

Vermittlung fundamentaler Physik an Schulen am Beispiel der Teilchenphysik

Michael Kobel, TU Dresden

DPG Lehrkräftetag 2016

01.03.2016



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN



JOACHIM
HERZ
STIFTUNG



NETZWERK
TEILCHENWELT

I. Fundamentale Physik

- ▶ Warum sind die Dinge so, wie sie sind?
- ▶ Erforschung grundlegender Fragen nach Entstehung und Aufbau der Welt (Urknall, Kosmologie, Materie, Bausteine, Wechselwirkungen...)



Mikrokosmos



Makrokosmos

Nachwuchs und Dialog

- ▶ „Die **Sicherung des wissenschaftlichen Nachwuchses**, der ja nicht nur für sie selbst, sondern für die Zivilgesellschaft als Ganzes von hervorragender Bedeutung ist, wird nicht durch PR-Kampagnen erreicht, sondern durch die Konzentration auf jene Öffentlichkeiten, um deren Gewinnung es letztlich geht.
- ▶ Das sind zum einen [...] Studenten [...]. Zum anderen sind es die **Schüler, deren Neugier in Begeisterung für die Wissenschaft umgewandelt werden muss.** [...]
- ▶ **In solchen Projekten sind die Wissenschaft und Schülerinnen und Schüler in einen wirklichen Dialog eingebunden.“**

Weingart, Peter: Die Wissenschaft der Öffentlichkeit.

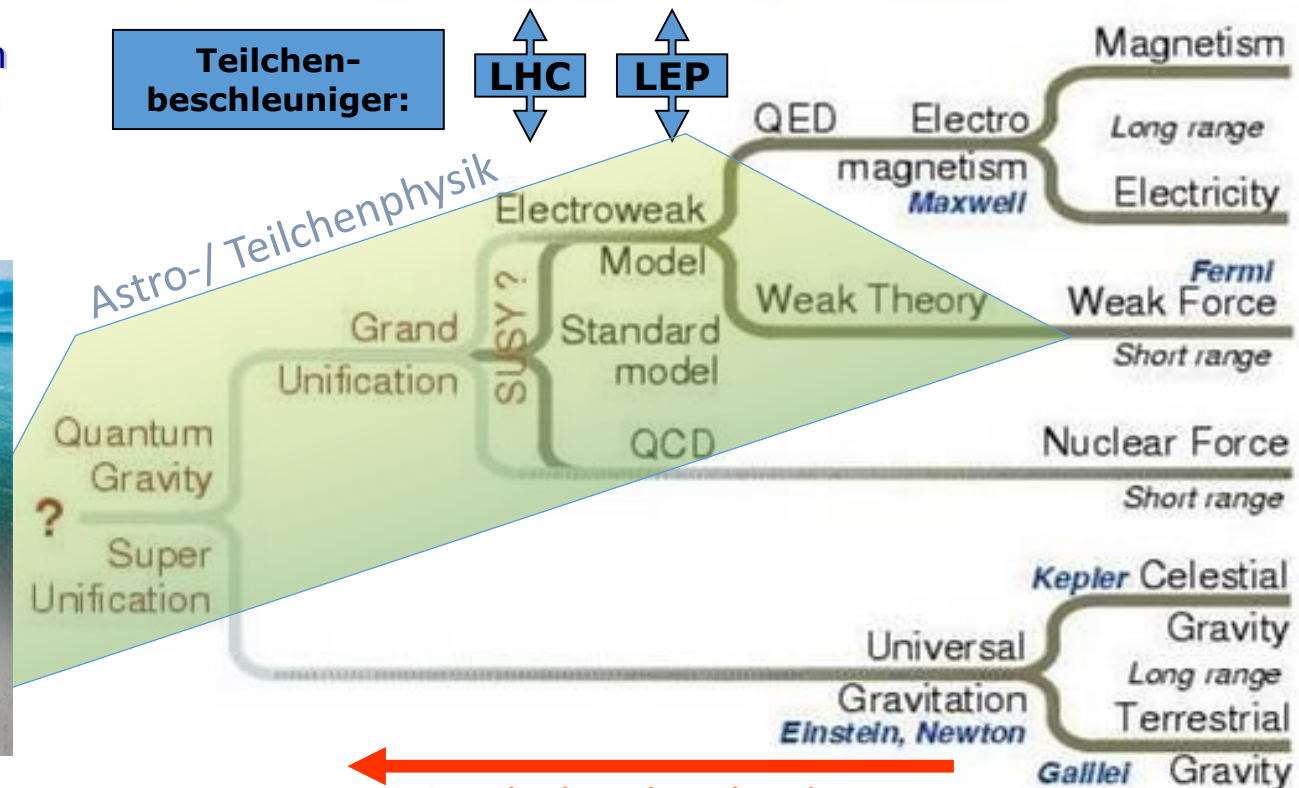
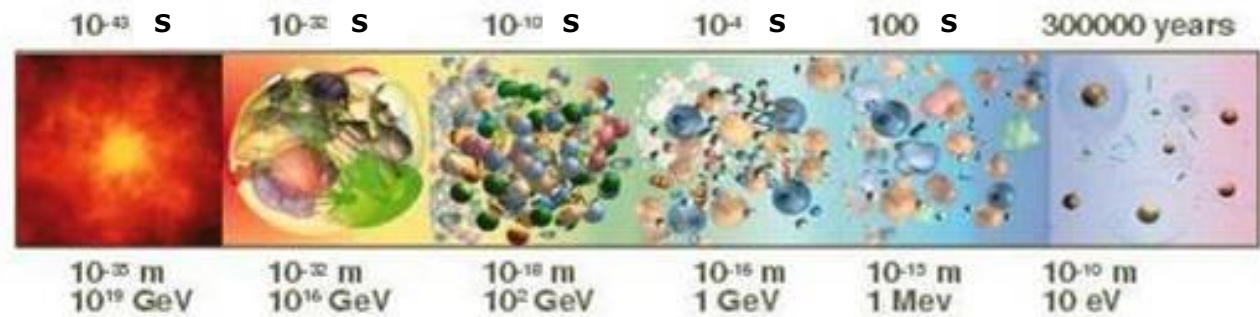
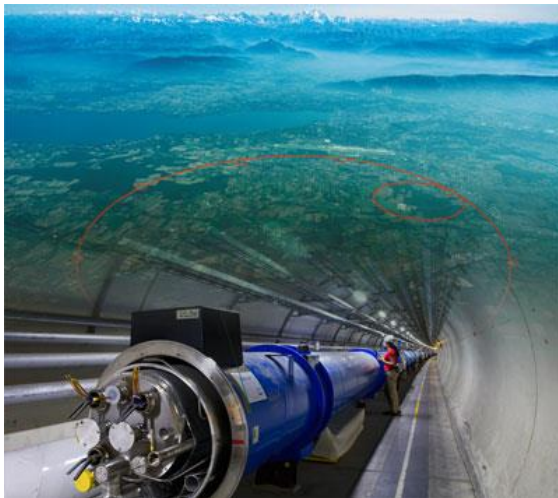
Essays zum Verhältnis von Wissenschaft, Medien und Öffentlichkeit

Velbrück Wissenschaft, Weilerswist 2005

Bedeutung eines „großen Bildes“

► LHC:

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



Geschichte der Physik
Zurück zum Urknall



II. Chancen und Herausforderungen

► Chancen

- Faszination der fundamentalen Fragen
- Faszination der Begriffe (Urknall, Antimaterie, ...)
- Faszination der experimentellen Aufbauten (CERN)
- 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 sehr kurzer Zeit
- Viele neue Konzepte und Vorstellungen
- Herstellung des Bezugs zur Erfahrungswelt

Was leistet die Astro-/Teilchenphysik?

► **Transparenz und Dialog**

- **Transparenz** durch „offene Türen“ des CERN und aller deutscher Forschungseinrichtungen
- **Dialog** zwischen Wissenschaftler/innen, Jugendlichen und Lehrkräften



► **Teilhabe an Daten und Forschung**

- **Veranstaltungen mit Dialog** zu Wissenschaftlern
- **Zugang zu Originaldaten** und Datenanalyse

► **Wissenstransfer in die Schulen**

- **Lehrerfortbildungen** über aktuelle Entwicklungen durch Wissenschaftler
- **Schul-Experimente** für Erfassung eigener Daten
- **Erstellung von Schulmaterialien**
gemeinsam mit Didaktikern, Lehrkräften und Kommunikatoren

► **„Outreach“ ist Teil der fundamentalen Forschung**

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

III. Das Konzept der Masterclasses

► Idee:

- Jugendliche als „Forscher für einen Tag“
- Anleitung durch Teilchenphysiker/in als Experte = “Master” (Meisterkurs)
- Einführende Vorträge
- Messung mit Original-Daten



► 2 Formate:

Netzwerk Teilchenwelt

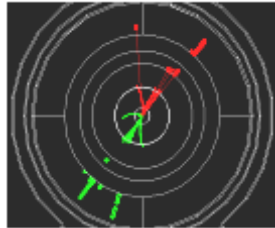
- Lokale Masterclasses überall in D
- ca. 100 Masterclasses / Jahr
- Forscher/innen gehen in die Schulen
- Mehrstufiges Vertiefungsprogramm

International Masterclasses

- Forschungsinstitut lädt Schüler ein
- Einmal im Jahr, 4 Wochen lang
- weltweit
- Videokonferenz mit CERN

III.1. International Masterclasses

www.physicsmasterclasses.org



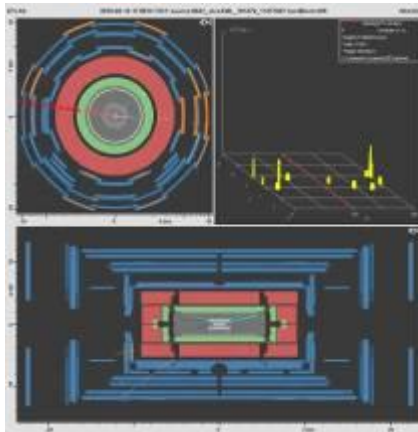
- 1997: erstmals Masterclasses in Teilchenphysik in UK (R. Barlow et al.), Messung mit LEP Daten
 - OPAL Identifying Particles
 - DELPHI Hands on CERN

- 2005: World Year of Physics - EPPOG/IPPOG startet europaweites Programm unter Leitung von M. K.

IPPOG: International Particle Physics Outreach Group
Netzwerk von Wissenschaftlern und Kommunikatoren



- 2006: USA erstmalig dabei (QuarkNet)
- 2011: ausschließlich Messungen mit LHC-Daten
- 2012: alle Kontinente vertreten
- 2014: alle 4 LHC Experimente (ATLAS, CMS, ALICE, LHCb)



Vorträge



Sammeln der Ergebnisse und lokale Analyse



Messungen



Internationale Videokonferenz

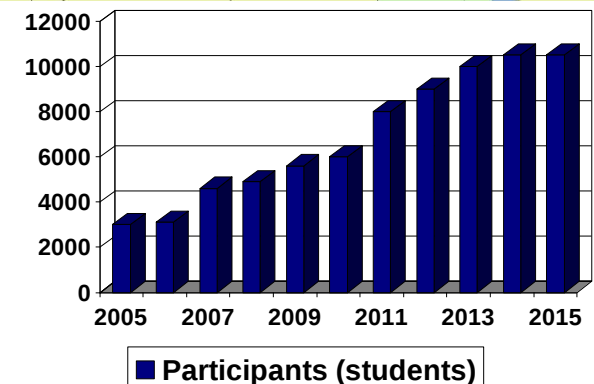
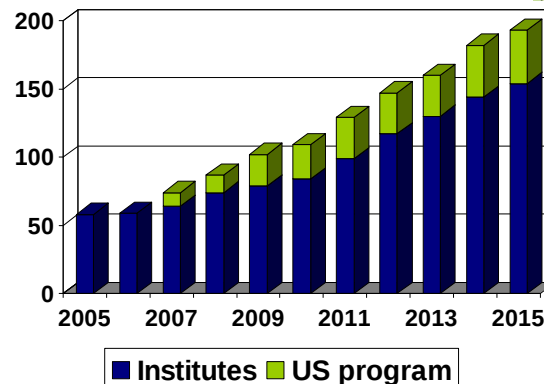
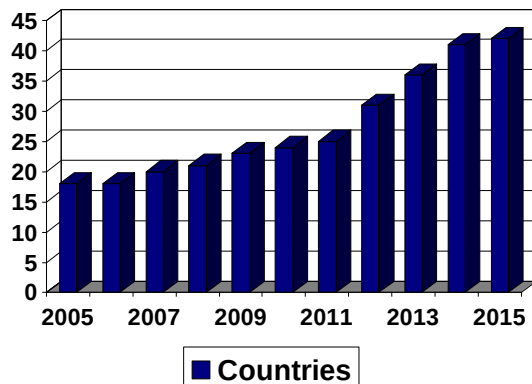


International Masterclasses 2016

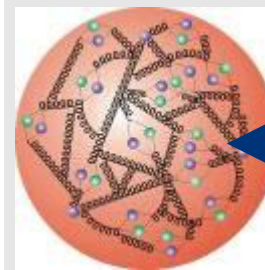
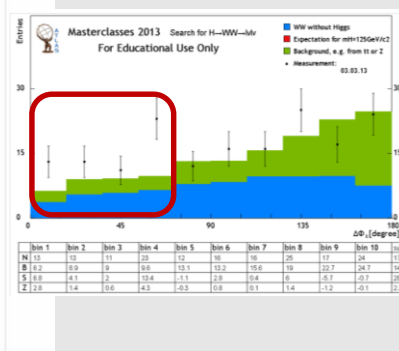
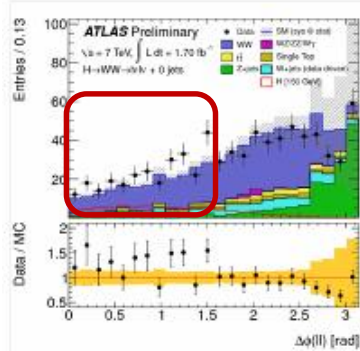
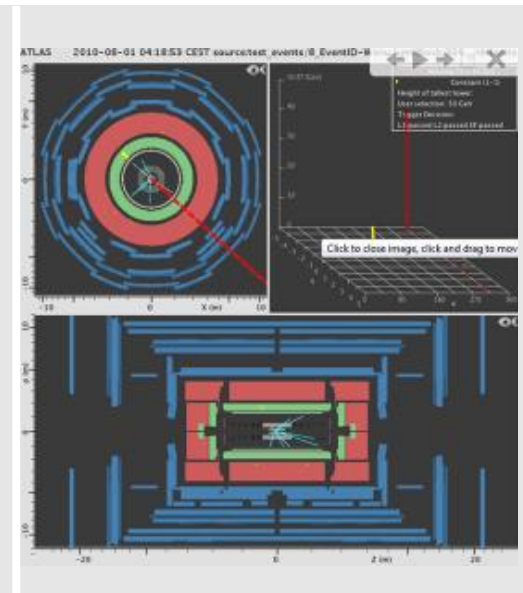
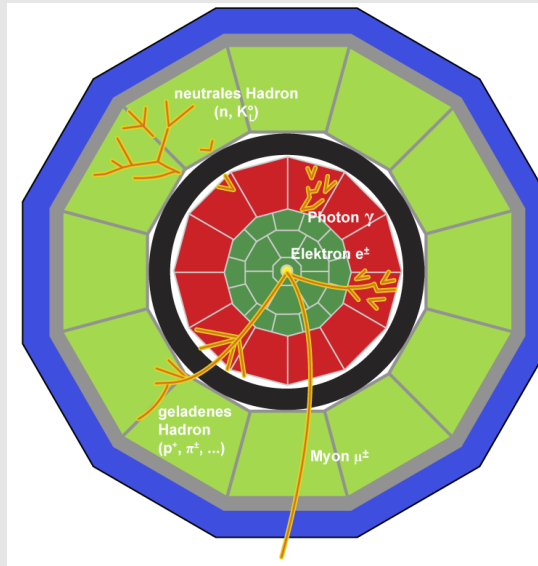
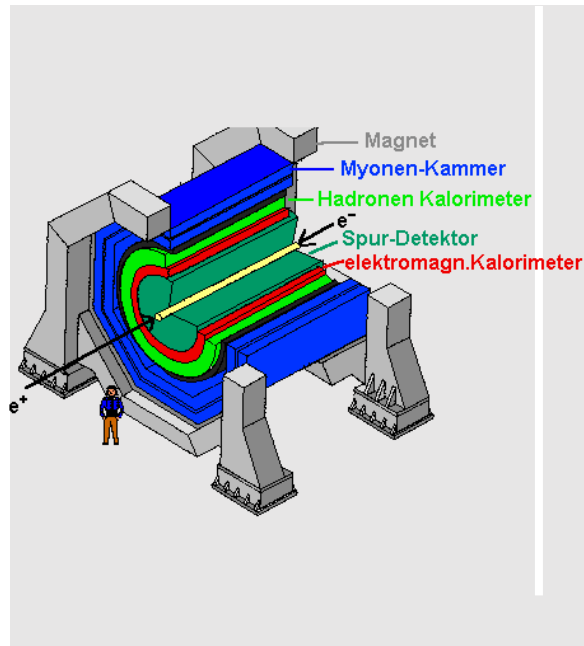


2016: von 11. Februar – 23. März

- 47 Länder, > 200 Unis + Institute
- Koordination
 - Dresden (U. Bilow): blau
 - Fermilab (K. Cecire): grün



Messungen im „W-Pfad“ des ATLAS Experiments



Vorname Nachname Datum 09.07.2013

Gruppe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Gruppe A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Gruppe B	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Gruppe C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Gruppe D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Gruppe E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Gruppe F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Gruppe G	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Gruppe H	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Gruppe I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Gruppe J	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Gruppe K	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Gruppe L	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Gruppe M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Gruppe N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Gruppe O	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Gruppe P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Gruppe Q	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Gruppe R	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Gruppe S	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Gruppe T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Gruppe U	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Gruppe V	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Gruppe W	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Gruppe X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Gruppe Y	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Gruppe Z	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

Higgs-Signal akkumuliert bei kleinen Winkeln

Zerfall von W-Bosonen → Struktur des Protons

Evaluation internationale Masterclasses 2007

► K. Johansson, M.K., et al. Physics education 42 (6), 2007, S. 636 - 644

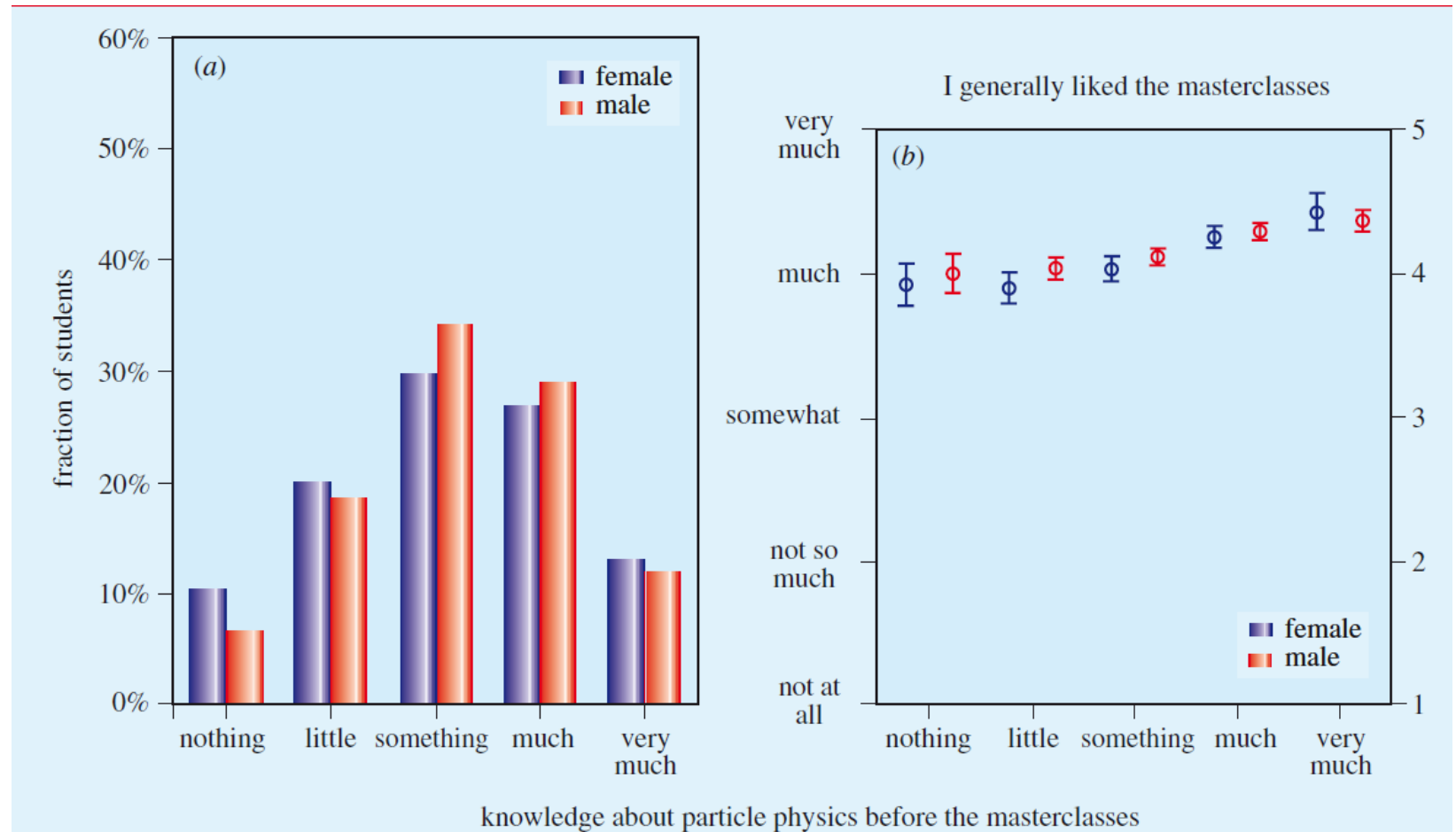


Figure 5. (a) The students' pre-knowledge of particle physics, and (b) the popularity of the masterclasses as a function of it.

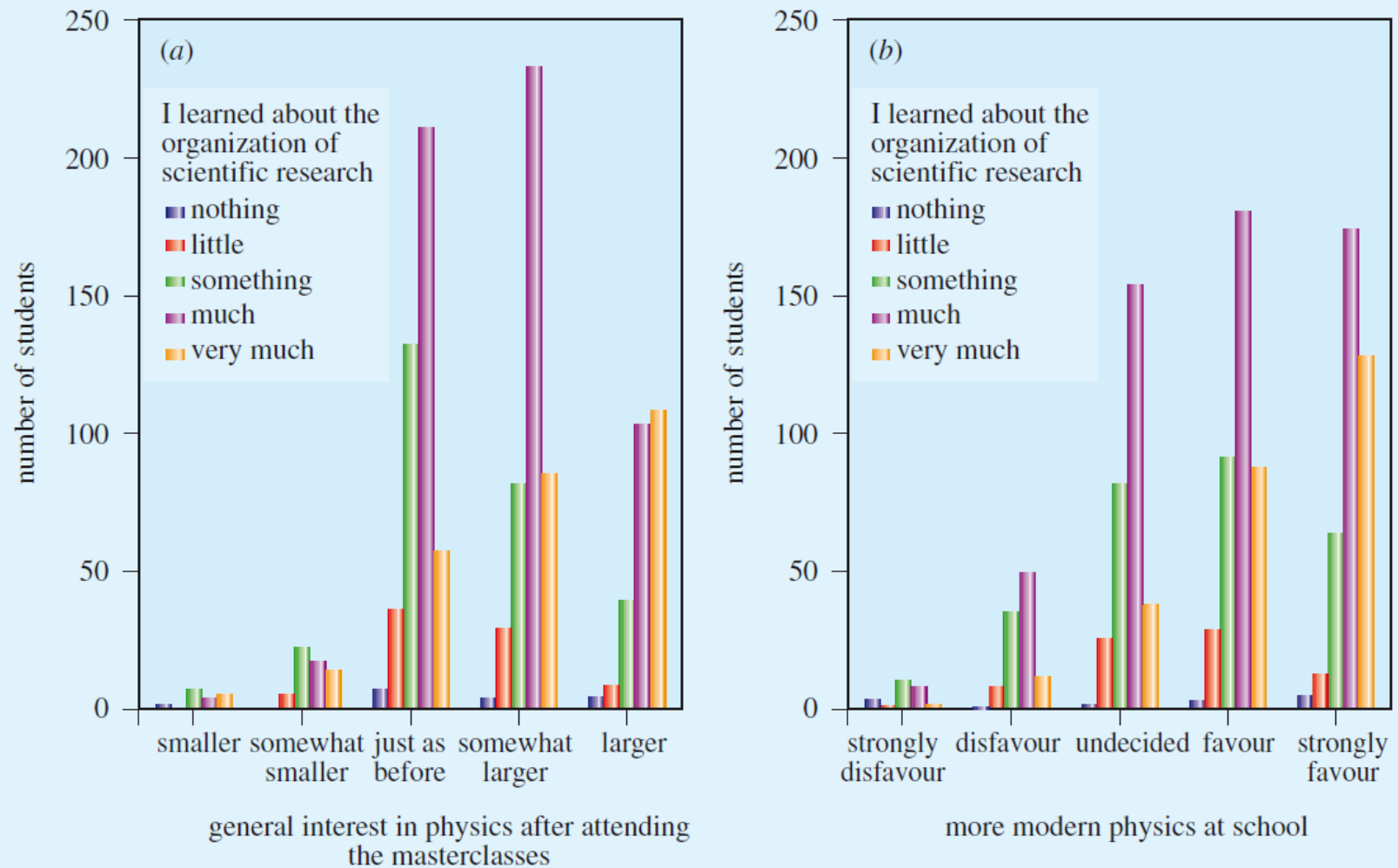
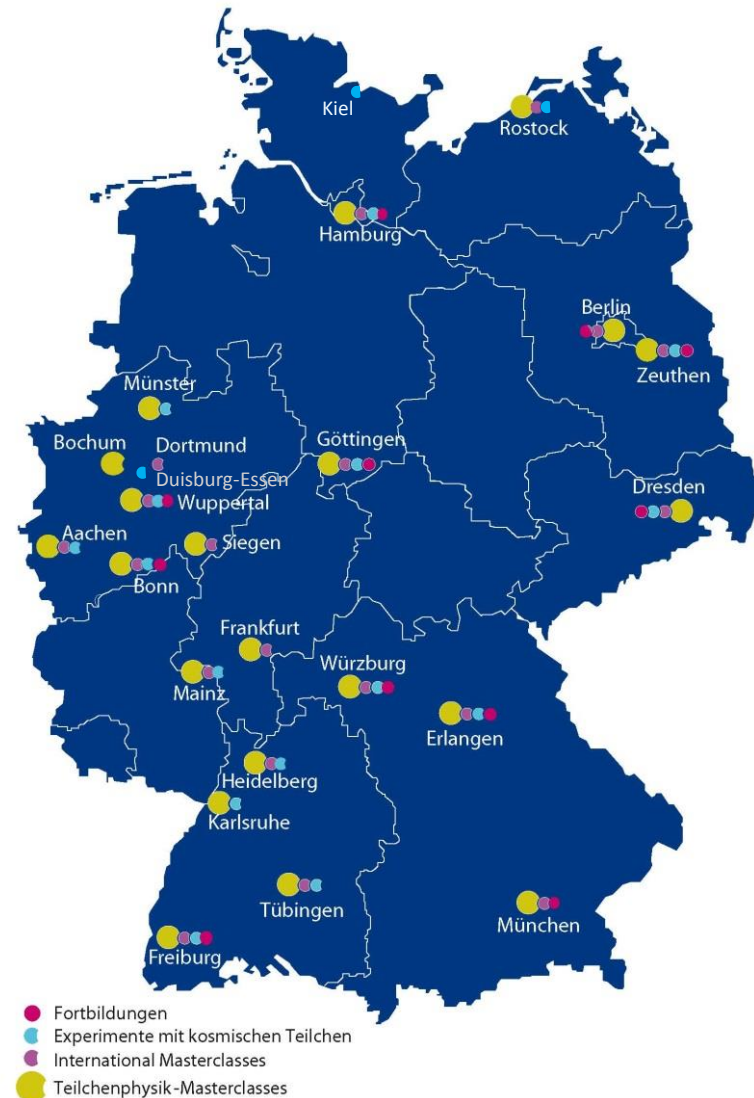


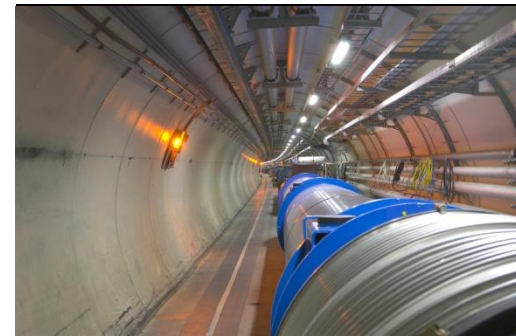
Figure 8. (a) The general increase of interest in physics, and (b) the wish for more modern physics at school after attending the masterclasses. The five columns show how much the participants reported to have learned about the organization of scientific research.

III.2. Netzwerk Teilchenwelt

- ▶ 24 Standorte in 12 Bundesländern
 - insgesamt 26 Institute + CERN
 - Leitung: TU Dresden
- ▶ Daten aus der Teilchenphysik und Astroteilchenphysik in die Schulen bringen
- ▶ Projektziele:
 - Faszination Teilchenphysik erleben
 - Wissenschaft kommunizieren
 - Forschung vor Ort und im Unterricht
 - Wertschätzung von Erkenntnisgewinn durch Grundlagenforschung



Das Konzept

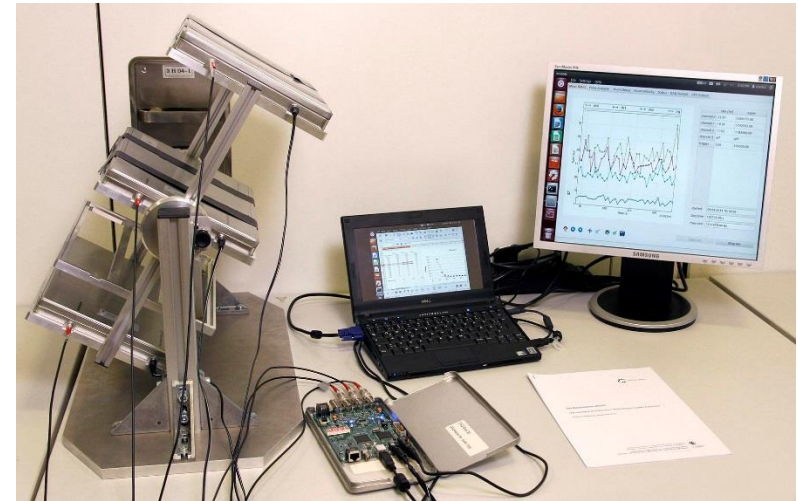


Das Konzept: Stufenprogramm



Projekte mit kosmischen Teilchen

www.teilchenwelt.de/angebote/astroteilchen-experimente



- ▶ Zwei Experimente zum Nachweis kosmischer Myonen:
Kamioke und Szintillationszähler
- ▶ Zur Ausleihe an Schulen nach vorheriger Fortbildung
- ▶ Geeignet für kleinere Gruppen in allen Programmstufen
 - Messungen (Winkel, Lebensdauer, Abschirmung)
 - Datenanalyse (Prüfung von theor. Modellen)
 - Softwareentwicklung (Datennahme, Grafiken)
- ▶ Auch möglich: Bau einer Nebelkammer
(Material zur Ausleihe oder Anleitung zum Selbstbau)



Win⁴ Situation für Beteiligte

► Jugendliche:

- Faszination Forschung über eigene Messungen
- Kontakte zu Unis und Forschern
- Bundesweite Kontakte untereinander (facebook, alumni)



► Lehrkräfte:

- Eigene Weiterbildung
- Austausch mit Kolleg/inn/en und Forschern
- Anregungen und Materialien für den eigenen Unterricht



► Vermittelnde Doktorand/inn/en der Teilchenphysik

- Erkennen gesellschaftliche Relevanz Ihrer Arbeit
- Soft skills: Wissenschaftskommunikation, Didaktik (Zertifikate)
- Blick über den Tellerrand (Teilchen $\leftrightarrow$ Astro, Theorie $\leftrightarrow$ Exp)



► Standorte:

- Tragen eigene Forschung in Schulen und Öffentlichkeit
- Langfristige Kontakte mit den besten zukünftigen Studierenden
- Unterstützung bei Organisation, Material und ggfls Personal (z.B. in Qualifizierungsstufe)



IV. Materialien für die Schule

1. Materialsammlung

www.teilchenwelt.de/material

- 2013 mit Uni Würzburg



▶ Teilchensteckbriefe

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

▶ Hintergrundinformationen und Arbeitsblätter

- Vor- und Nachbereitung von Masterclasses
- Methoden, Anwendungen, Kosmologie
- 72 Seiten



UP-ANTIQUARKS NACHWEIS: 1965	CHARM-ANTIQUARKS NACHWEIS: 1974	TOP-ANTIQUARKS NACHWEIS: 1995
ANTIMATERIE-TEILCHEN	ANTIMATERIE-TEILCHEN	ANTIMATERIE-TEILCHEN
Masse: 2 MeV/c ² Elektrische Ladung: +2/3 Spin: 1/2 Schwache Ladung: -1/6	Masse: 1300 MeV/c ² Elektrische Ladung: +2/3 Spin: 1/2 Schwache Ladung: -1/6	Masse: 173 000 MeV/c ² Elektrische Ladung: +2/3 Spin: 1/2 Schwache Ladung: -1/6
Mittlere Lebensdauer: unbegrenzt	Mittlere Lebensdauer: 10 ⁻¹² s	Mittlere Lebensdauer: 6 · 10 ⁻¹³ s

ANWENDUNGEN DER TEILCHENPHYSIK MEDIZIN

Positronen-Emissions-Tomographie (PET)
Die PET ist eine Diagnosemethode, mit der sich unter anderem Tumore sichtbar machen lassen. Hierfür wird dem Patienten eine Flüssigkeit gespritzt, die Positronen ausstrahlt (ein Beta-Plus-Strahler). Dabei handelt es sich meist um eine spezielle Zuckerlösung, in der Fluor-Atome durch das radioaktive Isotop ¹⁸F ersetzt wurden (Fluor-Desoxyglucose). Da Tumorzellen mehr Zucker verbrauchen als gesunde Zellen, sammelt er sich insbesondere in Tumorgewebe.

Tumorthherapie mit Hadronen
Hadronen werden hauptsächlich drei Methoden verwendet, um Krebs zu behandeln: Operation, Chemotherapie und Strahlentherapie. Bei der herkömmlichen Strahlentherapie werden Tumore mit hochenergetischen Photonen oder Elektronen bestrahlt. Diese ionisieren auf ihrem Weg durch den Körper Moleküle in den Zellen, was wiederum chemische Reaktionen auslöst, welche die Zellen abtöten oder sie an der Teilung hindern. Obwohl die Strahlung möglichst stark auf den Tumor fokussiert wird, schädigt die Behandlung auch gesunde Zellen – insbesondere, wenn der Tumor tief unter der Haut liegt.

Eine neuartige Form der Strahlentherapie, die am GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH in Darmstadt entwickelt wurde, verwendet Hadronen (Protonen oder andere Ionen). Hierbei lässt sich gezielt einstellen, wie tief die Teilchen ins Gewebe eindringen sollen, bevor sie den Großteil ihrer Energie abgeben. So kann gesundes Gewebe geschont werden.

• Abb. 1: Positronen-Emissions-Tomographie (PET)

2. LEIFI Physik Portal

JOACHIM
HERZ
STIFTUNG



www.leifiphysik.de/themenbereiche/teilchenphysik

- 2014 mit Joachim Herz Stiftung
- über 40 Seiten Texte u. Animationen

Wechselwirkung	 Starke Wechselwirkung	 Schwache Wechselwirkung	 Elektromagnetische Wechselwirkung	 Gravitation
Beispiele für Wirkung	Zusammenhalt des Protons	Betazerfall: Ein Proton wandelt sich in ein Neutron um (oder umgekehrt). Kernfusion: In der Sonne verschmelzen vier Protonen zu einem Heliumkern.	Magnetismus, Licht, ... Chemische Bindungen; Photoeffekt	Anziehung zwischen Massen; Schwerkraft; Umlauf der Planeten um
Reichweite	10^{-16}m (Protonendurchmesser)	10^{-18}m ($\frac{1}{1000}$ Protonendurchmesser)	unbegrenzt	unbegrenzt
Botenteilchen	Gluonen	W^+ , W^- , Z^0	Photon	
Ladung	Starke Ladung (Farbladung)	Schwache Ladung	Elektrische Ladung	
Kopplungsstärke/konstante	$\alpha_g = \frac{1}{8}$	$\alpha_w = \frac{1}{30}$	$\alpha_{em} = \frac{1}{137}$	$\alpha_g \sim 10^{-44}$

Photon - das Botenteilchen der elektromagnetischen Wechselwirkung

Das Botenteilchen der **elektromagnetischen Wechselwirkung** ist das **Photon**.



Die folgende Animation soll die elektromagnetische Wechselwirkung zwischen zwei geladenen Elementarteilchen durch den Austausch von Photonen darstellen.



Grundwissen | Versuche | Aufgaben | Ausblicke | Geschichte | Weiterführende Links

● Mehr anzeigen

Die 12 Bausteinteilchen lassen sich zunächst in drei Generation (oder auch: Familien; in der Tabelle rechts die drei Spalten) einteilen. Die drei Generationen beinhalten jeweils sehr ähnliche Teilchen, lediglich die Masse der Teilchen ändert sich zwischen den Generationen erheblich.

Am geläufigsten sind die Mitglieder der 1. Generation in der 1. Spalte, denn sie sind die Grundbausteine der Materie, mit der man gewöhnlich in Berührung kommt: Für den Aufbau der Nukleonen und somit des Atomkerns dienen die Quarks u und d. Von den Leptonen gehört zur 1. Generation das Elektron e, das die Hülle eines Atoms aufbaut, sowie das nahezu masselose Elektron-Neutrino ν_e , das von den β -Zerfällen her bekannt ist und auch in großer Zahl von der Sonne zur Erde gelangt.

Die Mitglieder der 2. und 3. Generation in der 2. und 3. Spalte treten nur unter extremen Bedingungen auf, wie sie z.B. in Teilchenbeschleunigern oder in den oberen Schichten unserer Atmosphäre trifft. Die Mitglieder der 3. Generation besitzen im Vergleich zu ihren Verwandten eine sehr große Masse und können daher nur in Teilchenbeschleunigern nachgewiesen werden, denn man benötigt sehr hohe Energien um diese Teilchen zu erzeugen.

Man kann die 12 Teilchen aber auch nach ihrer Ladung in verschiedene Gruppen einteilen (in der Tabelle rechts die drei Zeilen), wodurch ein erstaunlich übersichtliches Schema entsteht. Je höher die Teilchen in der Tabelle stehen, desto mehr unterschiedliche Ladungen besitzen sie.

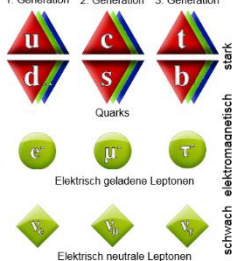
Die **elektrisch neutralen Leptonen** in der untersten Zeile tragen lediglich eine **schwache Ladung**. Somit werden sie **nur** von der **schwachen Wechselwirkung** beeinflusst und tauschen **nur** die Botenteilchen W^+ , W^- und Z^0 aus.

Die **elektrisch geladenen Leptonen** in der mittleren Zeile tragen zusätzlich eine **elektrische Ladung**. Somit werden sie auch von der **elektromagnetischen Wechselwirkung** beeinflusst und tauschen neben W^+ , W^- und Z^0 auch **Photonen** als Botenteilchen aus.

Die **Quarks** in der obersten Zeile schließlich tragen auch noch eine **starke Ladung**. Sie werden also zusätzlich von der **starken Wechselwirkung** beeinflusst und tauschen somit außer Photonen und W^+ , W^- und Z^0 **Gluonen** als Botenteilchen aus.

Das gleiche Bild ergibt sich für die jeweiligen Antiteilchen, hier sind lediglich alle Ladungen umgekehrt, statt einer elektrischen Ladung von $+\frac{2}{3}$ trägt das

1. Generation 2. Generation 3. Generation



Quarks

Elektrisch geladene Leptonen

Elektrisch neutrale Leptonen

stark (Gluonen)

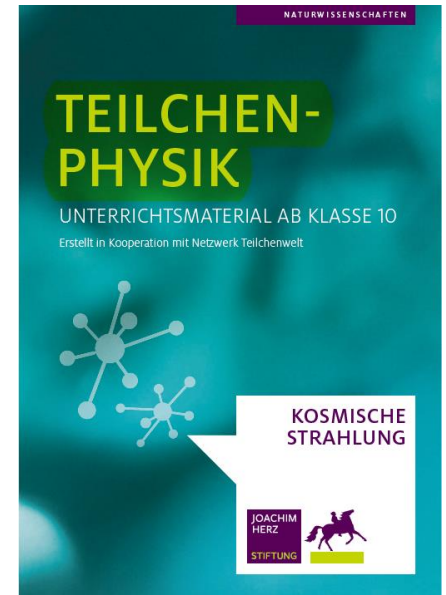
elektromagnetisch (Photon)

schwach (W^+ , W^- , Z^0)

Übersicht über die Bausteinteilchen der Materie

3. Astro-/Teilchenphysik im Unterricht

- ▶ Unterrichtsmaterialien 2014/15 mit Joachim Herz Stiftung 
- ▶ Fachtexte, Aufgaben und Lösungen, Arbeitsblätter, Anknüpfungspunkte an den Lehrplan, Vorkenntnisse, Lernziele, methodische Hinweise, fachliche Hinweise
- ▶ Vier Bände
 - Teil 1: Wechselwirkungen, Ladungen und Teilchen
 - Teil 2: Forschungsmethoden der Teilchenphysik
 - Teil 3: Kosmische Strahlung
 - Teil 4: Mikrokurse
- ▶ Erscheinungsjahr: 2016

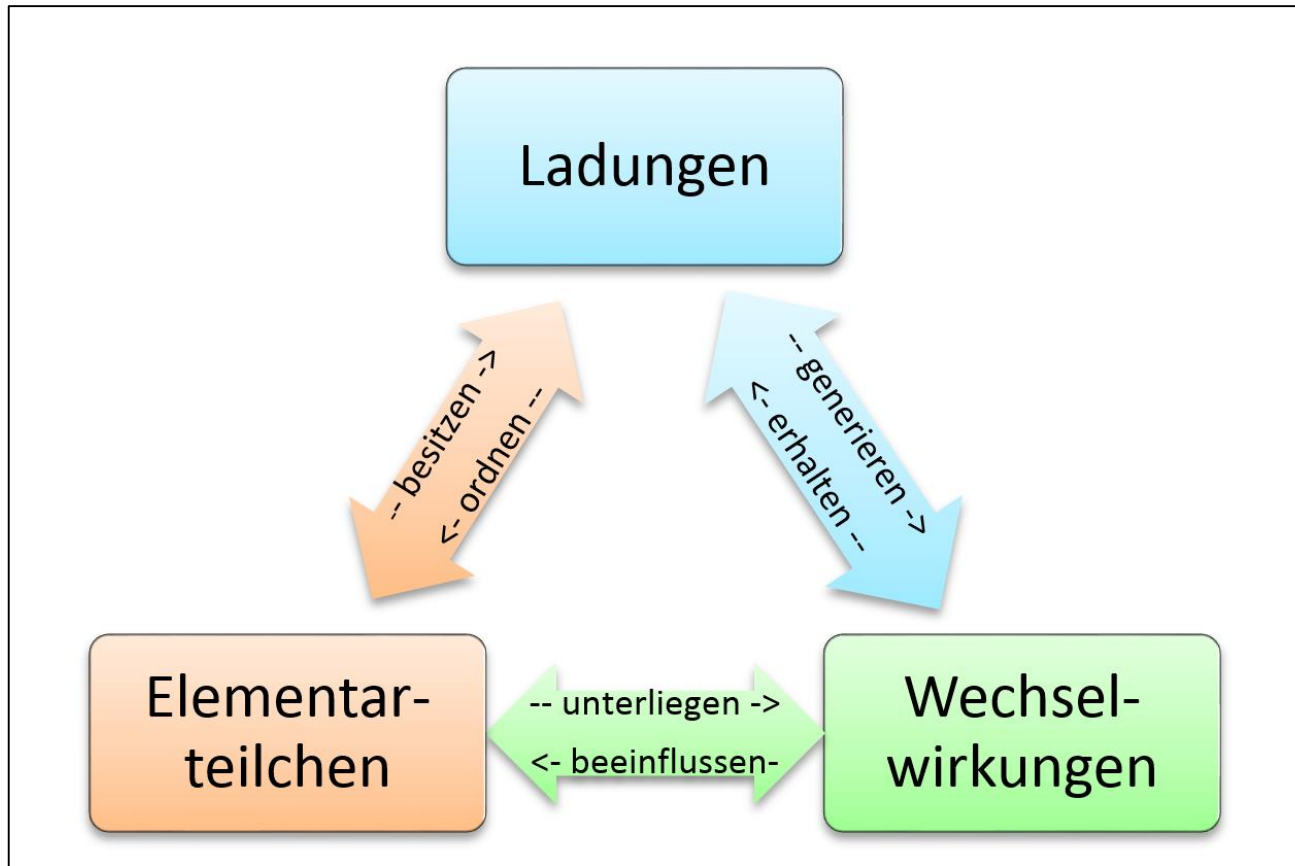


Didaktische Ziele

- ▶ Erklärungsvermögen der Physik
 - Wenige Prinzipien → erklären viele Phänomene
- ▶ Erarbeitung dieser Grundprinzipien
 - Vermeiden von Auswendiglernen
 - Einführung der essentiellen (auch theoretischen) Grundbegriffe
- ▶ Hilfe für Herausforderungen für Lehrkräfte
 - Anschluss an bisherige Begriffe
 - Änderungen der Vorstellungen / Modelle
 - Begrenzung der Mathematisierbarkeit
- ▶ Mehrwert
 - Erlernen von Einlassen auf völlig Neues
 - Einblick in „Physikalische Eleganz“
 - Faszination der Forschungsmethoden und Erkenntnisse

Teil 1: Wechselwirkungen, Ladungen und Teilchen

► Die drei Basiskonzepte des Standardmodells



Fußball-Analogie

- ▶ Wie erklärt man jemandem etwas Unbekanntes? z.B. Fußball...
- ▶ Man beginnt nicht mit der Anzahl der Spieler oder gar deren Positionen, sondern mit den Grundregeln
- ▶ Spieler = Elementarteilchen
- ▶ Regeln = Wechselwirkungen, Erhaltungssätze,...

- ▶ **Wieso also bei der Behandlung des Standardmodells damit beginnen??**
 - Nur u,d,e sind für Aufbau der Materie nötig
 - Warum es gerade diese Teilchen gibt, kann nicht vorhergesagt werden (nicht verstanden!)
 - Das Standardmodell ist eine **Theorie der Wechselwirkungen!**

Three generations of matter (fermions)

	I	II	III		
mass →	2.4 MeV/c ²	1.27 GeV/c ²	171.2 GeV/c ²	0	7 GeV/c ²
charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
name →	u up	c charm	t top	γ photon	H Higgs boson
	4.8 MeV/c ²	104 MeV/c ²	4.2 GeV/c ²	0	
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
Quarks	d down	s strange	b bottom	g gluon	
	<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	91.2 GeV/c ²	
	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z⁰ Z boson	
	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	80.4 GeV/c ²	
	-1	-1	-1	±1	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
Leptons	e electron	μ muon	τ tau	W[±] W boson	

Gauge bosons

Basiskonzept Wechselwirkung

Basiskonzept Wechselwirkung

= Kraft + Umwandlung + Erzeugung + Vernichtung

► Umfasst die Phänomene

- Kraft (z.B. Coulomb-Kraft)
- Umwandlung von Teilchen ineinander (z.B. β -Umwandlung)
- Erzeugung von Materie+Antimaterie (z.B. Elektron+Positron)
- Vernichtung in Botenteilchen (z.B. PET: 2 Photonen)

► Begriffe **Kraft** und **Wechselwirkung** sind klar zu trennen

► Kraft nur dort verwenden, wo wirklich Kraft (als Vektor) gemeint ist

Reduktion

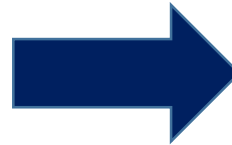
- ▶ Alle Vorgänge / Phänomene lassen sich auf 4 fundamentale Wechselwirkungen zurückführen

Basiskonzept

Wechselwirkung

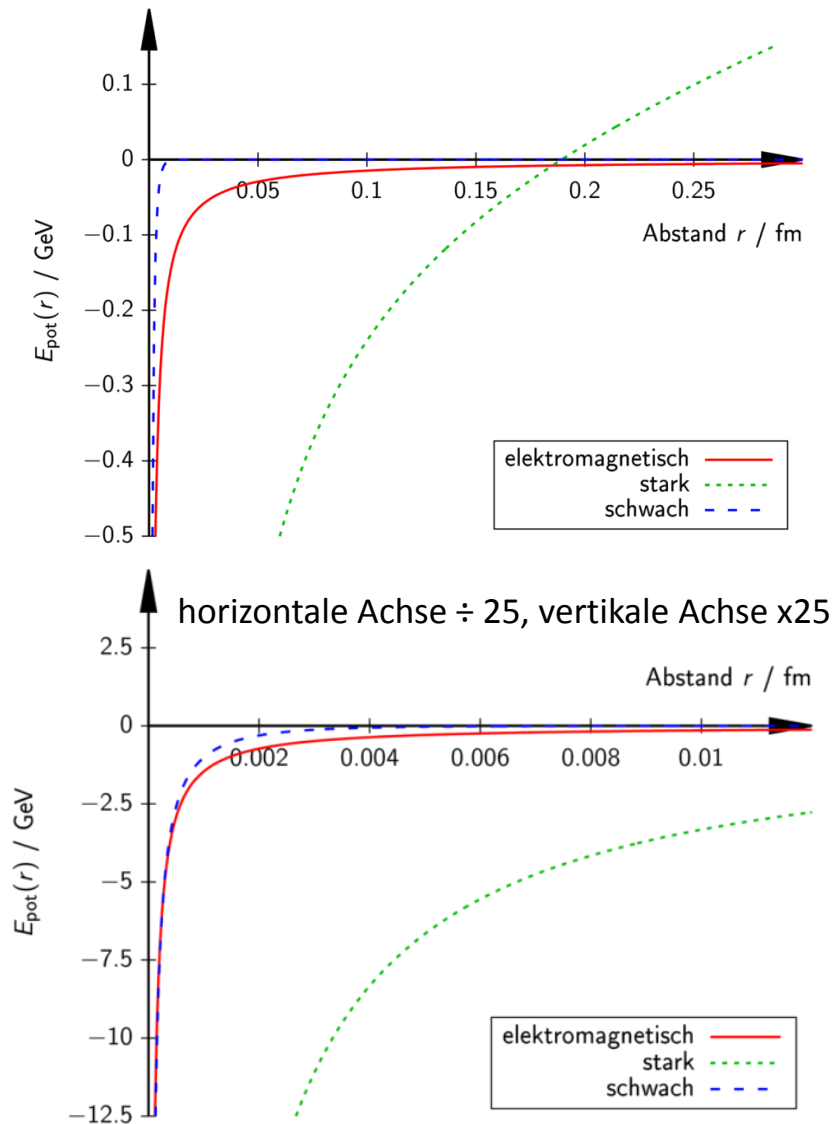
= Kraft + Umwandlung + Erzeugung + Vernichtung

Hangabtriebskraft,
Wasserkraft,
Motorkraft,
Radiowellen,
Reibungskraft,
Muskelkraft,
Radioaktive Umwandlung,
Kernfusion
...



**4 Fundamentale
Wechselwirkungen**

Suche nach Gemeinsamkeiten



► Potenzielle Energie außerhalb Kernen (~ fm)

- alle unterschiedlich
- Charakteristische Längen
 - **elektromagnetisch:** keine
 - **stark:** 0,2 fm
 - **schwach:** 0,002 fm

► Potenzielle Energie für sehr kleine Abstände (<< fm)

- alle ähnlich
 - 1/r – Verhalten
 - Stärkeparameter α
 - Ladungsprodukt

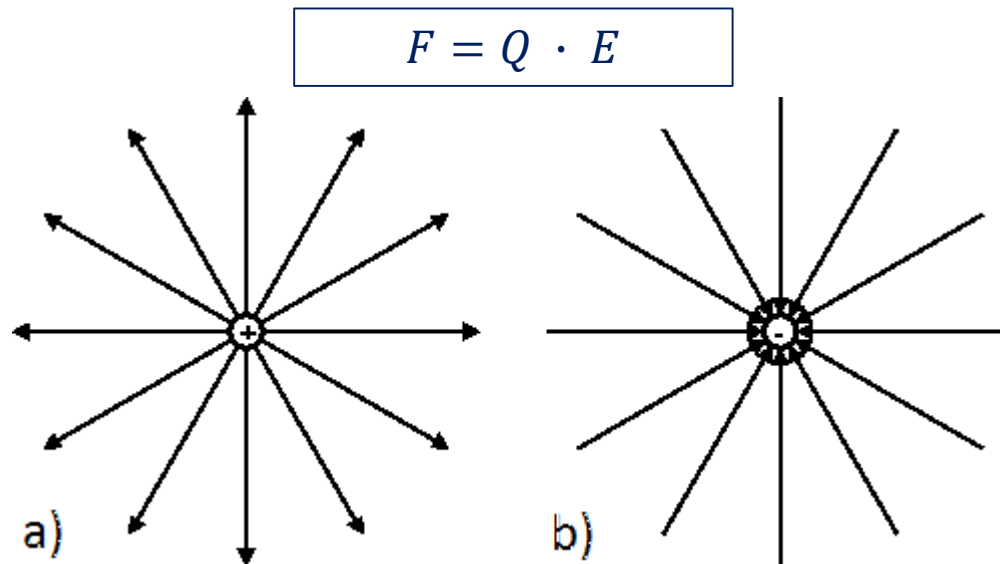
$$E_{Pot}(r) = \hbar \cdot c \cdot \alpha_{em} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r}$$

$$E_{Pot}(r) = \hbar \cdot c \cdot \alpha_s \cdot \frac{\vec{C}_1 \cdot \vec{C}_2}{r} + k \cdot r$$

$$E_{Pot}(r) = \hbar \cdot c \cdot \alpha_w \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{r} \cdot e^{\frac{-r}{\lambda_w}}$$

Geometrische Betrachtung

- ▶ Klassische Physik: Feldlinien, hier elektromagnetische WW
die **Dichte** der Feldlinien
ist **proportional** zur **Stärke** der Kraft



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

↓

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

- ▶ $\sim \frac{1}{r^2}$ ist Eigenschaft des 3-dim Raumes !
- ▶ In n-dim Raum würden Kräfte $\sim \frac{1}{r^{n-1}}$ abfallen

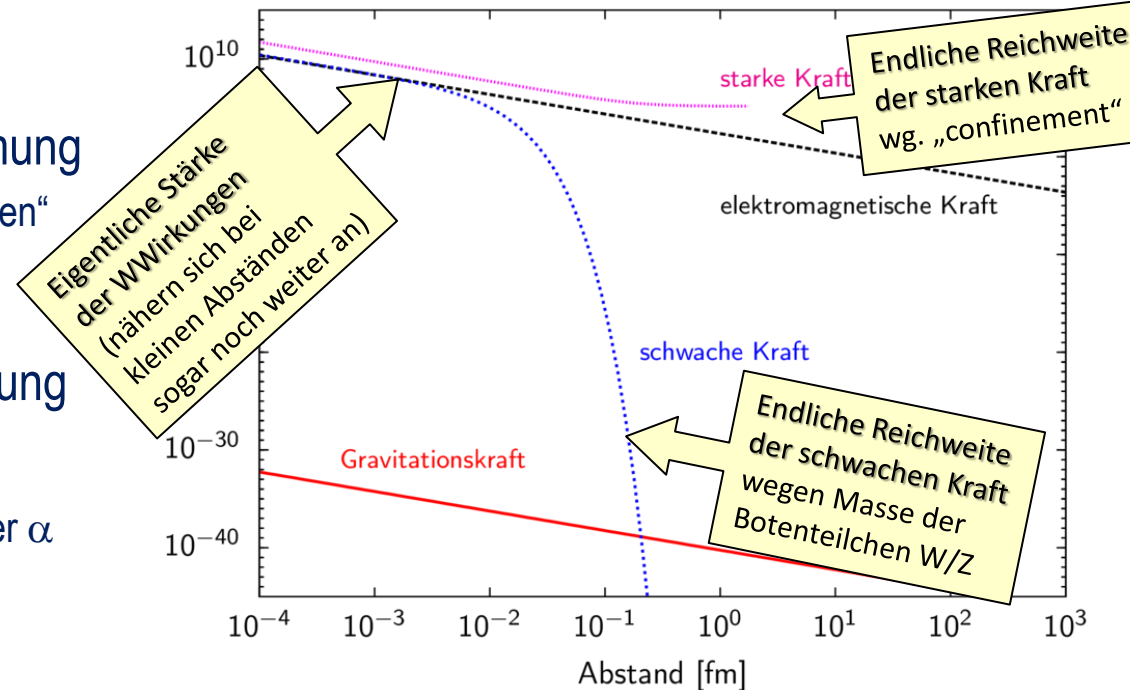
Wechsel des Beobachter-Standpunkts

► Makroskopische Wahrnehmung

- Kleine Reichweiten „verstecken“ WWirkungen im Alltag

► Mikroskopische Wahrnehmung

- Alle Kräfte $F \sim \frac{1}{r^2}$
- Ähnliche Kopplungsparameter α
 - Ausnahme: Gravitation

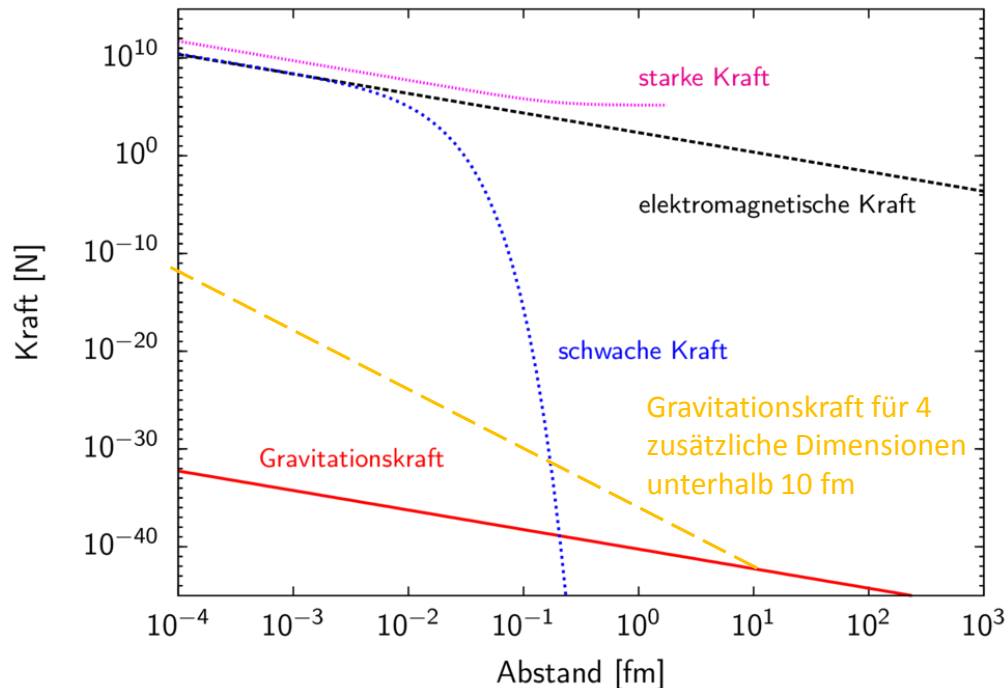
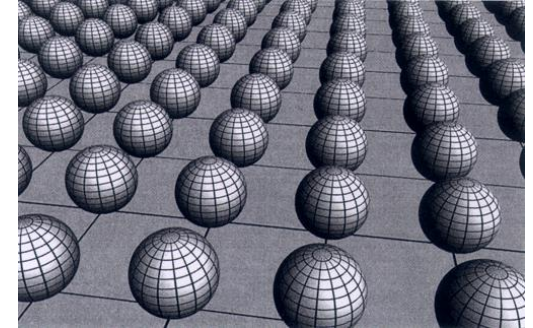


Wechselwirkung	Kraftgesetz für $r \rightarrow 0$	Reichweite	Kopplungsparameter α
Gravitation	$F_G = \hbar \cdot c \cdot \alpha_{grav} \cdot \frac{-1}{r^2}$	unendlich	$\alpha_{grav} \approx \frac{1}{10^{38}}, \dots, \frac{1}{10^{45}}$
elektromagnetisch	$F_C = \hbar \cdot c \cdot \alpha_{em} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$	unendlich	$\alpha_{em} \approx \frac{1}{137}$
stark	$F_s = \hbar \cdot c \cdot \alpha_s \cdot \frac{\vec{c}_1 \cdot \vec{c}_2}{r^2}$	$2 \cdot 10^{-15} \text{ m}$	$\alpha_s \approx \frac{1}{2}, \dots, \frac{1}{10}$
schwach	$F_w = \hbar \cdot c \cdot \alpha_w \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{r^2}$	$2 \cdot 10^{-18} \text{ m}$	$\alpha_w \approx \frac{1}{30}$

Offene Forschungsfragen

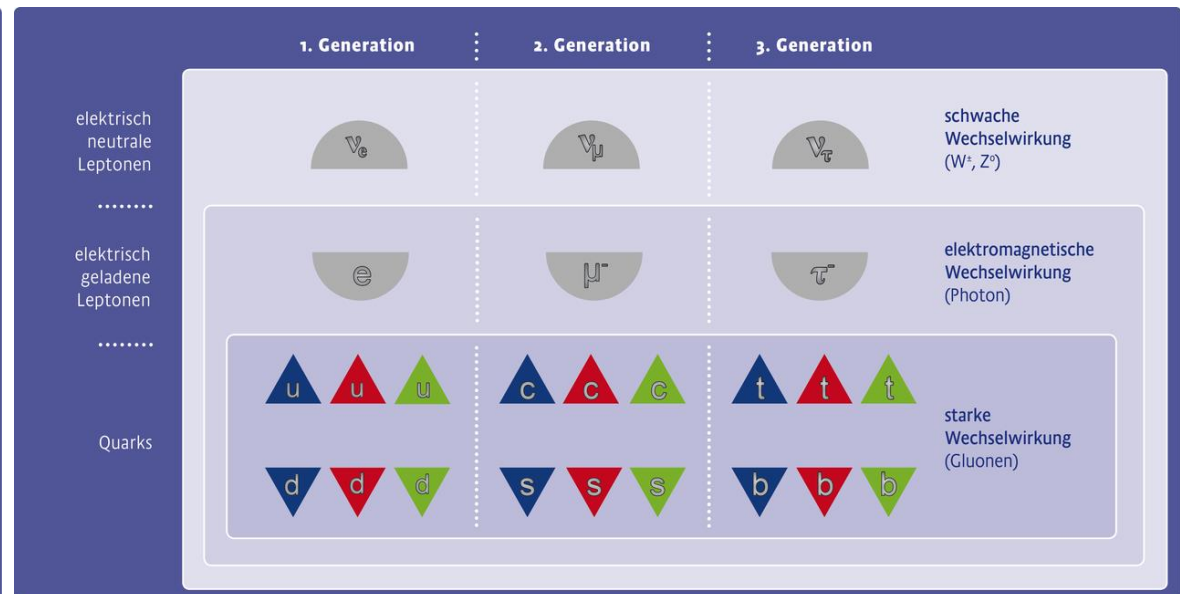
► Zusätzliche Dimensionen für Gravitation könnten die Kräfte „vereinigen“

- Bild rechts: 2 „große“ + 2 „kleine“ Dimensionen
- Bild unten: 3 „große“ + 4 „kleine“ Dimensionen (offen nur für Feldlinien/Botenteilchen der Gravitation)



Ordnungsprinzipien, Erhaltungssätze

- Es gibt 3 völlig verschiedene Ladungen (für jede WW des Standardmodells eine)
 - Wir beginnen zunächst nur mit der ersten Generation
 - **Ladungen liefern Ordnungsprinzip der Elementarteilchen in Multipletts** (<-> Hauptgruppen im chem. Periodensystem)
 - Ohne Ladungsbegriff ist die Anordnung der Teilchen völlig willkürlich
 - Theoretisch ist die Existenz der 3 Ladungen verstanden (<-> Symmetrien!)
die genaue Art und Zahl der Multipletts jedoch nicht
 - **Für Ladungen gelten Erhaltungssätze**



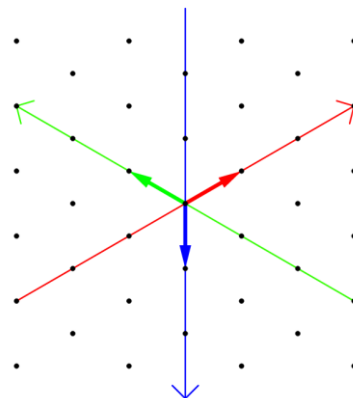
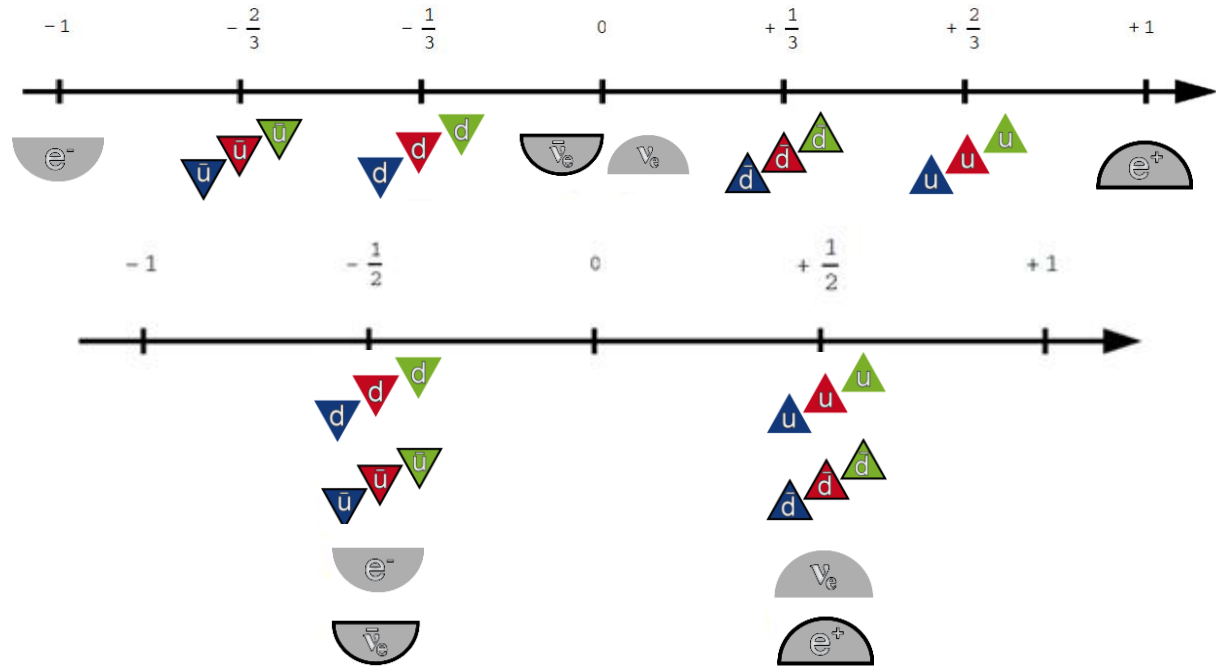
Übersichten (Ladungen der Bausteine)

► elektrisch

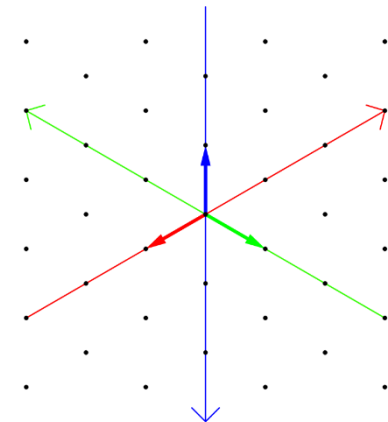
► Schwach

► Stark

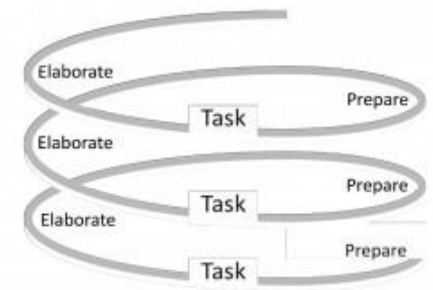
■ Quarks



Anti-Quarks

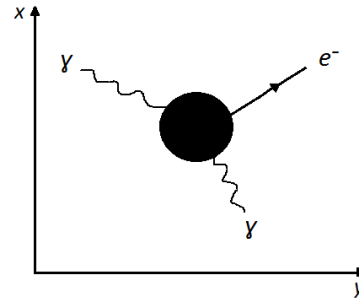


Konzept Spiralkurriculum:

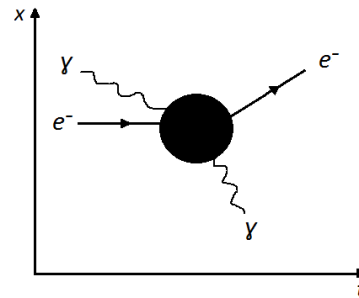


► Beispiel: Drei Stufen von Diagrammen

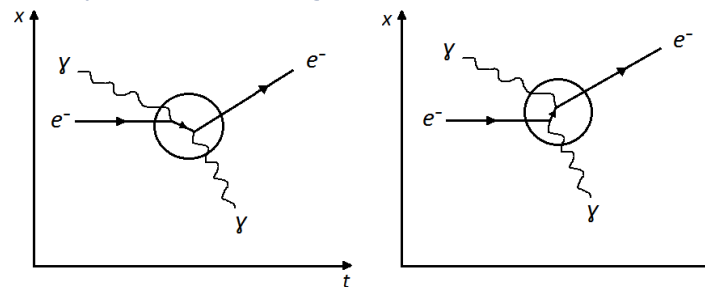
■ Stufe 1: x-y



■ Stufe 2: x-t ohne Feynman- Diagramme



■ Stufe 3: x-t mit Feynman- Diagrammen



Teil 2: Forschungsmethoden

► Beschleuniger als Mikroskop: Strukturauflösungen

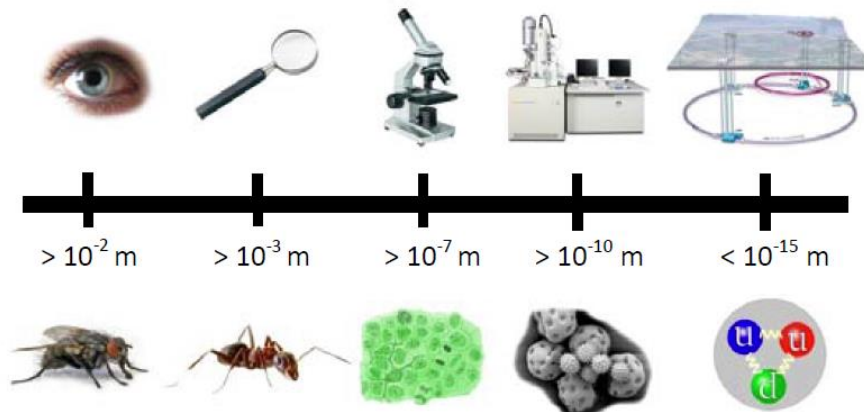


Abbildung 2: Messinstrumente und damit beobachtbare Objekte

► Sehr gut anbindbar über E- und B-Felder

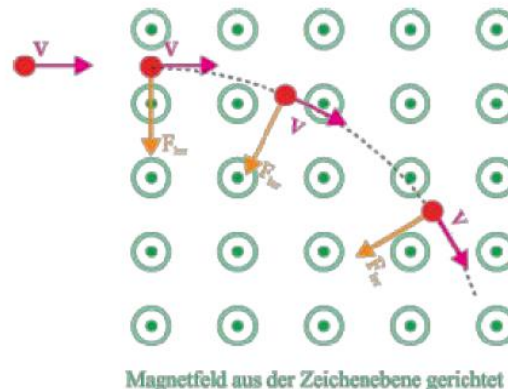
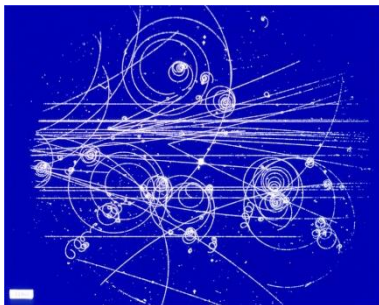


Abbildung 7: Wirkung der Lorentzkraft auf ein sich mit der Geschwindigkeit v bewegendes positiv elektrisch geladenes Teilchen in einem homogenen Magnetfeld
(modifizierte Abbildung von http://www.leifiphysik.de/sites/default/files/medien/g8_2011_ph11_1_05_spezrelatheorie_auf.gif)

Detektoren

Bildgebend

z.B.: Nebelkammer, Blasenkammer

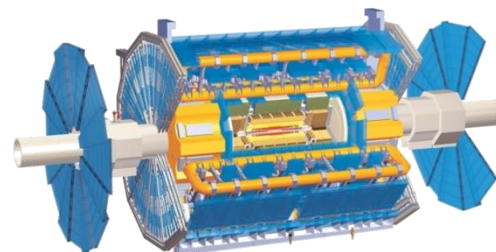


▶ sichtbare Teilchenspuren

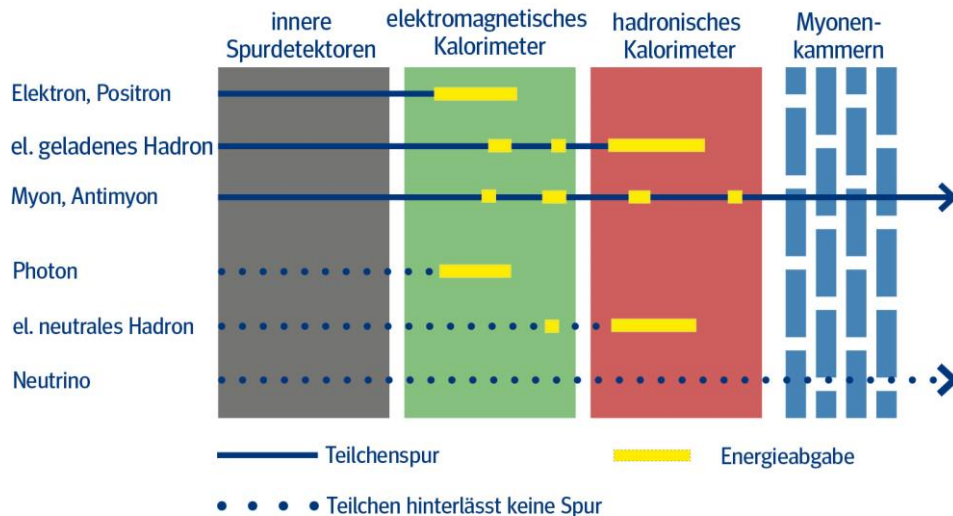
▶ Teilchenidentifikation durch Mustererkennung

Elektronisch

z.B: **ATLAS**-Detektor, Geigerzähler



▶ elektrische Signale



Teil 3: Astroteilchenphysik

- ▶ Teilchen in unserer Umgebung
- ▶ Selbst messbar



Abb. 1 Blick in eine Nebelkammer
(Quelle: Universität Göttingen, Markus Osterhoff)

Es lassen sich verschiedene Teilchenspuren identifizieren:



Abb. 2 Nebelkammerspuren von Alpha-Teilchen (links), Protonen (Mitte) und Elektronen (rechts). (Quelle: KIT)

Eigene Datenaufnahme und Auswertungen

► Winkelverteilung

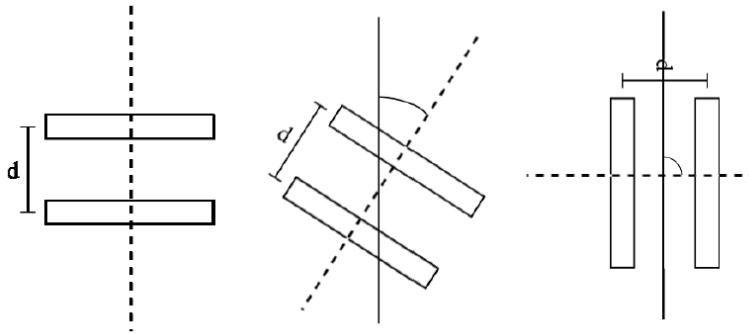


Abb. 5 Winkelmessung: Die beiden Detektoren werden zur (durchgezogene Linie) verkippt. Die gestrichelte Linie zeigt die Richtung gemessenen Myonen.

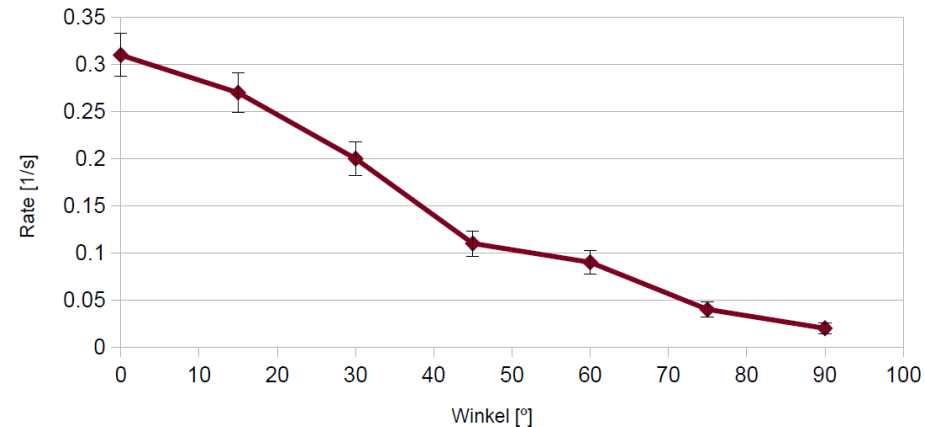


Abb. 6 Winkelmessung: Rate der Myonen in Abhängigkeit des Zenitwinkels.

► Lebensdauer

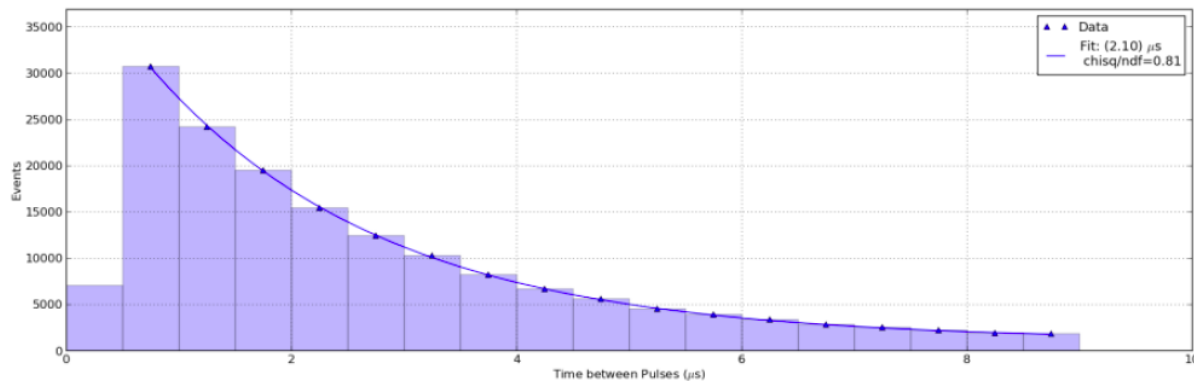


Abb. 10 Verteilung der Zeitunterschiede zwischen den zwei Pulsen mit Anzahl Myonen $N(t)$ mit $\Delta t = t_e - t_0$.

Teil 4: Mikrokurse

- ▶ Eigenständige Einheiten
- ▶ Beispiel: Horizontaler Wurf

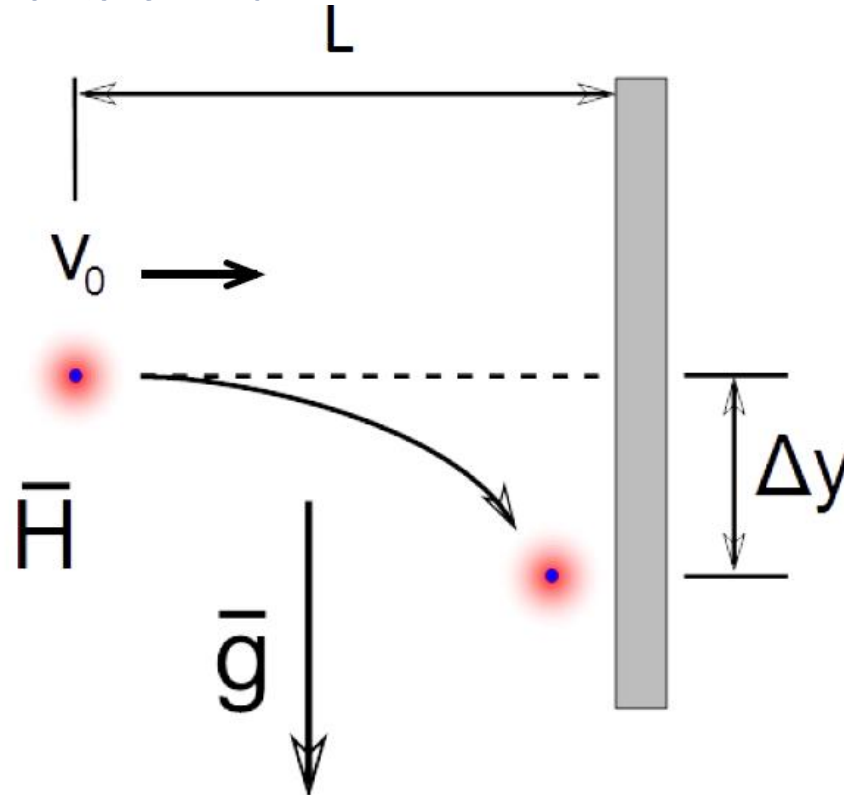


Abbildung 1: Schematisches Messprinzip des AEGIS Experiments

(Abbildung modifiziert; Quelle: <http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/teilchenphysik/lb/musteraufgaben-aegis-experiment>)

Unsere Wünsche / Ziele

- ▶ Vermittlung der *wirklichen* Forschungserkenntnisse
 - Übergreifende Zusammenhänge
 - Kein Auswendiglernen von Teilchen
- ▶ Standards der Begriffsbildung
 - Ladungen und Wechselwirkungen als zentrale Begriffe
 - Klärung von verbreiteten Irrtümern
- ▶ Anschlussfähigkeit in Schulen
 - Potenzielle Energien
 - Feldlinien, ...
- ▶ Möglichst breite Verwendung in Fortbildungen
 - Erste Tests: DESY in Zeuthen 26.2, Bensberg, NRW, 9.3.
 - „Fortbildungen der Fortbilder“

Dank:

- an das Team



- an alle Standorte
- an die Förderer
- an DPG für Schirmherrschaft
- für Ihre Aufmerksamkeit

ORIGINALSCHAUPLATZ



SCHIRMHERRSCHAFT



PROJEKTLEITUNG



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

JOACHIM
HERZ
STIFTUNG



29.02.2016

