

Zentrale Konzepte der Teilchenphysik

Ideen zur Umsetzung im Schulunterricht
und Angebot des Netzwerk Teilchenwelt

Michael Kobel
TU Dresden
Netzwerk Teilchenwelt



I. Grundsatzbetrachtungen

II. Teilchenphysik Konzepte für die Schule

II.1. theoretische Grundlagen

II.2. experimentelle Methoden

II.3. Beispiel: Kontext im Alltag

III. Netzwerk Teilchenwelt



I. Grundsätzliche Betrachtungen

- Stärken der Teilchenphysik
 - Faszination der fundamentalen Fragen
 - Faszination der Begriffe (Urknall, Antimaterie)
 - Faszination der experimentellen Aufbauten (LHC)
 - Grundlagenforschung als Kulturgut und intellektueller Gewinn
- Herausforderungen
 - Teilchenphysik in Schulcurricula wenig vertreten
 - Suche nach Antworten auf noch nie selbst gestellte Fragen
 - Große Zahl neuer Begriffe in kürzester Zeit
 - Viele neue Konzepte und Vorstellungen
 - Grundlagenforschung ohne Alltagsbezug?

Wie vorgehen?

- Historisch?
 - Meilensteine der Theorie:
 - unzählige Experimente...
 - Schafft man nicht mal an der Uni !

- 1917: NOETHER: Symmetrietheorem
- 1927-1930: DIRAC, JORDAN, WIGNER, HEISENBERG, PAULI, FERMI: Quantenelektrodynamik QED
- 1932: FERMI: Fermi-Theorie der schwachen Wechselwirkung
- 1933: YUKAWA: Mesonentheorie zur starken Wechselwirkung
- 1941: PAULI Eichtheorie der QED
- 1949: FEYNMAN, TOMONAGA, SCHWINGER Renormierung und Feynman-Diagramme
- 1961: GLASHOW Elektroschwache Mischung und Eichtheorie
- 1964: GELL-MANN, ZWEIG Quarks
- 1965: HAN, NAMBU, GREENBERG starke Farbladung
- 1964-1967 HIGGS, BROUT, ENGLERT, KIBBLE, HAGEN, GURALNIK Spontane Symmetriebrechung zur Massenerzeugung
- 1967-1968 SALAM, WEINBERG Standardmodell der Elektroschwachen Wechselwirkung: QFD
- 1971 'T HOOFT, VELTMAN Beweis der Renormierbarkeit des Standardmodells
- 1973 GROSS, POLITZER, WILCZEK, FRITZSCH, WEINBERG Standardmodell der Starken Wechselwirkung: QCD

- Einstiegsvorschlag: Kosmologie

1. Konkretes Beispiel, Anknüpfen an Bekanntes: Elektron
2. Das große Bild der Kosmologie
3. Wissenschaftliche Ziele

I.1. 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!)

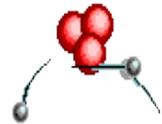
- Ⓜ Gelegenheit zur Diskussion (was wäre wenn?)!
- Ⓜ Einfluss auf Größen- und Energieskala der Atome (Moleküle, Festkörper, Lebewesen, ...)

Elektronenmasse regiert atomare **Energien** und **Radien**

- Ⓜ Bindungsenergie steigt mit m_e

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

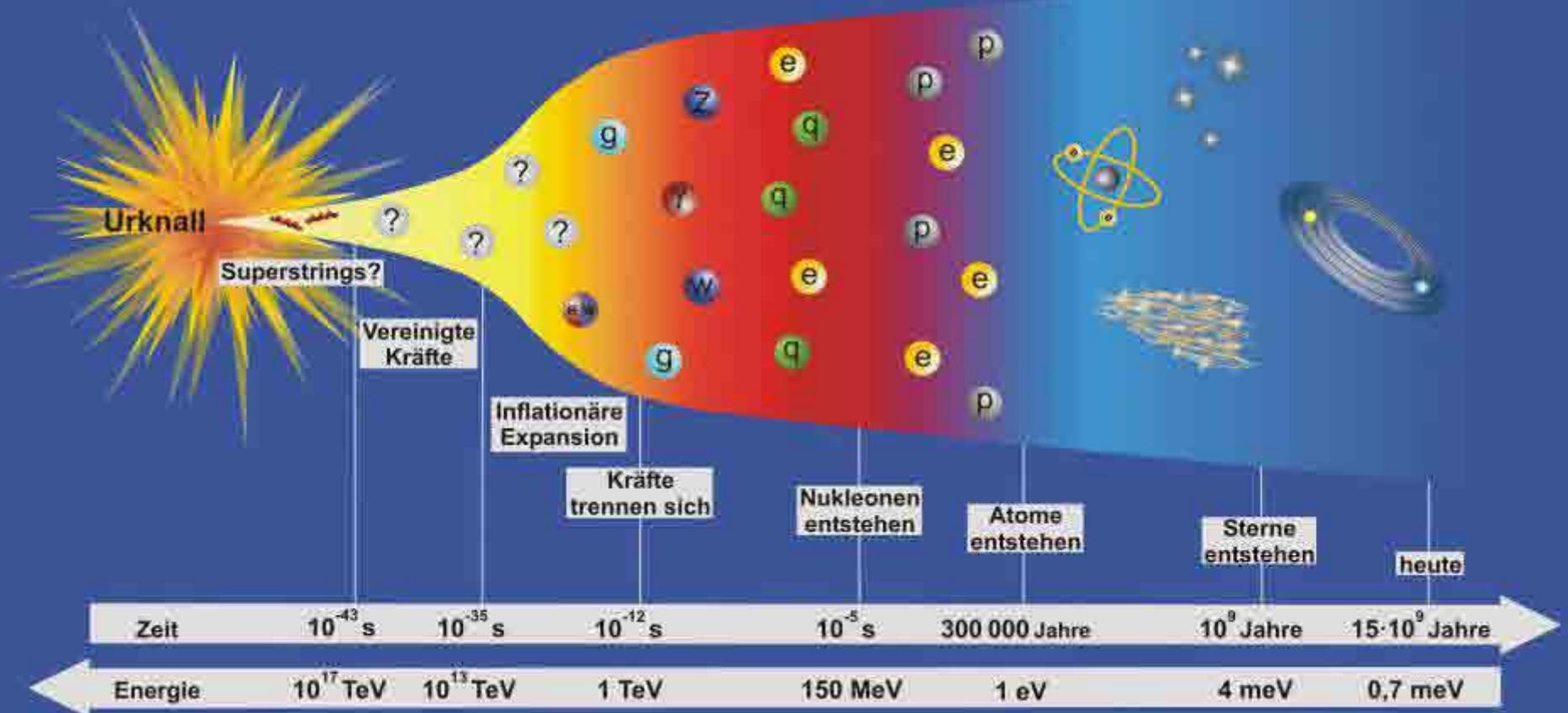
$$\text{H-Atom: } -\frac{1}{2} a_{em}^2 m_e = 13,6 \text{ eV}$$



- Ⓜ Größe der Atomhülle fällt mit $1 / m_e$

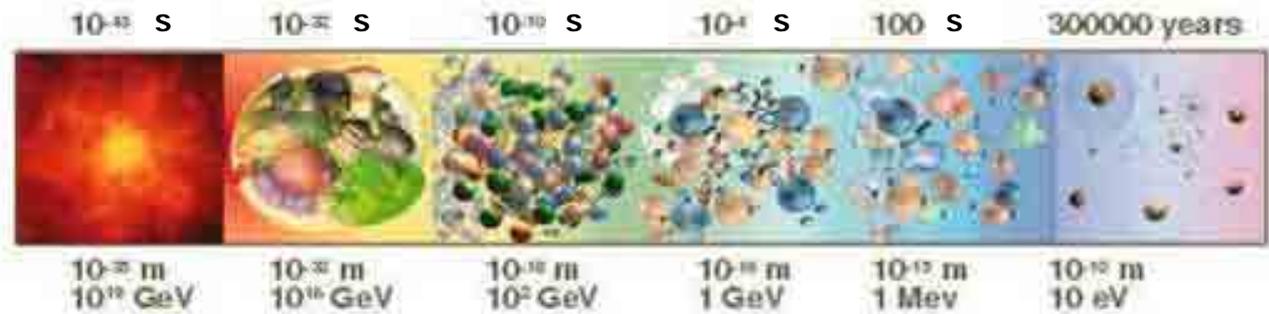
$$r_0(m_e) = \frac{1}{Z a_{em} m_e}$$

I.2. Teilchenphysik und Kosmologie (Energie <-?-> Zeit)



Was ist die Verbindung <-?-> : TEMPERATUR ! (Kompression = Erwärmung)

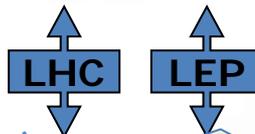
Suche nach der Grundidee des Universums („Weltformel“)



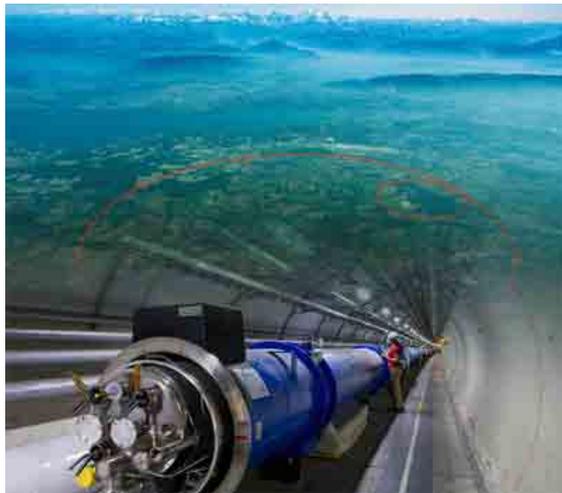
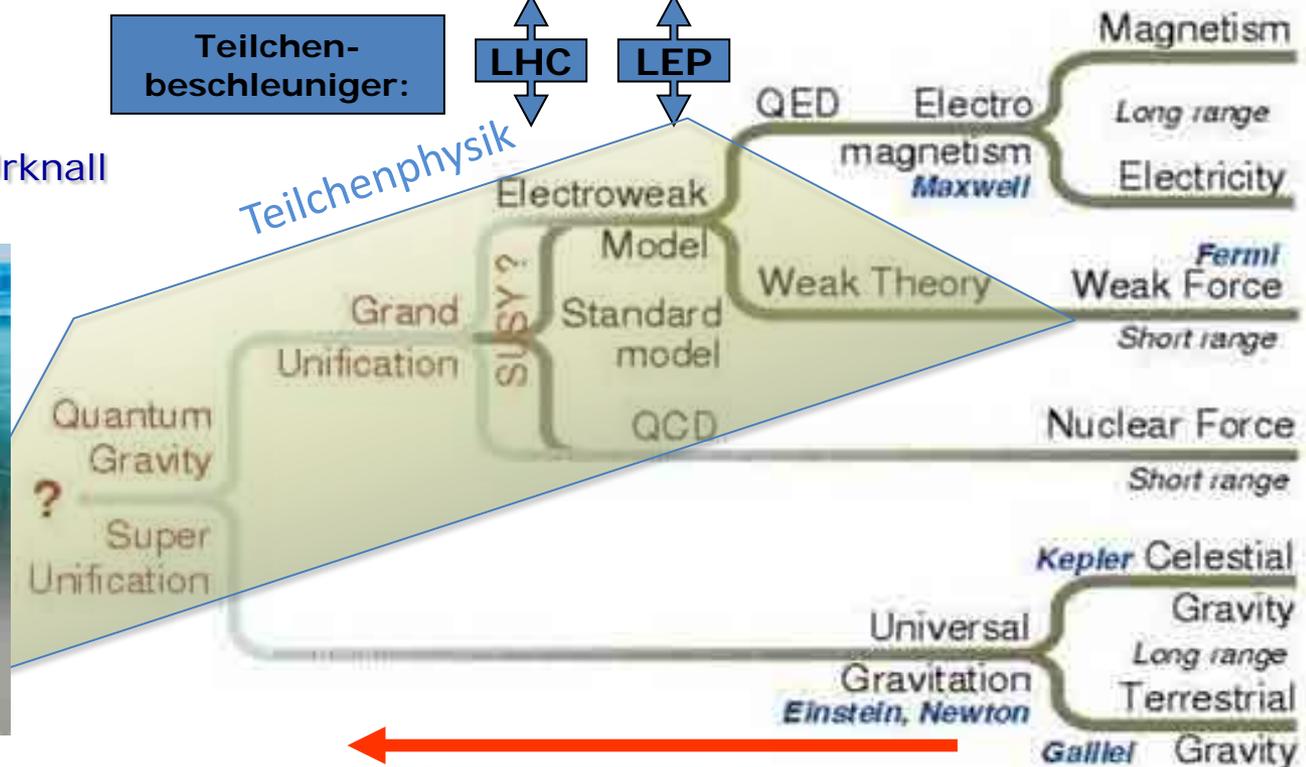
LHC:

Nachstellen der Prozesse zwischen Elementarteilchen 10⁻¹² s nach dem Urknall

Teilchenbeschleuniger:



Teilchenphysik



Geschichte der Physik
Zurück zum Urknall

I.3. 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:

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

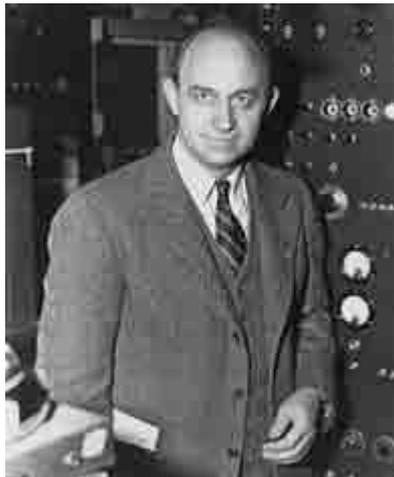
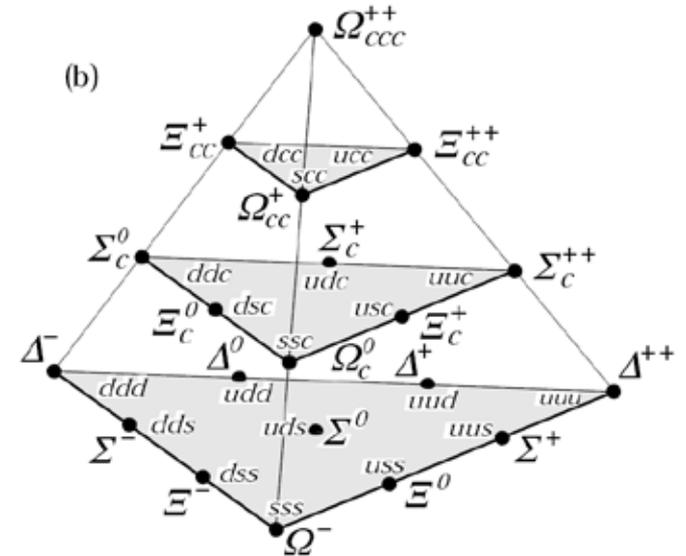
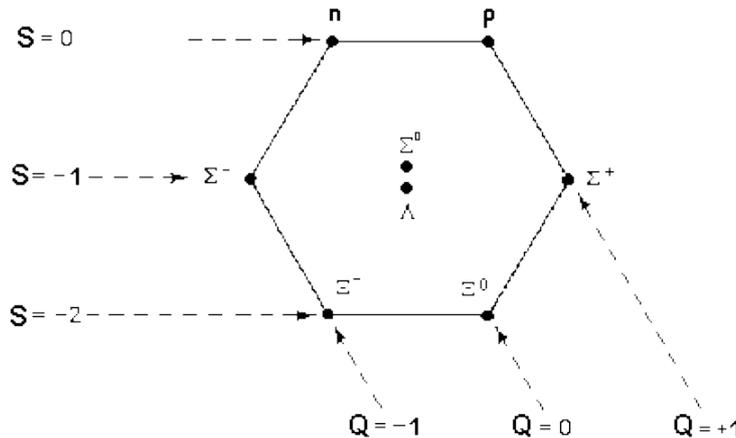
Ludwig Boltzmann

hohe Temperaturen

Die Temperatur des Universums fällt mit der Zeit

II.1 Das Theoriegebäude

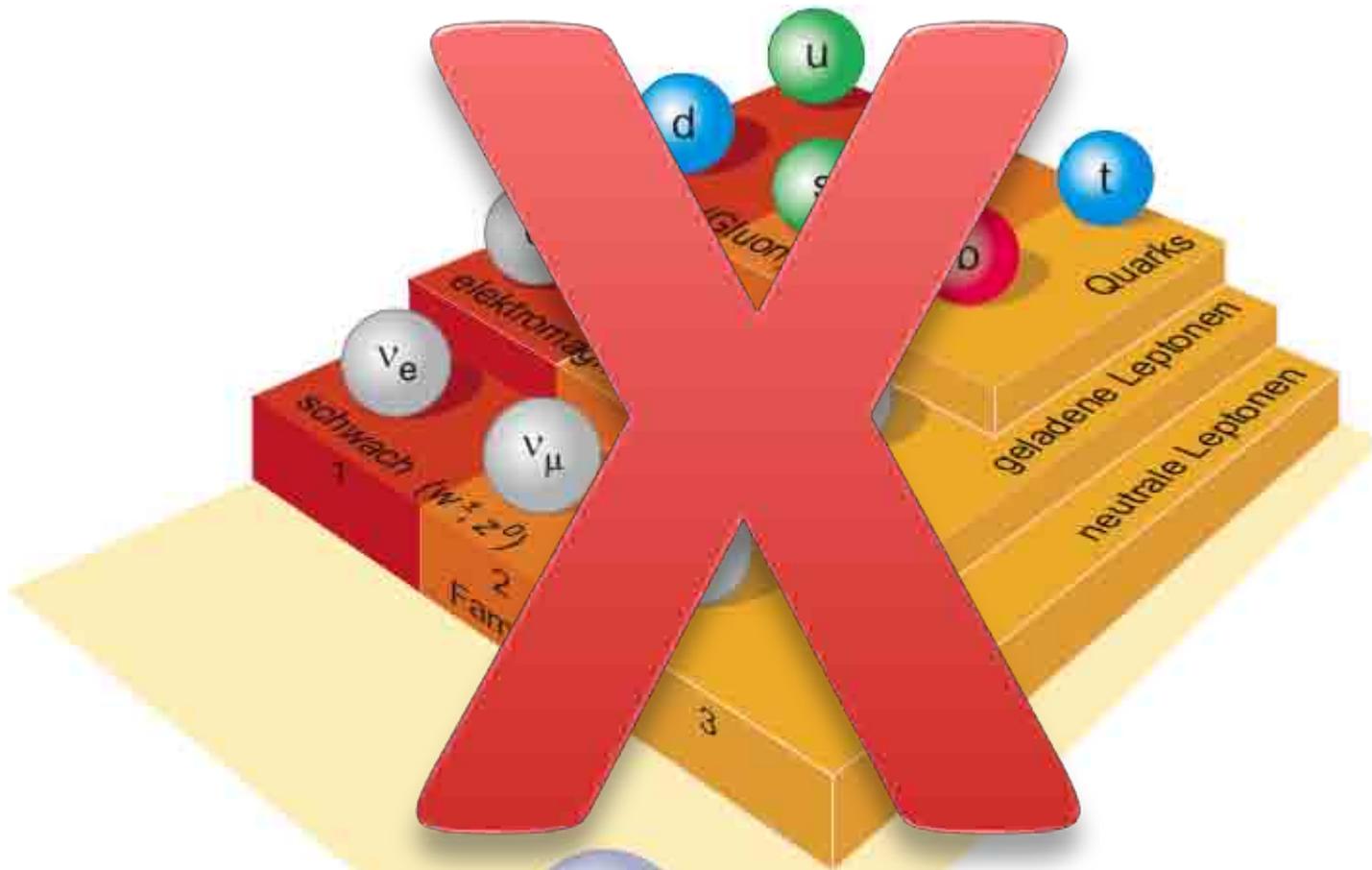
- Theorie = „Standardmodell der Teilchenphysik“
- Was es sicher nicht ist:



Denken Sie daran: 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. Bergen die Gefahr des Auswendiglernens
2. Sind gar nicht die Grundidee des Standardmodells:
x weder theoretisch vorhergesagt
x noch nachträglich verstanden
3. Sind nur die „Spieler“ die wir experimentell vorfinden
4. Die „Spielregeln“ sind das Wichtige !

Zentraler Begriff 1: 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.

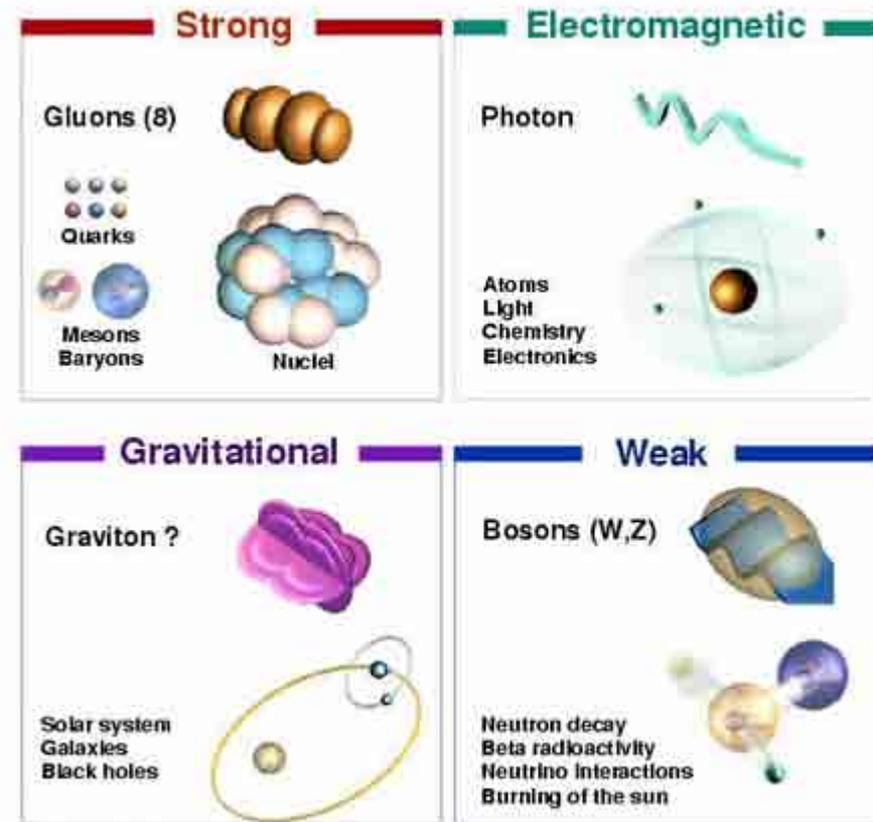


- In der Teilchenphysik sogar mehr als das

- 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“

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?

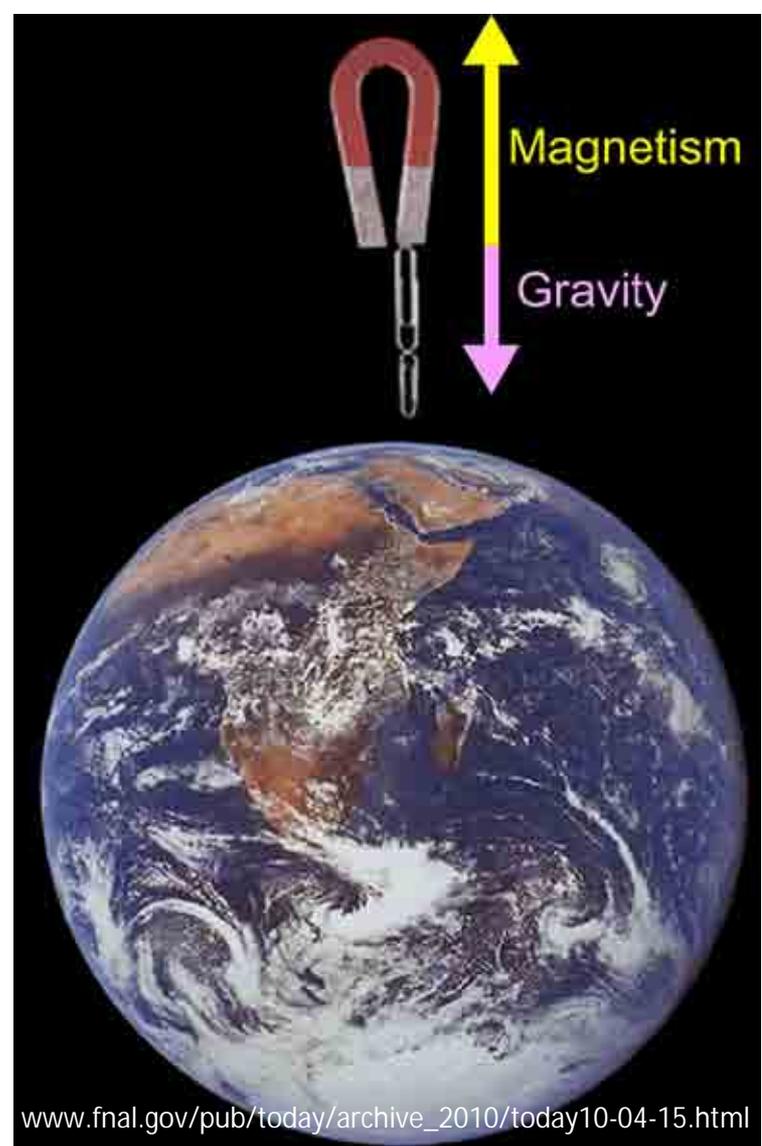
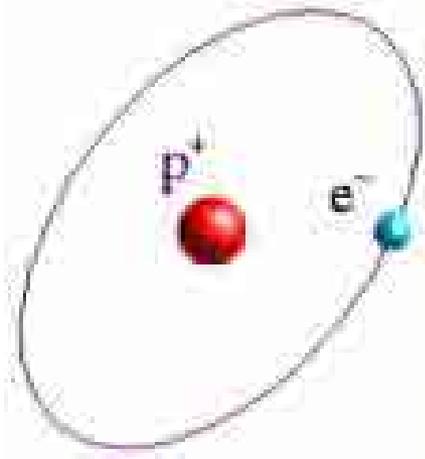


The particle drawings are simple artistic representations

Ein Beispiel:

- Noch ein Beispiel:

Wasserstoff



$$\frac{F_{Coulomb}}{F_{Newton}} = 2.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000$$

Ordne die Stärke der Wechselwirkungen !

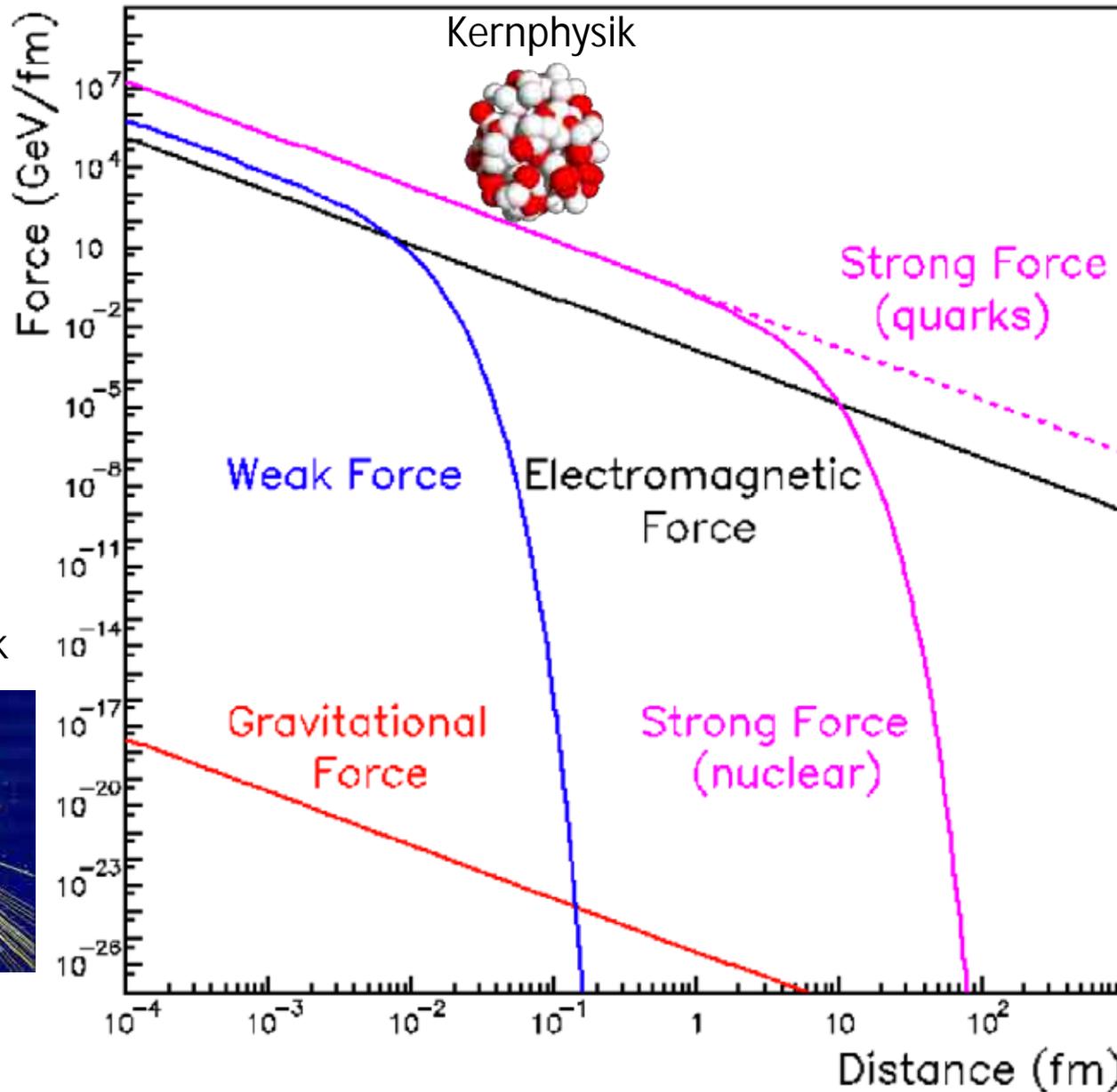
- Verbreiteter Fehler: Dies geht nicht eindeutig!

z.B. www.drillingsraum.de/4_grundkraefte_physik/4_grundkraefte_physik.html

(keine der schlechtesten Physikseiten...!)

Kraft	relative Stärke	Bosonen	Masse [GeV/c ²]	Reichweite [Meter]
Stark 	1	8 Gluonen	0	$2,5 \times 10^{-15}$
E.M. 	10^{-2}	Photon	0	∞
Schwach 	10^{-6}	W^-, W^+, Z^0	80,80,91	10^{-18}
Gravitation 	10^{-38}	Graviton?	0	∞

Die Ordnung der WW-Stärke hängt vom Abstand ab!



Kernphysik



Strong Force (quarks)

Weak Force

Electromagnetic Force

Gravitational Force

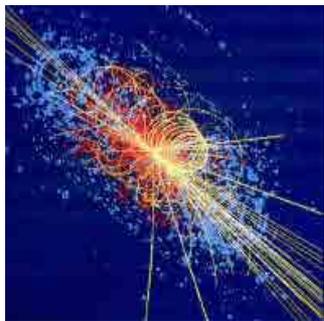
Strong Force (nuclear)

„Wir“



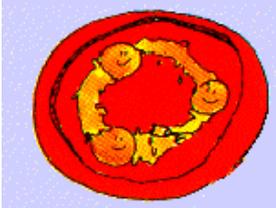
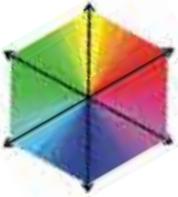
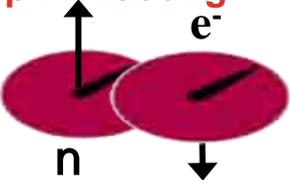
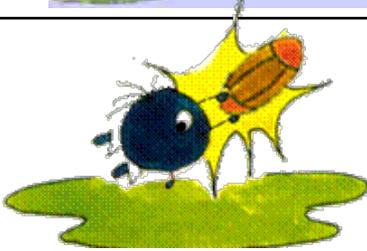
www.schmunze.mal.de

Teilchenphysik



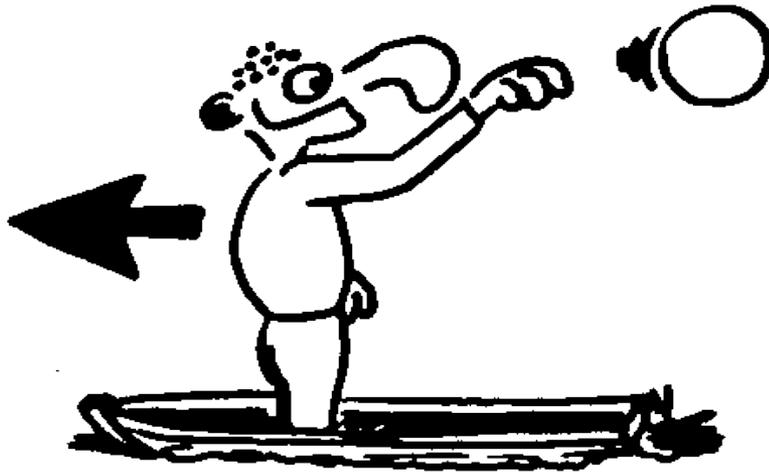
Fundamentale Wechselwirkungen

- 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 $I_3^W = \begin{matrix} \uparrow & 1/2 & \ddot{o} \\ \downarrow & -1/2 & \ddot{o} \end{matrix}$ 
Elektromagnetische	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



Abstoßend



Anziehend

www.physicsmasterclasses.org/exercises/unischule/baust/bs_6fram_lv123.html

Zentraler Begriff 2: Ladung

Ladung ...

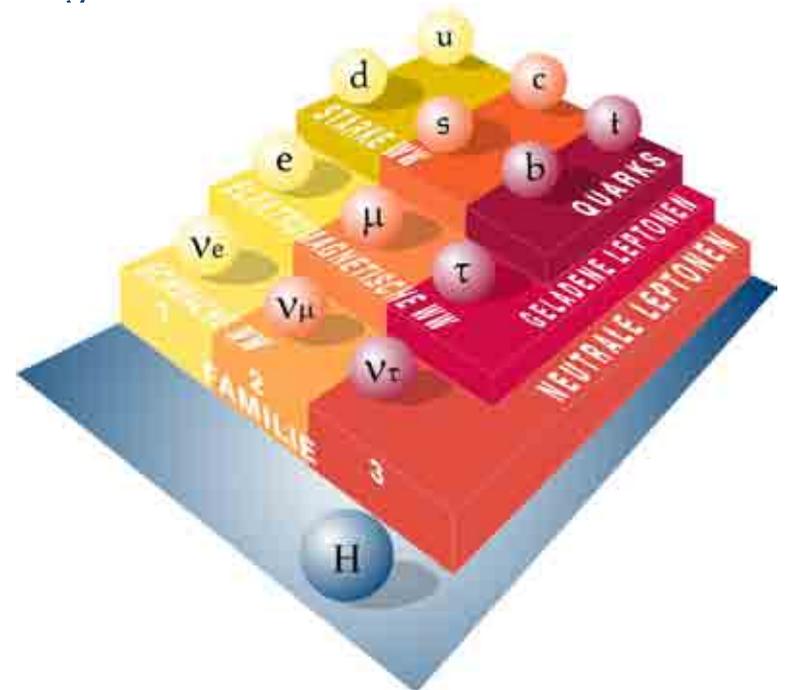
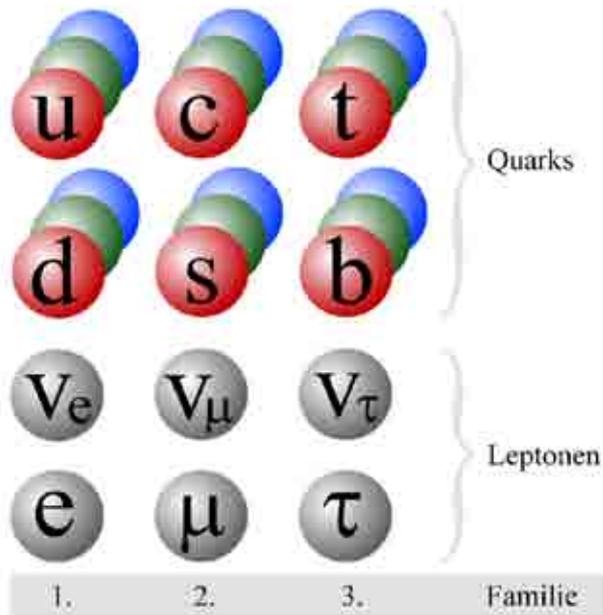
- ... ist *kein Stoff* !
- ... beschreibt die *Sensitivität* von Teilchen *bezüglich der jeweiligen Wechselwirkung*

Eigenschaften:

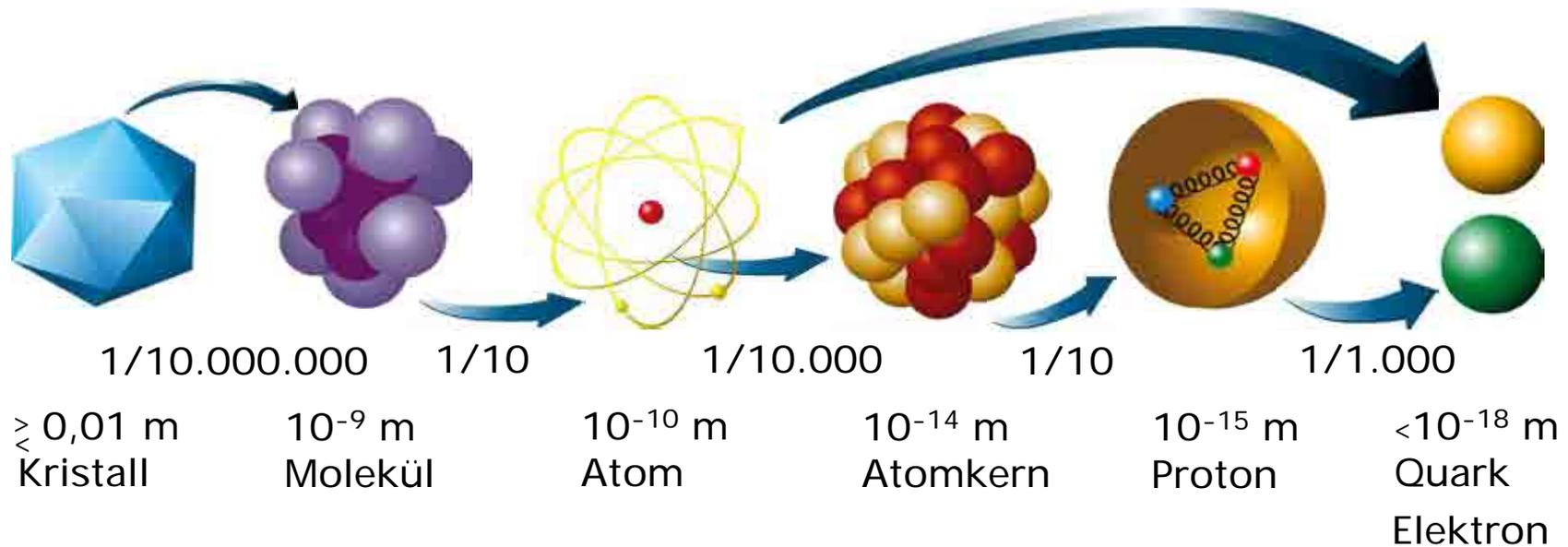
- Ladungen sind *Additiv*
 $\text{Ladung}(A+B) = \text{Ladung}(A) + \text{Ladung}(B)$
- Ladungen kommen nur in Vielfachen einer *kleinsten Ladung* vor
- Ladung ist *erhalten*,
d.h. sie entsteht weder neu, noch geht sie verloren

Neues über Ladung

- Es gibt 3 völlig verschiedene Ladungen (für jede WW des Standardmodells eine)
- Diese können Vektorcharakter haben (!)
 - Hier ist offen, ob man das im Unterricht diskutieren will, notfalls geht es ohne
 - Aber die Lehrkraft sollte es wissen!
- Die Natur hat die Teilchen bezüglich dieser Ladungen in „Multipletts“ angeordnet
- Erst ab hier sollten die Bausteingrafiken eingesetzt werden:



Materie und fundamentale Bausteine



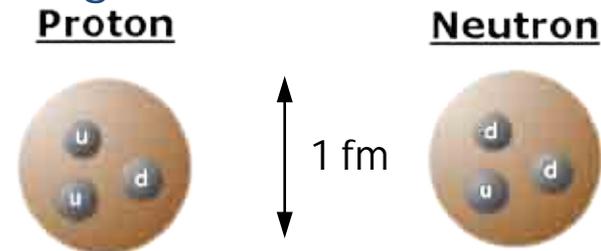
- Aufbau der stabilen Materie nur aus der ersten Familie

- 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 Kernumwandlungen (Kernfusion Sonne, Radioaktive Kernzerfälle)



Materialien des Netzwerk Teilchenwelt

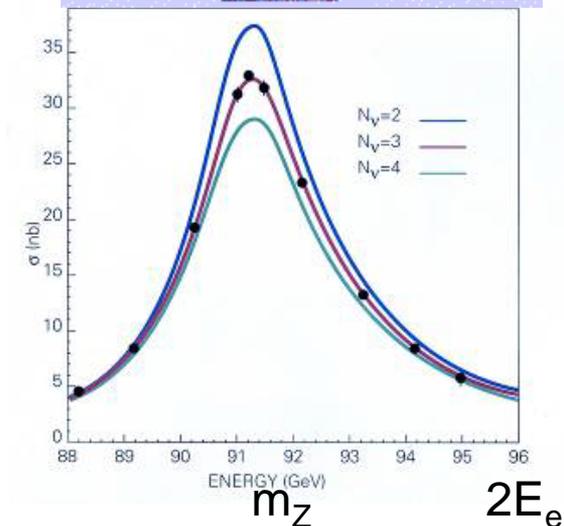
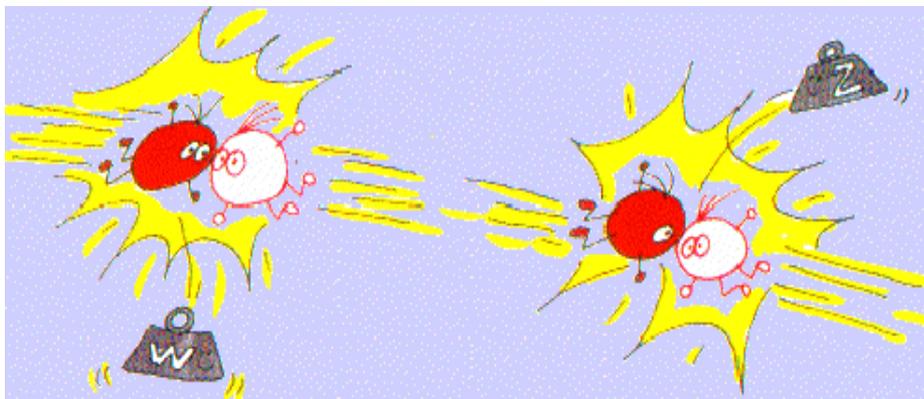
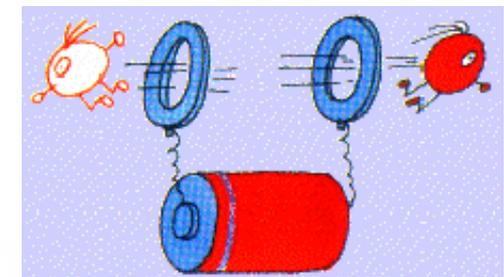
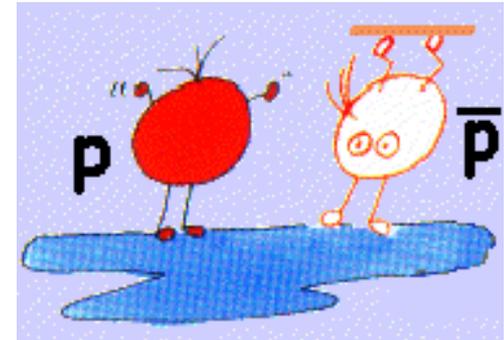
- „Steckbriefe“ der Teilchen (erscheinen im Juli)
 - Gelegenheit zu eigenen Aktivitäten
 - ordnen, diskutieren, vertraut werden

 <p>Up-Quark Nachweis: 1969</p> <p>Masse: $2 \text{ MeV}/c^2$ Elektrische Ladung: $+2/3 e$ Farbladung: rot, grün oder blau Schwache Ladung: $+1/2$</p>	 <p>Up-Antiquark Nachweis: 1969</p> <p>Masse: $2 \text{ MeV}/c^2$ Elektrische Ladung: $-2/3 e$ Farbladung: antirrot, antigrün oder antiblau Schwache Ladung: $-1/2$</p>	 <p>W⁺ - Boson Nachweis: 1963 Austauschteilchen</p> <p>Masse: $80.400 \text{ MeV}/c^2$ Elektrische Ladung: $+1 e$ Farbladung: — Schwache Ladung: $+1$</p> <p>Reichweite: $\sim 10^{-16} \text{ m}$ Mittlere Lebensdauer: $\sim 3 \cdot 10^{-25} \text{ s}$</p>
 <p>Elektron Nachweis: 1897</p> <p>Masse: $0,511 \text{ MeV}/c^2$ Elektrische Ladung: $-1 e$ Farbladung: — Schwache Ladung: $-1/2$</p> <p>Mittlere Lebensdauer: unbegrenzt</p>	 <p>Elektron-Neutrino Nachweis: 1956</p> <p>Masse: $< 0,000\,000\,3 \text{ MeV}/c^2$ Elektrische Ladung: 0 Farbladung: — Schwache Ladung: $+1/2$</p>	 <p>Z⁰ - Boson Nachweis: 1963 Austauschteilchen</p> <p>Masse: $91200 \text{ MeV}/c^2$ Elektrische Ladung: 0 Farbladung: — Schwache Ladung: 0</p> <p>Reichweite: $\sim 10^{-16} \text{ m}$ Mittlere Lebensdauer: $\sim 3 \cdot 10^{-25} \text{ s}$</p>

- Eigene Messung der Protonstruktur (uud) mit echten LHC Daten
 - Über Abzählen der Häufigkeit von W⁺ und W⁻ (siehe unten)

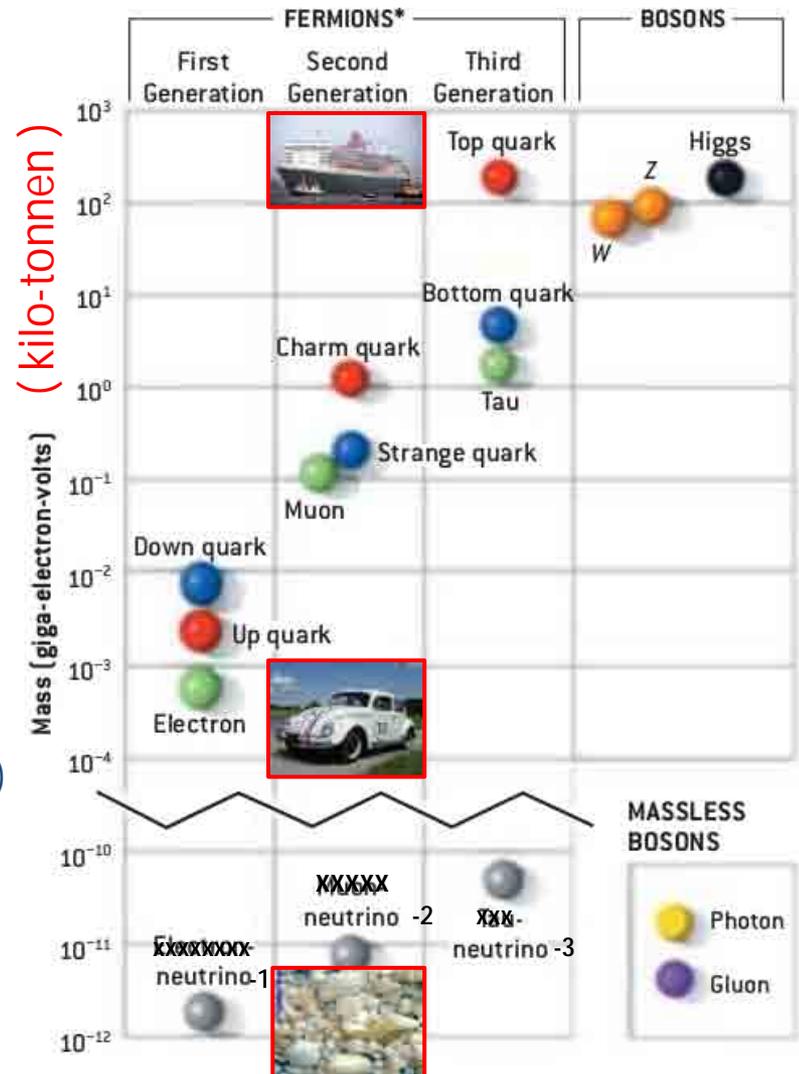
Antimaterie

- 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**
- Umgekehrt können sie sich **paarweise** wieder zu Botenteilchen (nicht: „Energie“) **vernichten**



Die Massen der Elementarteilchen...

- ...überdecken 14(!) Größenordnungen
 - n ~ Sandkorn
 - e ~ Auto
 - t ~ Ozeandampfer
- ... sind eine Eigenschaft von
 - Teilchen ohne Unterstruktur (ziemlich sicher für Fermionen)
 - 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)
- Warum? → Higgs ? (anderer Vortrag)



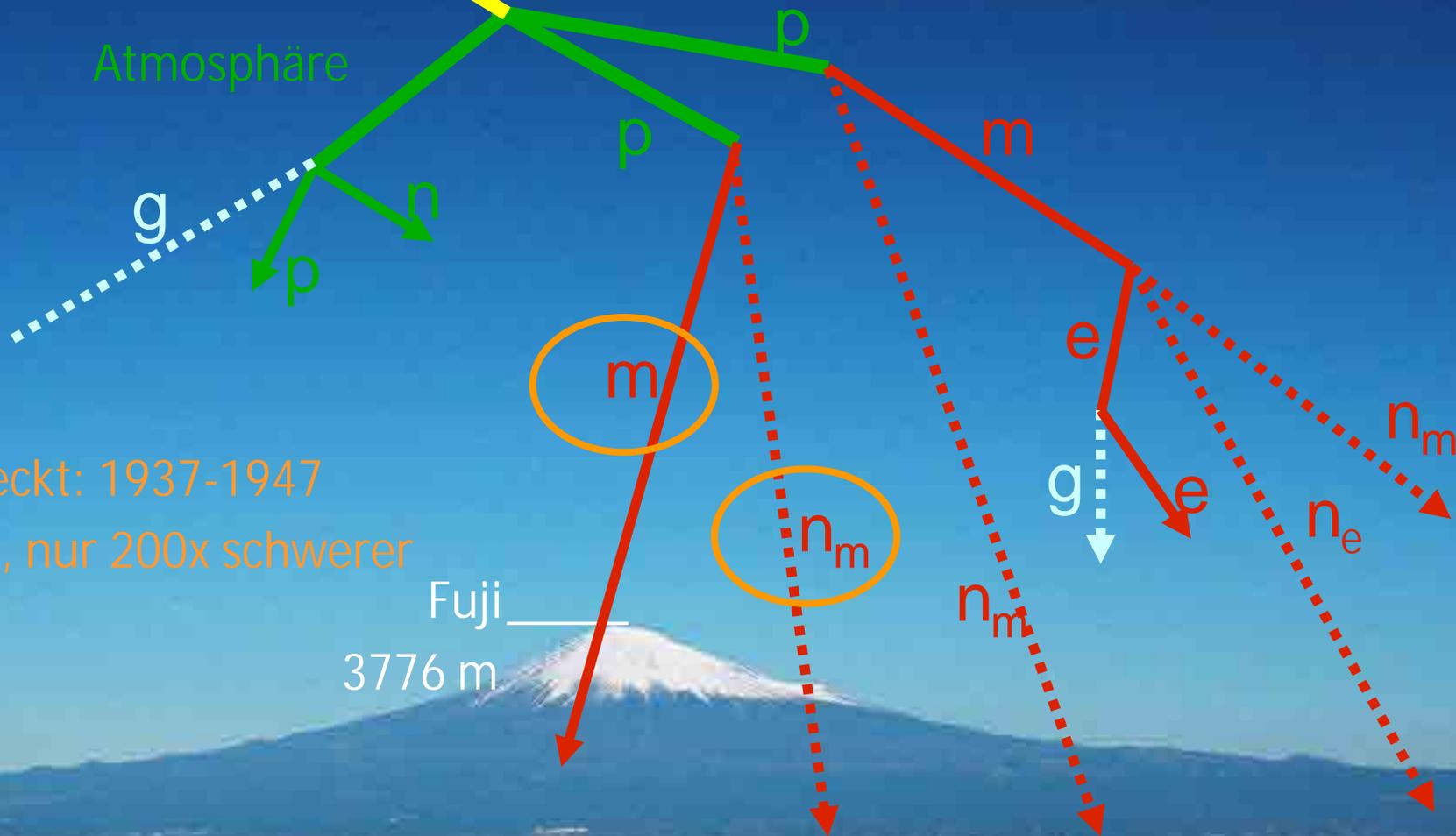
The Dawn of Physics Beyond the Standard Model, by Gordon Kane, Scientific American, June 2003

Beispiel 1 für zweite Teilchen-Familie: Myon

p, He, \dots

primäres Teilchen trifft auf
Atmosphäre: 15 – 30 km Höhe

Atmosphäre



Entdeckt: 1937-1947
wie e, nur 200x schwerer

Fuji

3776 m

Kosmische Myonen im Netzwerk Teilchenwelt

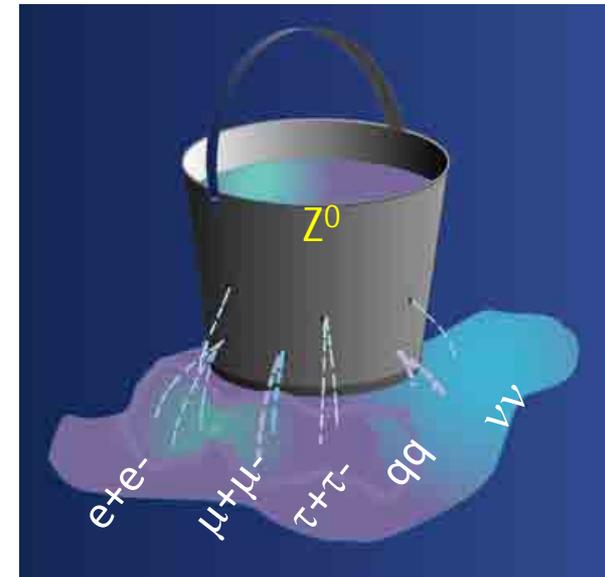


- Zwei Experimente zum Nachweis kosmischer Myonen: Kamiokande und Szintillationszähler
- Zur Ausleihe nach vorheriger Fortbildung
- Geeignet für Projektwochen und kleinere Gruppen in
 - Basisprogramm
 - Qualifizierungsprogramm (Vorträge, Poster, Dokumentationen,...)
- Auch möglich: Bau einer Nebelkammer (Material zur Ausleihe vorhanden)



Beispiel 2: Elektron Myon und Tauon

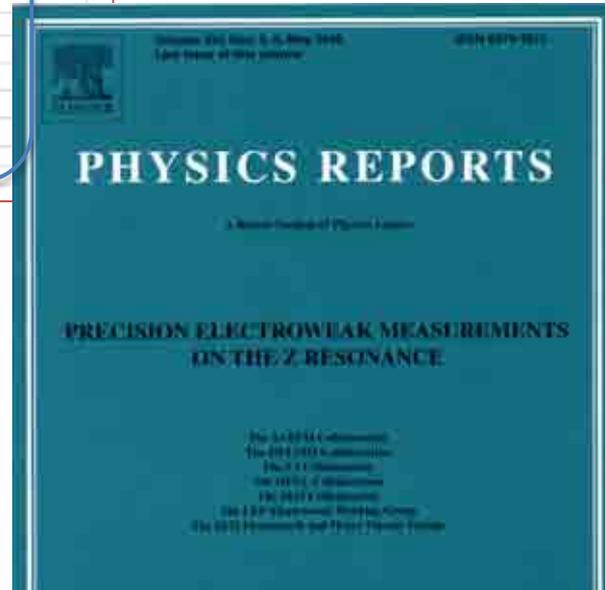
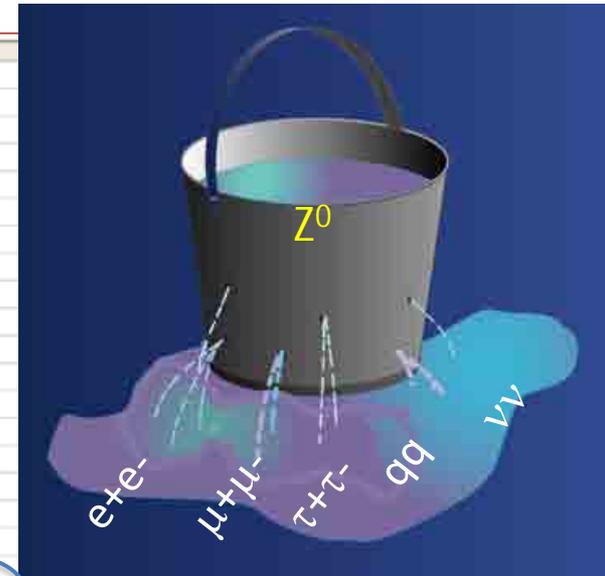
- Messung von Zerfällen des Z^0 Teilchens mit echten Daten des LEP
- Analogie: Löcher im Wassereimer entsprechen „Zerfallskanälen“
- Für einzelnes Wassermolekül ist Austrittsloch nicht vorhersagbar
Für einzelnes Z -Teilchen ist Zerfallskanal nicht vorhersagbar
- Entleerungsdauer \rightarrow Eigenschaften der Löcher (Größe)
Zerfallsdauer \rightarrow Eigenschaften der Teilchen (Kopplung ans Z über schwache Ladung)
- Verhältnis der Austrittsmengen
 \rightarrow Größenvergleich der Löcher
Verhältnis der Zerfallshäufigkeiten
 \rightarrow Größenvergleich der schwachen Ladungen
- Lernziel / selbstständige Interpretation:
 \rightarrow Vergleich der Häufigkeiten:
 - e, μ, τ haben gleiche Eigenschaften
 - Quarks kommen 15 Mal = 5×3 Mal „zu häufig“ vor
 \rightarrow 5 mögliche Sorten \times 3 starke Farbladungen



Eigene Messaufgabe für Jugendliche

Messergebnisse von 20 Jugendlichen

	A	B	C	D	E	F
1	Group	Electrons	Myons	Taus	Quarks	
2	A (1-100)	4	6	4	86	
3	B (101-200)	2	2	2	94	
4	C (201-300)	3	3	3	91	
5	D (301-400)	2	7	4	87	
6	E (401-500)	3	5	4	88	
7	F (501-600)	3	10	7	80	
8	G (601 -700)	6	5	3	86	
9	H (701-800)	3	4	7	86	
10	I (801-900)	1	2	5	92	
11	J (901-1000)	4	0	4	92	
12						
13						
14	Sum all	Sum e	Sum μ	Sum τ	Sum q	
15	1000	31	44	43	882	
16	Sum corr	Sum e corr	Sum μ	Sum τ	Sum q	
17	1018,6	49,6	44,0	43,0	882,0	
18	Stat. Uncertainty	8,9	6,6	6,6	29,7	
19						
20	Fract. of Visible	e / all	μ / all	τ / all	q / alle	q / ((e+μ+τ)/3)
21		0,049	0,043	0,042	0,866	19,4
22	Stat. Uncertainty	0,009	0,006	0,006	0,011	2,1
23						
24						
25	Theory	0,04212	0,04212	0,04212	0,8736	20,74
26						
27	LEP Result	0,04200	0,04204	0,04208	0,8738	20,77
28	Uncertainty	0,00005	0,00008	0,00010	0,0012	0,03
29						
30						
31						

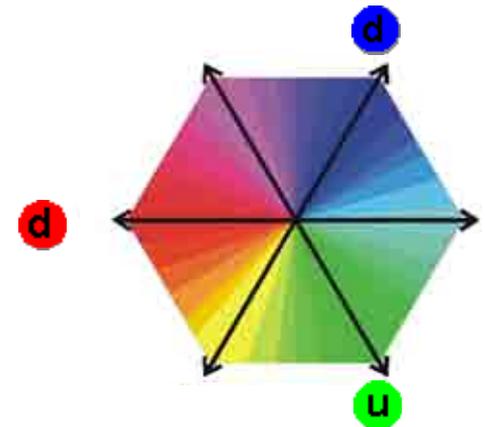
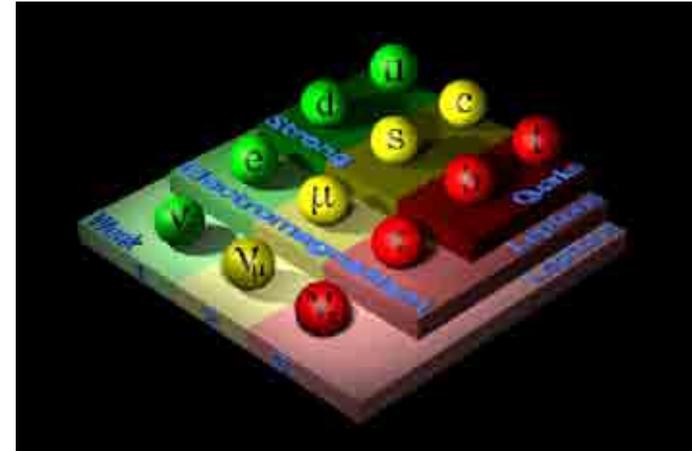


In Einklang mit
LEP Ergebnissen, publiziert in:

Physics Reports, Mai 2006

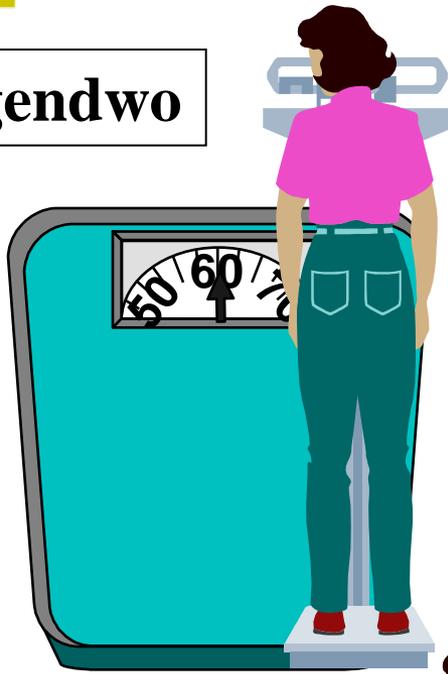
Weiterführendes, offene Fragen (optional)

- 3 Familien von Elementarteilchen
 - Unterscheiden sich nur durch Masse
 - Stabile Materie (p, n, e) nur aus erster Familie
 - Warum dann drei ?
- Alle Wechselwirkungen beruhen auf Ladungssymmetrien
 - Beispiel: Symmetrie der starken „Farb“ladung im Neutron
 - Natur: System muss invariant („symmetrisch“) sein unter Umdefinition der Ladung
 - Gluonaustausch sorgt für Erhaltung der Symmetrie und bindet die Quarks
 - Warum überhaupt Symmetrien und warum diese?
- Gibt es weitere Symmetrien ?
 - z.B: Supersymmetrie „SUSY“ zwischen Baustein- und Botenteilchen?



Lokale Umeichungen anschaulich

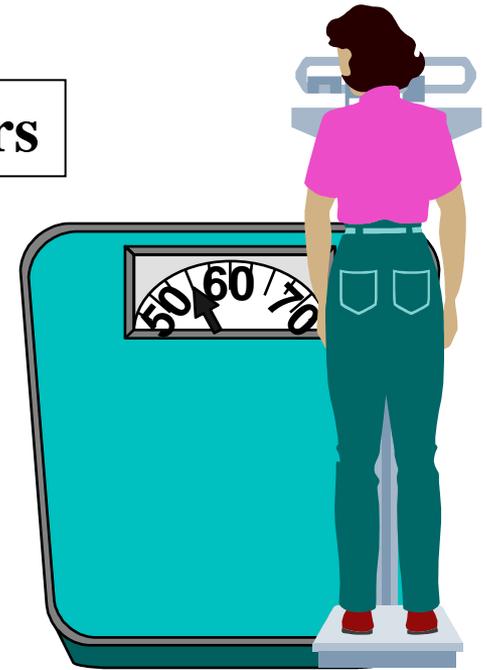
Irgendwo



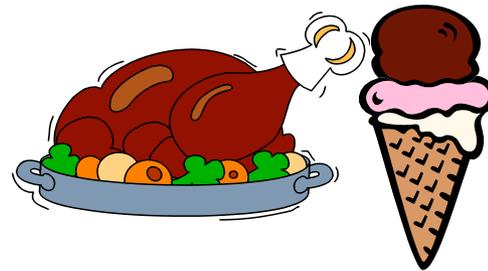
Eichung: ↑



Woanders

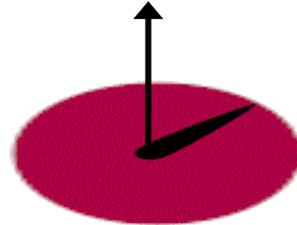
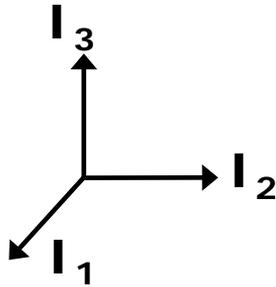


Eichung: ↑



- Lokale Eichsymmetrie erfordert
- Absorption oder Emission von Eichteilchen (g, W, Z, g)

V 1961 S.Glashow: Schwache („Isospin“) Ladung



Neutrino: $I_3 = \frac{1}{2}$

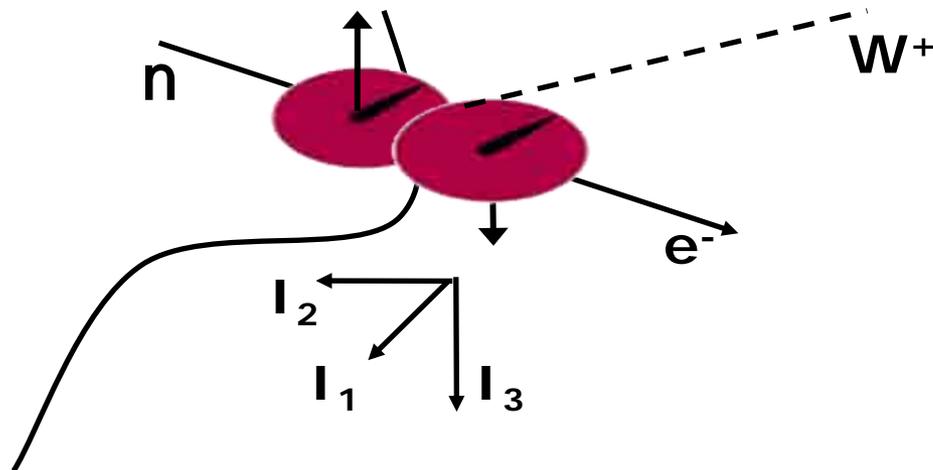
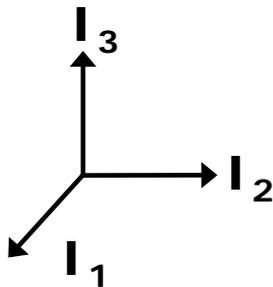
Elektron: $I_3 = -\frac{1}{2}$

Up-Quark: $I_3 = \frac{1}{2}$

Down-Quark: $I_3 = -\frac{1}{2}$

Idee: (n, e) und (u, d) unterscheiden sich nur durch die „Richtung“ eines Pfeils (schwache Isospin-Ladung I^w)

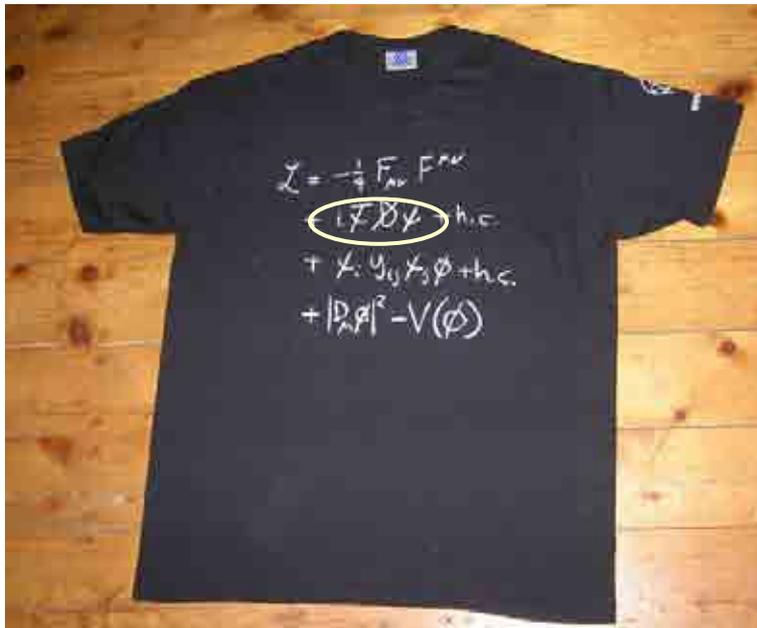
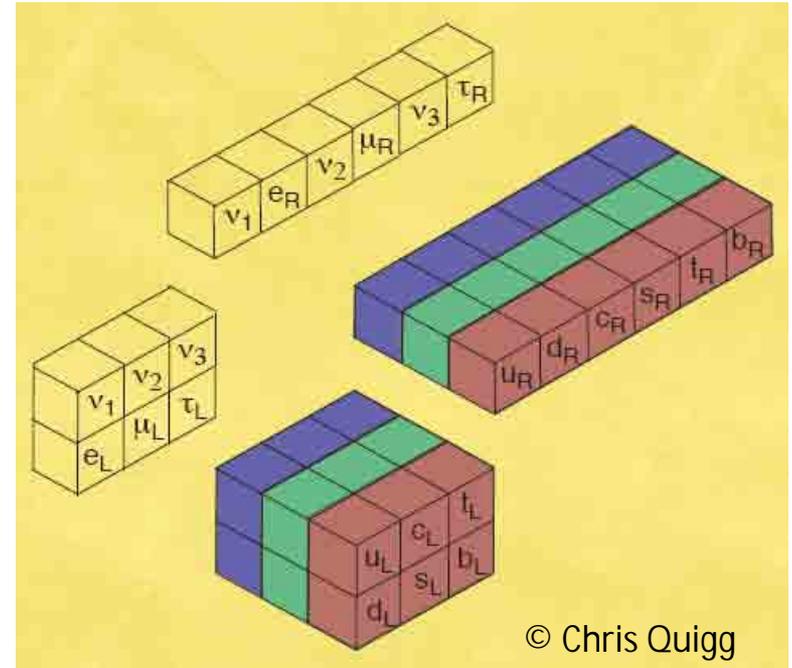
V Lokale SU(2) Eichtransformation



Standard Model: einfach, elegant und überwältigend erfolgreich:

- 3 Typen von **Ladungsoperatoren** generieren • 3 Symmetrie Gruppen:
 - $SU(3)_C \times SU(2)_L \times U(1)_Y$
- 3 freie Stärkeparameter:
 - $\frac{1}{a_s} = 8 \quad \frac{1}{a_w} = 29 \quad \frac{1}{a_y} = 108$
 - $\frac{1}{a_{em}} = \frac{1}{a_w} + \frac{1}{a_y} = 137$
- Lokale Eichsymmetrie verlangt (!) **Wechselwirkungen in L** und sagt all ihre Eigenschaften vorher

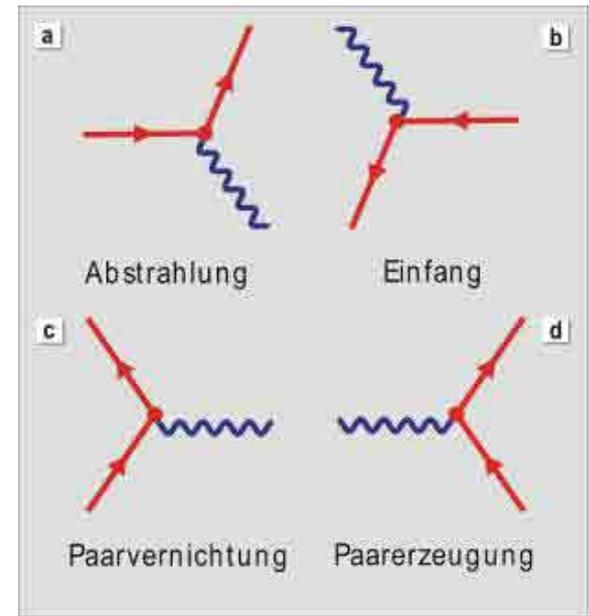
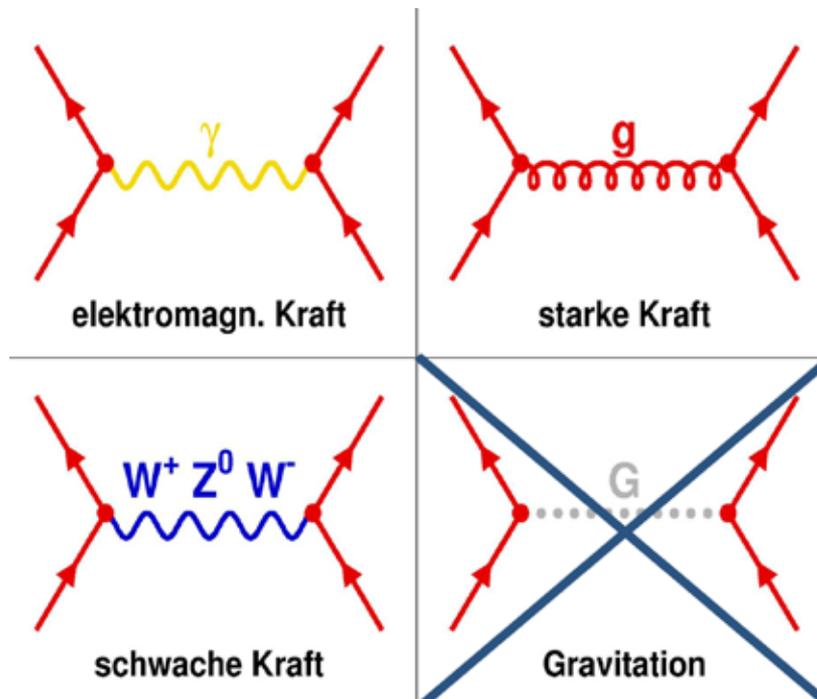
Elementarteilchen liegen in bestimmten **nicht vorhersagbaren Multipletts** in bezug auf diese Symmetrien



- Diese Multiplett-Repräsentationen definieren die Ladungswerte der Teilchen und damit ihre Sensitivität bzgl. der Wechselwirkungen (abhängig von ihrer Chiralität L,R)

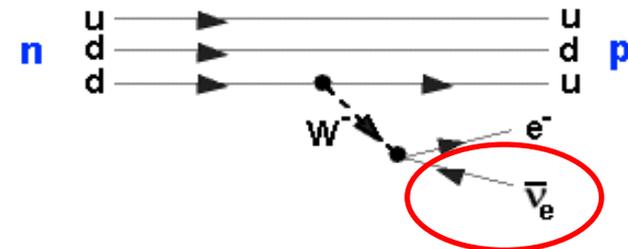
Eindeutige Vorhersagen

- 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
 - **Andere Prozesse können nicht stattfinden!**



Zeit \rightarrow

- z.B. Beta"zerfall" des Neutrons



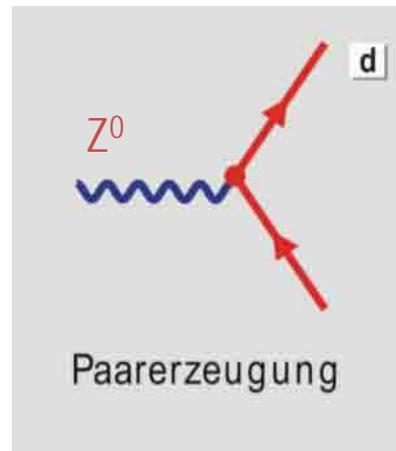
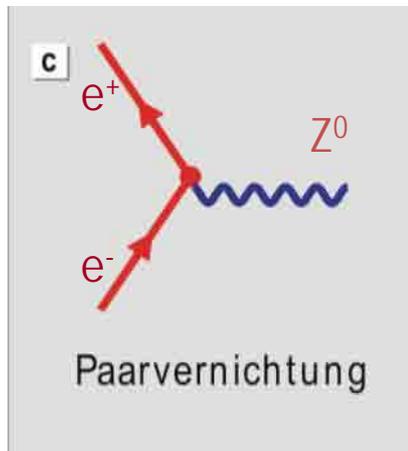
Anm: Pfeilrichtung β symbolisiert Antiteilchen
Es läuft trotzdem in der Zeit nach rechts

Beispiel: Kalium 40

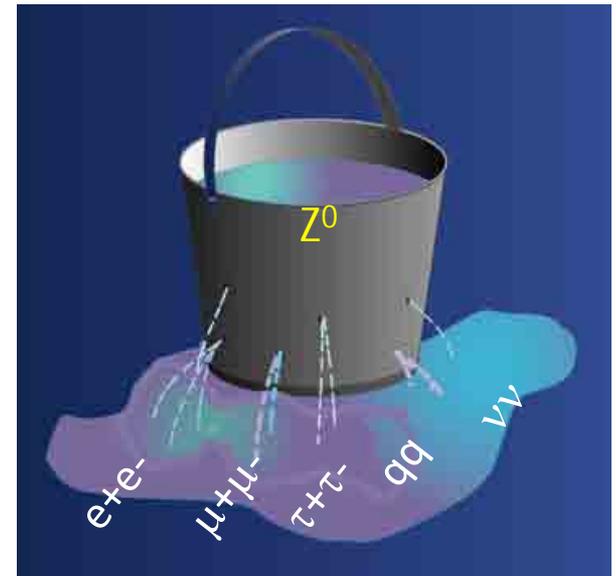
- Instabiles Isotop mit 40 Nukleonen (19 Protonen und 21 Neutronen)
- Zerfällt durch den Beta minus- oder Beta pluszerfall mit Halbwertszeit von 1,28 Mrd. Jahren
- für den menschlichen Körper lebensnotwendig:
 - Regelt als Mineralstoff Wassergehalt in den Zellen
 - Wichtiger Elektrolyt der Körperflüssigkeit.
 - Ca jedes 9000ste Kaliumatomder ca. 100-150g Kalium in unserem Körper ist Kalium-40.
- Animation: 
potassium.swf
- Aufgabe für Jugendliche:
 - Mit wie vielen Neutrinos pro Sekunde bestrahlen sie ihre/n Nachbar/in ?

Beispiel: Messung der Z "Zerfälle"

- Das Z Teilchen ist nicht stabil
 - Wandelt sich nach 3×10^{-25} s in andere Teilchen um
- Produktion und Zerfall als Feynmandiagramm:



→
Zeit



Beispiel 3: Messung von W- Zerfällen

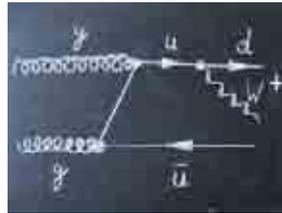
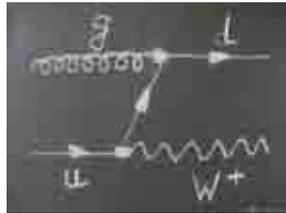
<https://kjende.web.cern.ch/kjende/en/wpath.htm>

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

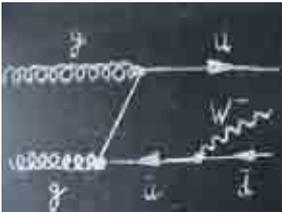
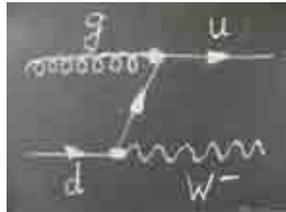
$q+g \rightarrow W+X$

$g+g \rightarrow W+X$

W^+



W^-



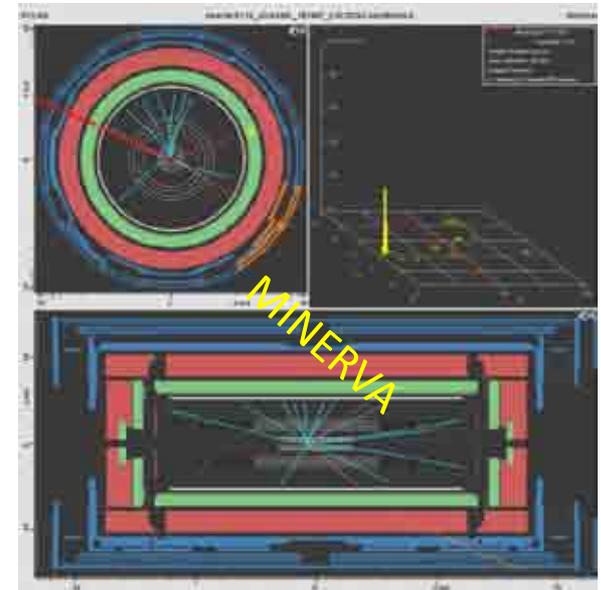
- Ladungsasymmetrie (weil $p = uud$)

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

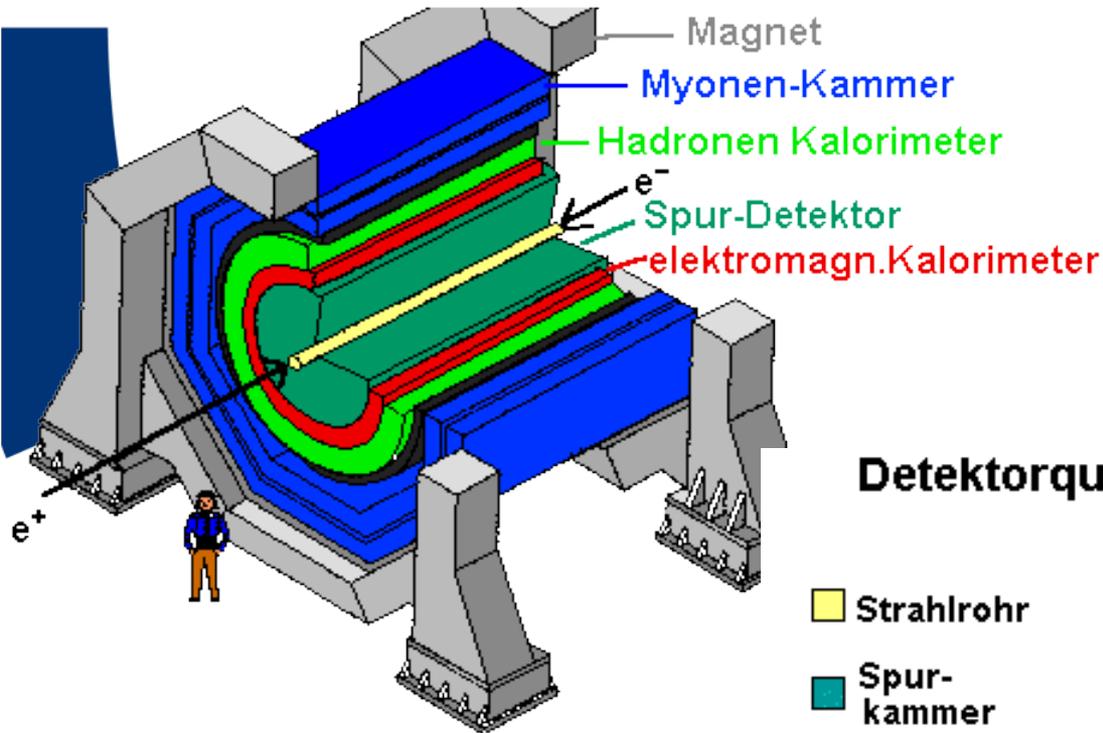
- Messung der Jugendlichen:
- Vergleich erste ATLAS Veröffentlichung: CERN-PH-EP-2010-037 (October 2010)

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

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



II.3. Erlernen von Teilchenidentifikation

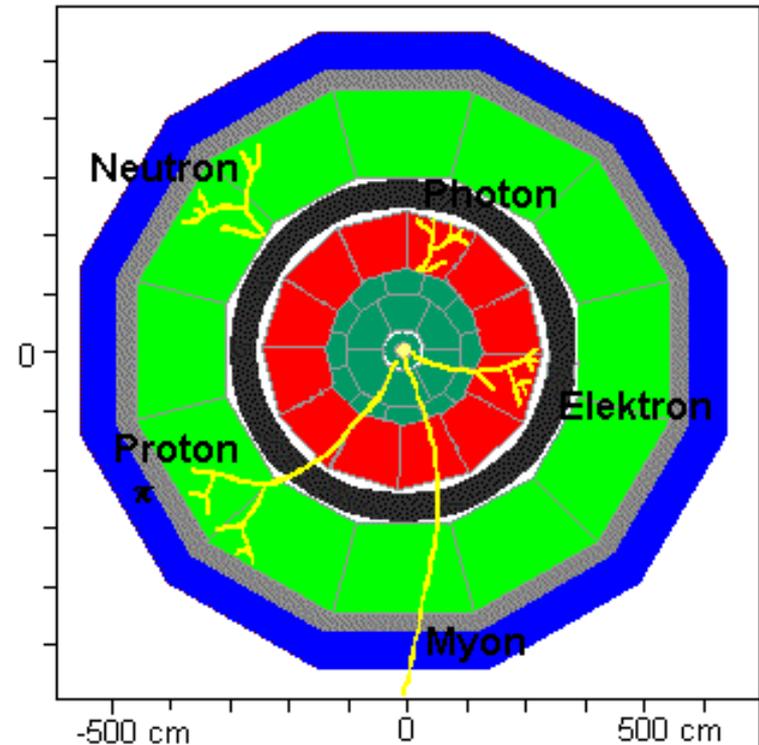


- Zwiebelschalenartiger Aufbau verschiedener Komponenten
- Jede Teilchenart hinterlässt bestimmte Kombination von Signalen in den Komponenten
- **Aufgabe: Mustererkennung**

Detektorquerschnitt mit Teilchenspuren

- **Feststellbare Eigenschaften:**
 - aus Quarks („Hadronen“)
 - elektr. geladen / ungeladen
 - leicht / schwer
- **Kenntnis - Voraussetzung:**
 - Teilchenladungen
 - Teilchenmassen
 - Teilchensubstruktur

- Strahlrohr
- Spur-kammer
- mag. Spule
- elektr.mag. Kalorimeter
- hadron. Kalorimeter
- magnet. Eisen
- Myonen Kammer

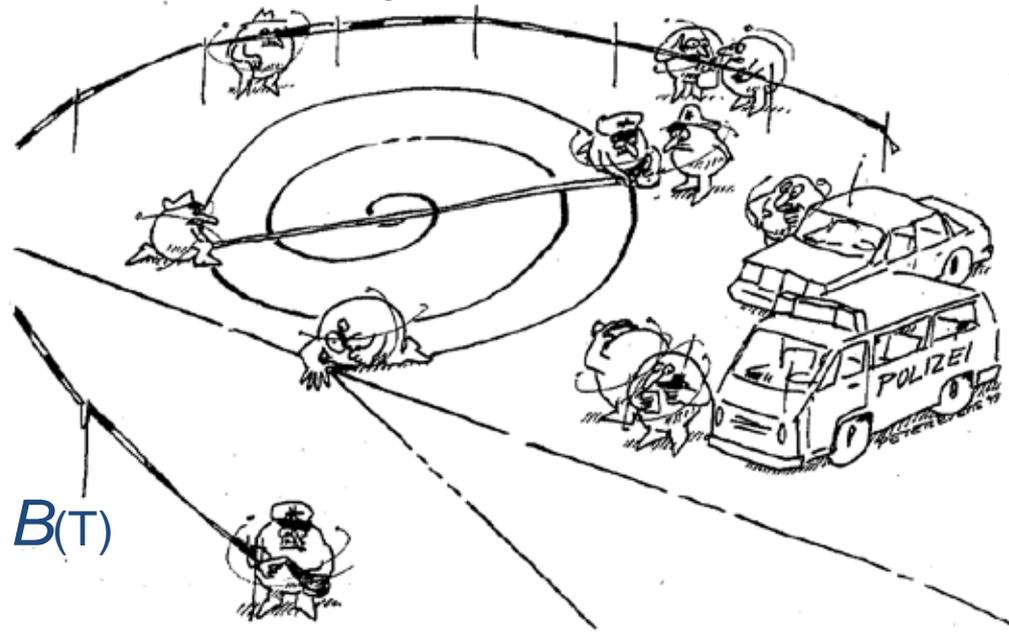


Innerste Lage: Spurdetektoren

- Wechselwirkung: Ionisation (elektromagnetisch)
- Messung des Impulses über Spurkrümmung r im B-Feld

$$p = Q e r B$$

$$p(\text{GeV}/c) = 0.3 Q r(\text{m}) B(\text{T})$$

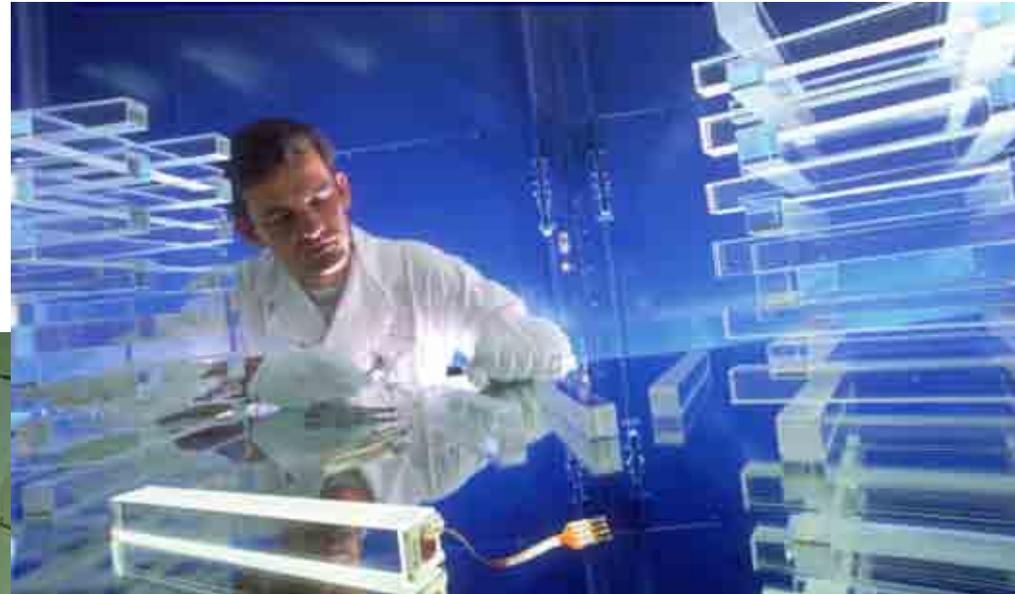


AUS DEN SPUREN MUSS MÜHSAM REKONSTRUIERT WERDEN,
WAS TATSÄCHLICH PASSIERT IST.

- **Teilchenidentifikation:**
 - Elektrisch geladene Teilchen erkennbar
 - Vorzeichen der elektrischen Ladung

Nächste Lage: Elektromagnetisches Kalorimeter

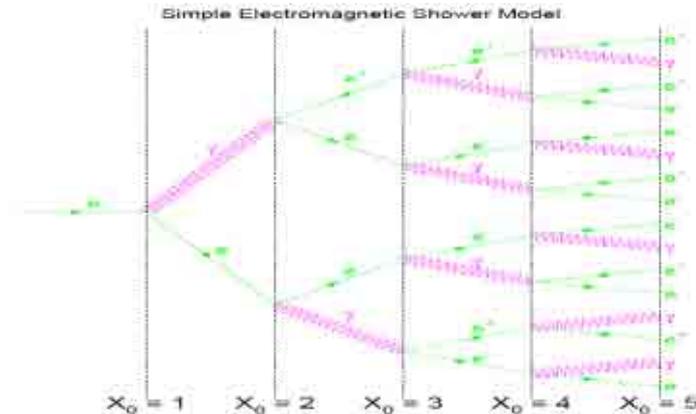
- Elektromagnetischer Schauer:
 - Entsteht bei *leichten* Teilchen über elektromag. Wechselwirkung
 - \rightarrow e und γ geben hier ihre gesamte Energie ab



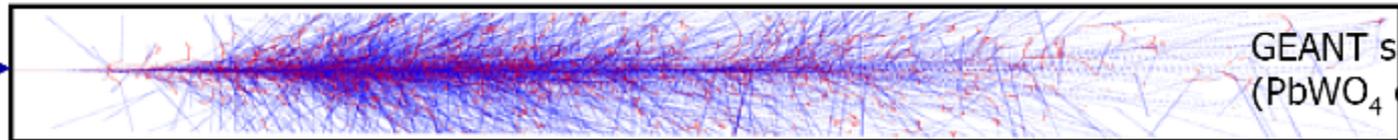
107

Wolfgang Funk - CERN CMS

8



e



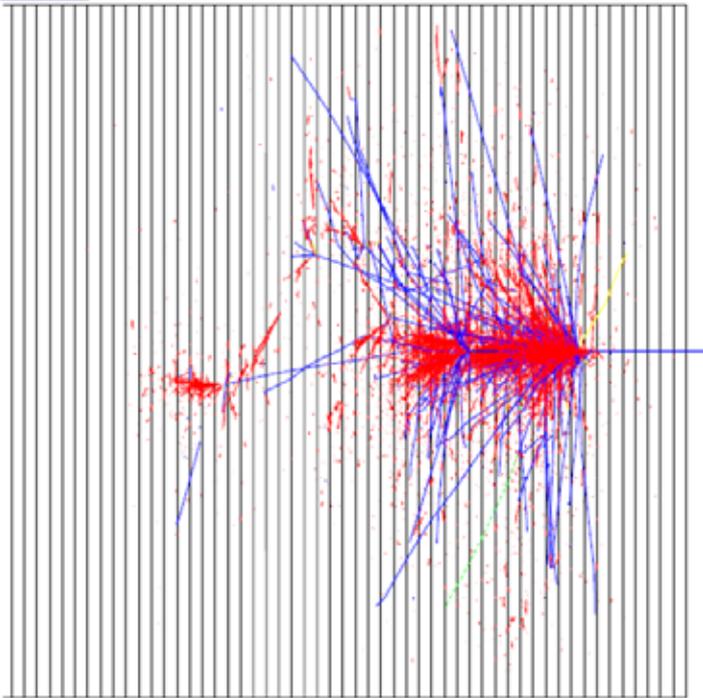
GEANT shower
(PbWO₄ crystal)

Nächste Lage: Hadronische Kalorimeter

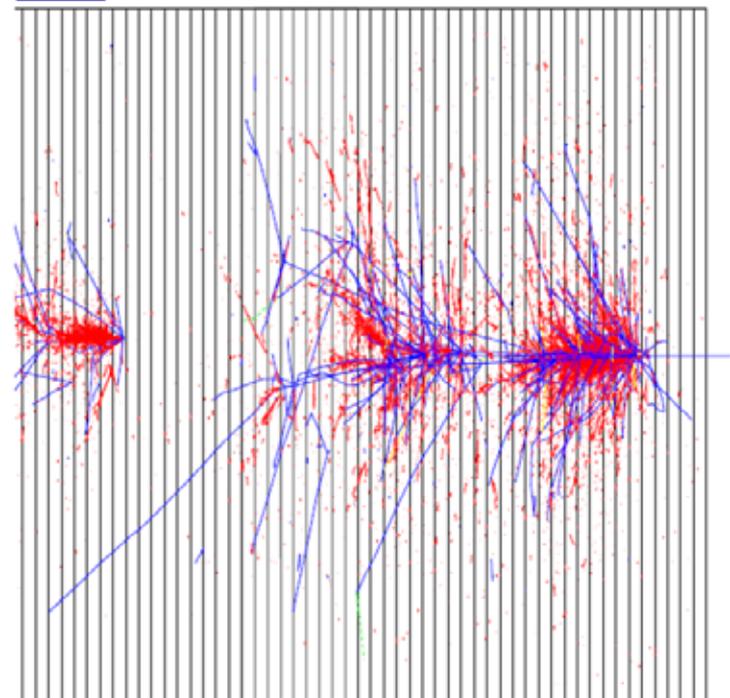
- Hadronische Schauer

- Nur bei Hadronen, d.h. Teilchen aus (Anti-)Quarks die mit den Atomkernen im Kalorimeter stark wechselwirken können
- **Hadronische (Ionisation)** und **Elektromagnetische** ($p^0 \rightarrow gg$) Komponente
- wesentlich unregelmäßiger als elektromagnetischer Schauer

1.

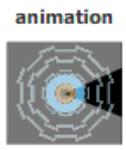


2.

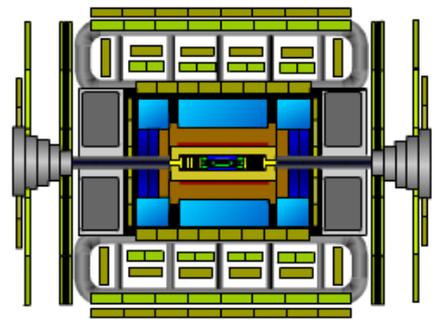
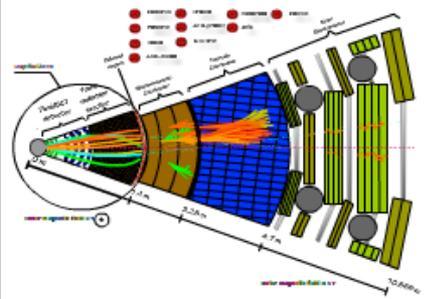
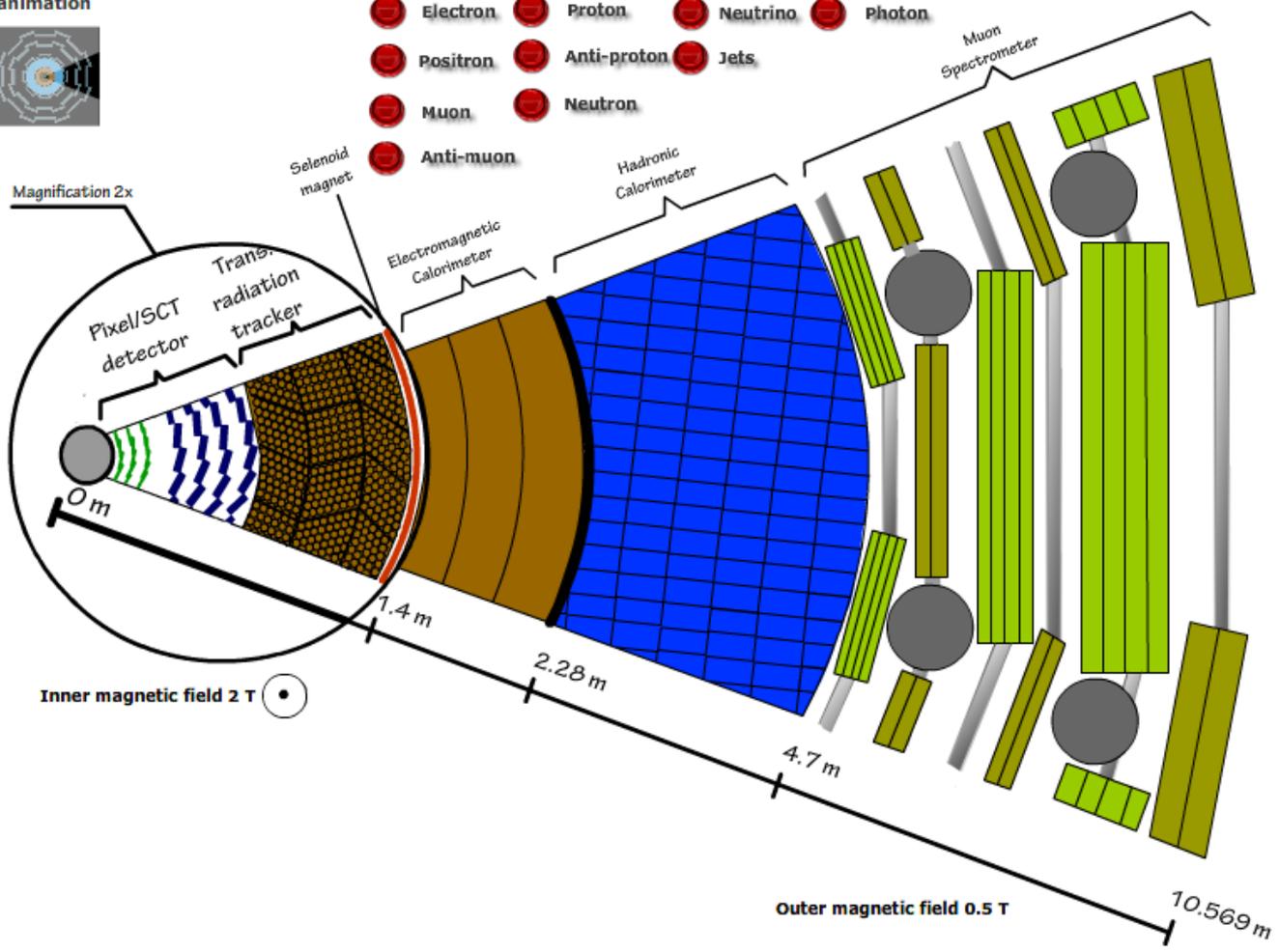


red - e.m. component
blue - charged hadrons

ATLAS



- Electron
- Proton
- Neutrino
- Photon
- Positron
- Anti-proton
- Jets
- Muon
- Neutron
- Anti-muon

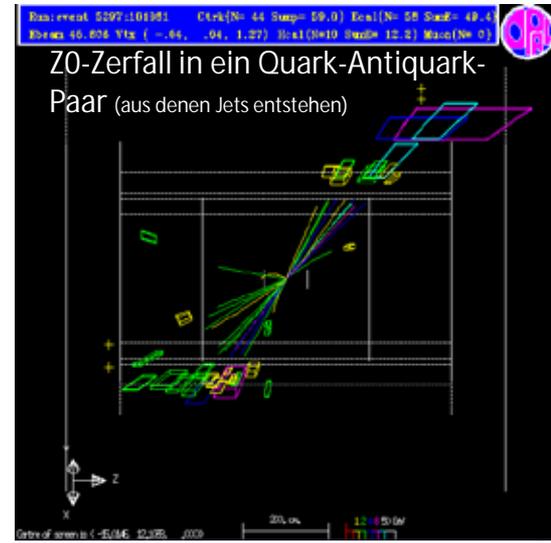
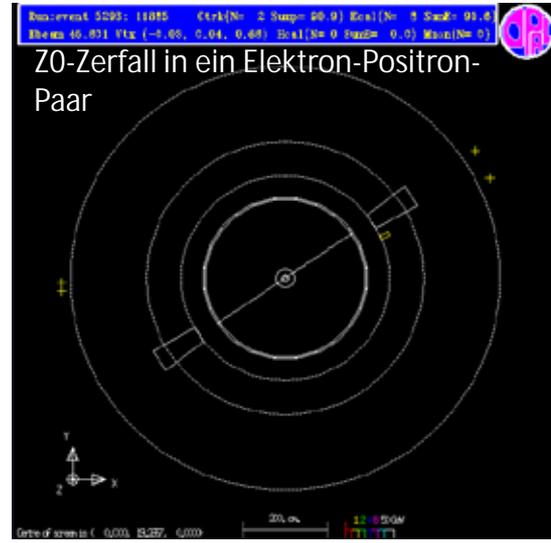
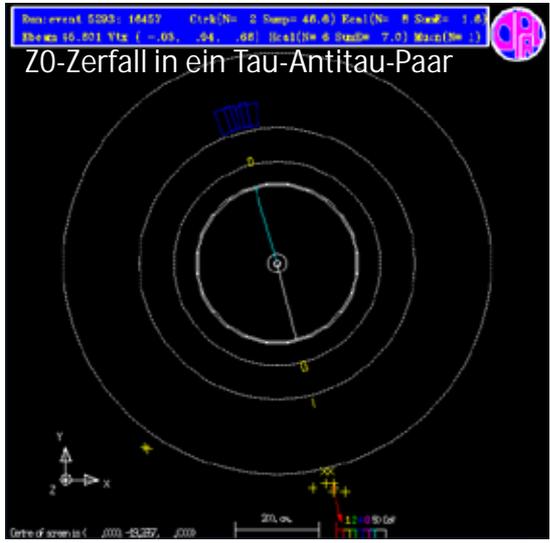


Created by Jeřábek, Jende 2010



Atlas_9.swf

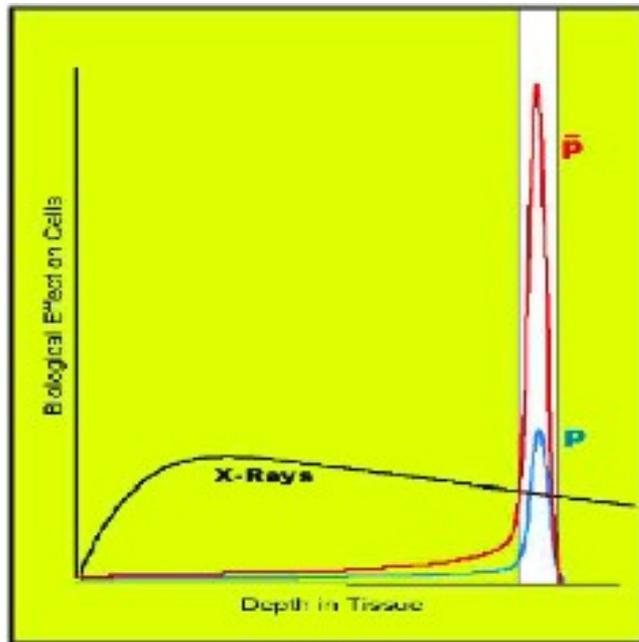
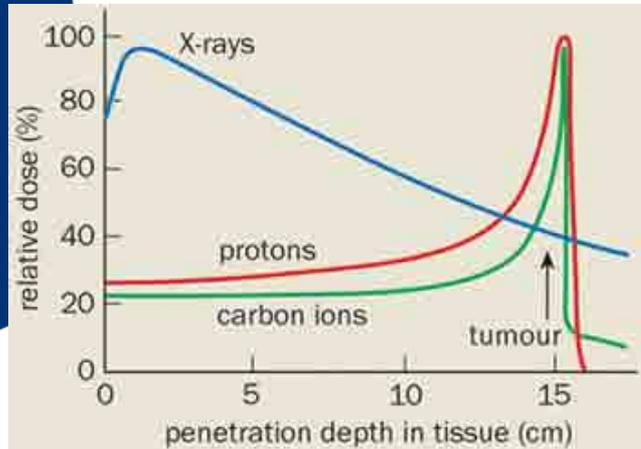
https://kjende.web.cern.ch/kjende/de/wpath_teilchenid1.htm



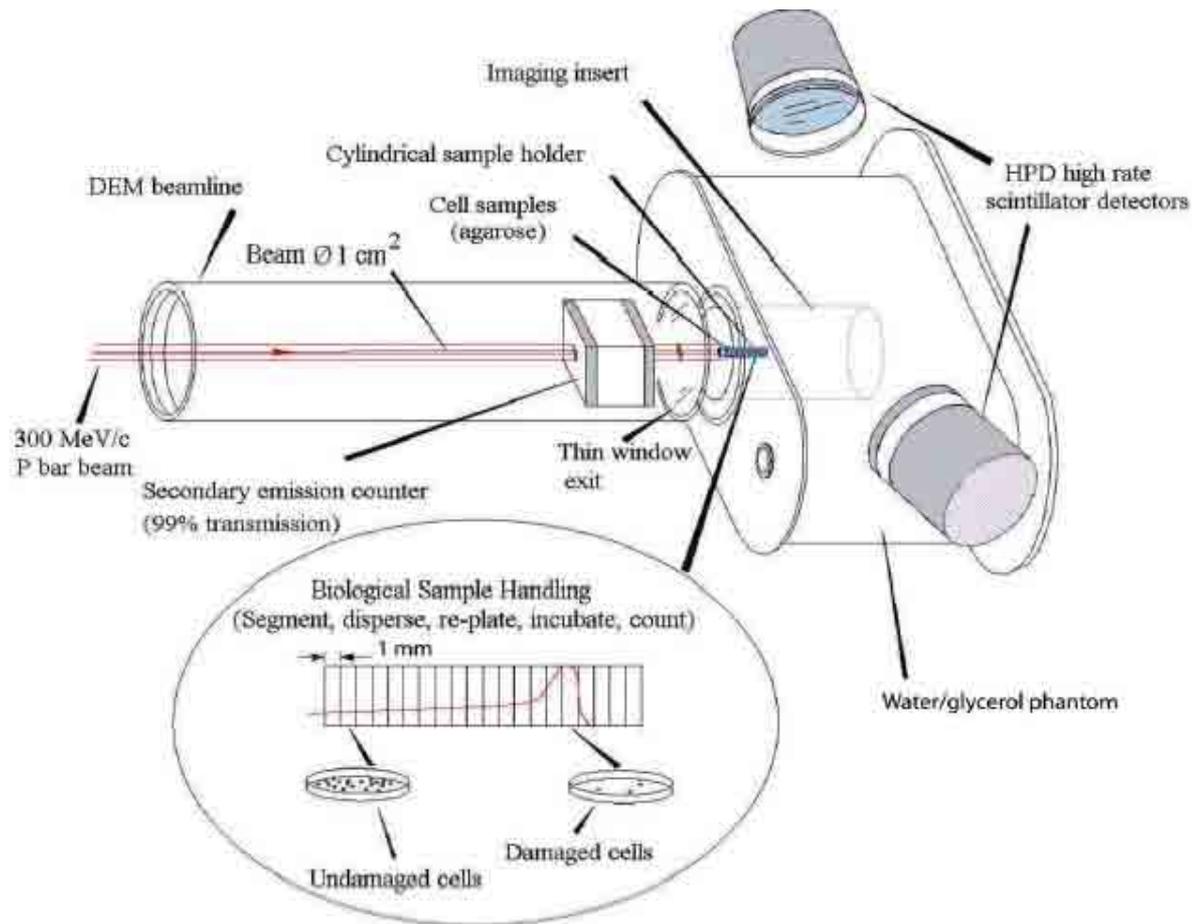
Ereignisbilder eines LEP-Experimentes

1000 solcher Ereignisse werden von Jugendlichen (100 je Gruppe) analysiert und kategorisiert

III. Anwendung von Antimaterie: Tumorbekämpfung



ACE Experiment bei CERN



*) Antiproton Cell Experiment



Netzwerk Teilchenwelt

Netzwerk Teilchenwelt: Bundesweite Struktur

24 Institute an 22 Standorten

20 Standorte:
Teilchenphysik Masterclasses

11 Standorte:
Fortbildungen für Lehrkräfte

Neu: 15 Standorte
Astroteilchen-Experimente

Kontakt: stadtxy@teilchenwelt.de



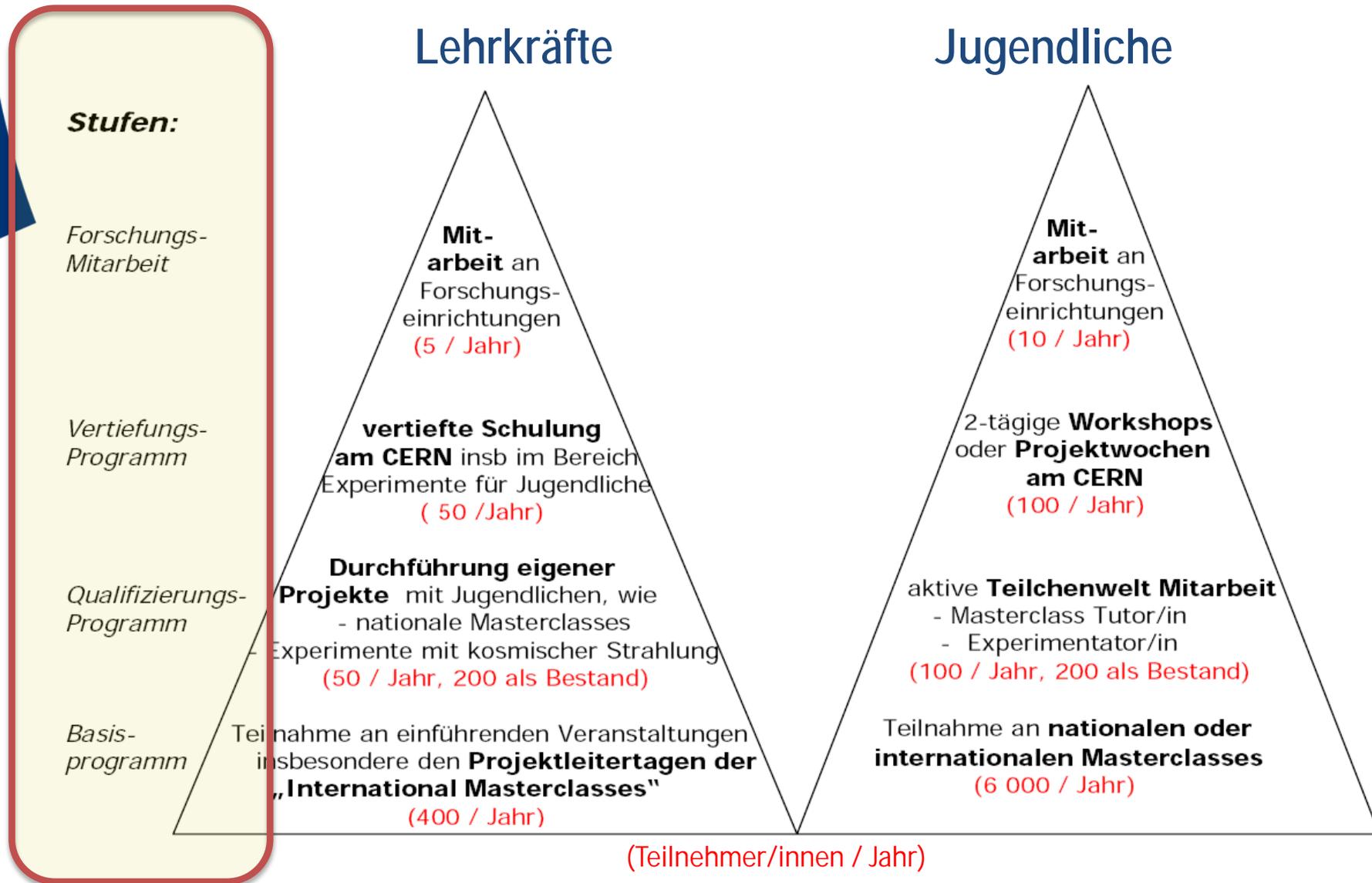
Idee und Ziele von Netzwerk Teilchenwelt

Jugendliche und Lehrkräfte begeistern über

- nachhaltige und authentische Lehr-, Lern- und Forschungserfahrungen mit **Daten realer Experimente**
- direkten **Kontakt mit Wissenschaftler/inne/n**
- **Grundlagenforschung:** Kulturgut und Erkenntnisgewinn
- Aktuelle Forschung: **methodisch u. thematisch**
- Darüber hinaus:
 - Ausbildung junger WissenschaftlerInnen in Kommunikation
 - Einblicke für Studien- und Berufswahl Jugendlicher



Mehrstufiges Angebot: Breiten- und Spitzenförderung



Projektstruktur

Deutschland
Land der Ideen



Ausgewählter Ort 2011

- Projektleitung/-koordination: TU Dresden
- Messung kosmischer Strahlung: DESY, Zeuthen
- Vor-Ort Workshops: CERN
- Begleit- und Kontextmaterialien: Uni Würzburg
- Wissenschaftliche Evaluation: TU Dresden
- Finanzierung: BMBF
- Partner Webauftritt: www.weltderphysik.de
- Schirmherrschaft: DPG



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung





Viele Köpfe im Team...

... z.B. beim internen Workshop zu den Kontextmaterialien im Netzwerk am DESY in Zeuthen Juni 2011

- **Mobiles Schülerlabor**

- Doktorand/inn/en gehen an Schulen und außerschulische Lernorte
- bringen Originaldaten der CERN Experimente mit
- halten Einführungsvortrag über Teilchenphysik
- leiten Messungen und Diskussion der Ergebnisse an
zusammen mit Lehrkräften und/oder Jugendlichen aus Qualifizierungs-Stufe

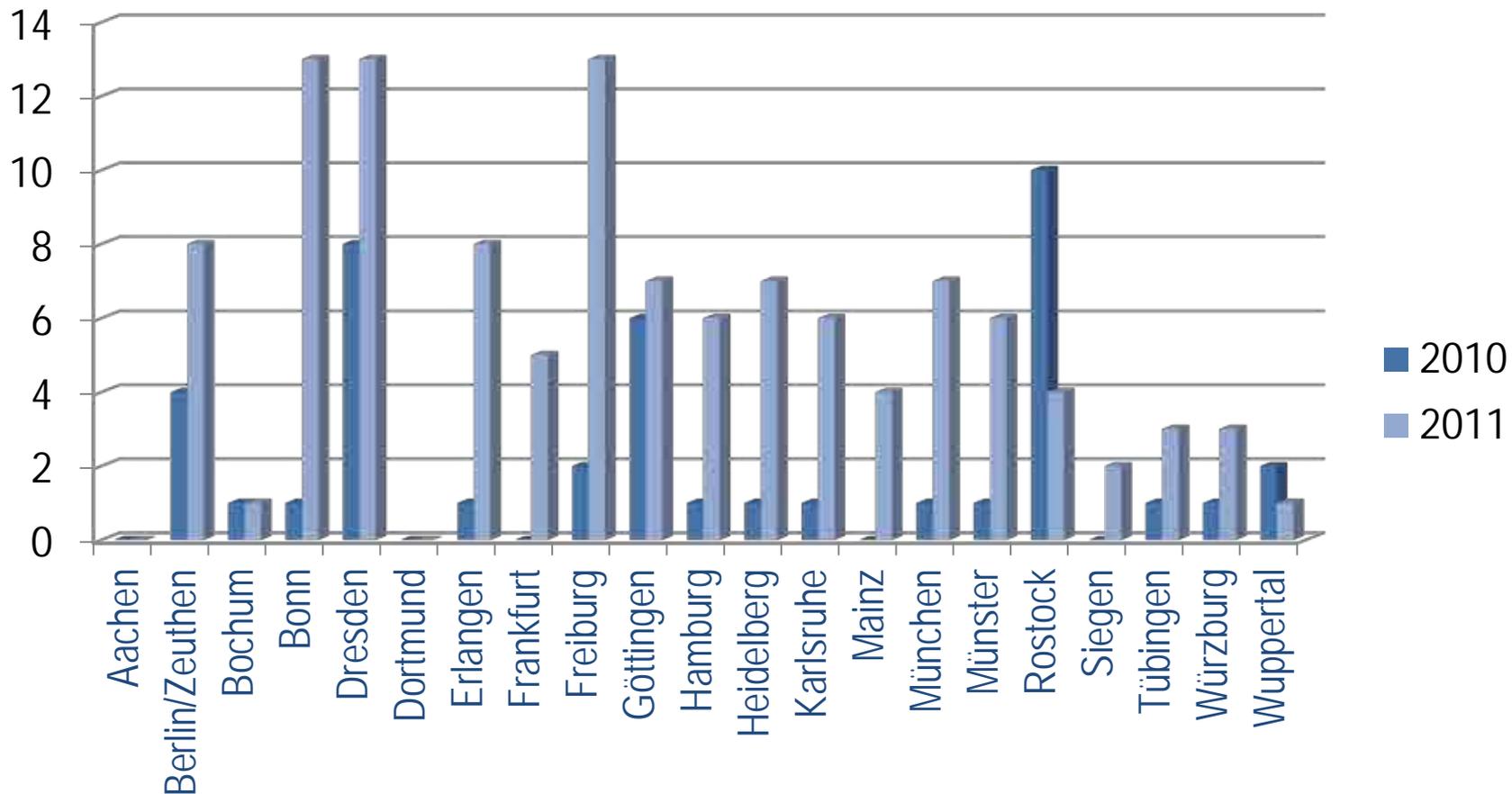
- **Halb- oder Ganztagesveranstaltung (5 Stunden)**

- Seit 2011 auch Messungen mit **echten Daten des LHC**

- Drei der 4 Experimente des LHC vertreten: ATLAS, CMS, ALICE
 - Messungen zum Aufbau des Protons aus 3 Quarks
 - Massenrekonstruktion aus Zerfallsprodukten schwerer Teilchen
 - Suche nach neuen Teilchen (wie z.B. Higgsteilchen)
 - Suche nach neuen Materiezuständen (z.B. Quark-Gluon Plasma)

- **Aktuelle Forschung im Klassenzimmer**

Masterclasses im Netzwerk 2010/2011



Gesamtzahlen: 2010 = 42 (geplant 40), 2011 = 120 (geplant 80), 2012 bisher ca. 60

**Bereits 2011 im Mittel an mehr als jedem 2. Schultag
eine Netzwerk Masterclass irgendwo in Deutschland!**

Qualifizierungsprogramm

- Qualifikation als Netzwerk-Mitglied über **Weiterverbreitung der eigenen Erfahrungen bzw. des Programms**

- Tutor/in bei anderen Masterclasses (Jugendliche)
- Dokumentation / Projektarbeiten / Vortrag (Jugendliche)
- Veranstaltungsorganisation (Lehrkräfte)

- **Beispiel: Cosmic Lab am DESY in Zeuthen**

http://physik-begreifen-zeuthen.desy.de/angebote/kosmische_strahlung

Themen

- Rate kosmischer Teilchen (Winkel, Luftdruck, Tageszeit)
- ausgedehnte Luftschauer d. kosmische Strahlung
- Lebensdauer des Myons

Methoden

- Eigenst. Experimentieren
- Daten über Webinterface

Abschlusspräsentationen der Jugendlichen

- Projektarbeiten
- Poster, Webseiten

Kosmische Strahlung

Geschichte der Entdeckung
 1896: Henri Becquerel entdeckt die Radioaktivität.
 1912: Victor Hess entdeckt die kosmische Strahlung.
 1927: Carl D. Anderson entdeckt das Positron.
 1936: Pierre Auger entdeckt die kosmischen Luftschauer.
 1955: James Watson und Francis Crick entdecken die DNA-Struktur.

Kosmische Teilchen
 Primäre Teilchen: Protonen, Neutronen, Kerne von Elementen.
 Sekundäre Teilchen: Elektronen, Positronen, Myonen, Neutronen, Photonen.

Cherenkov-Licht
 Entdeckung von Pavel Andrejewitsch Tscherenkow.
 1935: Nobelpreis für die Entdeckung der Cherenkov-Strahlung.

Photomultiplier
 Entdeckung von Boris Rostislavowitsch Wroblewski.
 1938: Nobelpreis für die Entdeckung der Cherenkov-Strahlung.

IceCube
 Das IceCube-Neutrino-Observatorium ist ein Neutrino-Observatorium in der Antarktis.
 Es besteht aus 86 Neutrino-Detektoren, die in einer Kaskade von 3250 Metern unterhalb der Erdoberfläche in der Antarktis installiert sind.

IceTop
 Das IceTop-Experiment ist ein Experiment zur Beobachtung von kosmischen Luftschauern.
 Es besteht aus 16 Detektoren, die auf dem Eis der Antarktis installiert sind.

Pierre-Auger-Observatorium
 Das Pierre-Auger-Observatorium ist ein Observatorium für kosmische Luftschauer.
 Es besteht aus 16 Detektoren, die in einer Kaskade von 1400 Metern unterhalb der Erdoberfläche in der Argentinien installiert sind.

Kartusche
 Eine Kartusche ist ein Behälter für die Messung der kosmischen Strahlung.
 Sie besteht aus einem Detektor, der in einer Kartusche untergebracht ist.

Messergebnisse Kamiokande-Experiment
 Das Kamiokande-Experiment ist ein Experiment zur Beobachtung von kosmischen Luftschauern.
 Es besteht aus 11 Detektoren, die in einer Kaskade von 1000 Metern unterhalb der Erdoberfläche in Japan installiert sind.



Cosmic Trigger Hodoskop



Qualifizierungsprogramm

- Lehrkräfte: Qualifikation zu „Teilchenwelt Multiplikator/in“
 - Durchführung / konkrete Planung eigener Veranstaltungen mit Unterstützung des Netzwerks, wie z.B.
 - Mitnahme von Fortbildungsinhalten in den Unterricht
 - Teilchenphysik oder Astroteilchen-Masterclasses,
 - Mehrtägige Astroteilchen-Projekte
 - weiterführende Projekte
 - Tätigkeit als Multiplikatoren der Forschungsvermittlung mithilfe des im Netzwerk erlernten Wissens
 - als Fachbetreuer, z.B. in Lehrerfortbildungen
 - Über Mitarbeit / Rückmeldung / Test der NTW Kontextmaterialien
 - Über Erstellung eigener Unterrichtsmaterialien oder Unterrichtsreihen

Vertiefungsprogramm: CERN-Workshops

- Vertiefende Vor-Ort Angebote
 - Mehrtägig für Jugendliche und Lehrkräfte

Termine 2012 Lehrkräfte:	1.4.-5.4.2012,	7.10.-10.10.2012
Termine 2012 Jugendliche:	30.05.-2.6.2012	31.10.-03.11.2012



Anmeldung Lehrkräfte für Oktober läuft bis 20.Juni

Alle Infos auf www.teilchenwelt.de

Setzt Aktivität wie diesen workshop voraus, zusätzliche Plätze für Multiplikatoren!

Forschungsprogramm Jugendliche

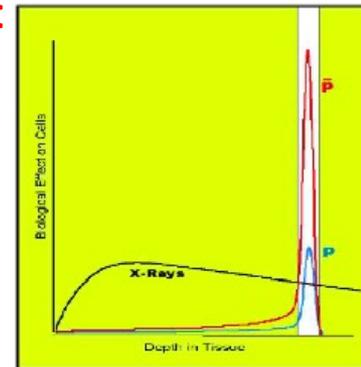
Projektarbeiten an Heimatinstituten Projektwochen am CERN

- Für besonders engagierte Jugendliche
- Gast in den Ingenieurs- und/oder Forschungsgruppen und in deren Arbeit eingebunden
- **aktiv mit eigenen, selbst vorgeschlagenen Projekten**
- Oft Arbeiten für
 - BeLL (Besondere Lernleistung für Abitur)
 - Jugend Forscht, ...
- Benötigt anschließende Betreuung an Heimatinstituten !



Landessieger Mecklenburg-Vorpommern 2012:

- Leander Götz und Johannes Holle (Werkstattschule Rostock)
- **Abbremsung von Antiprotonen in Folien für**
 - Tumorthherapie
 - Experimente mit Antiwasserstoff



Kontextmaterialien Teilchenphysik

- Zur Entwicklung eigener Projekte
- Zur Vor- und Nachbereitung von Masterclasses

Bereits vorhanden:

- Materialsammlung

In Vorbereitung:

- Handouts Masterclasses
- Teilchen-Steckbriefe
- Arbeitsblätter
- Nebelkammer-Anleitung etc.
- ...



DAS PROJEKT | AKTUELLES | MITMACHEN | STANDORTE | MATERIAL | FORUM

Sie sind hier: Material > Materialien zur Teilchenphysik

Materialien zur Teilchenphysik

Hier finden Sie eine Auswahl empfehlenswerter Links und Literatur rund um die Teilchenphysik. Zu jedem Link gibt es eine kurze Beschreibung, das PDF-Dokument in der rechten Spalte enthält außerdem Hinweise, für welche Zielgruppen und für welchen Zweck (Selbststudium, Unterricht, Nachbereitung Masterclass) die Angebote geeignet sind.



Informationen zur Teilchenphysik

Lesestoff im Internet
Unterrichtsmaterialien im Internet
Schulbücher
Bücher und Zeitschriften
FAQs
Aktuelles aus der Teilchenforschung
Experimente und Online-Messungen
Spiele
Comics
Videos
Aktivitäten: Führungen, Schülerlabor, Vorträge...

www.teilchenwelt.de/material



Interaktives Angebot des Netzwerks

- Forum: www.forum.teilchenwelt.de
- E-Newsletter: www.teilchenwelt.de/newsletter
- Facebook: www.facebook.com/teilchenwelt
- Zusammenarbeit mit LHC-Kommunikation Deutschland
www.weltmaschine.de
- Mehr Informationen unter
www.teilchenwelt.de und info@teilchenwelt.de



Danke für Ihre Aufmerksamkeit !

Ich hoffe, manche Anregungen waren nützlich, denn:



BACKUP

ORIGINALSCHAUPLATZ



PARTNER



SCHIRMHERRSCHAFT



PROJEKTLEITUNG



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

15.09.2010

Netzwerk Teilchenwelt – gdcp, Jahrestagung 2010
Konrad Jende, Anne Glück



Ladungen der Bausteine (ohne links-rechts Asymmetrie)

- Q : elektrische Ladung
- I_3^W : schwache "Isospin"-Ladung
- Y^W : schwache "Hyper"-Ladung
- F^S : starke "Farb"-Ladung

• Teilchen	Q	I_3^W	Y^W (= $Q - I_3^W$)		Q	I_3^W	Y^W	F^S	
\bar{u}_e \bar{u}_m \bar{u}_t \bar{u}	0	$+\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$		\bar{u} \bar{c} \bar{t} \bar{u}	$+\frac{2}{3}$	$+\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{6}$	r, b, g
\bar{d}_e \bar{d}_m \bar{d}_t \bar{d}	-1	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$		\bar{d} \bar{s} \bar{b} \bar{d}	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{6}$	r, b, g

u_e u_m u_t u	+1	$+\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$		u c t u	$+\frac{1}{3}$	$+\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{6}$	r, b, g
d_e d_m d_t d	0	$-\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$		d s b d	$-\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{6}$	r, b, g

- Antiteilchen

Mechanische Analogie zur Higgs Produktion

- Luft (~ Higgsfeld) normalerweise kaum zu spüren
am Besten erfahrbar, wenn in Bewegung
- Objekte hoher Energie erzeugen Anregungen der Luft
- Objekte hoher Masse erzeugen Anregung im Higgsfeld
= Higgs-Teilchen

