

Faszination Teilchenphysik

Michael Kobel, TU Dresden

MINT-EC Schulleitertagung

28./29.11.2014



NETZWERK
TEILCHENWELT

► Camille Flammarion (1842-1925), Astronom

§ Schrieb 50 populäre Bücher und Manuskripte, beginnend als 16-jähriger mit der 500-seitigen „Cosmologie Universelle“

§ 1880: *Yes, indeed, if humankind — from humble farmers in the fields and toiling workers in the cities to teachers, people of independent means, those who have reached the pinnacle of fame or fortune, even the most frivolous of society women — If they knew what profound inner pleasure await those who gaze at the heavens, then France, nay, the whole of Europe, would be covered with telescopes instead of bayonets, thereby promoting universal happiness and peace.*



Illustration in „L'Atmosphère. Météorologie populaire “ (Paris, 1888):
„Un missionnaire du moyen âge raconte qu'il avait trouvé le point où le ciel et la terre se touchent ... “

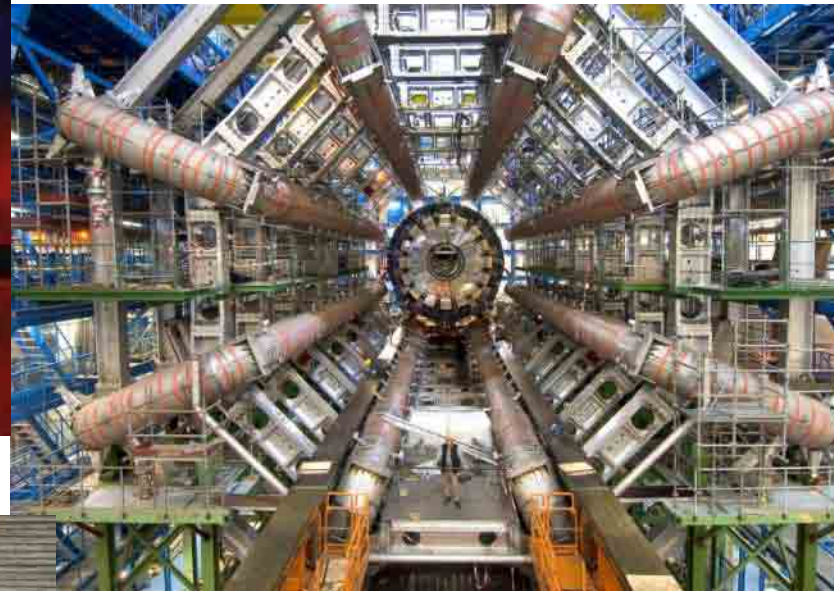
Heutiges Teleskop: Der Large Hadron Collider



Forschung der Superlative



Größter Ringbeschleuniger/Maschine der Welt



Hochkomplexe Technik



Ca. 10.000 Mitarbeiter aus
85 Nationen

Was kann die Astro-/Teilchenphysik leisten ?

► Schaffung von Transparenz, Dialog und Teilhabe

- § Transparenz durch „offene Türen“ des CERN und 24 deutscher Forschungseinrichtungen
- § Dialog zwischen Wissenschaftler/innen, Jugendlichen und Lehrkräften
- § Teilhabe durch Zugang zu echten Daten



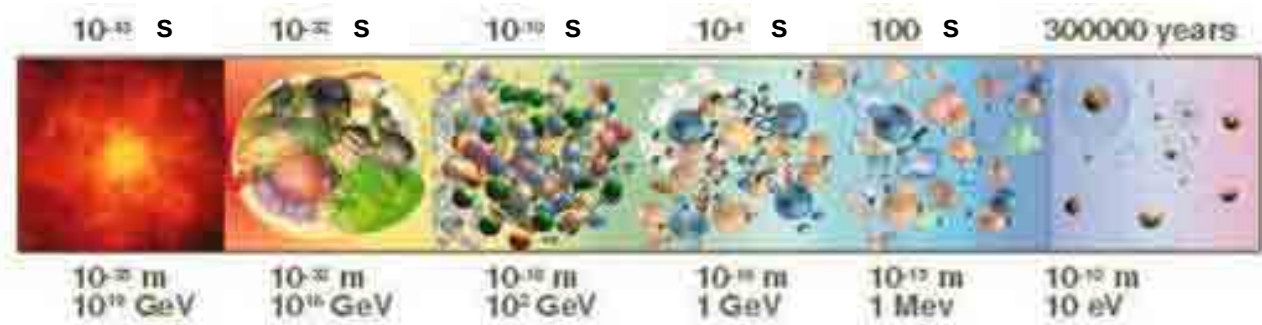
► Erkenntnisgewinn als Kulturgut

- § Bezüge zur menschlichen Neugier als Triebfeder des Fortschritts
- § Diskussion der Fragestellungen des größten internationalen Forschungsprojektes der Welt

► Wissenschaftskommunikation als Teil der Forschung

- § Transfer des Wissens in die Öffentlichkeit spielt für Grundlagenforschung eine ähnliche Rolle wie Technologietransfer für angewandte Forschung

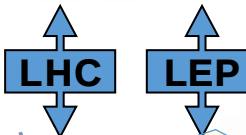
Suche nach der Grundidee („Weltformel“)



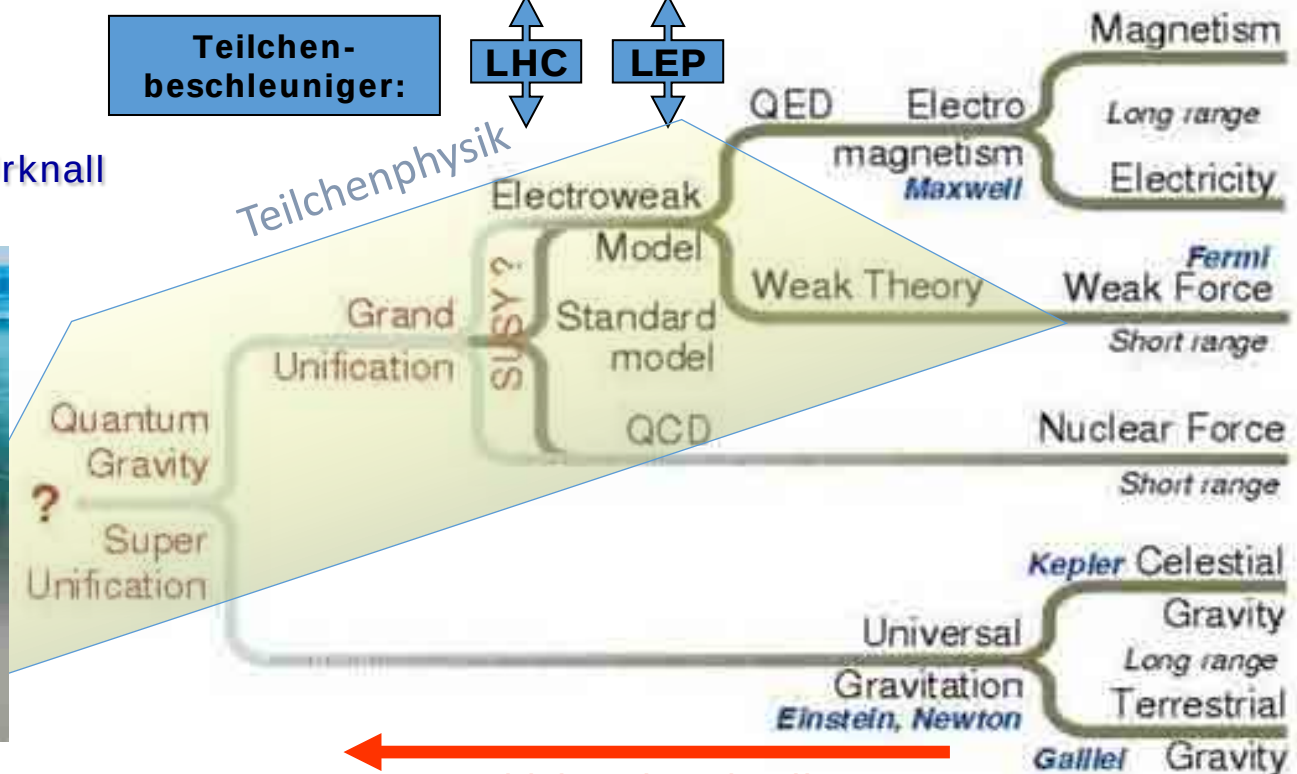
LHC:

Nachstellen der Prozesse zwischen Elementarteilchen 10^{-12} s nach dem Urknall

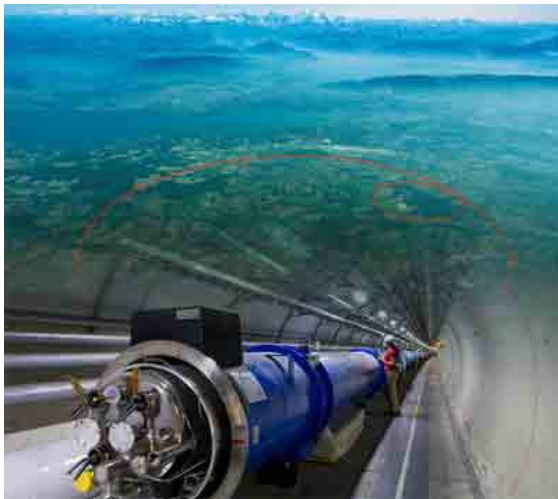
Teilchen-
beschleuniger:



Teilchenphysik



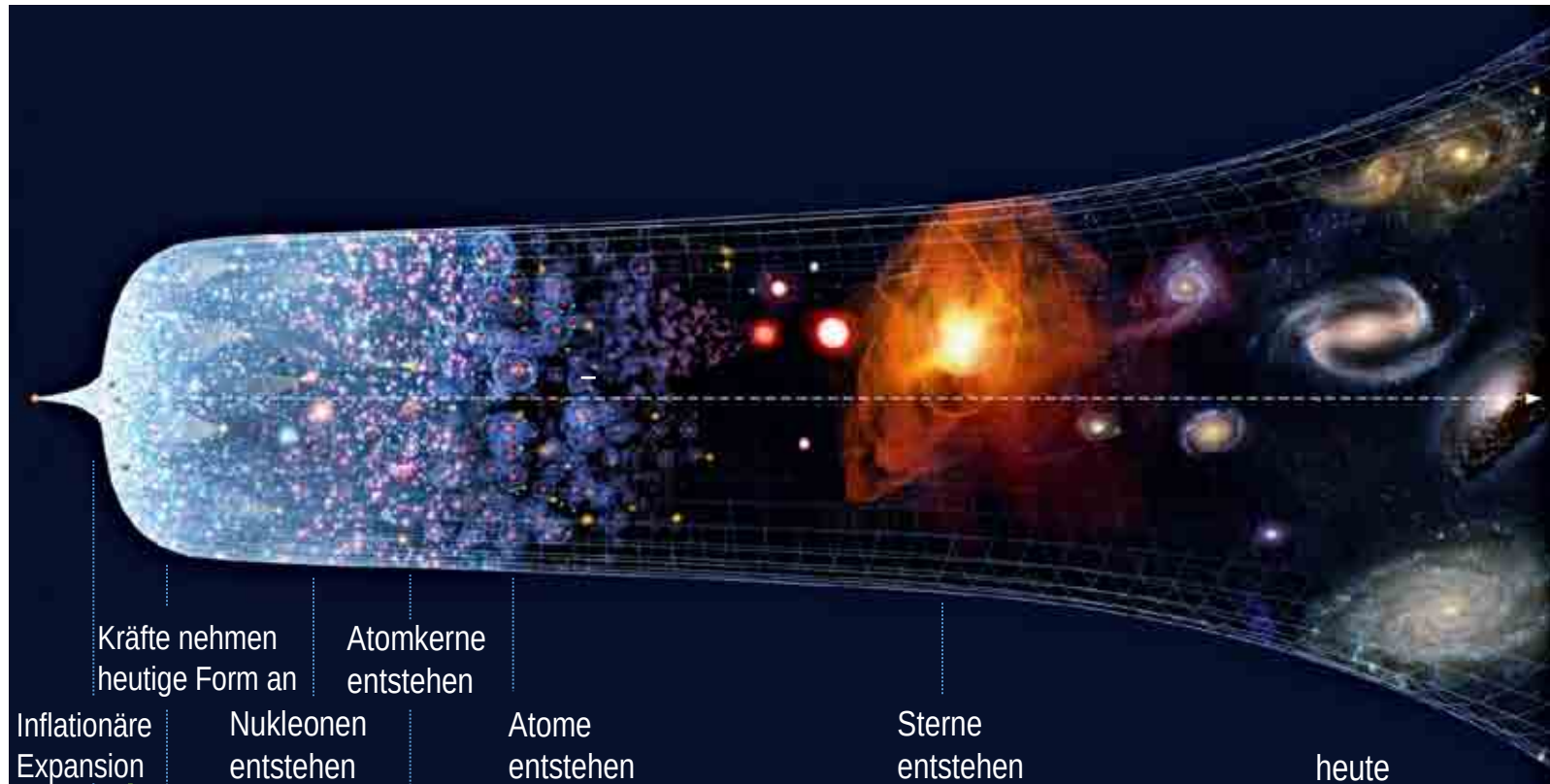
Geschichte der Physik
Zurück zum Urknall



Die Geschichte des Universums



Urknall



Inflationäre Expansion Kräfte nehmen heutige Form an Nukleonen entstehen Atomkerne entstehen Atome entstehen Sterne entstehen heute

Zeit

10^{-35} s 10^{-10} s 10^{-5} s 3 min 376 000 Jahre 10^9 Jahre $14 \cdot 10^9$ Jahre

Energie

10^{13} TeV 100 GeV 150 MeV 0,1 MeV 1 eV 1 meV 0,25 meV

LHC-Energie

Das Elektron und die Kosmologie



View Online: <http://www.tricklabor.com/de/portfolio/was-waere-wenn>

Download: : www.teilchenphysik.de/multimedia/informationmaterial/veranstaltungen

- Massen von Elementarteilchen bestimmen den Ablauf der Kosmologie
- Wissenschaftler wollen zunächst verstehen, was Masse ist, um danach versuchen, die Werte zu verstehen

Bedeutung der Elektronenmasse (bekanntes Teilchen!)

- ▶ Gelegenheit zur Diskussion mit Jugendlichen (was wäre wenn?)
- ▶ Elektron: Einfluss auf Größen- und Energieskala der Atome (Moleküle, Festkörper, Lebewesen, ...)

§ Die Stärke $a_{em} = \frac{1}{137,035999}$ der elektromagnetischen Wechselwirkung und die Elektronenmasse m_e regieren atomare **Energien** und **Radien**

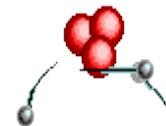
§ **Bindungsenergie (Stabilität der Materie) steigt mit m_e**

$$E_0(m_e) = - \frac{1}{2} Z^2 a_{em}^2 m_e c^2$$

$$\text{H-Atom} : - \frac{1}{2} a_{em}^2 m_e c^2 = 13,6 \text{ eV}$$

§ **Größe der Atomhülle fällt mit $1 / m_e$**

$$r_0(m_e) = \frac{h}{Z a_{em} m_e c}$$



Wissenschaftliche Ziele: (Astro-)Teilchenphysik

► Zeit:

- § Untersuchung von Einzelprozessen bei 10^{-12} Sekunden nach dem Urknall
- § Untersuchung der “Ursuppe” bei 10^{-6} Sekunden nach dem Urknall
- § “Klang” des Universums 380 000 Jahre nach dem Urknall
- § ...

► Raum:

- § Welche Teilchen haben noch eine Unterstruktur ?
- § Welche Teilchen sind elementar?
- § Gibt es mehr als 3 Raumdimensionen?
- § ...

► Materie:

- § Gibt es neue schwerere Elementarteilchen?
- § Was ist Dunkle Materie?
- § Woher bekommen Teilchen ihre Masse?
- § Was ist überhaupt Masse?
- § ...



Mikrokosmos



Makrokosmos

ENERGIE ist der Schlüssel zu ...

zu Raum:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar$$

Werner Heisenberg

kleine Strukturen - kleine Abstände

zu Masse:

$$E = m \cdot c^2$$

Albert Einstein

neue und schwere Materie

zu Zeit:

$$\langle E \rangle \approx k_b \cdot T$$

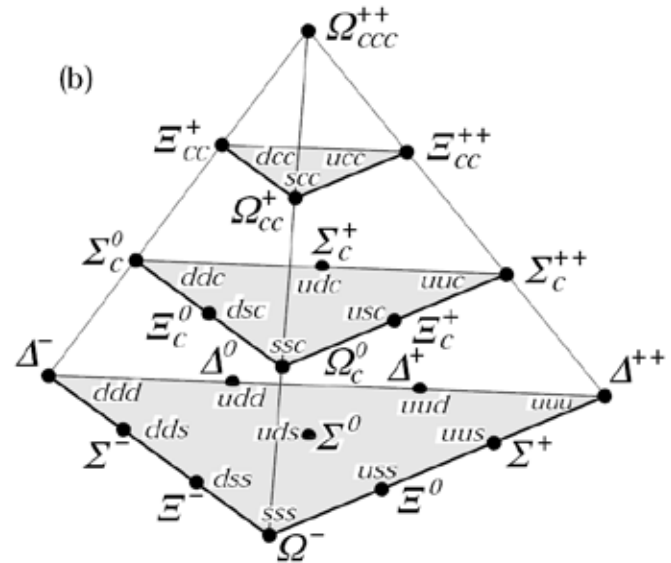
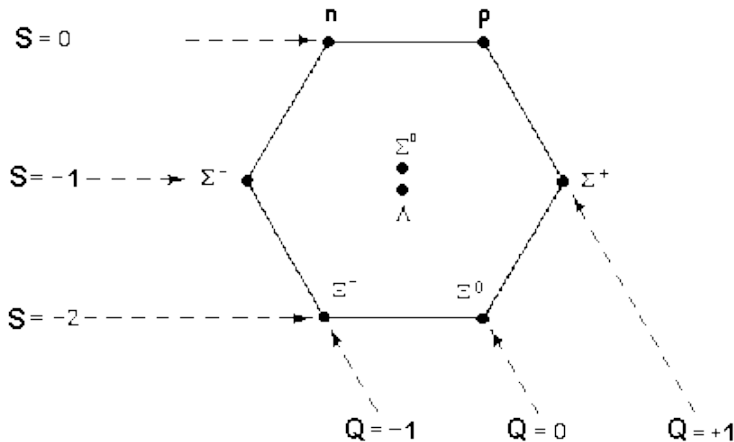
Ludwig Boltzmann

hohe Temperaturen

Die Temperatur des Universums fällt mit der Zeit

Das Theoriegebäude

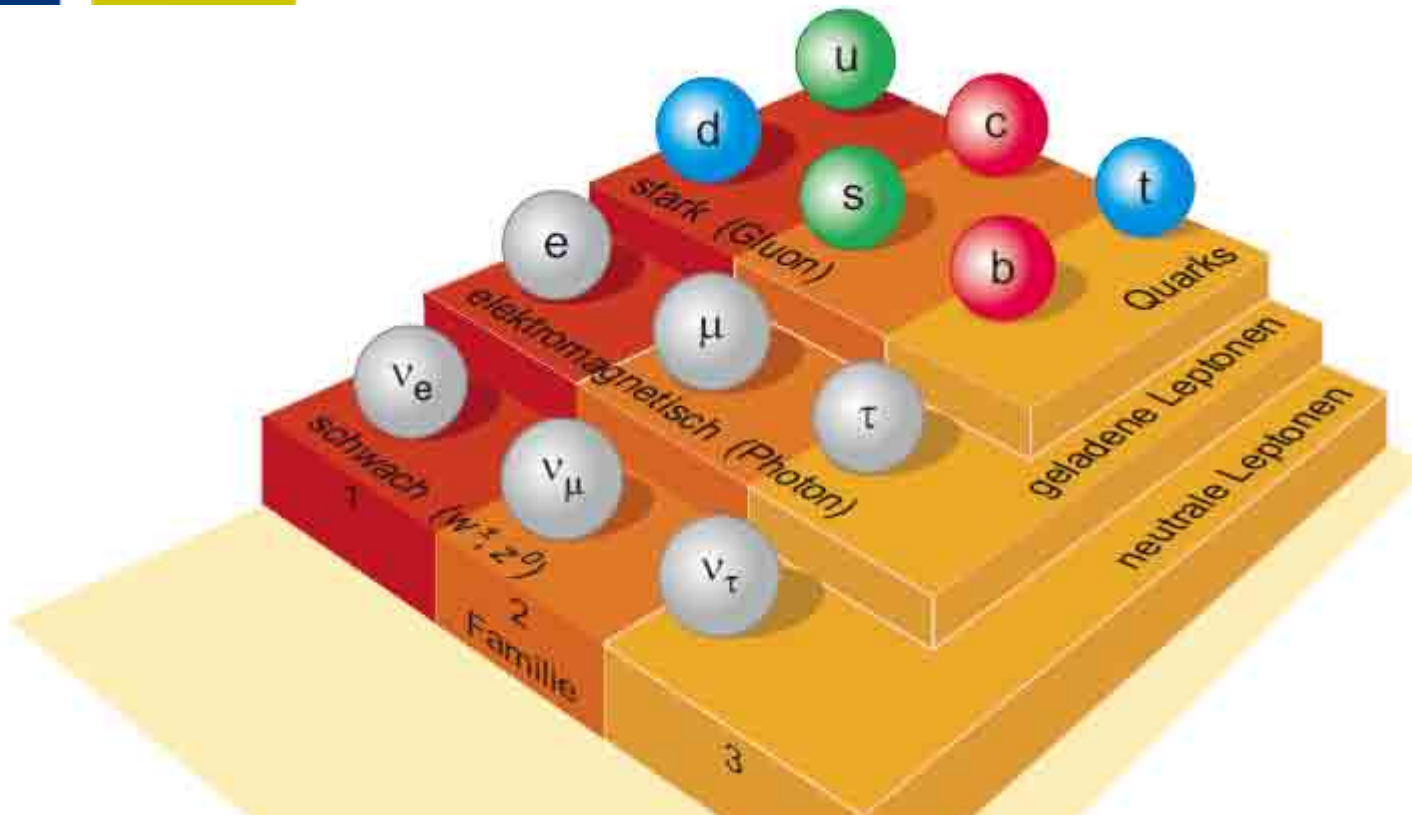
- ▶ Theorie = „Standardmodell der Teilchenphysik“
- ▶ Was es sicher nicht ist: (b)



Sogar der große Enrico Fermi sagte einmal zu seinem Studenten (und zukünftigen Nobelpreisträger) Leon Lederman,
"Junger Mann, wenn ich mich an all die Namen dieser Teilchen erinnern könnte, wäre ich besser Botaniker geworden!"



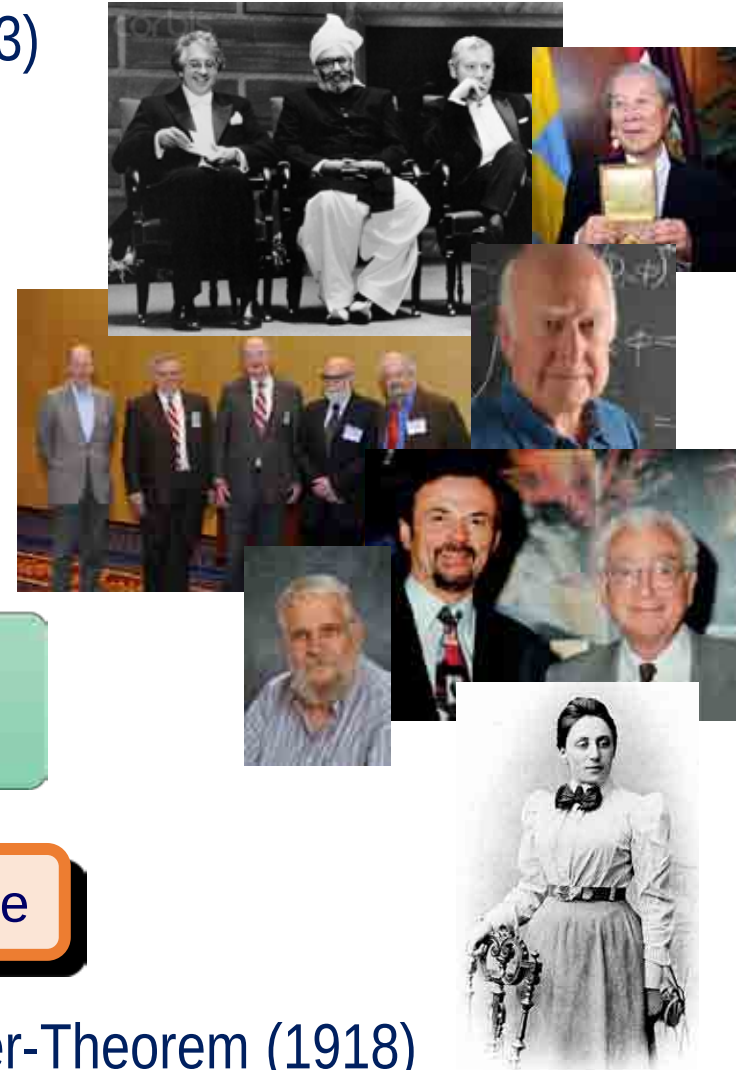
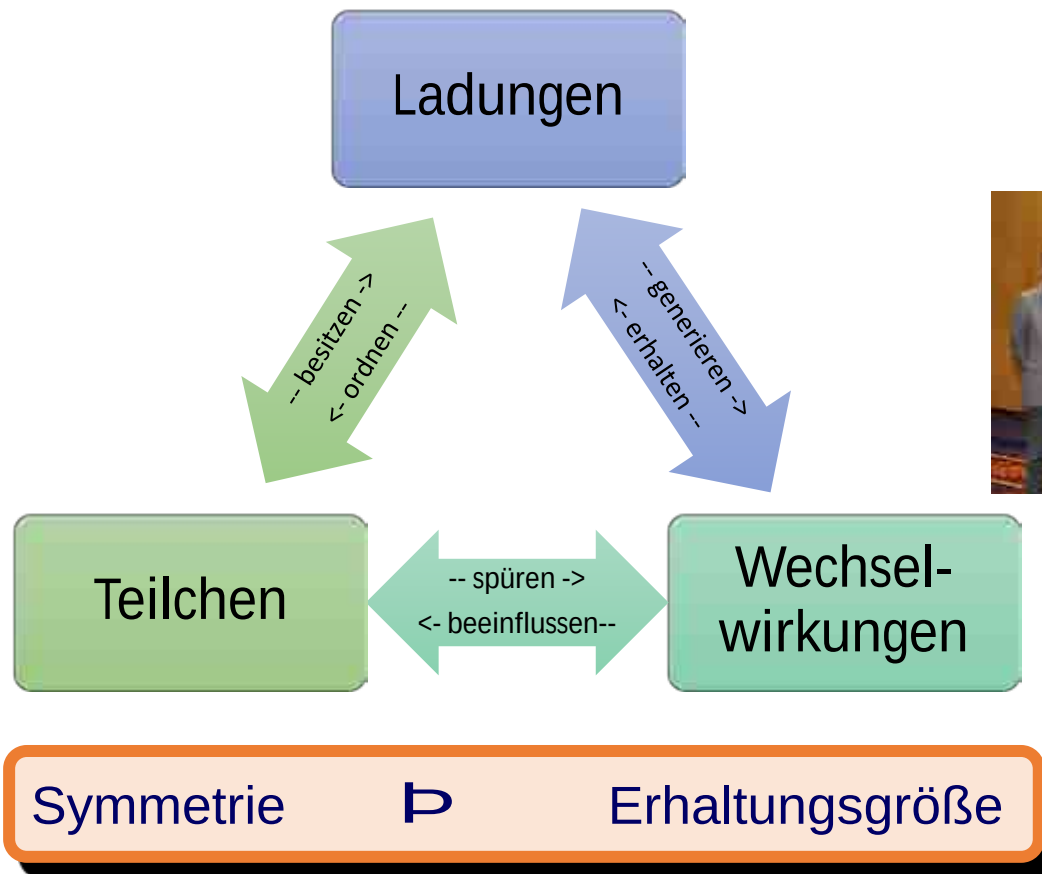
Standardmodell = Elementare Bausteine ?



1. Elementare Bausteine sind eine **herausragende experimentelle Erkenntnis**
à eine weitere Substruktur ist „so gut wie“ ausgeschlossen !
2. Aber: sind **nicht die theoretische Grundidee** des Standardmodells
à Anordnung weder vorhergesagt, noch bisher nachträglich verstanden !
3. Bergen außerdem Gefahr des reines Auswendiglernens
4. Die Elementarteilchen sind die „Spieler“ in einer Welt, in der sich die „Spielregeln“ = Wechselwirkungen aus Symmetrien herleiten lassen

Theoretische Grunderkenntnis

- Das Standardmodell der Teilchenphysik (hauptsächlich entwickelt von 1961-1973)



- Basierend auf mathematischem Noether-Theorem (1918)

4 Fundamentale Wechselwirkungen

► Für unseren Alltag sind

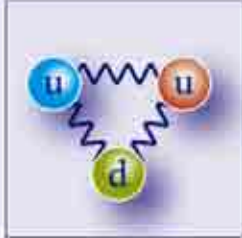
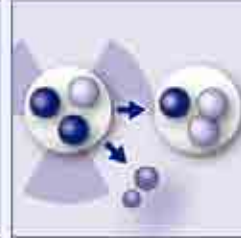
§ „dynamisch“ relevant:

- Gravitation
- Elektromagnetismus (u.a. alle Lebensvorgänge)

§ „statisch“ relevant:

- Starke Wechselwirkung (Atomkerne <-> Chemische Elemente!)
- Schwache Wechselwirkung (Brennen der Sonne!)

► Alle bekannten Vorgänge lassen sich auf diese 4 Wechselwirkungen zurückführen !

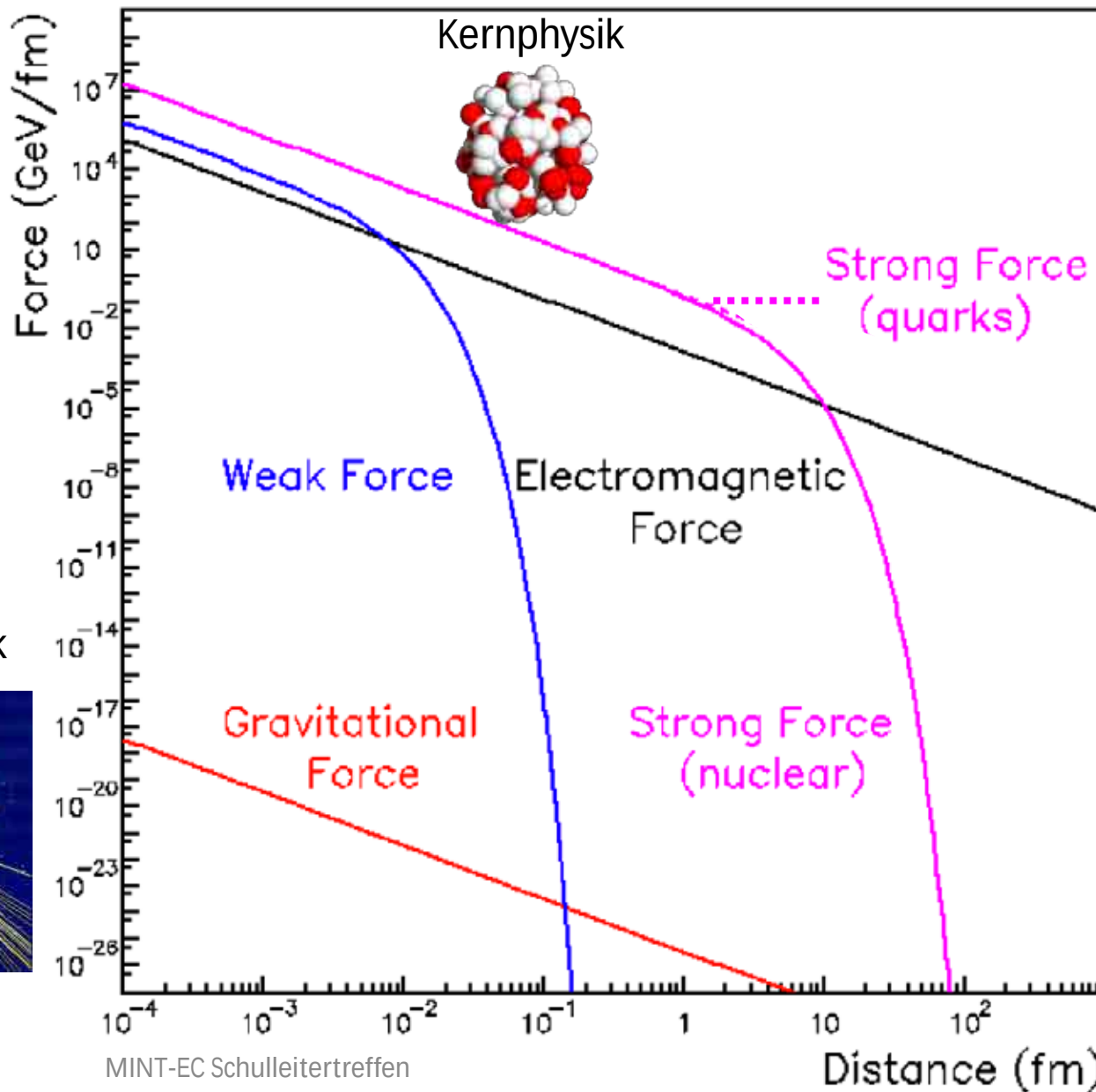
			
	Starke Wechselwirkung	Elektromagnetische Wechselwirkung	Schwache Wechselwirkung
Betroffene Materie-Teilchen	Quarks	Quarks und elektrisch geladene Leptonen	Alle
Zugehörige Ladung	starke Ladung (Farbladung)	elektrische Ladung	schwache Ladung
Austauschteilchen	Gluonen	Photon	W^+ , W^- , Z^0
Wirkungen	Anziehung zwischen Quarks, Zusammenhalt von Atomkernen	Licht, Strom, Magnetismus, Zusammenhalt von Atomen...	Betazerfall, Kernfusion...
Reichweite	10^{-15} m (Protonendurchmesser)	unbegrenzt	10^{-18} m (1/1000 Protonendurchmesser)

Die vierte Wechselwirkung ist die Gravitation. Sie ist mit Abstand die schwächste Wechselwirkung und spielt für Elementarteilchen keine Rolle.



<http://www.teilchenwelt.de/material/materialien-fuer-lehrkraefte/>

Die Reihung der WW-Stärke hängt vom Abstand ab!



„Wir“



Einteilung (Aufgabe für Jugendliche)

► Welche „Kräfte“ gehören zu welcher fundamentalen Wechselwirkung?

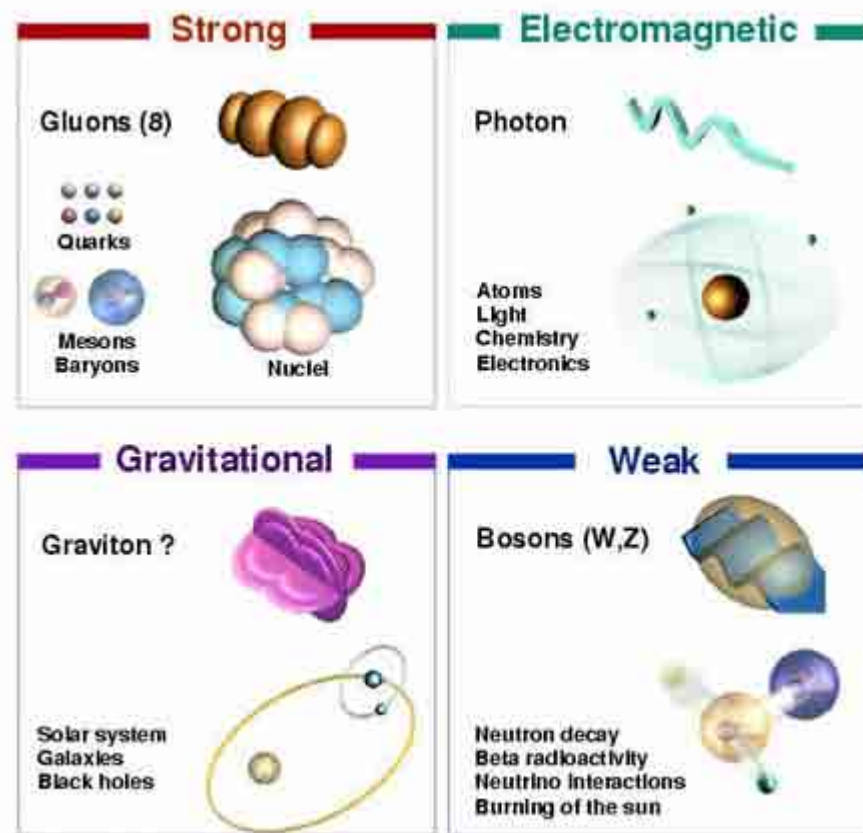
- § Schwerkraft
- § Kernkraft
- § Coulomb-Kraft
- § Reibungskraft
- § Muskelkraft
- § Motorkraft
- § ...

► Woran könnte es liegen, dass wir von manchen Wechselwirkungen nichts „merken“? Von welchen?

► Welche können wir direkt spüren?

- § Gravitation
- § Elektromagnetismus

► Welche der beiden ist stärker?



The particle drawings are simple artistic representations

► No



Gravity

www.fnal.gov/pub/today/archive_2010/today10-04-15.html

$$\frac{F_{elektrisch}}{F_{gravitativ}} = 2.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000$$

Zentraler Begriff: Wechselwirkung

► Pierers Universallexikon:

§ Wechselwirkung, das Verhältnis zweier ~~gleichzeitig vorhandener~~ Gegenstände, vermöge dessen sie füreinander in gewissen Beziehungen zugleich als Ursache und als Wirkung aufgefasst werden.



► In der Teilchenphysik sogar mehr als das

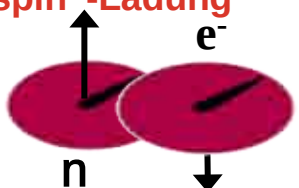
§ Alle(!) Vorgänge in der Natur lassen sich zurückführen auf nur 4 Fundamentale Wechselwirkungen

§ 3 dieser Wechselwirkungen werden im Standardmodell erklärt

§ Diese vereinigen die Phänomene „Entstehung“, „Kraft“ u. „Zerfall“

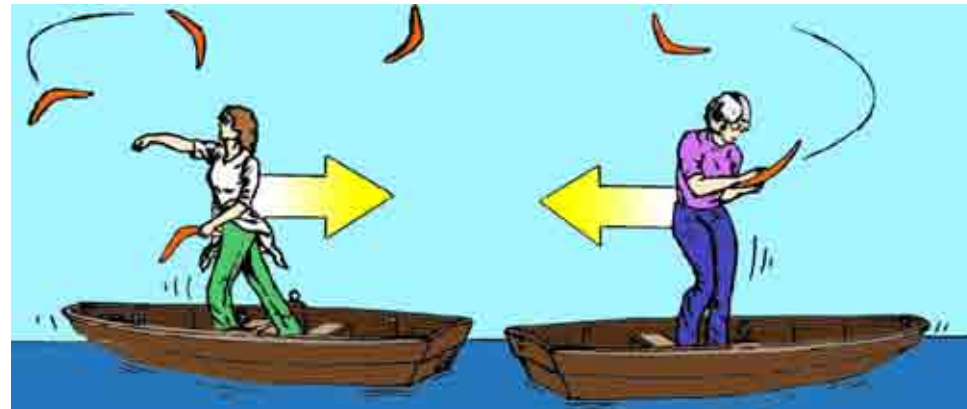
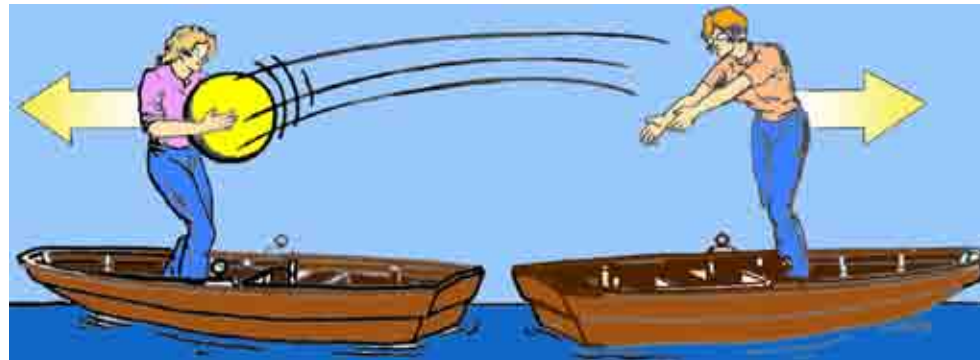
Fundamentale Wechselwirkungen

- ▶ Jede Wechselwirkung (= Kraft+Umwandlung) hat eigene Botenteilchen
- ▶ Boten nur sendbar, wenn entsprechende Ladung vorhanden

Wechselwirkung	Botenteilchen	Ladung der Materieteilchen
Starke	Gluonen g 	Starke „Farb“-Ladung „Rot“, „Blau“, „Grün“ 
Schwache	„Weakonen“ (W^+, W^-, Z) 	Schwache „Isospin“-Ladung $I_3^W = \begin{matrix} \propto & 1/2 & 0 \\ e^+ & & \\ e^- & -1/2 & 0 \end{matrix}$ 
Elektro-magnetische	Photonen g 	Elektrische Ladung $Q = -1, +2/3, -1/3, \dots$
Gravitation	Gravitonen ? Wahrscheinlich!	Masse ??? Eher nicht...

Grundlegende Erkenntnis des „Standardmodells“

- ▶ Zu jeder Wechselwirkung gehört eine Ladung
- ▶ Nur Teilchen mit entsprechender Ladung spüren Wechselwirkung
- ▶ Wechselwirkung erfolgt über Austausch von Botenteilchen



http://www.fnal.gov/pub/today/archive/archive_2013

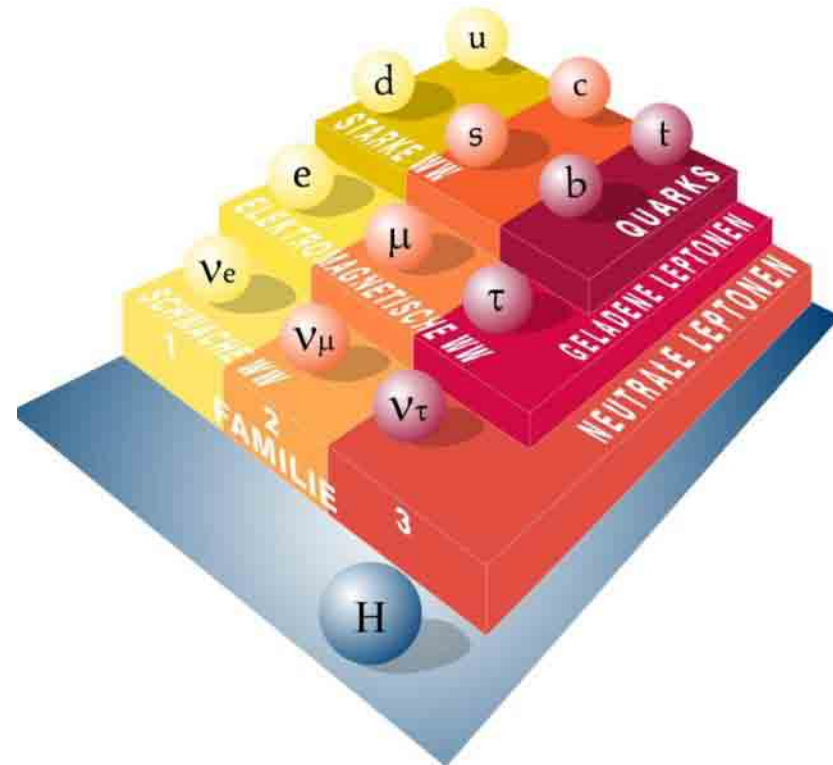
Neues über Ladung

- ▶ Es gibt 3 völlig verschiedene Ladungen (für jede WW des Standardmodells eine)
- ▶ Diese können Vektorcharakter haben (!)
- ▶ Die Teilchen ordnen sich bezüglich dieser Ladungen in „Multipletts“
 - § Warum genau diese Anordnung im „Periodensystem der Teilchen“? → bisher unverstanden!

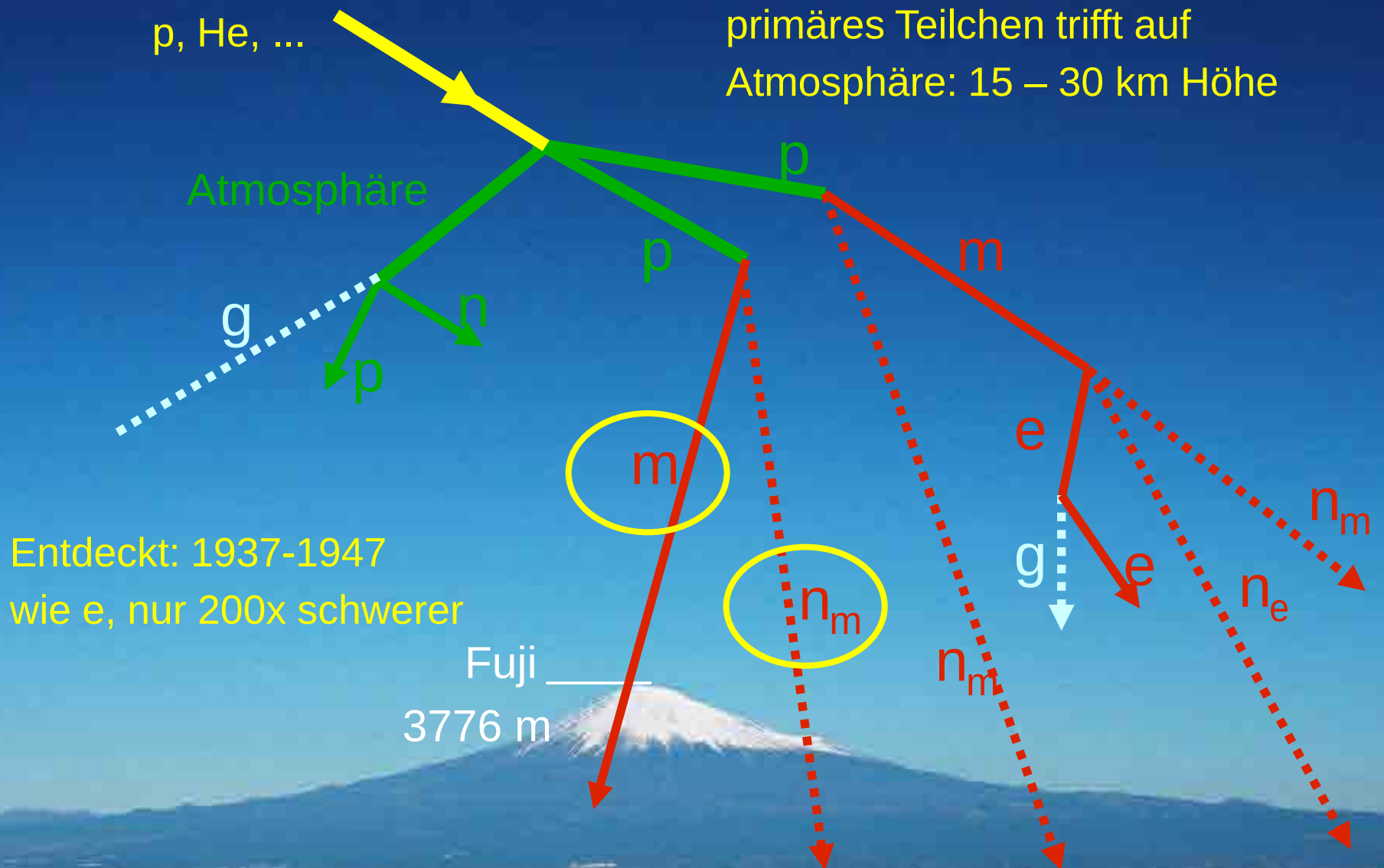
Elektrische Ladung Q	Schwache Ladung I^W_3	Starke Ladung	Blau Grün Rot	
$+2/3$	$+1/2$	u	c	t
$-1/3$	$-1/2$	d	s	b
0	$+1/2$	ν_e	ν_μ	ν_τ
-1	$-1/2$	e	μ	τ
		1.	2.	3.
		Familie		

Quarks

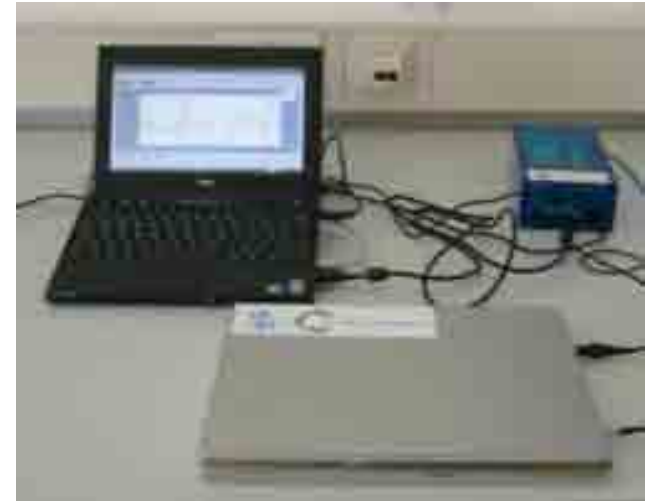
Leptonen



Beispiel für zweite Teilchen-Familie: Myon



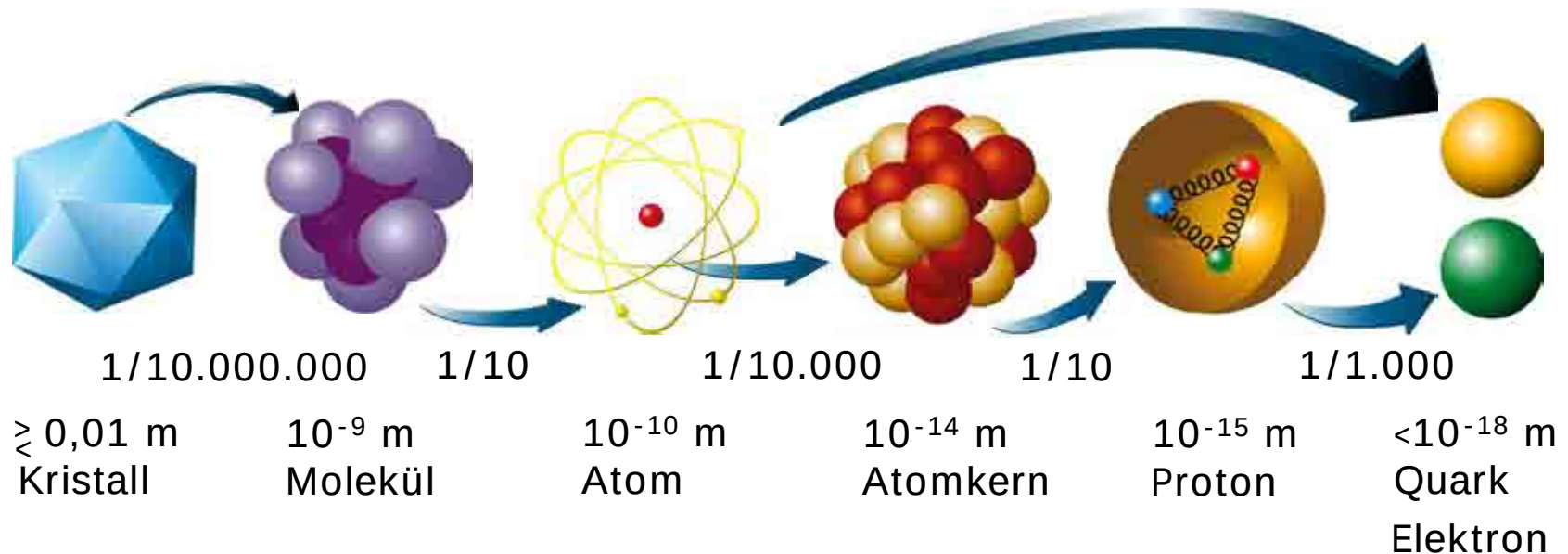
Kosmische Myonen im Netzwerk Teilchenwelt



- ▶ Zwei Experimente zum Nachweis kosmischer Myonen: Kamiokanne und Szintillationszähler
- ▶ Zur Ausleihe nach vorheriger Fortbildung
- ▶ Geeignet für Projektwochen und kleinere Gruppen
www.teilchenwelt.de/angebote/astroteilchen-experimente



Materie und fundamentale Bausteine



► Aufbau der stabilen Materie **nur aus der ersten Familie**

§ Zwei „Quarks“ zu Protonen und Neutronen gebunden

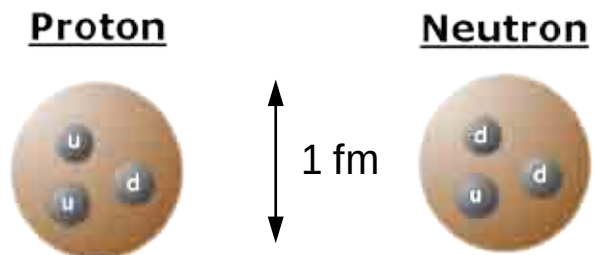
Down: d ($Q = -1/3$)

Up: u ($Q = +2/3$)

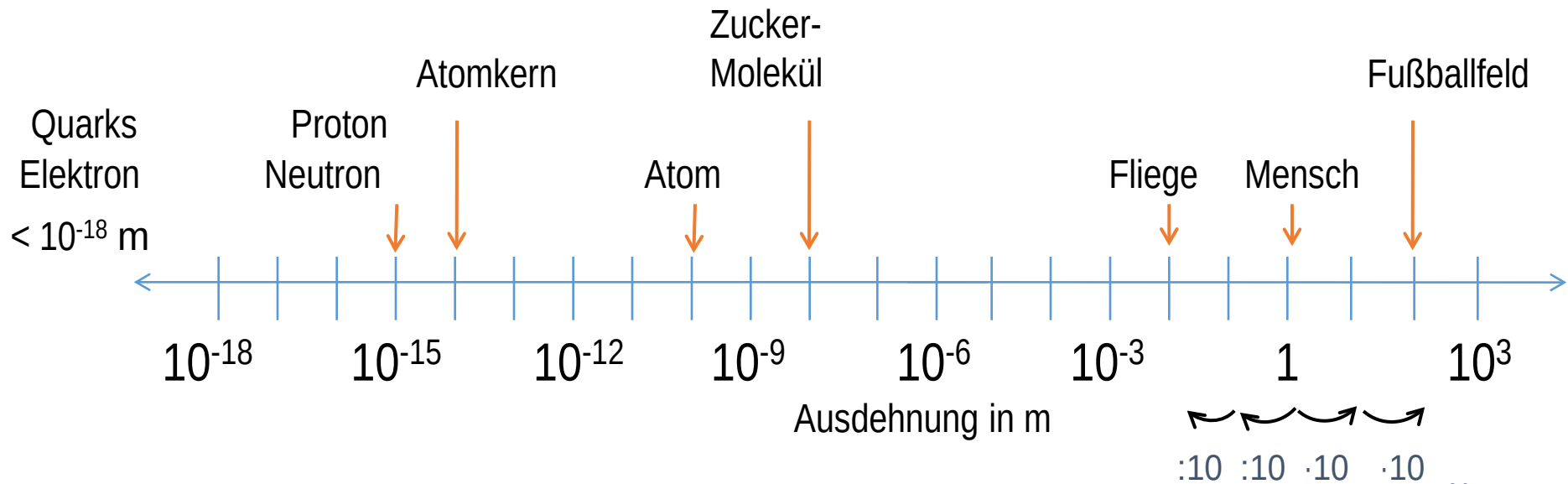
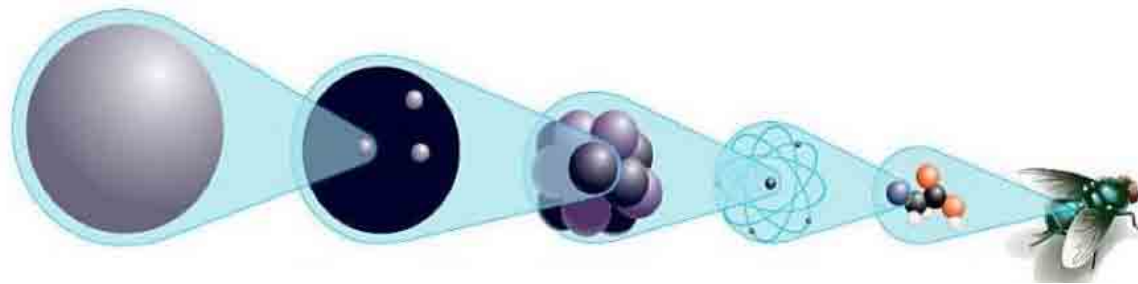
§ Zwei „Leptonen“

Elektron e: gebunden in Atomhülle

Neutrino n: ungebunden, entsteht in Kernumwandlungenen
(Kernfusion Sonne, Radioaktive Kernzerfälle)



Wie klein sind Elementarteilchen?



Materialien des Netzwerk Teilchenwelt

► Steckbriefe“ der Teilchen (hier: Materieteilchen)

- Gelegenheit zu eigenen Aktivitäten
- ordnen, diskutieren, vertraut werden

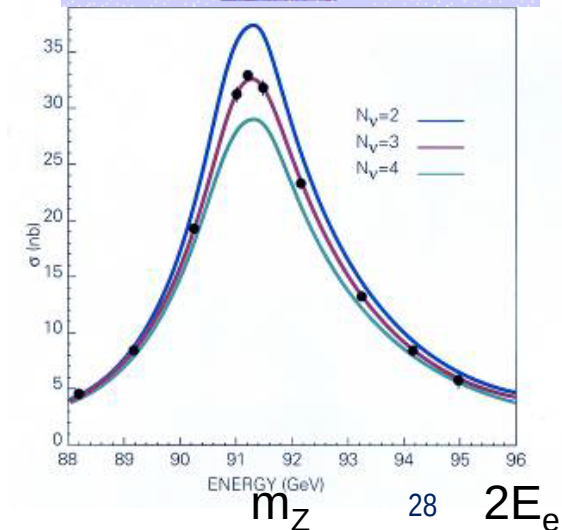
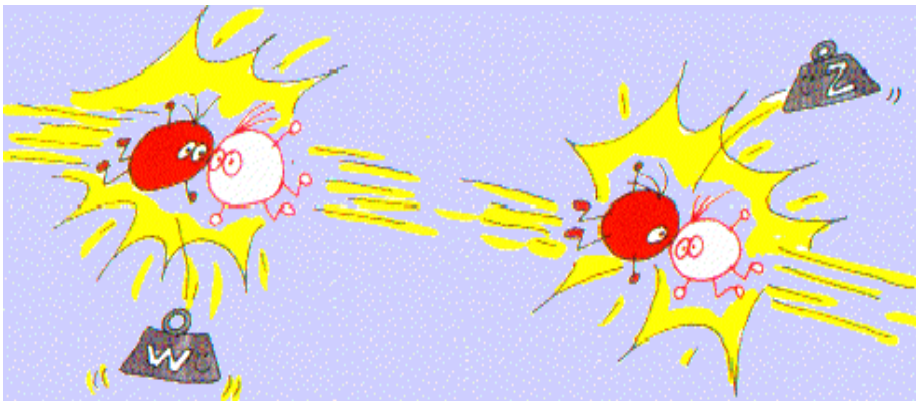
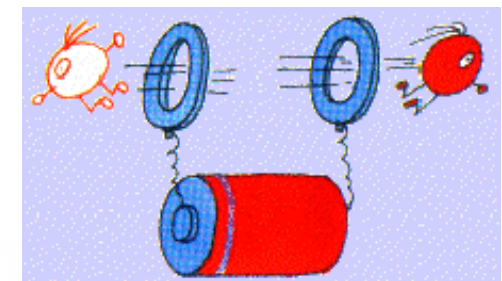
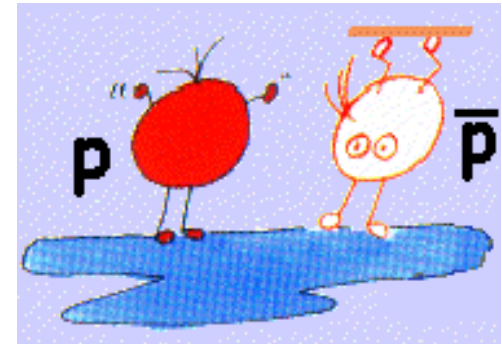
3 GENERATIONEN	QUARKS		LEPTONEN	
	1. UP-QUARKS $m = 2 \text{ MeV}/c^2$ $q = +2/3$	DOWN-QUARKS $m = 5 \text{ MeV}/c^2$ $q = -1/3$	ELEKTRON $m = 0,511 \text{ MeV}/c^2$ $q = -1$	ELEKTRON-NEUTRINO $m < 0,000\,002 \text{ MeV}/c^2$ $q = 0$
	2. CHARM-QUARKS $m = 1300 \text{ MeV}/c^2$ $q = +2/3$	STRANGE-QUARKS $m = 100 \text{ MeV}/c^2$ $q = -1/3$	MYON $m = 106 \text{ MeV}/c^2$ $q = -1$	MYON-NEUTRINO $m < 0,000\,002 \text{ MeV}/c^2$ $q = 0$
	3. TOP-QUARKS $m = 173\,000 \text{ MeV}/c^2$ $q = +2/3$	BOTTOM-QUARKS $m = 4200 \text{ MeV}/c^2$ $q = -1/3$	TAUON $m = 1777 \text{ MeV}/c^2$ $q = -1$	TAU-NEUTRINO $m < 0,000\,002 \text{ MeV}/c^2$ $q = 0$

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).

Antimaterie

- ▶ Zu jedem Bausteinteilchen existiert ein Antiteilchen mit **umgekehrten Vorzeichen** von **allen** Ladungen
- ▶ Sonst sind **alle Eigenschaften** (Masse, Lebensdauer) **gleich**
- ▶ Aus Botenteilchen können **paarweise** Materie- und Antimaterieteilchen **entstehen** (**Ladungserhaltung!**)
- ▶ Umgekehrt können sie sich **paarweise** wieder zu Botenteilchen (nicht: „Energie“) **vernichten**



Antimaterie

3 GENERATIONEN	ANTIQUARKS		ANTILEPTONEN	
	1. UP-ANTIQUARKS  $m = 2 \text{ MeV}/c^2$ $q = -2/3$	DOWN-ANTIQUARKS  $m = 5 \text{ MeV}/c^2$ $q = +1/3$	POSITRON  $m = 0,511 \text{ MeV}/c^2$ $q = +1$	ELEKTRON-ANTINEUTRINO  $m < 0,000\ 002 \text{ MeV}/c^2$ $q = 0$
	2. CHARM-ANTIQUARKS  $m = 1300 \text{ MeV}/c^2$ $q = -2/3$	STRANGE-ANTIQUARKS  $m = 100 \text{ MeV}/c^2$ $q = +1/3$	ANTI-MYON  $m = 106 \text{ MeV}/c^2$ $q = +1$	MYON-ANTINEUTRINO  $m < 0,000\ 002 \text{ MeV}/c^2$ $q = 0$
	3. TOP-ANTIQUARKS  $m = 173\ 000 \text{ MeV}/c^2$ $q = -2/3$	BOTTOM-ANTIQUARKS  $m = 4200 \text{ MeV}/c^2$ $q = +1/3$	ANTI-TAUON  $m = 1777 \text{ MeV}/c^2$ $q = +1$	TAU-ANTINEUTRINO  $m < 0,000\ 002 \text{ MeV}/c^2$ $q = 0$

Zu jeder Materieteilchensorte gibt es eine Antiteilchensorte mit gleicher Masse und entgegengesetzten Ladungen.

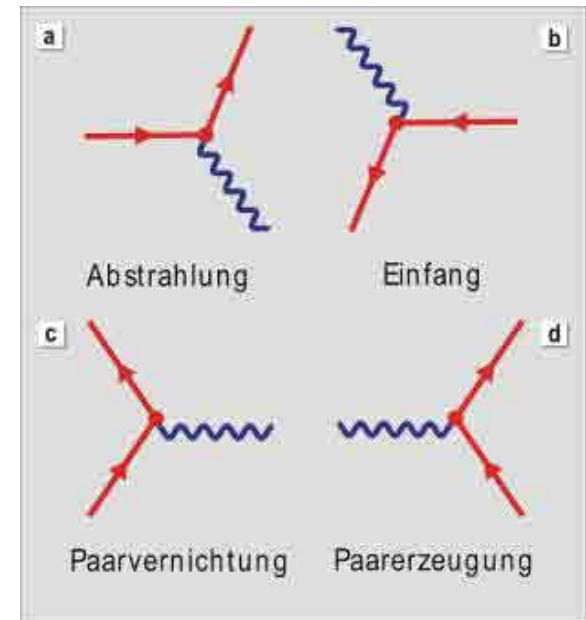
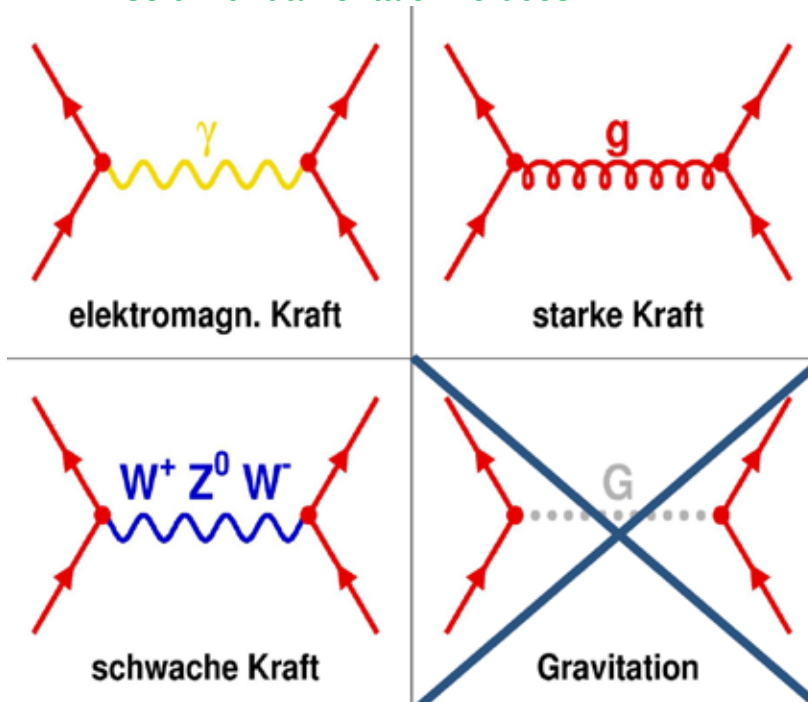
Heutiges “Standardmodell“ der Teilchenphysik (1961-73)

- ▶ Fundamentale Wechselwirkungen zwischen Teilchen
 - § erfordern Botenteilchen (Austauschteilchen)
 - § sind aus Symmetrien ableitbar !
- ▶ Bausteine der Welt
 - § Träger von Ladungen
 - § Spielen nach Regeln der entsprechenden Wechselwirkungen
- ▶ Massenmechanismus
 - § Symmetrien verbieten Teilchenmassen !!
 - § Herkunft der Teilchenmassen noch unbekannt
 - § Hypothese: “Higgsmechanismus“, Nachweis: Higgs-Teilchen
- ▶ Errungenschaft des Standardmodells
 - § beschreibt *alle* bekannten Prozesse
 - § Ist (derzeit) DIE grundlegende Theorie der Physik

Eindeutige Vorhersagen

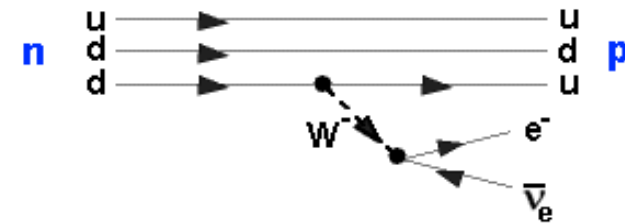
► Theorievorhersage:

- § **Eindeutiges** Set von fundamentalen "Vertices" für jede Wechselwirkung
- § Bilden Grundlage von Feynman-Diagrammen zur Beschreibung von Reaktionen, die auf Abständen $\ll$ fm ablaufen
- § **Alle Prozesse sind Kombination** solch fundamentaler Vertices



Zeit →

• z.B. Beta"zerfall" des Neutrons



Anm: Pfeilrichtung β symbolisiert Antiteilchen
Es läuft trotzdem in der Zeit nach rechts

Beispiel: Kalium 40

- ▶ Instabiles Isotop mit 40 Nukleonen (19 Protonen und 21 Neutronen)
- ▶ Zerfällt durch den Betaminus- oder Betapluszerfall mit Halbwertszeit von 1,28 Mrd. Jahren
- ▶ für den menschlichen Körper lebensnotwendig:
 - § Regelt als Mineralstoff Wassergehalt in den Zellen
 - § Wichtiger Elektrolyt der Körperflüssigkeit.
 - § Ca jedes 9000ste Kaliumatomder ca. 100-150g Kalium in unserem Körper ist Kalium-40.

▶ Animation:



potassium.swf

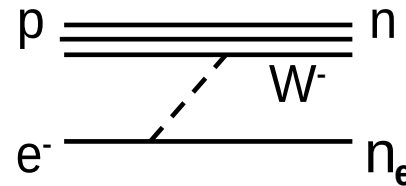
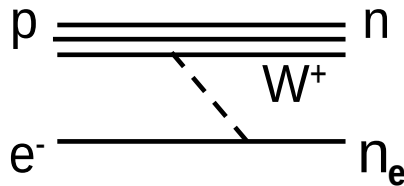
▶ Aufgabe:

- § Mit wie vielen Neutrinos pro Sekunde bestrahlen sie ihre/n Nachbar/in ?

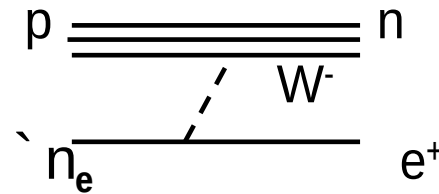
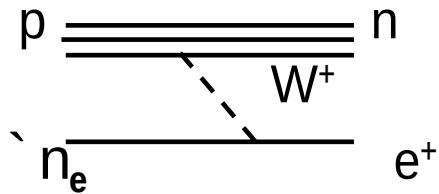
Feynmandiagramme und Wechselwirkungen

- Wechselwirkung: „Beide Gegenstände sind Ursache und Wirkung“
(à Einstein: Beobachter-abhängige „raumartige“ Ereignisse:)

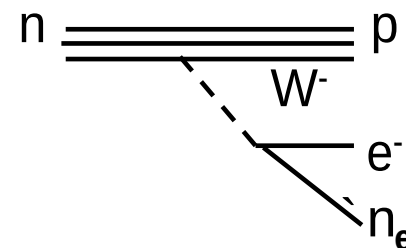
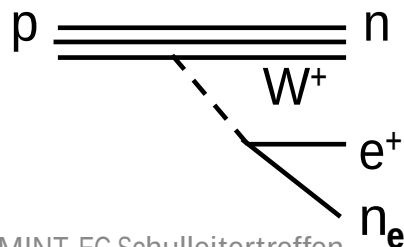
- Umwandlung des Wasserstoff



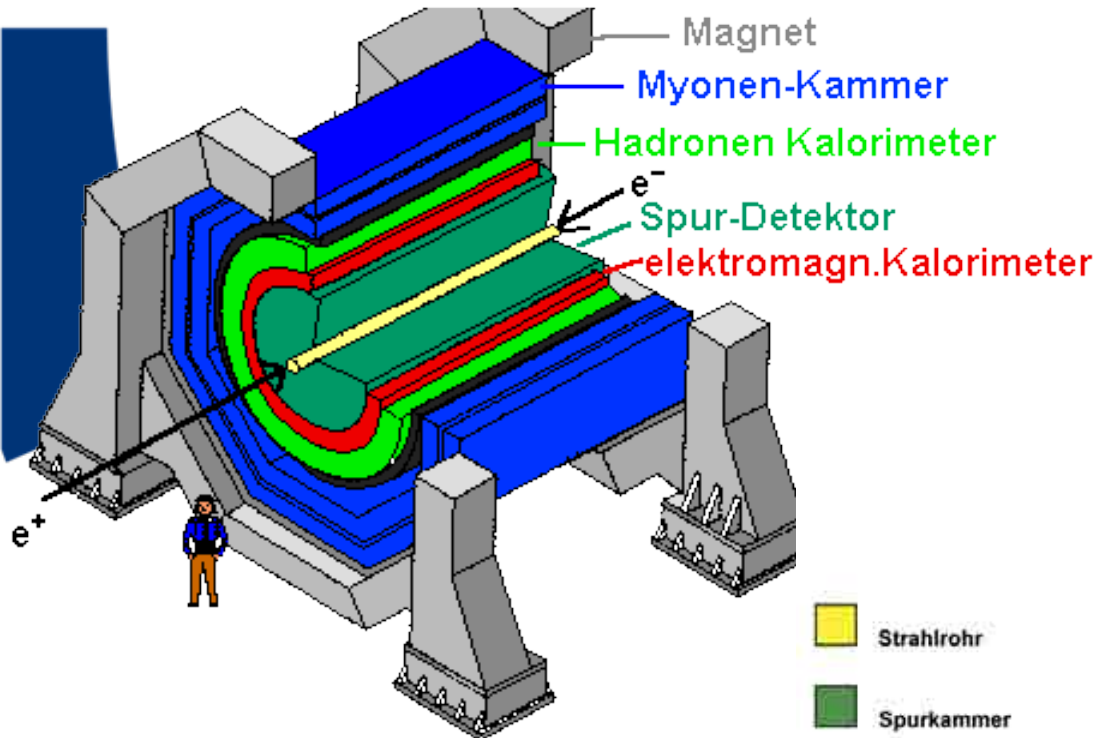
- Erster Nachweis von Antineutrinos aus Kernkraftwerken



- b^+ und b^- - Umwandlungen von Kernen



Erlernen von Teilchenidentifikation



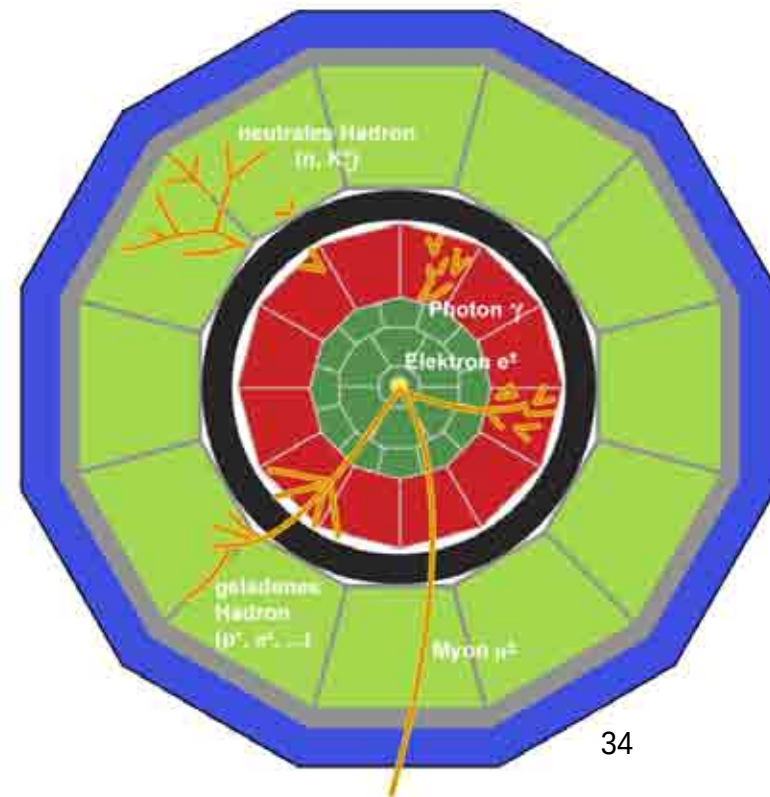
► Feststellbare Eigenschaften:

- § aus Quarks („Hadronen“)
- § elektrisch geladen / ungeladen
- § leicht / schwer

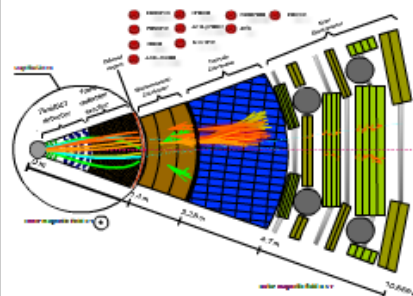
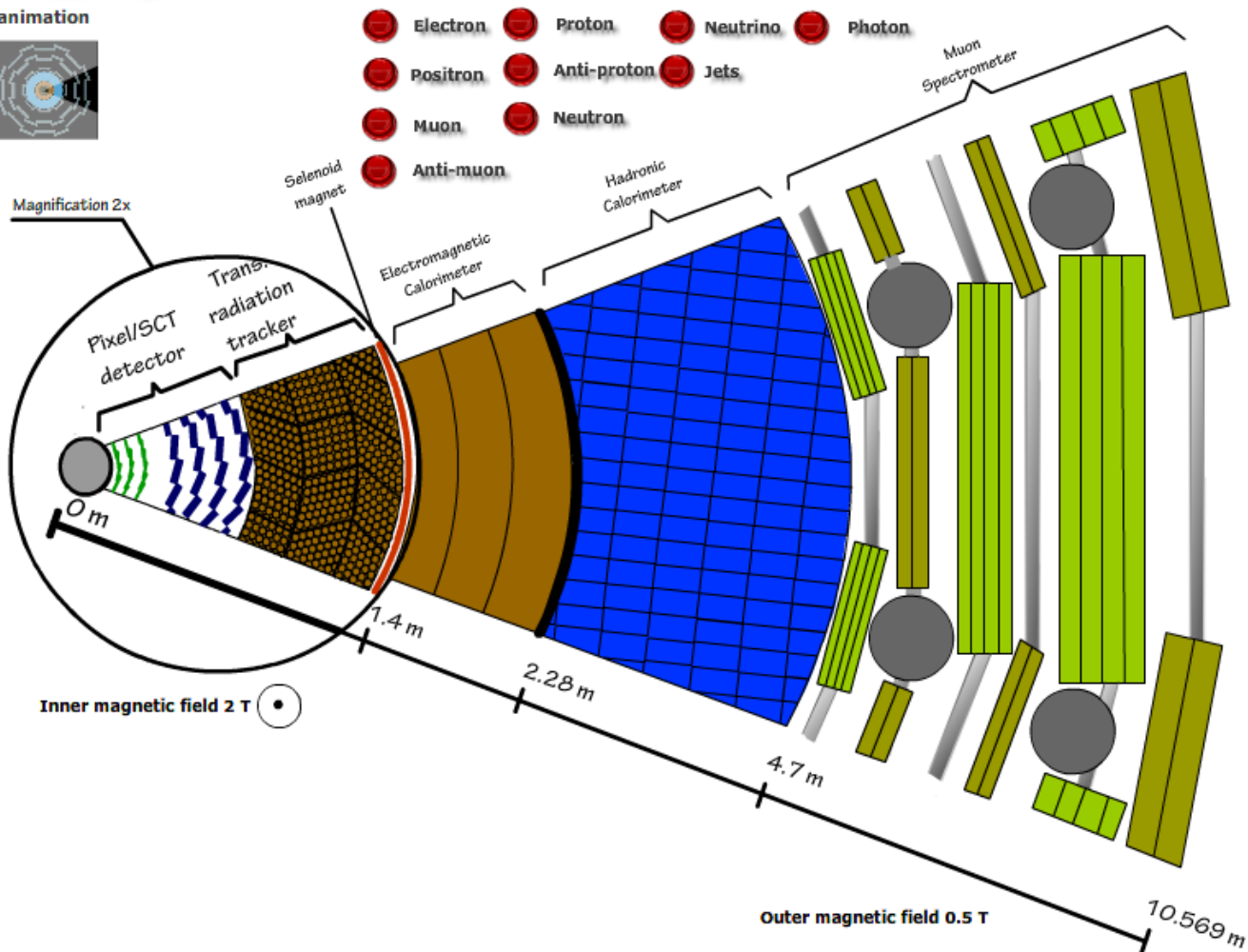
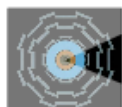
► Kenntnis - Voraussetzung:

- § Teilchenladungen
- § Teilchenmassen
- § Teilchensubstruktur

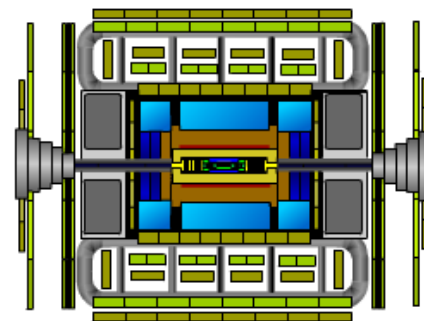
- Zwiebelschalenartiger Aufbau verschiedener Komponenten
- Jede Teilchenart hinterlässt bestimmte Kombination von Signalen in den Komponenten
- **Aufgabe: Mustererkennung**



animation



End view



Side view

Created by Jeřábek, Jende 2010



Atlas_9.swf

https://kjende.web.cern.ch/kjende/de/wpath_teilchenid1.htm

Seit 2011 Messungen mit LHC-Daten

www.physicsmasterclasses.org/index.php?cat=physics

► vielfältige Aufgaben

- § Event displays, Ereignisse identifizieren
- § Histogramme erzeugen ((Masse, Winkelverteilung)
- § Datenqualität untersuchen

► frei verfügbar für alle pädagogischen Zwecke, nicht nur für Masterclasses

► stets aktuell auf Augenhöhe mit d. Forschern

- § 2012: Higgs in simulierten Daten
- § 2013: echte Higgs-Kandidaten



ATLAS

W path (TU Dresden)
Z path



CMS

J/ψ data quality
W,Z,H analysis



ALICE

ALICE

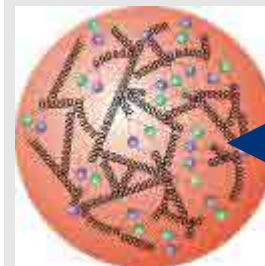
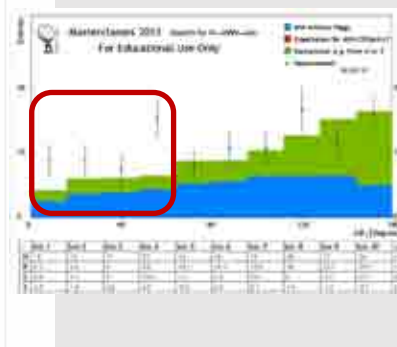
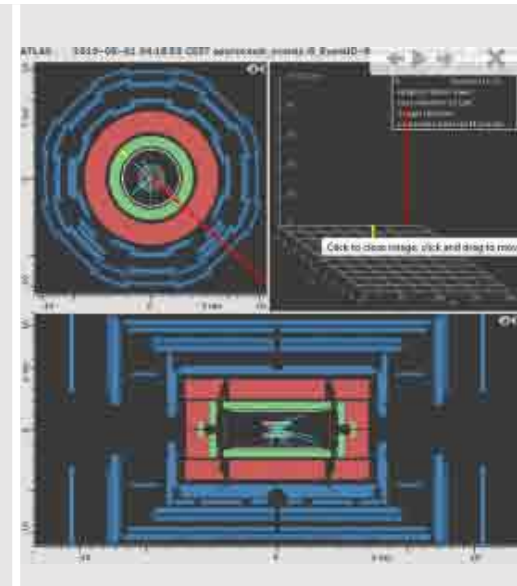
Strange Particles
Modification Factor RAA



LHCb

Charm lifetime

seit kurzem: IceCube-Masterclass
in Testphase: Auger-Masterclass
in Zukunft: TOTEM-Daten



Schonfleckung (ca. 2017/2018)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
group 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
group 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
group 3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
group 4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
group 5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
group 6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
group 7	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
group 8	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
group 9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
group 10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Zerfall von W-Bosonen → Struktur des Protons

Eigene Datenanalyse: Messung von W- Zerfällen

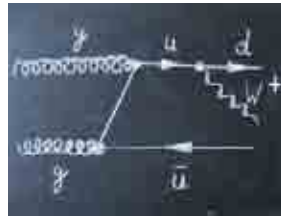
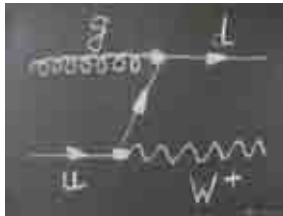
<https://kijende.web.cern.ch/kijende/en/wpath.htm>

- Diskussion der Asymmetrie in der Häufigkeit von W^+ und W^-
à **Struktur des Protons**
- Produktionsmöglichkeiten:

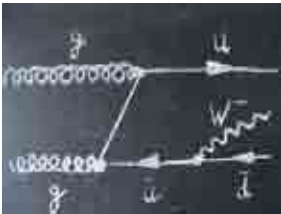
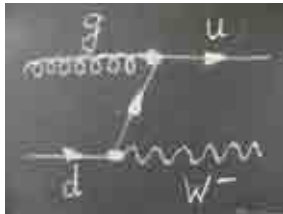
$q+g \rightarrow W+X$

$g+g \rightarrow W+X$

W^+



W^-



- Ladungsasymmetrie (weil $p = uud$)

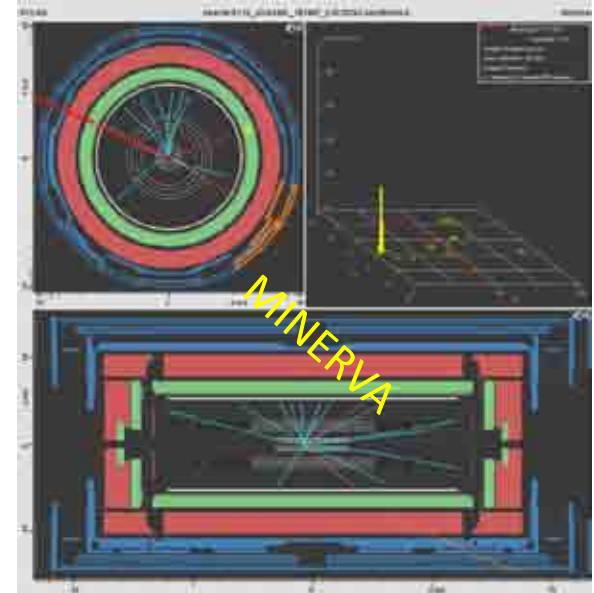
$$\frac{\#W^+}{\#W^-} = \frac{2}{1} = \frac{1}{1}$$

§ Messung der Jugendlichen:

§ Vergleich erste ATLAS Veröffentlichung:
CERN-PH-EP-2010-037 (October 2010)

$$\#W^+/\#W^- = 1.56 \pm 0.17$$

$$\#W^+/\#W^- = 1.52 \pm 0.07$$



Die Massen der Elementarteilchen...

- ...überdecken 14(!) Größenordnungen

§ n ~ Sandkorn

§ e ~ Auto

§ t ~ Ozeandampfer

- ... sind eine Eigenschaft von

§ Teilchen ohne Unterstruktur

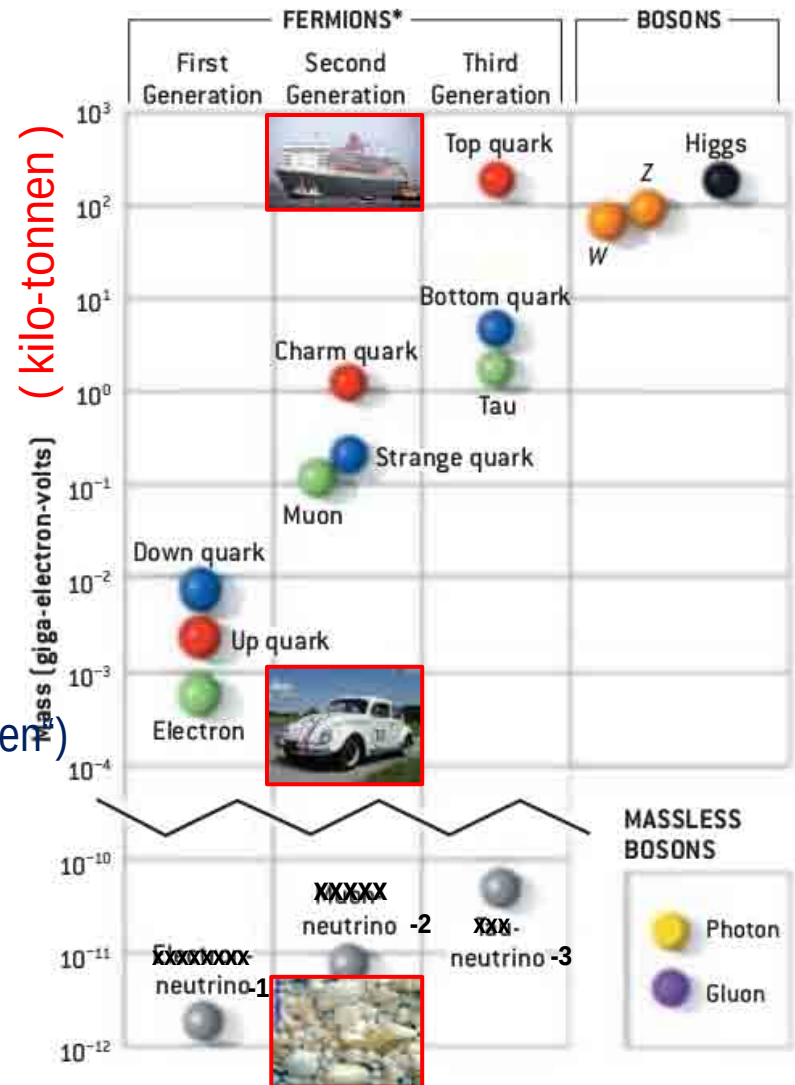
§ d.h. sind keine Frage von „Größe“

- ... haben ein charakteristisches Muster

§ in bezug auf Familien (auch: „Generationen“)

§ in bezug auf Neutrinos
(~ 10^{10} mal leichter als ihre Partner)

- Wie? à Brout - Englert - Higgs



The Dawn of Physics Beyond the Standard Model,
by Gordon Kane, Scientific American, June 2003

Der Brout-Englert-Higgs Mechanismus

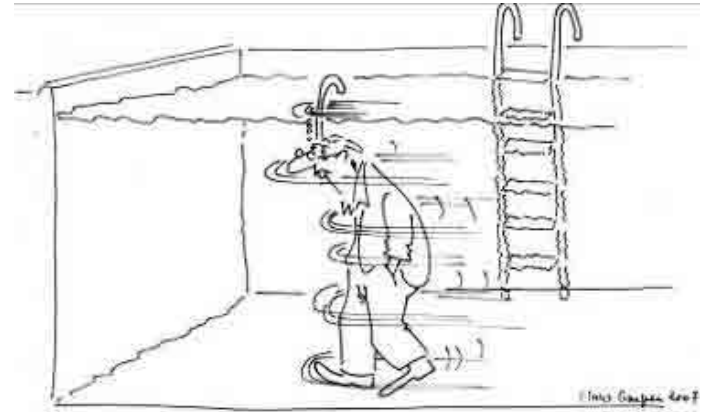
► Vakuum mit BEHiggs-Feldstärke $v = 0$

- § alle Teilchen sind masselos
- § bewegen sich mit Lichtgeschwindigkeit



► Vakuum mit BEHiggs-Feldstärke $v \neq 0$

- § Teilchen werden durch Wechselwirkung mit dem Feld verlangsamt
- § Teilchen erhalten effektiv eine Masse
- § Wert hängt von der Stärke der Wechselwirkung mit dem Feld ab



► Higgs-Teilchen

- § Quantenmechanische Anregung des Hintergrundfeldes
- § **Notwendige Konsequenz des Konzepts!**



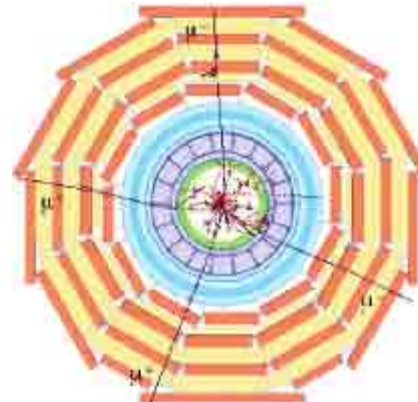
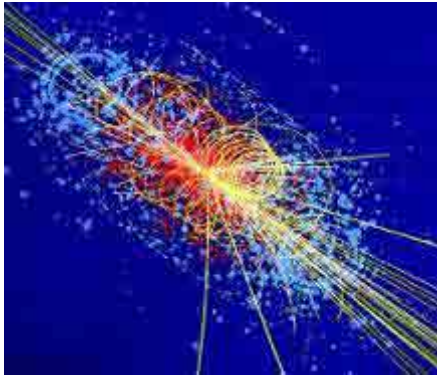
Mechanische Analogie zur Higgs-Produktion

- ▶ Luft ($\sim$ Hintergrundfeld) normalerweise kaum zu spüren
am Besten erfahrbar, wenn es in Bewegung ist
- ▶ Objekte hoher Energie erzeugen Anregungen der Luft
~ Objekte hoher Masse erzeugen Anregung im Hintergrundfeld
= Higgs-Teilchen

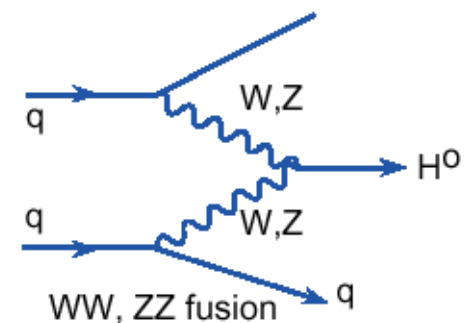
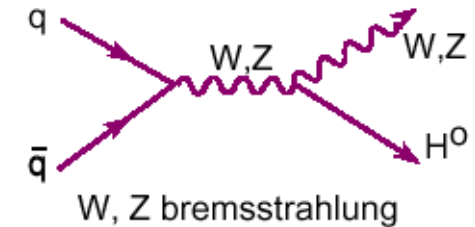
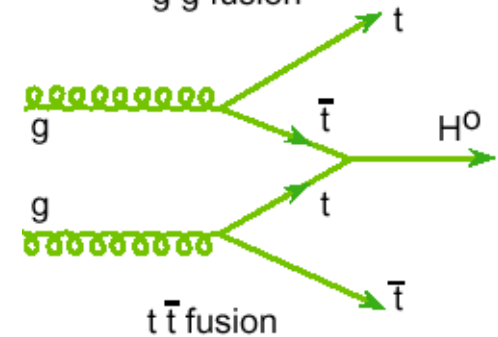
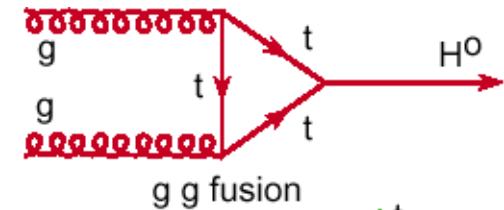
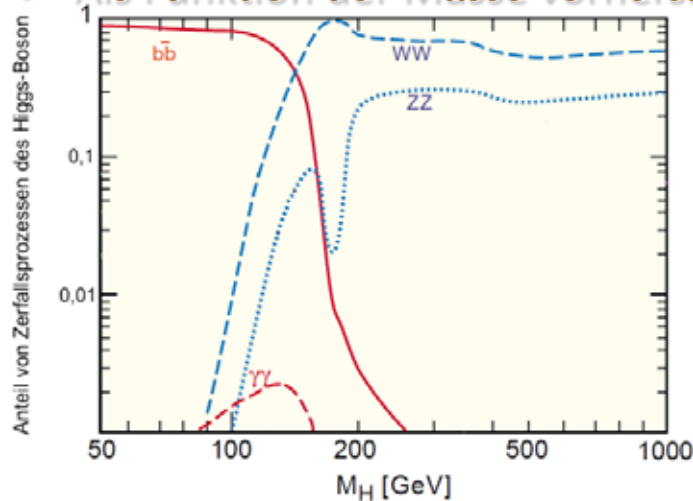


Higgs Suche am LHC

- n Higgs Masse vorher unbekannt:
 - Viele Produktionsmechanismen
 - Viele mögliche Zerfälle

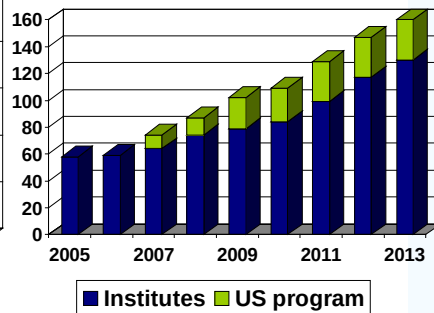
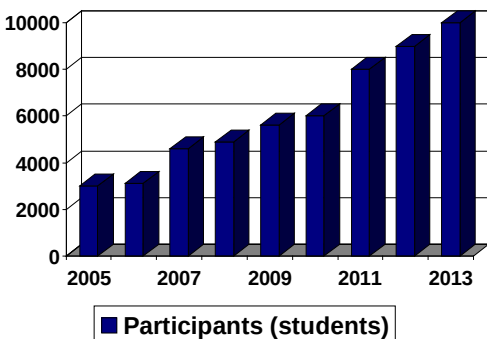
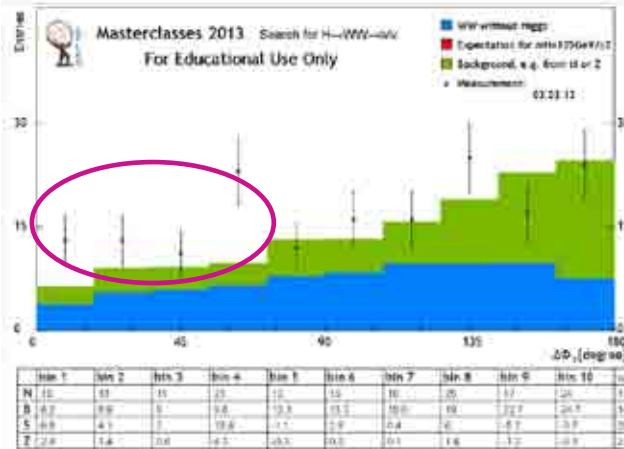
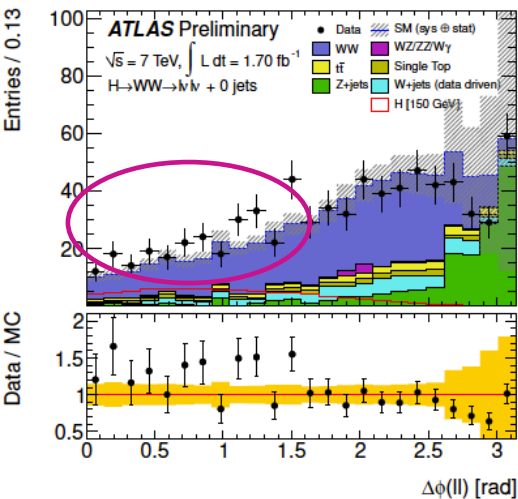


• Als Funktion der Masse vorhersagbar



Daten für Jugendliche und Öffentlichkeit (organisiert von Dresden)

- Suche nach Higgs Teilchen mit echten CERN Daten
- ATLAS à Masterclasses



USA
Canada
Brazil
Columbia
South Africa
Sao Tomé and Príncipe
India
Indonesia
New Zealand



www.physicsmasterclasses.org

www.teilchenwelt.de

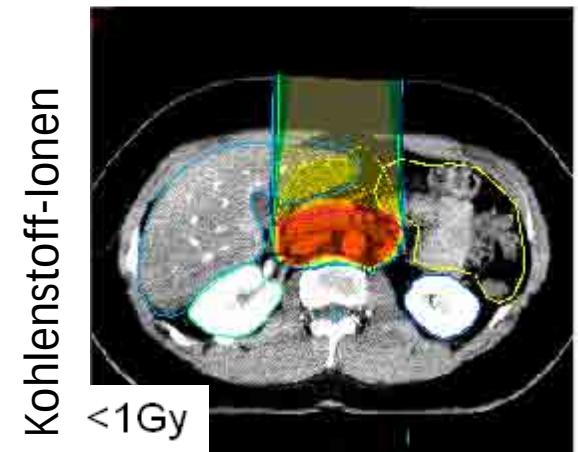
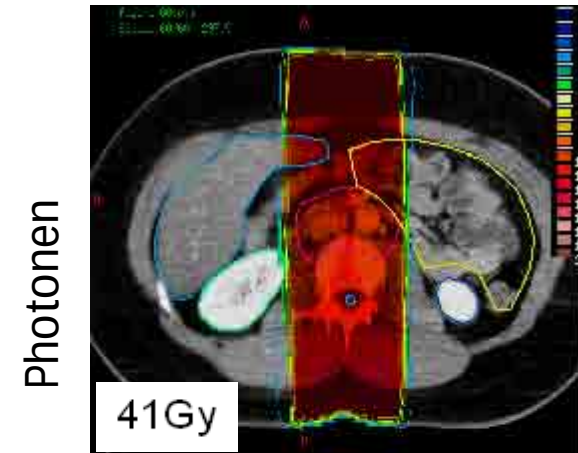
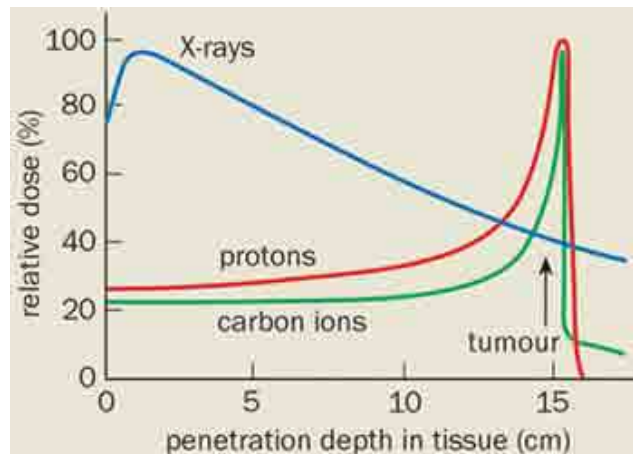
29.11.2014

MINT-EC Schulleitertreffen

: Neu in 2013

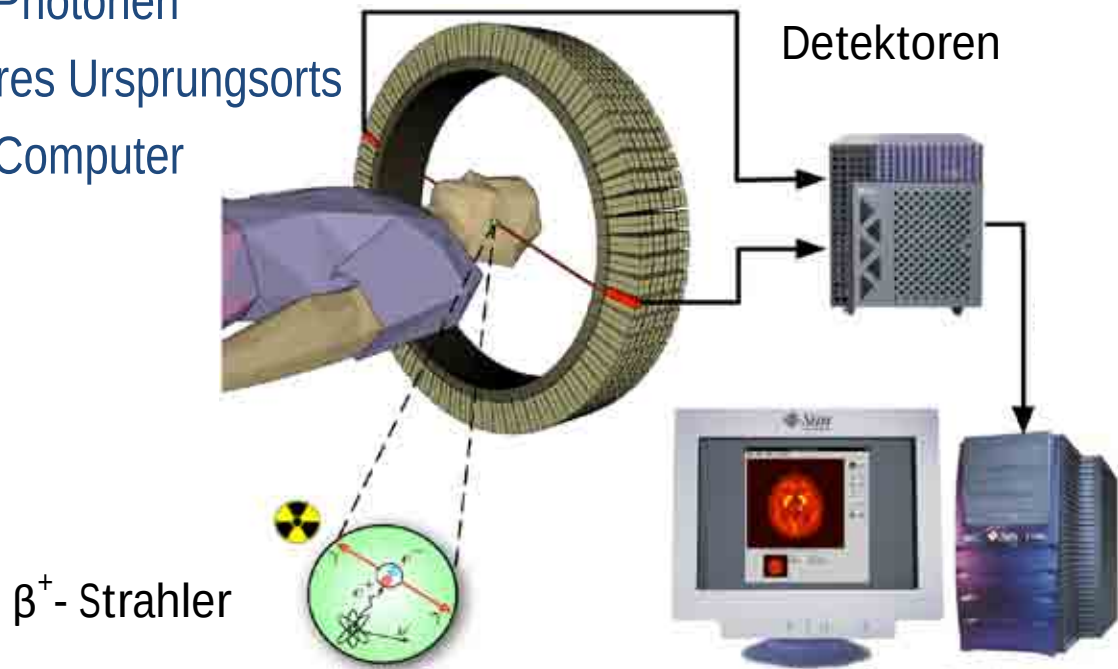
Anwendungsbeispiele: Tumorthherapie mit Hadronen

- ▶ Vorteil gegenüber Bestrahlung mit Photonen (Röntgen):
 - § Eindringtiefe gezielt einstellbar
 - § Energie trifft fast nur das Tumorgewebe und verschont gesunde Zellen
 - § geringere Dosis nötig
- ▶ Nachteile:
 - § Kosten
 - § großer Beschleuniger nötig



PET: Positronen-Emissions-Tomografie

- ▶ Patienten wird eine Flüssigkeit verabreicht, die Positronen abstrahlt (β^+ -Strahler)
- ▶ Positronen und Elektronen zerstrahlen in zwei Photonen in entgegengesetzte Richtungen
 - § Detektierung der Photonen
 - § Rekonstruktion ihres Ursprungsorts
 - § Bildentstehung im Computer



► Stärken der Astro-/Teilchenphysik

- § Faszination der fundamentalen Fragen
- § Faszination der Begriffe (Urknall, Antimaterie)
- § Faszination der experimentellen Aufbauten (CERN)
- § Grundlagenforschung als Kulturgut und intellektueller Gewinn

► Herausforderungen

- § Teilchenphysik in Schulcurricula (noch) wenig vertreten
- § Teilweise Antworten auf noch nie selbst gestellte Fragen
- § Große Zahl neuer Begriffe in kurzer Zeit
- § Viele neue Konzepte und Vorstellungen
- § Herstellung des Bezugs zur Erfahrungswelt

Herzlichen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit

Umsetzung für Schulen:
à Vortrag Uta Bilow

ORIGINALSCHAUPLATZ



SCHIRMHERRSCHAFT



PROJEKTLEITUNG



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

