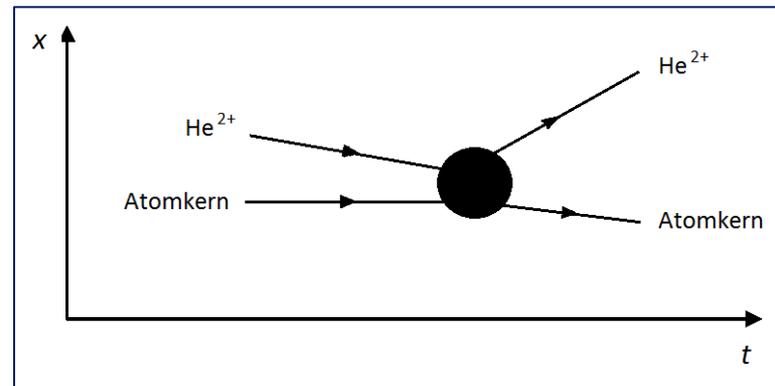
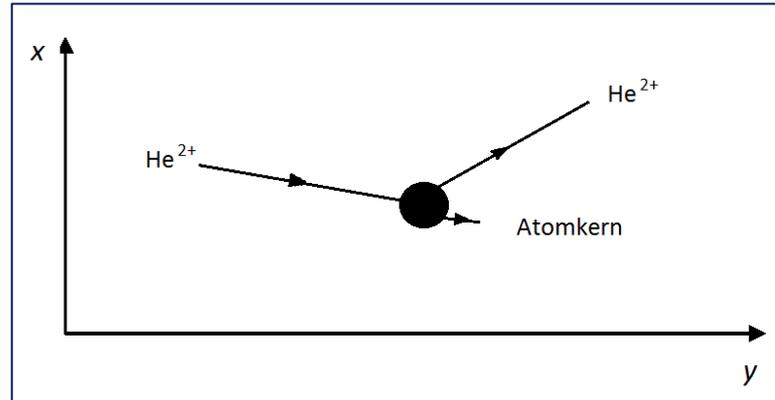
Grundbausteine 2/2

▶ Paarvernichtung und Paarerzeugung



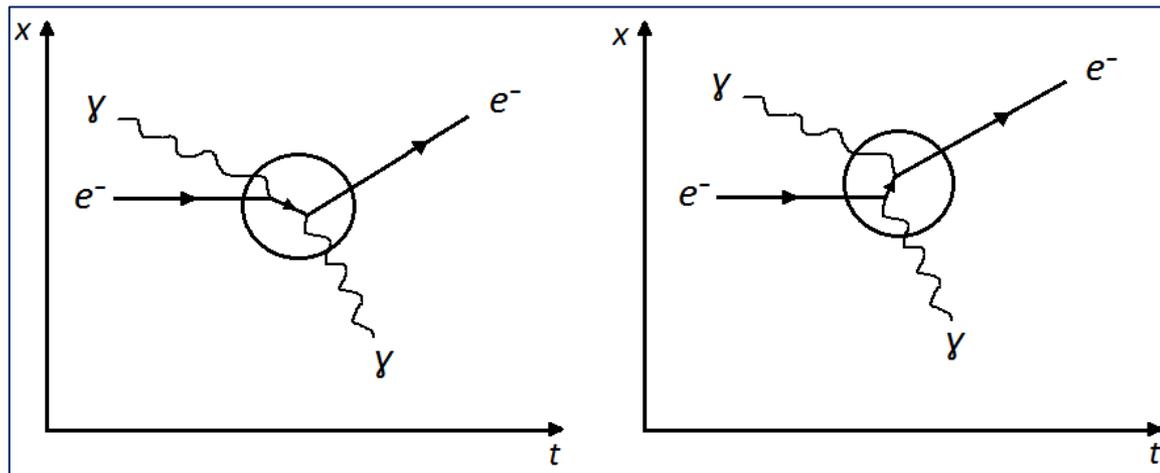
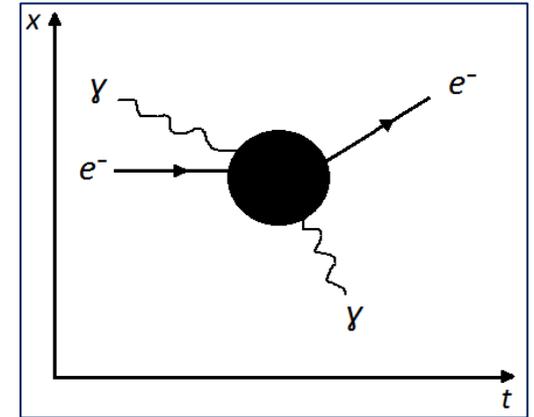
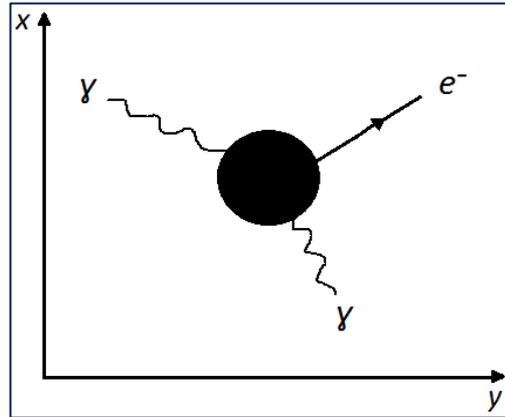
Prozesse

► Rutherford-Streuung



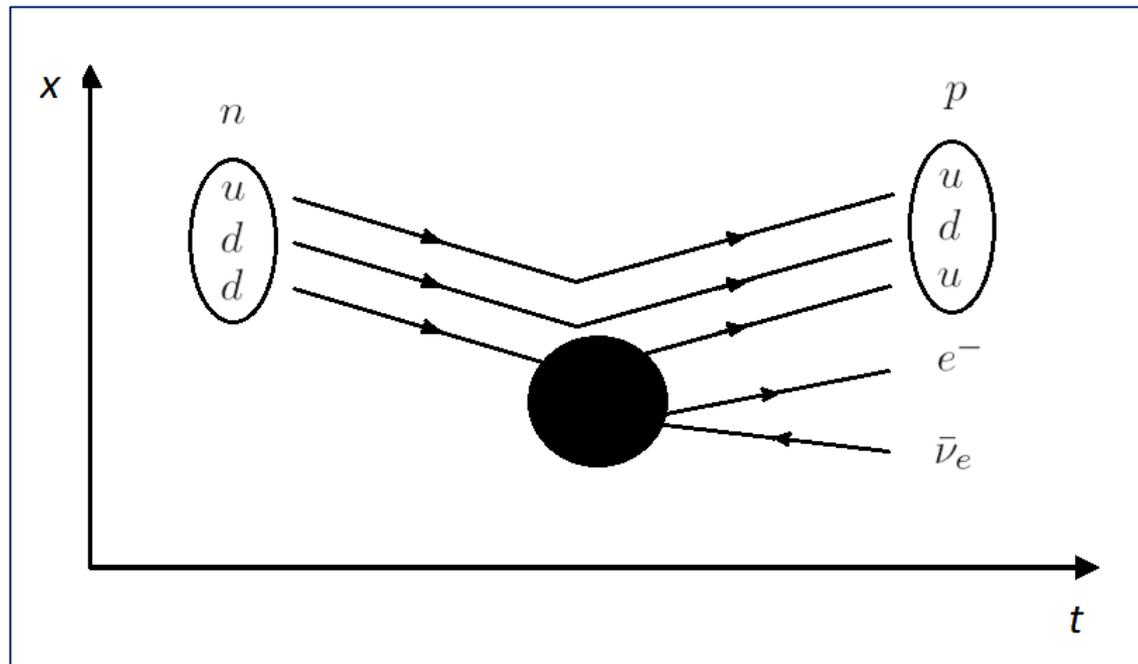
Prozesse

► Compton-Streuung



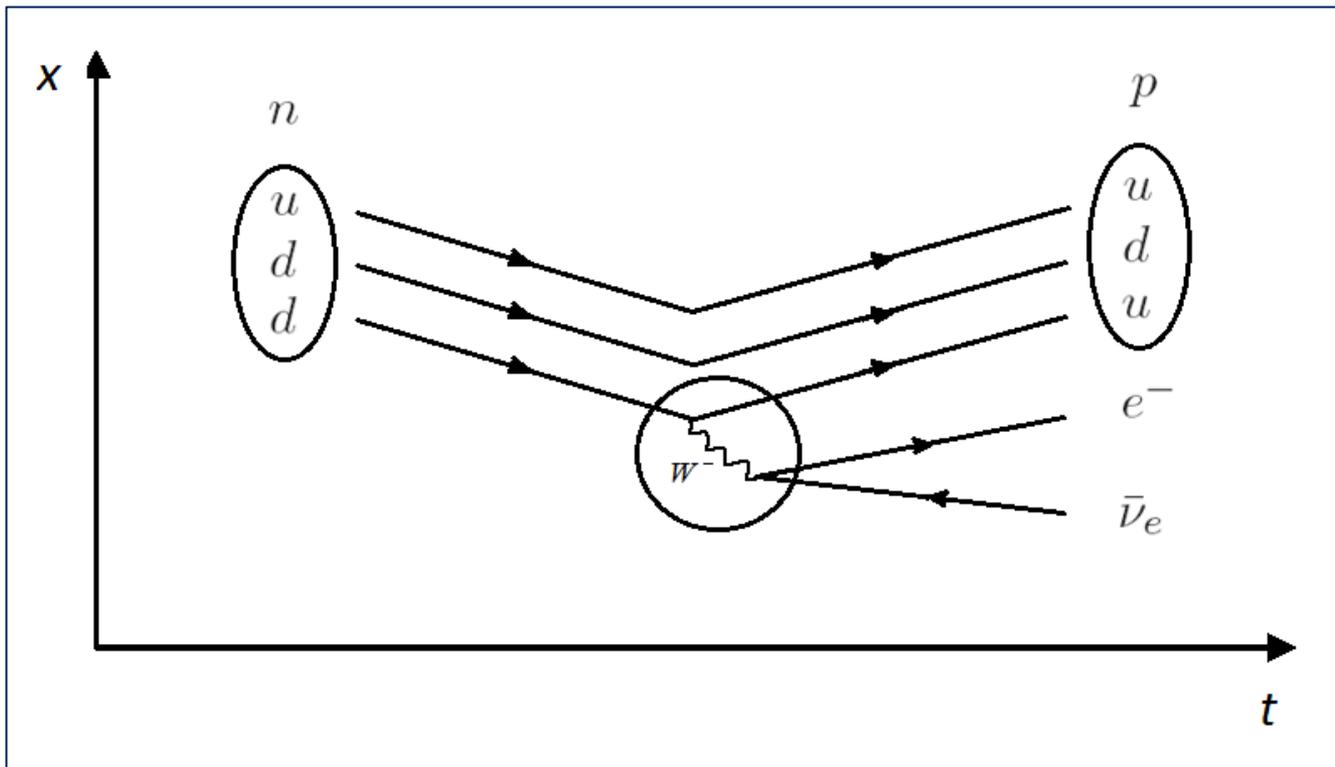
Prozesse

► β^- - Umwandlung



Prozesse

► β^- - Umwandlung



Zusammenfassung: Feynman-Diagramme

- ▶ Wechselwirkungen werden in der Teilchenphysik durch den Austausch von Botenteilchen beschrieben
- ▶ Wechselwirkungen werden mittels Feynman-Diagrammen dargestellt
 - Diese können auch zur quantitativen Berechnung dienen
- ▶ Eine Vorstufe der Feynman-Diagramme ist das x-y-Diagramm
- ▶ Ein Feynman-Diagramm ist ein x-t-Diagramm (Zeitachse nach rechts)
- ▶ Wechselwirkungen werden durch Vertices symbolisiert, an denen Teilchen emittiert, absorbiert, erzeugt oder vernichtet werden

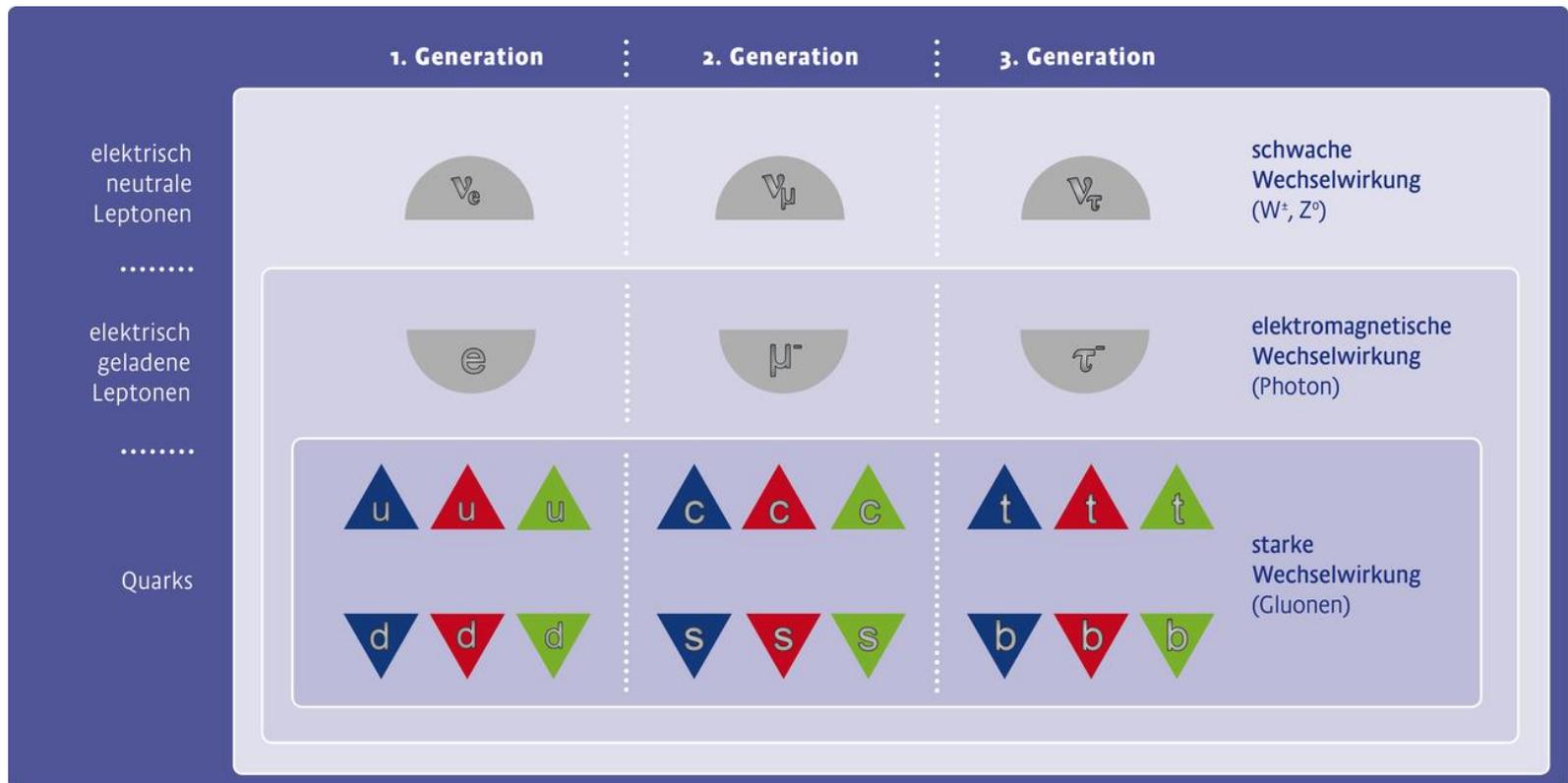
„Teilchenzoo“ oder Ordnung?

- ▶ Uns umgebende Materie besteht aus Up- und Down-Quarks, Elektronen und Elektron-Neutrinos
- ▶ 1936: Entdeckung des Myons
 - Gleiche Ladungszahlen wie das Elektron
 - 200 Mal schwerer als das Elektron (Schwere „Kopie“ des Elektrons)
- ▶ 1975: Entdeckung des Tauons: schwere „Kopie“ des Myons

„Teilchenzoo“ oder Ordnung?

- ▶ Entdeckung weiterer Teilchen
- ▶ ausschließlich „schwere Kopien“ der Up- und Down-Quarks sowie des Elektrons und des Elektron-Neutrinos
 - Von jedem der leichten Materieteilchen (u, d, e^-, ν_e) gibt es je zwei Kopien, die größere Massen besitzen.
- ▶ Wie lassen sich Teilchen ordnen?

Anordnung von Teilchen in Generationen





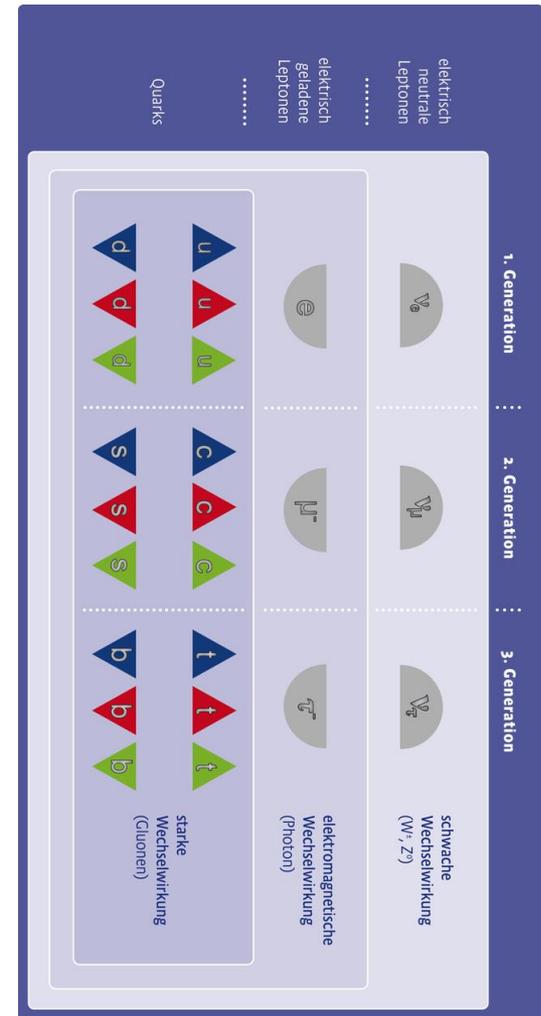
Ordnungsschema: Analogie zum Periodensystem

- ▶ Analogie zum Periodensystem der Elemente (PSE) in der Chemie
- ▶ Drehen der Abbildung um 90° im Uhrzeigersinn
 - Teilchen sind nach Ladungen geordnet analog den chemischen Elementen in die Hauptgruppen
 - Im PSE sind die chemischen Elemente innerhalb einer Hauptgruppe von oben nach unten nach ihrer Masse aufsteigen geordnet
 - Analog dazu sind auch die Elementarteilchen in den um 90° gedrehten Darstellungen bezüglich der drei Generationen aufsteigend von oben nach unten nach ihrer Masse geordnet

Ordnungsschema: Analogie zum Periodensystem

1A																	VIIIA	
1																	2	
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Fl	Uup	Lv	Uus	Uuo
* lanthaniden			57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	
			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
** actiniden			89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	
			Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	

- ▶ Gleiche Ladungen \leftrightarrow Gleiche Eigenschaften ("Lepton-Universalität")
- ▶ Welche Plätze gefüllt sind, ist nicht vorhergesagt (Experiment !)
- ▶ Muster wiederholt sich 2x für größere Massen (Grund unbekannt!)

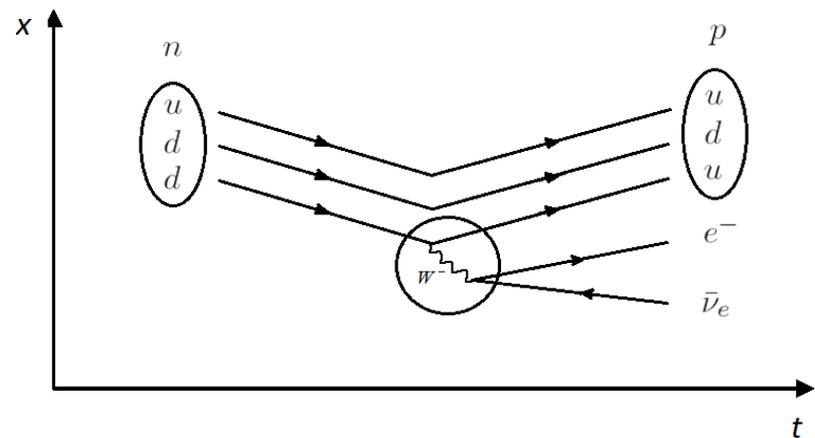


Teilchenumwandlungen als Schlüssel zur Ordnung

► Schwache Wechselwirkung

- Nur bestimmte Paare von Teilchen beteiligt
- Unterscheiden sich in schwacher Ladungszahl I und in elektrischer Ladungszahl q immer genau um Betrag 1
- **Dupletts** bezüglich der schwachen Ladung

► $\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} \quad I = +1/2 \quad q = +2/3$
 $\begin{pmatrix} d \\ u \end{pmatrix} \quad I = -1/2 \quad q = -1/3$



Teilchenumwandlungen als Schlüssel zur Ordnung

► Schwache Wechselwirkung

- Drei Up-Quarks mit Farbladungsvektoren , , oder  haben alle schwache Ladungszahl $I = +\frac{1}{2}$, Down-Quarks hingegen $I = -\frac{1}{2}$

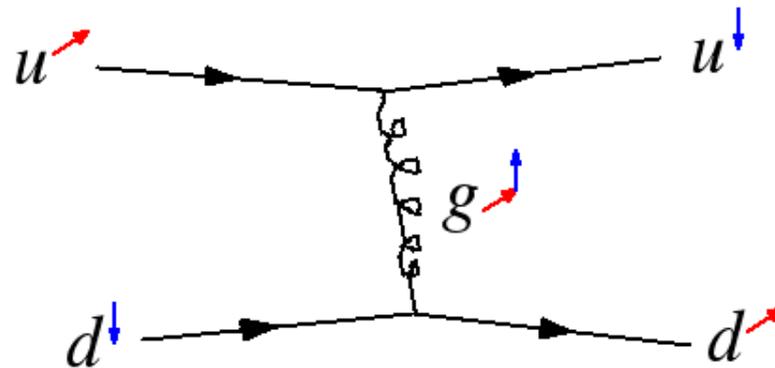
- $\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}$, $\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}$, $\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}$

Teilchenumwandlungen als Schlüssel zur Ordnung

► Starke Wechselwirkung

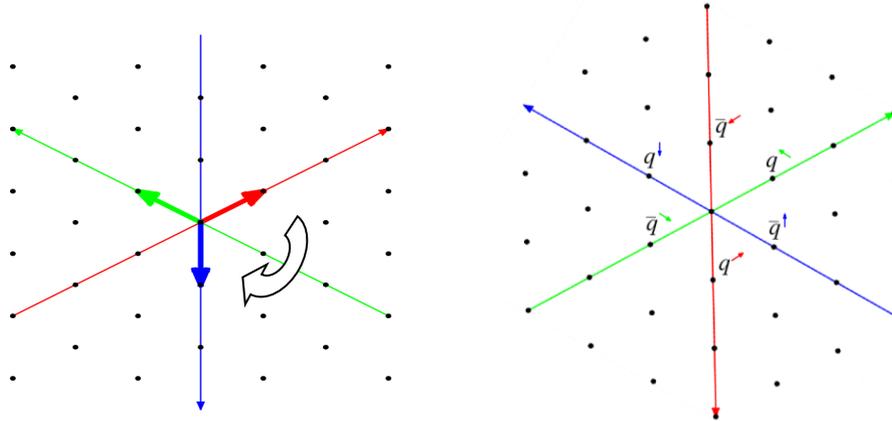
- Durch Gluonen nur Änderung der Farbladung eines Teilchens
- Drei verschiedene Farbladungsvektoren für Quarks:
Quarks bilden **Triplets** bezüglich der starken Ladung

► $(u \rightarrow u \rightarrow u)$

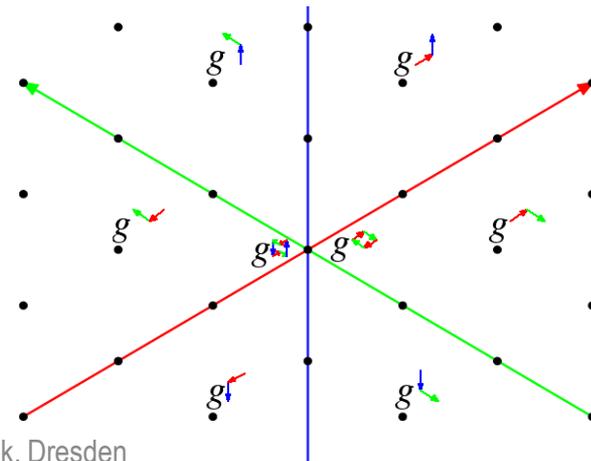
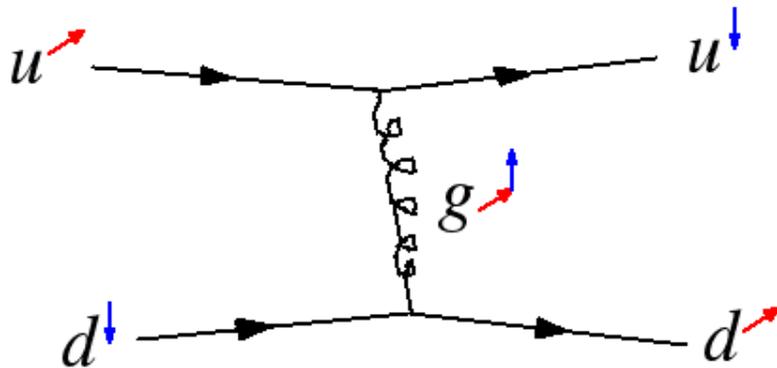


Botenteilchen: Umwandlung innerhalb Multipletts

- ▶ Eine Rotation (\sim Eichsymmetrie) eines Quark-Multipletts



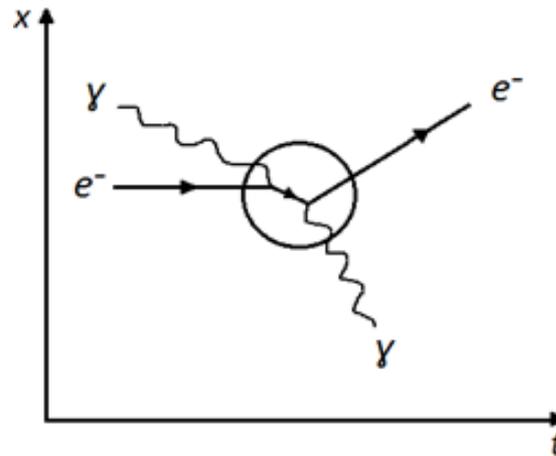
- ▶ hat denselben Effekt wie Emission oder Absorption eines Gluons



Teilchenumwandlungen als Schlüssel zur Ordnung

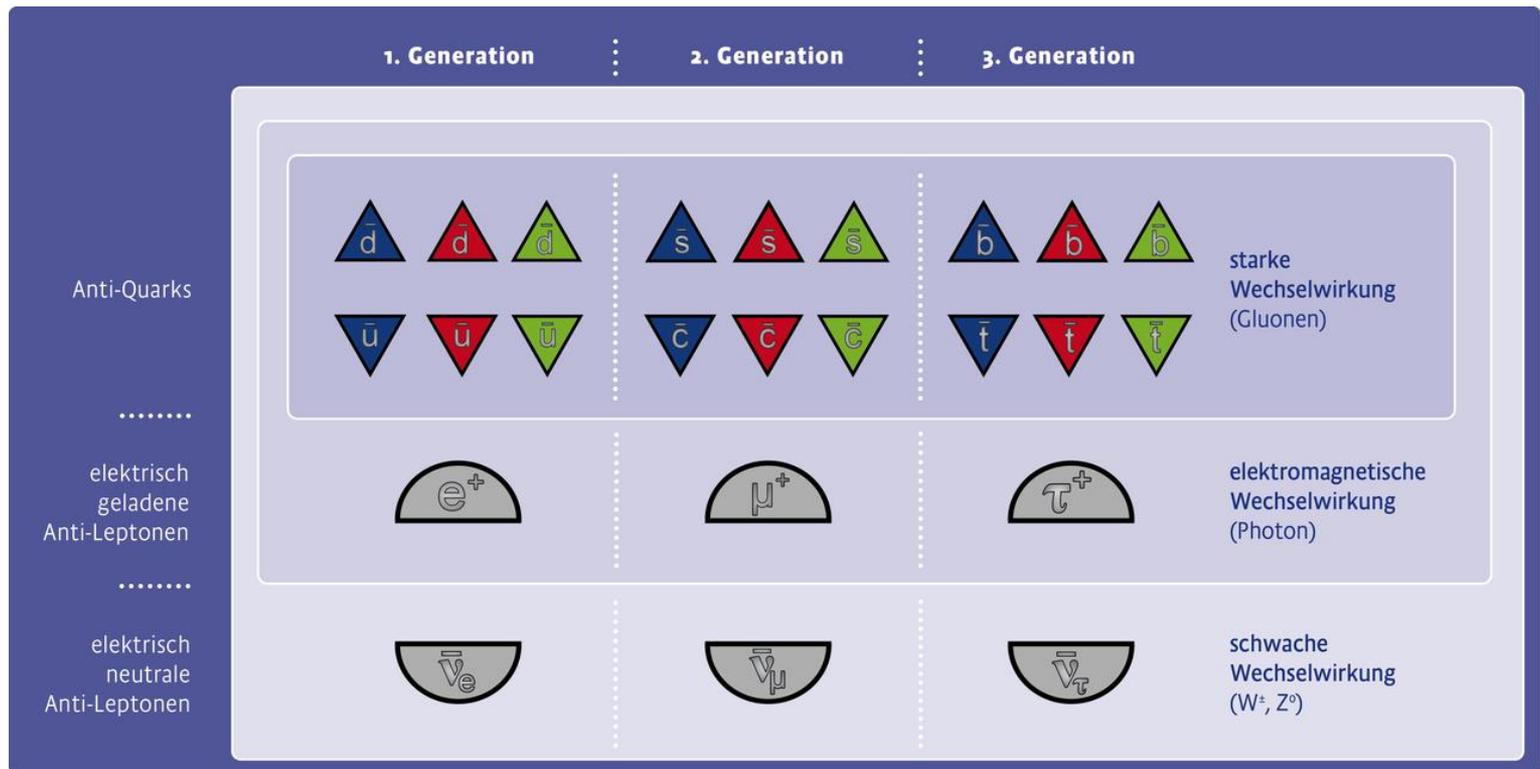
► Elektromagnetische Wechselwirkung

- Photonen besitzen keine Ladungen: durch elektromagnetische Wechselwirkung können die Ladungen eines Teilchens nicht geändert werden
- Alle Teilchen sind **Singulett**s bezüglich der elektrischen Ladung



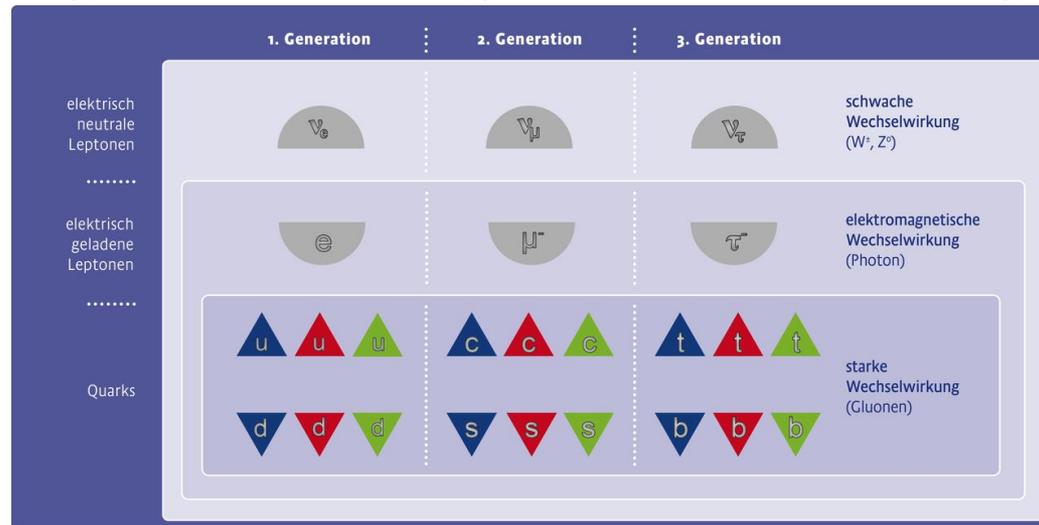
Multipletts – Ladungen als Ordnungsprinzip

- ▶ Zu jedem Teilchen gibt es ein zugehöriges Teilchen, mit gleicher Masse jedoch entgegengesetzten Ladungen
- ▶ Anti-Materieteilchen ebenfalls in drei Generationen



Zusammenfassung: Multipletts

- ▶ Teilchen lassen anhand ihrer Ladungen ordnen
- ▶ Experimentell findet man (nicht vorhersagbar!)
 - Dupletts der schwachen Wechselwirkung
 - Tripletts der starken Wechselwirkung
 - Singulett der elektromagnetischen Wechselwirkung



- ▶ Umwandlungen nur innerhalb der Multipletts möglich

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

www.teilchenwelt.de

ORIGINALSCHAUPLATZ



SCHIRMHERRSCHAFT



PROJEKTLEITUNG



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

JOACHIM
HERZ
STIFTUNG



12.03.2016



Diskussion / Fragen – zum Fachvortrag II



Mittagspause bis 13:00 Uhr



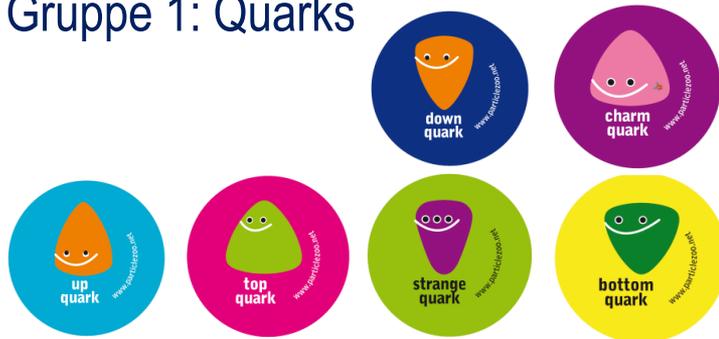
13:00 – 15:00 Uhr

Unterrichts-Sequenzplanung

Gruppenarbeit

Gruppeneinteilung

Konzept der Wechselwirkungen
Gruppe 1: Quarks



Ladungen als Ordnungsprinzip
Gruppe 2: Neutrinos



Darstellen von Wechselwirkungen
Gruppe 3: Higgs und Dark Matter





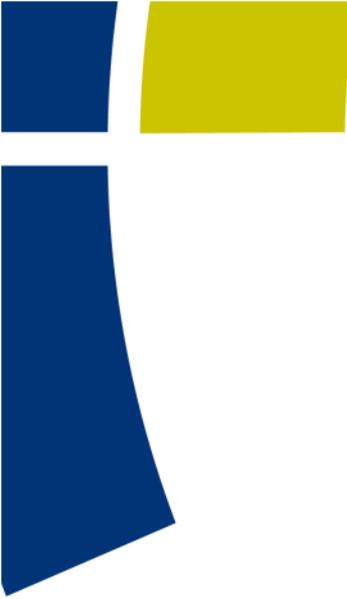
Gruppenauftrag

▶ Sequenzplanung

- In 3 Gruppen
- Planung einer Unterrichtssequenz
- Max. 100 min

▶ Präsentation der Ergebnisse

- Ergebnispräsentation pro Gruppe vor Plenum
- Pro Gruppe 5 min Präsentation und 10 min Diskussion
- Max. 45 min



15:15 – 16:00 Uhr

Präsentation der Ergebnisse

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

ORIGINALSCHAUPLATZ



SCHIRMHERRSCHAFT



PROJEKTLEITUNG



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

JOACHIM
HERZ
STIFTUNG



NETZWERK
TEILCHENWELT