

Netzwerk Teilchenwelt: Quarks, Elektronen & Co - Teilchenphysik für Schüler und Schülerinnen

Prof. Dr. Thomas Trefzger

12. Juli 2014

Quantenphysik in der Schule

Teilchenphysik im Unterricht – die Situation

- In Curricula wenig vertreten
- Viele neue Begriffe und Konzepte
- Kein offensichtlicher Alltagsbezug



Warum (trotzdem) Teilchenphysik im Unterricht ?

- Interesse bereits vorhanden: fundamentale Fragen, Begriffe (Urknall, Antimaterie, Higgs), Experimente (CERN)
- Aktuelle Forschung
- Was ist Wissen?
 - Erforschung des nicht direkt Erfassbaren
 - Modelle, Vorhersagen und Experimente
- Grundlagenforschung als Kulturgut
- Einordnung von Medienberichten

Netzwerk Teilchenwelt

Astro-/Teilchenphysik...
...erleben, vermitteln,
erforschen

Bundesweite Struktur

24 Institute
22 Standorte

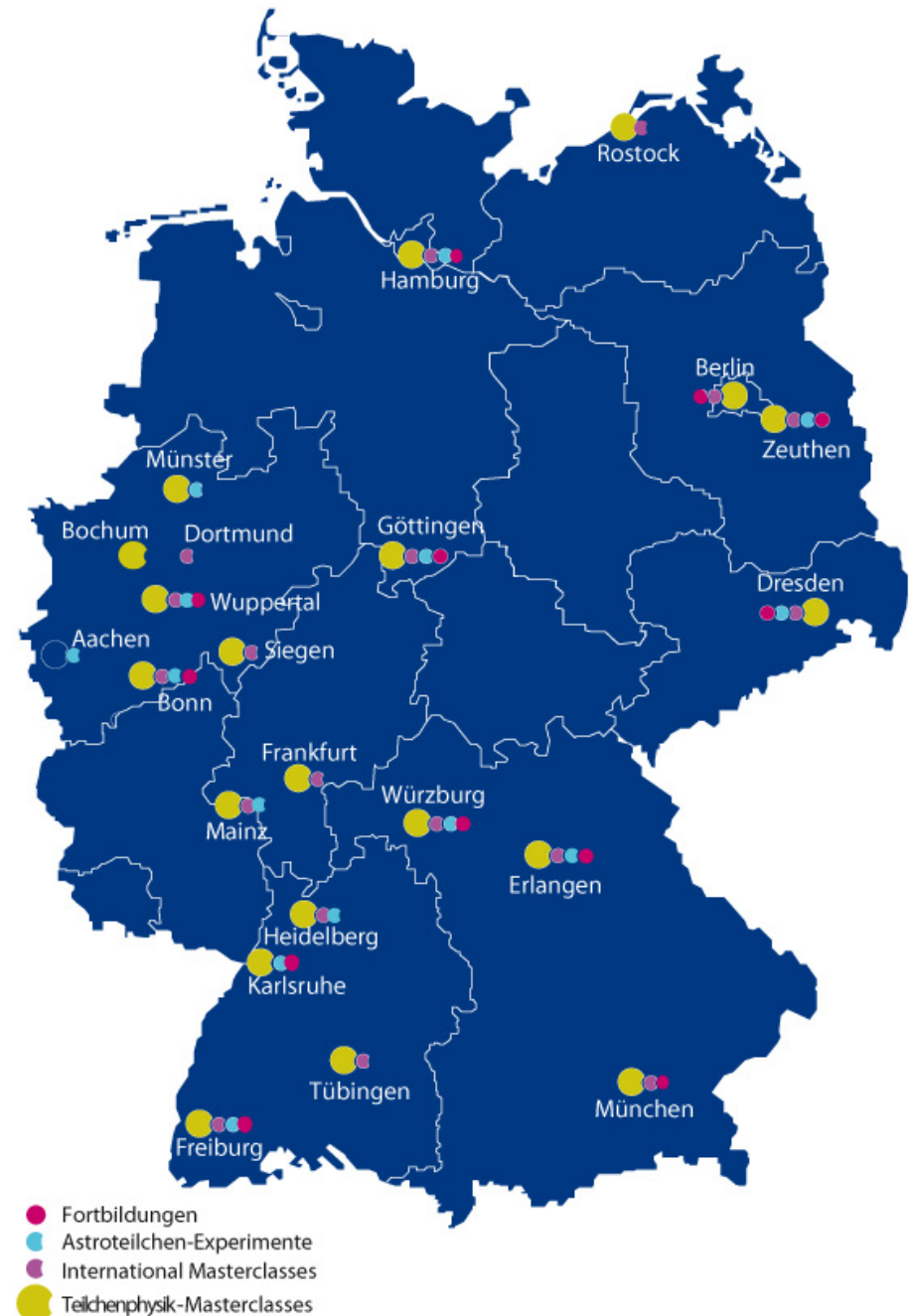
21 Standorte
Teilchenphysik-Masterclasses

19 Standorte
„International Masterclasses“

11 Standorte
Fortbildungen für Lehrkräfte

15 Standorte
Astroteilchen-Experimente

Kontakt:
stadtxy@teilchenwelt.de
www.teilchenwelt.de/standorte



Wer steckt dahinter?

- Projektleitung/-koordination: TU Dresden
- Workshops: CERN
- Leitung Cosmic-Projekt: DESY in Zeuthen
- Entwicklung von Begleit- und Kontextmaterialien: Uni Würzburg
- Wissenschaftliche Evaluation: TU Dresden, Uni Würzburg, CERN
- Über 140 engagierte Wissenschaftler in ganz D
- Finanzierung: BMBF
- Partner: www.weltdерphysik.de
- Schirmherrschaft: DPG

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Interaktiv als Teilchenwelt- Multiplikator/in



Austausch, Fragen stellen, von Projekten berichten:

www.teilchenwelt.de/forum

Immer aktuell:

Newsletter *teilchenwelten*, www.teilchenwelt.de/newsletter

www.facebook.com/teilchenwelt

www.twitter.com/#teilchenwelt

Ein Netzwerk...

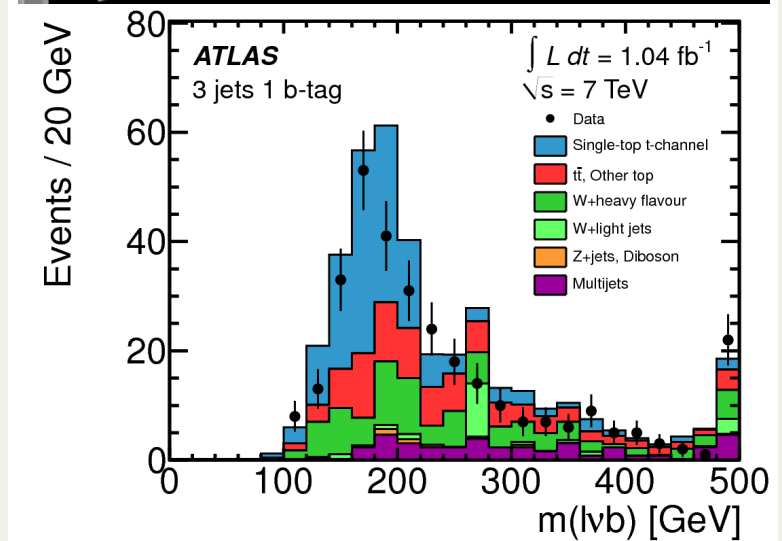
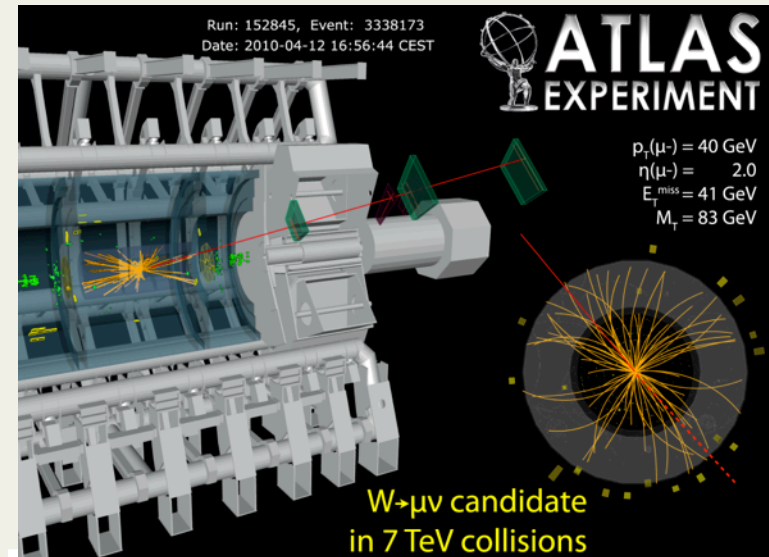
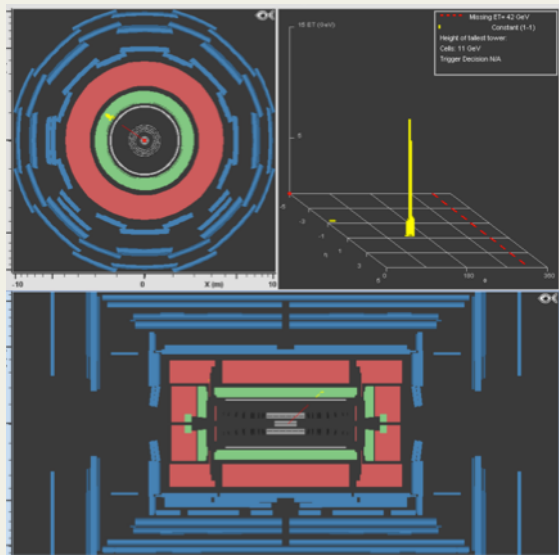
zwischen

- WissenschaftlerInnen
- Jugendlichen
 - 15-19 Jahre
- Lehrkräften
 - an Schulen, Schülerlaboren, Schülerforschungszentren, Museen etc.



Teilchenrekonstruktion:

- Impulsmessung
- Energiemessung
- Ladungsbestimmung
- Teilchenidentifikation
- Visualisierungen



Angebot für Jugendliche

- Basisprogramm: ca. 4000 Jugendliche im Jahr
- Qualifizierungsprogramm: ca. 200 Jugendliche im Jahr
- Vertiefungsprogramm: ca. 50 Jugendliche im Jahr
- Forschungsmitarbeit: ca. 10 Jugendliche im Jahr

1

BASIS- PROGRAMM



2

QUALIFIZIERUNGS- PROGRAMM



3

VERTIEFUNGSPROGRAMM FORSCHUNGSMITARBEIT

Teilnahme an

- Teilchenphysik-Masterclasses
- International Masterclasses
- Astroteilchen-Masterclasses

Aktive Mitarbeit als

Teilchenwelt-BotschafterIn

- Weitergabe der Faszination Teilchenphysik
- TutorIn bei Veranstaltungen
- Mitarbeit bei lokalen Veranstaltungen
- Experimente mit kosmischen Teilchen

Eigene Projekte an Originalschauplätzen

- Workshops und Projektwochen am CERN
- Projektarbeiten am lokalen Forschungsinstitut

Beispiel: Teilchenphysik-Masterclasses

Termin vereinbaren mit lokalem Standort

Zeitungsumfang: 4-6 Stunden

Ca. 20 SchülerInnen

Alter: 15-19 Jahre

Keine Vorkenntnisse notwendig

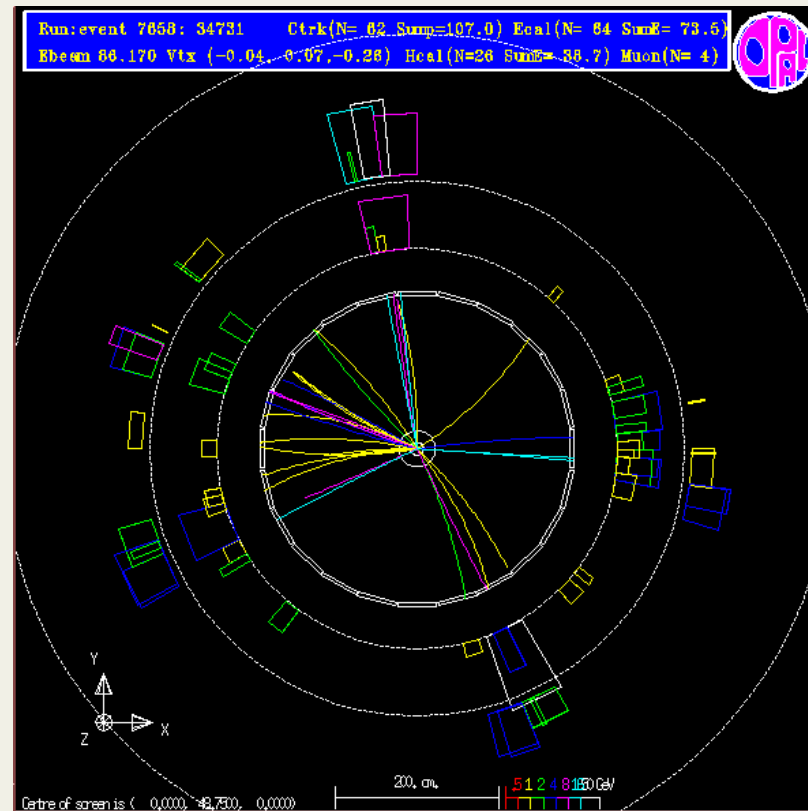
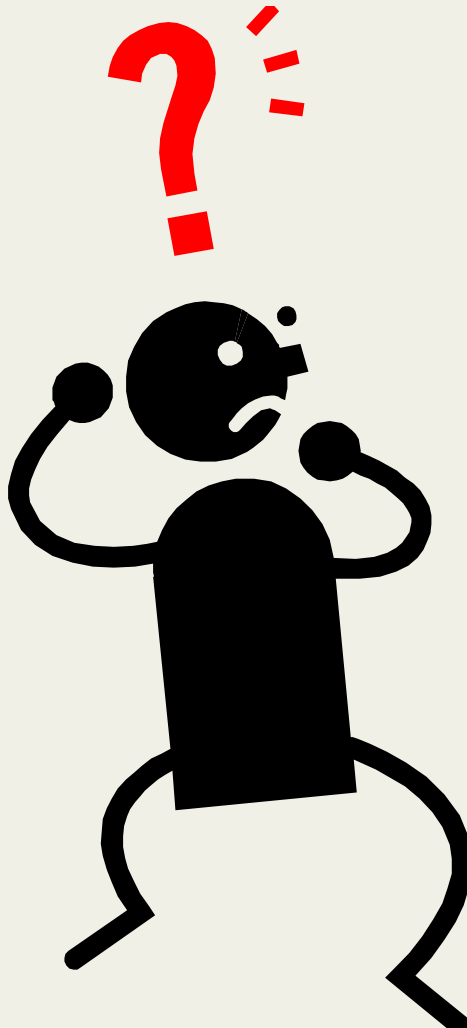
PC-Raum mit 1 PC pro 2 Schüler, Beamer

Keine Kosten

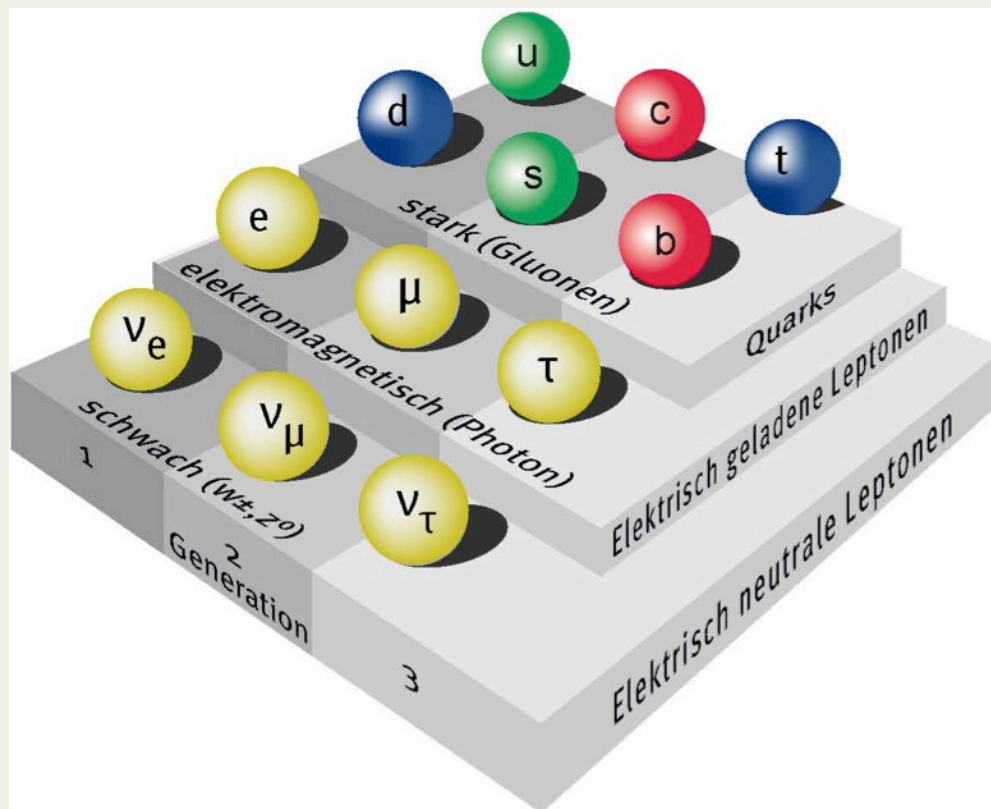
Vor- und Nachbereitungsmaterialien in
Arbeit



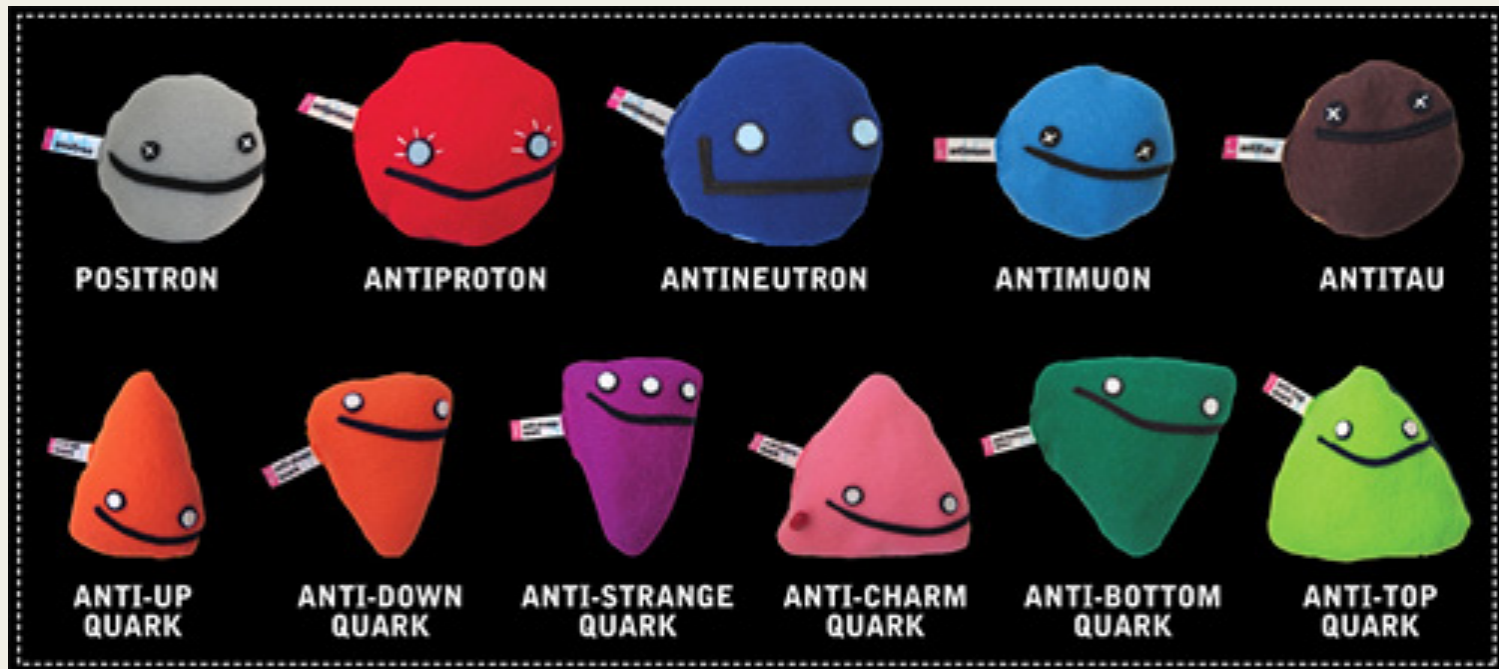
Erste Übung: Muster erkennen



Zweite Übung: Wie wechselwirkt mein Teilchen im ATLAS-Detektor?

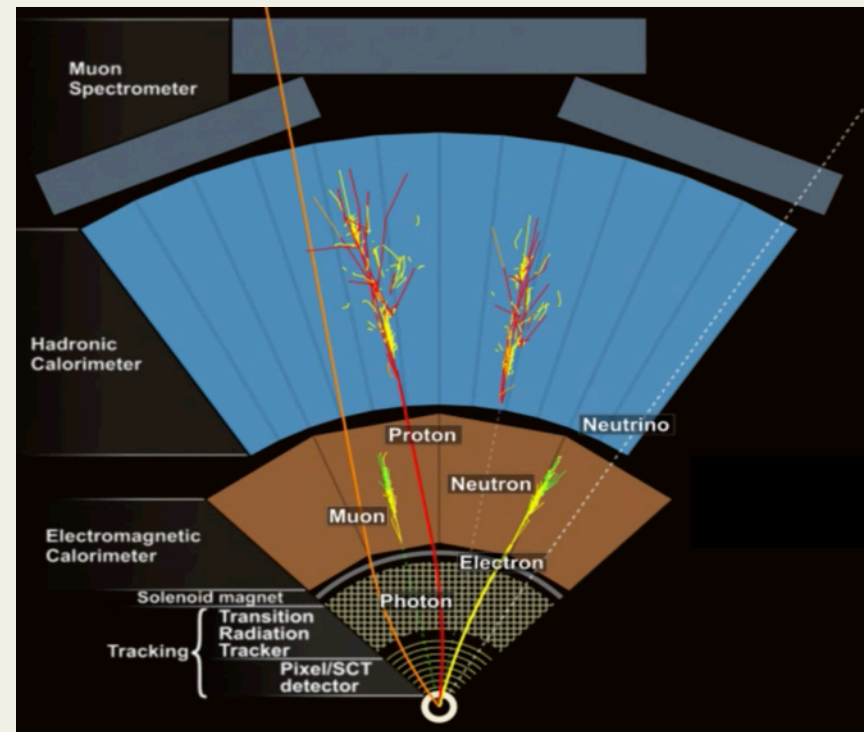


Zweite Übung: Wie wechselwirkt mein Teilchen im ATLAS-Detektor?



Teilchenrekonstruktion

- ATLAS
 - LHC-Detektor am CERN
 - Komplexes Experiment
 - Schalenförmiger Aufbau
- Teilchenrekonstruktion
 - Elektronen
 - Spur + EM-Energie
 - Myonen
 - Spur + Myon-Spur – Energie
 - Neutrinos
 - Missing ET
 - Jets
 - Spurbündel + Energie

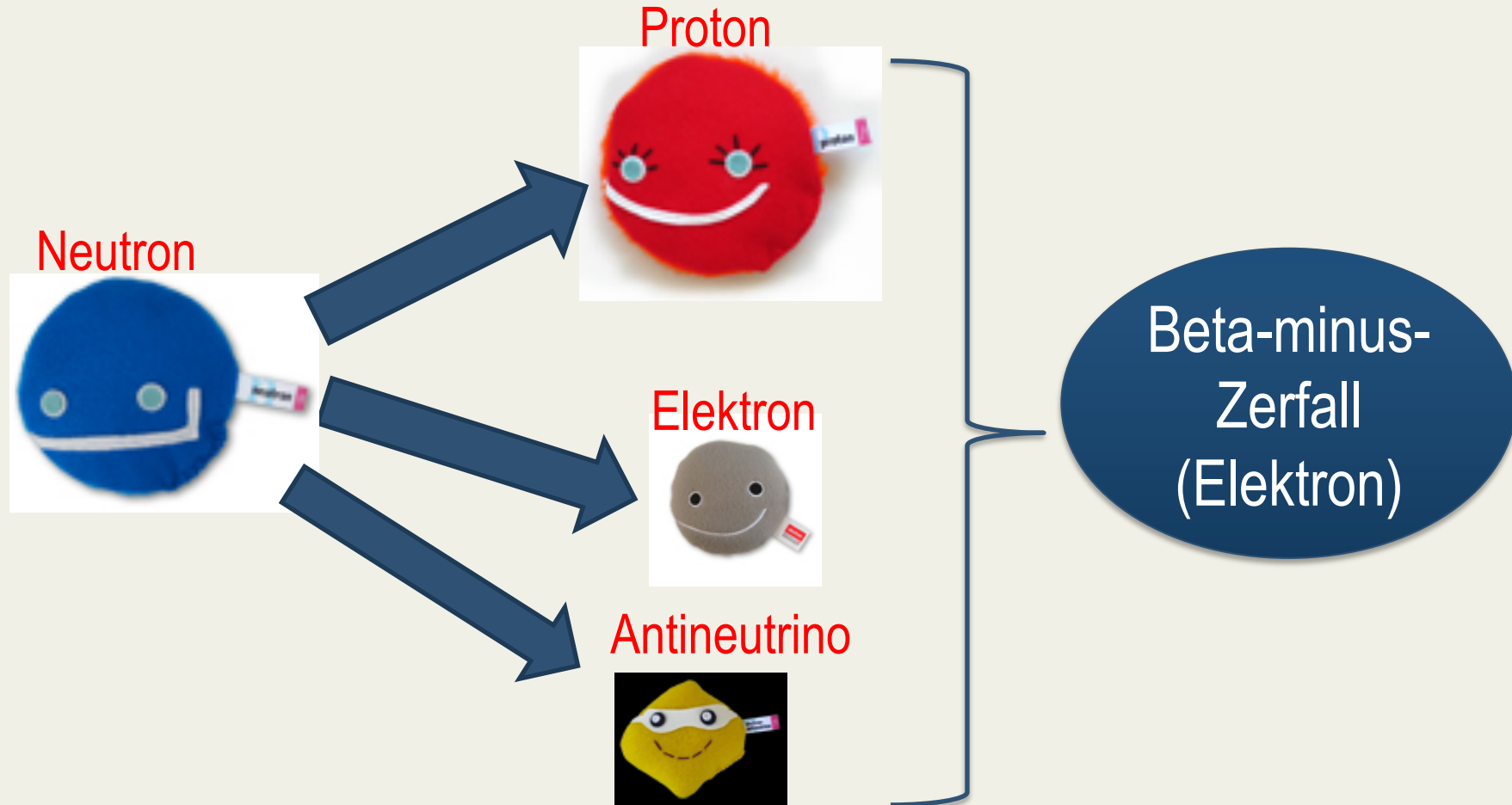


Die Messung:

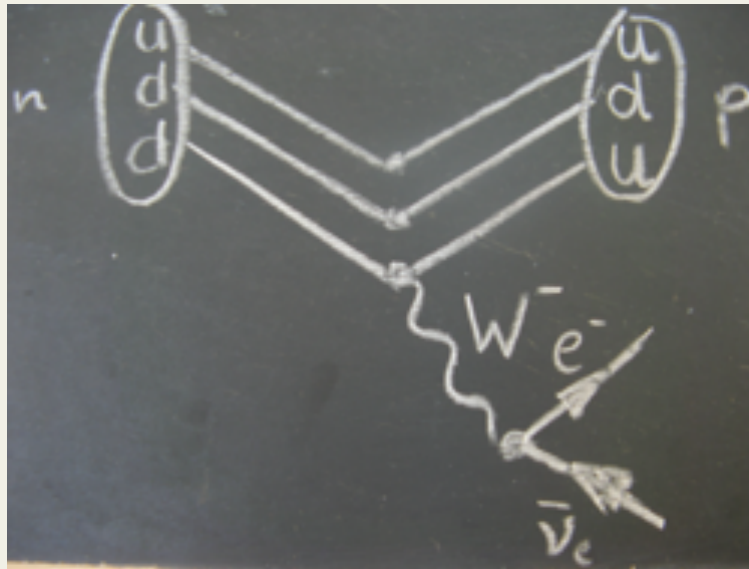


Hauptdarsteller:
Das W-Teilchen

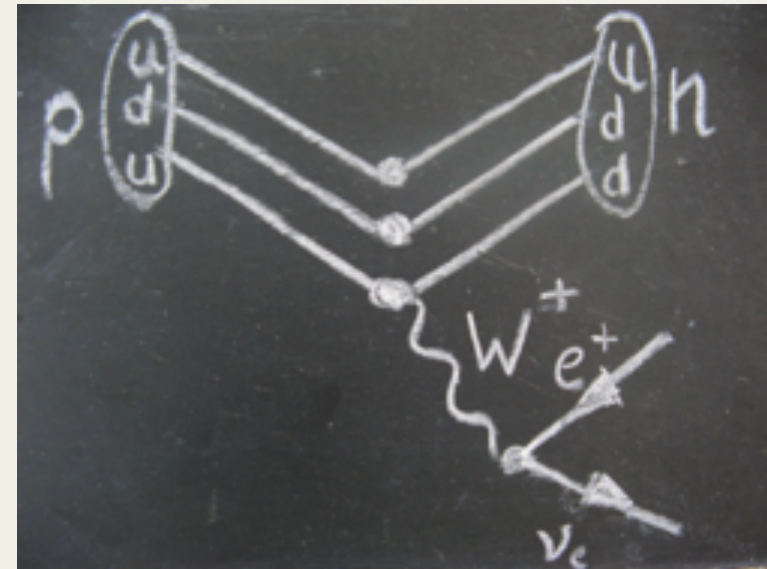
Der Beta-Zerfall und das W-Teilchen



β^- - Zerfall (W^-)



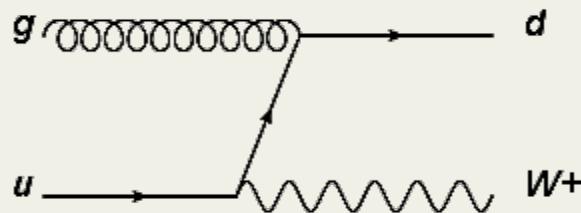
β^+ - Zerfall (W^+)



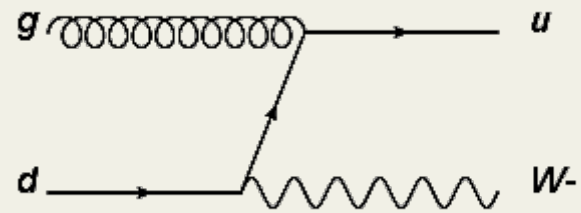
- Die W-Teilchen sind Bosonen und sind zusammen mit dem Z-Teilchen für die **Schwache Wechselwirkung** verantwortlich.
- Abhängig von dem Anfangszustand (p, n) tritt entweder ein W^+ oder ein W^- auf.

Wie entstehen W-Bosonen?

- **Beta-Zerfall**
- **Zusammenstoß von Protonen im LHC:**
Beim Zusammenstoß von Quarks und Gluonen
wird Bewegungsenergie in Masse umgewandelt.



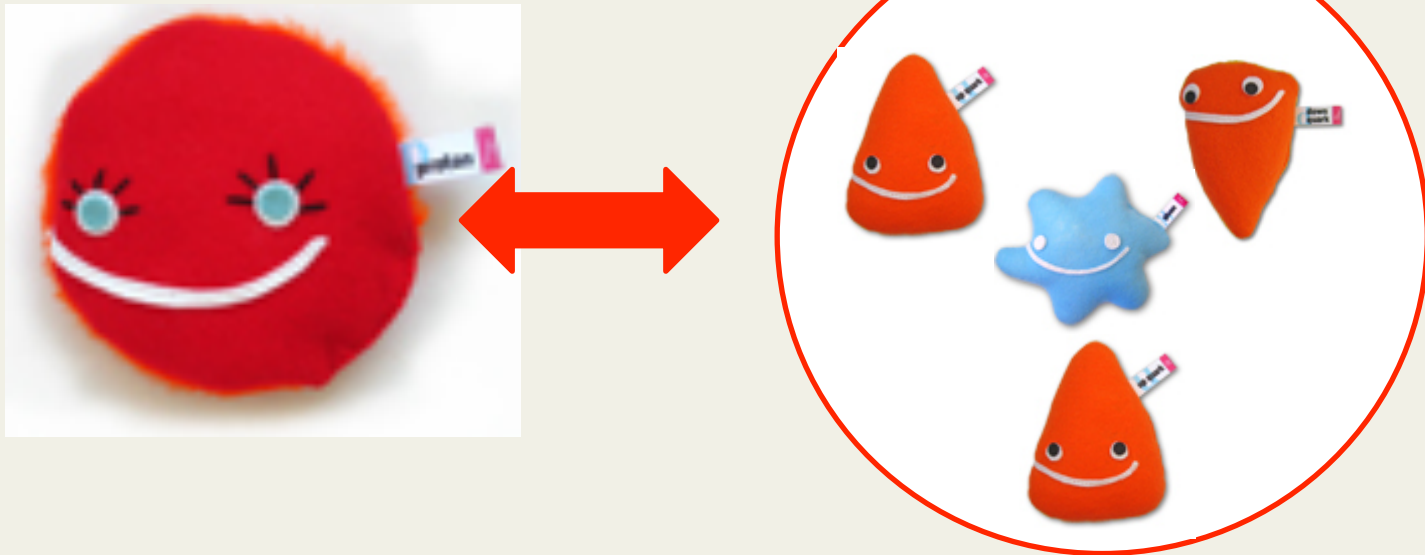
$$u + g \rightarrow W^+ + d$$



$$d + g \rightarrow W^- + u$$

Was können wir lernen, wenn wir die Produktionsrate
der W^+ und der W^- messen?

Innere Zusammensetzung des Protons!

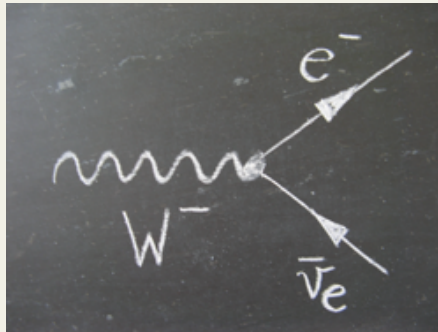


Wie können wir W-Teilchen identifizieren?

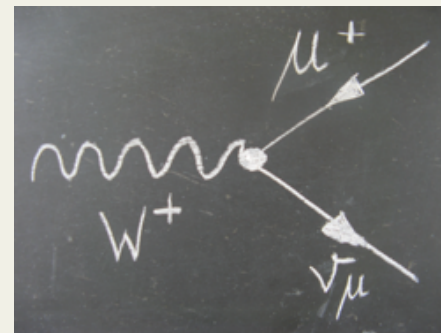
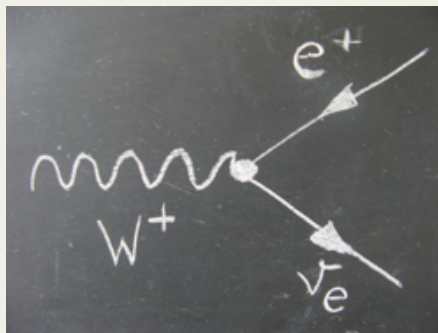
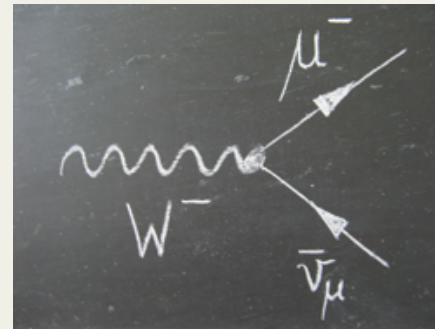
- W-Teilchen zerfallen sehr schnell, nur 3×10^{-25} s nach der Produktion!
- In zwei Drittel ihrer Zerfälle entsteht ein Quark-Antiquark-Paar.
- Beim restlichen Drittel der W-Zerfälle entstehen **ein geladenes Lepton und sein Neutrinopartner**.
- **Elektron, Myon und Tauon** kommen dabei **gleich häufig vor**.
- Das **Tauon** zerfällt aber sofort wieder und ist somit schwer zu identifizieren!

Wir untersuchen die Zerfälle der W-Teilchen in:

Elektronen (oder Positronen)



Myonen (oder Antimyonen)

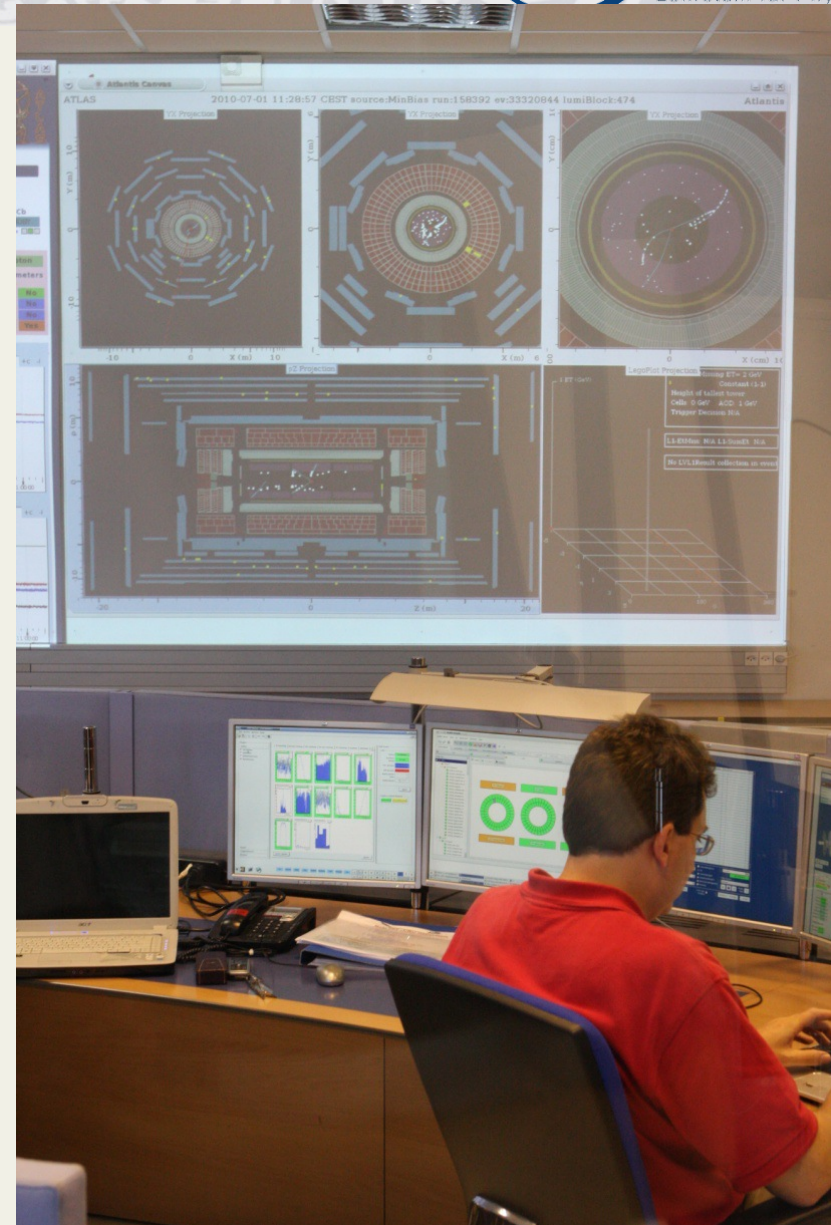


Event Display Minerva um die Wechselwirkung der Teilchen im ATLAS-Detektor zu visualisieren.



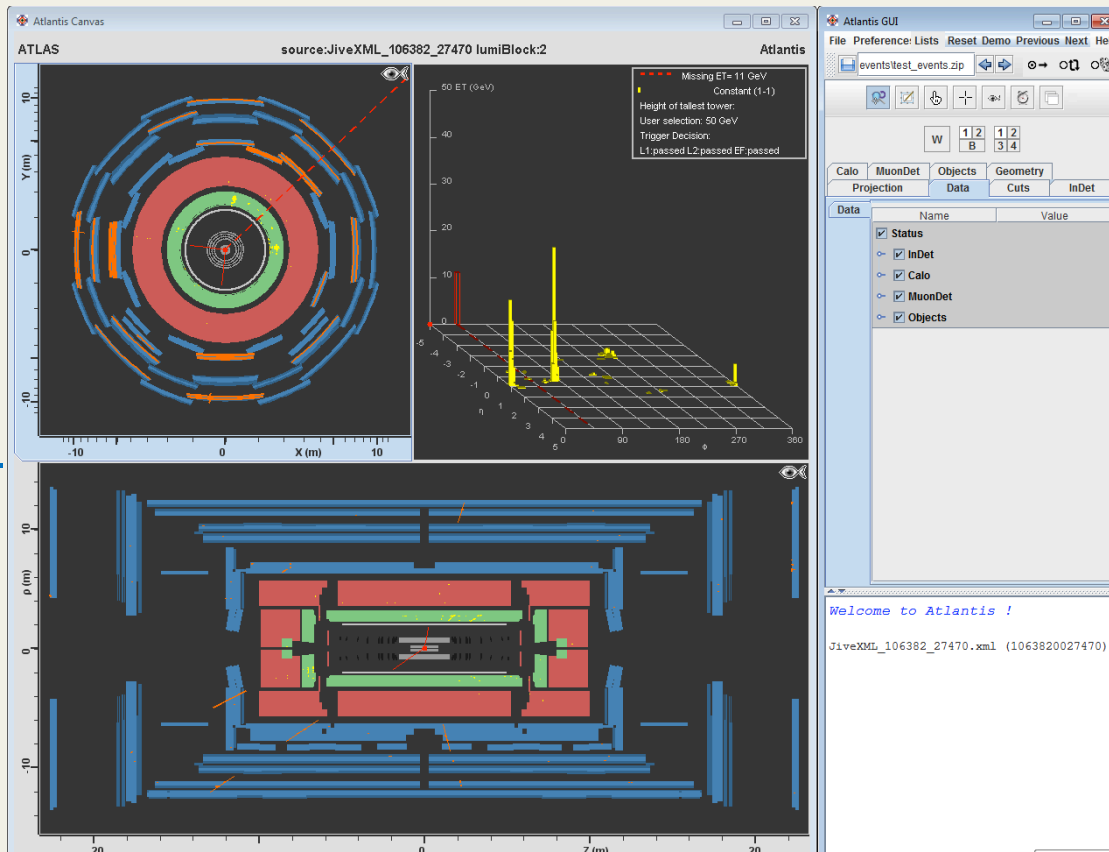
*Masterclass INvolving Event
Recognition Visualised with Atlantis*

- Ein Masterclasses Werkzeug für SchülerInnen zum Kennenlernen des ATLAS-Experiments am CERN
- Basiert auf einem der offiziellen ATLAS-Event Displays



Die Software MINERVA

Anzeige
der
Teilchen-
spuren



Werkzeuge,
Navigation

Einstellungen

Informationen zu
Teilchenspuren

Wie kann man Signal von Untergrund unterscheiden?

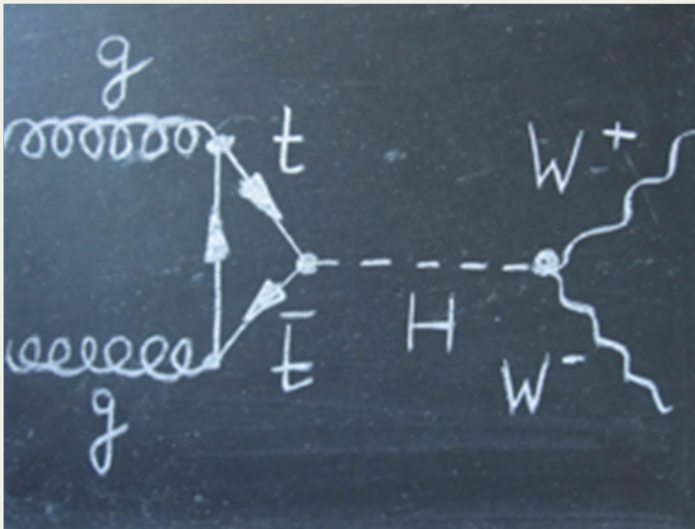
Es handelt sich um ein **SIGNALEREIGNIS**, wenn sich:

- im Ereignis **GENAU EIN LEPTON** (entweder ein Elektron oder ein Positron oder ein Myon oder ein Antimyon) befindet, das isoliert auftritt, d.h. **NICHT IN EINEM JET** auftritt.
- Das LEPTON muss einen transversalen Impuls (**PT**) von mindestens **20 GeV** besitzen.
- Im Ereignis muss ein fehlender transversaler Impuls (**Missing ET**) von mindestens **25 GeV** vorliegen.

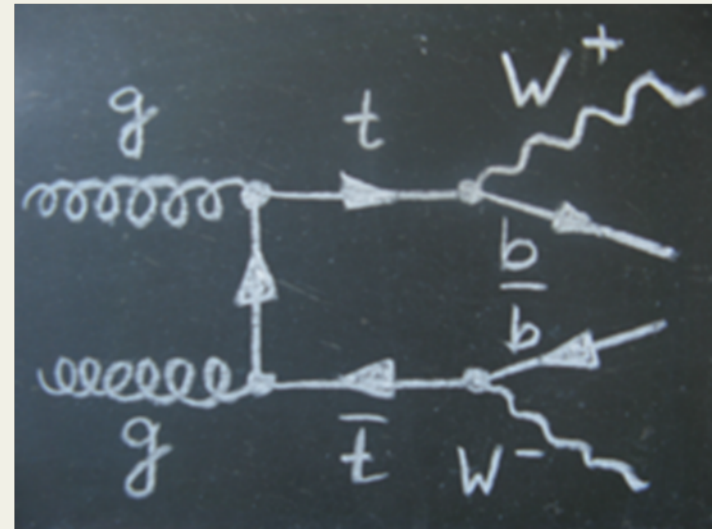
Jetzt kann die Zusammensetzung des Protons entdeckt werden...

- Jede Gruppe bekommt ein Datenpaket mit 50 Ereignissen
- In Ihrem Datenpaket suchen sie sich alle Signalereignisse heraus, also Ereignisse, in denen ein **W-Teilchen** erzeugt wurde.
- Für diese ermitteln sie die elektrische **Ladung des W-Teilchens**.
- Anschließend bestimmen wir **das Verhältnis der Anzahl elektrisch positiv geladener W-Teilchen zur Anzahl elektrisch negativ geladener W-Teilchen**.

Das Higgs-Teilchen



Signal



Untergrund

Wer findet das Higgs-Teilchen?

In den Daten sind (simulierte) **WW-Ereignisse** versteckt!

So erkennt man sie:

- Das Ereignis enthält **zwei Leptonen** (e, μ oder ihre Antiteilchen) mit entgegengesetzter Ladung, die nicht in Jets, auftreten.
- **Missing ET > 40 GeV** wenn beide Leptonen aus der gleichen Familie kommen bzw. **Missing ET > 25 GeV** wenn beide Leptonen aus unterschiedlichen Teilchenfamilien kommen.
- Das Lepton mit dem größten Impuls hat **pT > 25 GeV**, das andere hat **pT > 15 GeV**

WW-Ereignis: Signal oder Untergrund?

- Wir messen den **Winkel zwischen den beiden elektrisch entgegengesetzt geladenen Leptonen** in der Ebene senkrecht zur Stralachse betrachtet ($\Delta\Phi_{\parallel}$, Öffnungswinkel).
- Die Higgs-Ereignisse sind überwiegend bei Öffnungswinkeln zwischen 0 und 90 Grad zu finden.
- Die WW-Ereignisse aus dem Standardmodell erwartet man hingegen bei Öffnungswinkeln zwischen 0 und 180 Grad, wobei Winkel über 90 Grad häufiger sind als Winkel unter 90 Grad.
- Dies kann sehr gut in einem Histogramm dargestellt werden.

Angebot für Lehrkräfte

- Basisprogramm : ca. 400 Lehrkräfte im Jahr
- Qualifizierungsprogramm: ca.100 Lehrkräfte im Jahr
- Vertiefungsprogramm: 50 Lehrkräfte im Jahr
- Forschungsmitarbeit: derzeit 1, geplant ca. 5 Lehrkräfte im Jahr

1 BASIS-PROGRAMM



2 QUALIFIZIERUNGS-PROGRAMM



3 VERTIEFUNGSPROGRAMM FORSCHUNGSMITARBEIT

Besuch von

- (Astro-)Teilchenphysik-Fortbildungen
- Anderen einführenden Veranstaltungen

Organisation von

- Teilchenphysik-Masterclasses
- Experimenten mit kosmischen Teilchen
gemeinsam mit Netzwerk Teilchenwelt an
Ihrer Einrichtung.

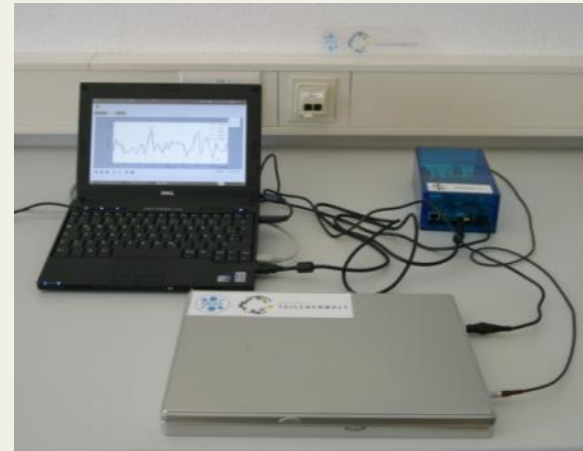
Teilnahme an

- CERN-Workshops
- Forschungsabordnung an lokale
Forschungseinrichtungen

Angebot für Lehrkräfte

- ✓ Teilnahme an Fortbildungen
- ✓ Teilchenphysik-Masterclasses organisieren
- ✓ Teilnahme ausgewählter SchülerInnen an den International Masterclasses
- ✓ Betreuung von Forschungsprojekten und Qualifizierungsmöglichkeiten für Schüler/innen übernehmen o. vermitteln
- ✓ Projektwochen zur Astroteilchenphysik an Ihrer Einrichtung durchführen
- ✓ Für CERN-Workshop bewerben
- ✓ Für (Teil-)Forschungsabordnungen bewerben
- ✓ Erstellung eigener Unterrichtsmaterialien oder Unterrichtsreihen
- ✓ Mitarbeit / Rückmeldung / Test der NTW Kontextmaterialien
-
- ✓ **Für Fortbildner/Fachleiter etc:**
- ✓ Organisation von Fortbildungen mit Wissenschaftlern des Netzwerks
- ✓ Weiterleitung von Informationen, Angebote, Materialien

Astroteilchen-Projekte



Zwei Experimente zum Nachweis kosmischer
Myonen: Kamiokanne und Szintillationszähler
Geeignet für Projektwochen und kleinere Gruppen
Zur Ausleihe an 15 Standorten
Nur nach vorheriger Fortbildung (!!)
Auch möglich: Bau einer Nebelkammer

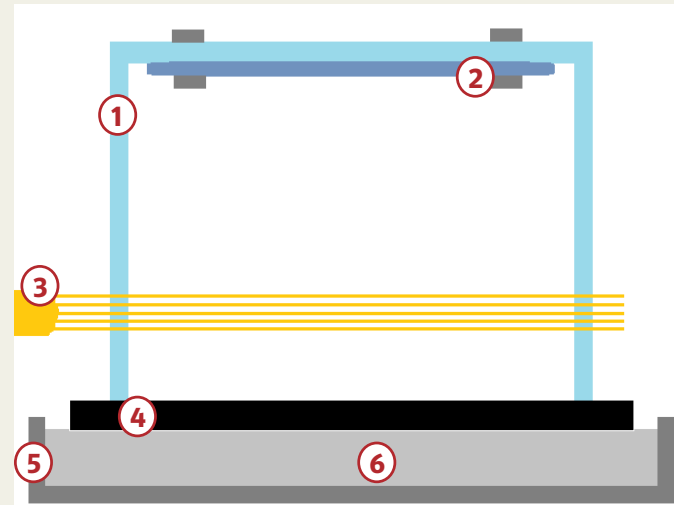
BAU EINER NEBELKAMMER TEILCHENSPIREN SICHTBAR MACHEN

Aus dem Weltall treffen ständig kosmische Teilchen auf die Erde. Obwohl jeden Tag unzählige Teilchen durch uns hindurch fliegen, können wir sie nicht spüren oder sehen. Eine Nebelkammer macht die kosmischen Teilchen sichtbar.

MATERIALLISTE UND BAUPLAN

- ① Durchsichtige Kunststoff- oder Glasbox
- ② Filz und Magnete zum Befestigen
- ③ Taschenlampe
- ④ Schwarze Metallplatte
- ⑤ Styroporkiste
- ⑥ Trockeneis

Außerdem benötigst du reinen Alkohol (100% Isopropanol), Knetmasse, Schutzhandschuhe und eine Schutzbrille.



© Netzwerk Teilchenwelt

BAUANLEITUNG

1 KAMMER VORBEREITEN

Schneide den Filz so zu, dass er den Boden der durchsichtigen Box bedeckt. Befestige ihn mit Magneten innen an der Oberseite der Box.

2 ALKOHOL EINFÜLLEN UND KAMMER ABDICHTEN

PROBLEME?

„Ich sehe keine Spuren!“

- Abwarten. Es dauert 5–10 Minuten, bis die Kammer ausreichend abgekühlt ist.

W⁺-BOSON

NACHWEIS: 1983



AUSTAUSCHTEILCHEN

Masse: 80 400 MeV/c²
Elektrische Ladung: +1
Starke Ladung: -
Schwache Ladung: +1

Mittlere Lebensdauer: $3 \cdot 10^{-25}$ s
Reichweite: 10^{-18} m

W⁻-BOSON

NACHWEIS: 1983



AUSTAUSCHTEILCHEN

Masse: 80 400 MeV/c²
Elektrische Ladung: -1
Starke Ladung: -
Schwache Ladung: -1

Mittlere Lebensdauer: $3 \cdot 10^{-25}$ s
Reichweite: 10^{-18} m

Z-BOSON

NACHWEIS: 1983



AUSTAUSCHTEILCHEN

Masse: 91 200 MeV/c²
Elektrische Ladung: 0
Starke Ladung: -
Schwache Ladung: 0

Mittlere Lebensdauer: $3 \cdot 10^{-25}$ s
Reichweite: 10^{-18} m

PHOTON

NACHWEIS: 1905



AUSTAUSCHTEILCHEN

Masse: 0
Elektrische Ladung: 0
Starke Ladung: -
Schwache Ladung: 0

Mittlere Lebensdauer: unbegrenzt
Reichweite: unbegrenzt

GLUONEN

NACHWEIS: 1979



AUSTAUSCHTEILCHEN

Masse: 0
Elektrische Ladung: 0
Starke Ladungen: rot, blau, grün
+ antirot, antiblau, antigrün
Schwache Ladung: 0

Mittlere Lebensdauer: unbegrenzt
Reichweite: 10^{-46} m

HIGGS-BOSON

NACHWEIS: 2012



Masse: 126 000 MeV/c²
Elektrische Ladung: 0
Starke Ladung: -
Schwache Ladung: -1/2

Mittlere Lebensdauer: $2 \cdot 10^{-22}$ s

Wie unterscheidet ihr euch innerhalb der Gruppe? Wie würdet ihr euch innerhalb der Gruppe sortieren?

- nach der elektrischen Ladung.
- nach der Masse: Von jedem der leichtesten Teilchen (Up- und Down-Quark, Elektron) gibt es zwei schwerere „Kopien“, die sich nur durch ihre Masse voneinander unterscheiden. (s. Frage 7 in der Datei [Teilchen_Infos]).
- ggf. nach dem Nachweisdatum. Hier könnte auffallen, dass massereichere Teilchen tendenziell später entdeckt wurden.

Was unterscheidet euch jeweils von anderen Gruppen?

- Die elektrische Ladung von Quarks ist drittelzahlig, die von Leptonen ganzzahlig oder neutral.
- Quarks tragen eine starke Ladung (Farbladung), Leptonen nicht.
- Materie- und Antimaterieteilchen besitzen jeweils dieselbe Masse, und die entgegengesetzte elektrische Ladung. Wenn Sie die Langversion der Steckbriefe benutzen, fällt auf, dass sich alle Ladungen umkehren (also auch starke und schwache Ladung).

Was unterscheidet Quarks und Leptonen voneinander? (s. Fragen 5 und 6 in der Datei [Teilchen_Infos])

- Leptonen haben eine ganzzahlige elektrische Ladung, Quarks eine drittelzahlige.
- Leptonen tragen keine starke Ladung. Jede Quark-Sorte kann eine von drei starken Ladungen annehmen (Quarks unterliegen also der starken Wechselwirkung).
- Leptonen kommen einzeln vor, Quarks dagegen nicht.

Was unterscheidet Materie und Antimaterie voneinander, was haben sie gemeinsam?

- Ein Antimaterieteilchen trägt die gleiche Masse wie das entsprechende Materieteilchen, jedoch sind sämtliche Ladungen umgekehrt.

DAS STANDARDMODELL DER TEILCHENPHYSIK HINTERGRUNDINFORMATIONEN

INHALT

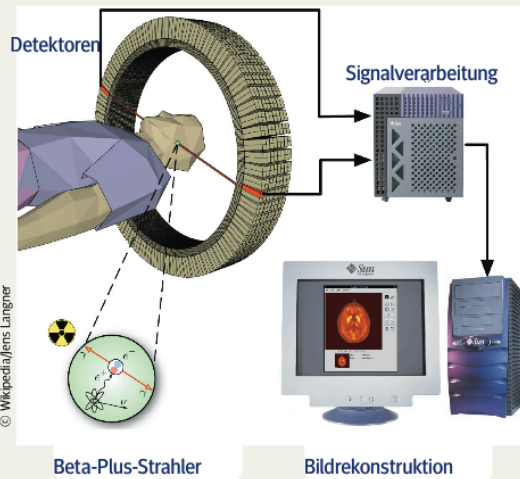
1. Was sind Elementarteilchen ?	2
2. Was ist ein Elektronenvolt (eV)?	2
3. Wie erforscht man Elementarteilchen?	2
4. Was ist das Standardmodell der Teilchenphysik?	2
5. Was sind Quarks ?	2
6. Was sind Leptonen ?	2
7. Worin unterscheiden sich die drei Generationen der Materieteilchen?	3
8. Was ist Antimaterie ?	3
9. Was geschieht, wenn ein Teilchen zerfällt ?	3
10. Wie bestimmt man die Massen von Quarks?	3
11. Was versteht man unter der mittleren Lebensdauer eines Teilchens?	3
12. Was sind Wechselwirkungen und Austauschteilchen ?	4
13. Was bedeutet die Reichweite einer Wechselwirkung und wovon hängt sie ab?	4
14. Was sind Ladungen ?	5
15. Was ist eine starke Ladung (Farbladung) ?	5
16. Was ist eine schwache Ladung ?	6
17. Wie kann man die Stärken der Wechselwirkungen vergleichen?	6
18. Was ist das Higgs-Boson ?	6



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 aussendet (ein Beta-Plus-Strahler). Dabei handelt es sich meist um eine spezielle Zuckerlösung, in der Fluor-Atome durch das radioaktive Isotop ^{18}F ersetzt wurden (Fluor-Desoxyglucose). Da Tumorzellen mehr Zucker verbrauchen als gesunde Zellen, sammelt er sich insbesondere in Tumorgewebe.



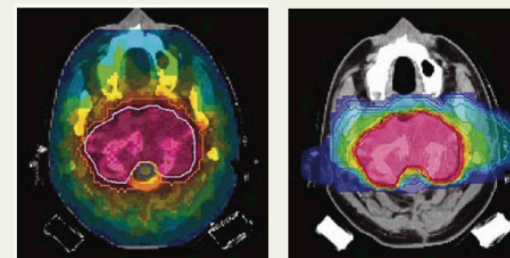
► Abb. 1: Positronen-Emissions-Tomographie (PET)

Die Positronen aus dem Zerfall der radioaktiven Isotope legen im Körper nur eine sehr kurze Strecke zurück. Sobald ein Positron auf ein Elektron trifft, „annihilieren“ sich beide, d.h. die

Tumorthherapie mit Hadronen

Heute 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. 2: Links: Bei der herkömmlichen Strahlentherapie mit Photonen wird ein großer Teil des umliegenden Gewebes in Mitleidenschaft gezogen.

Zusammengefasst:



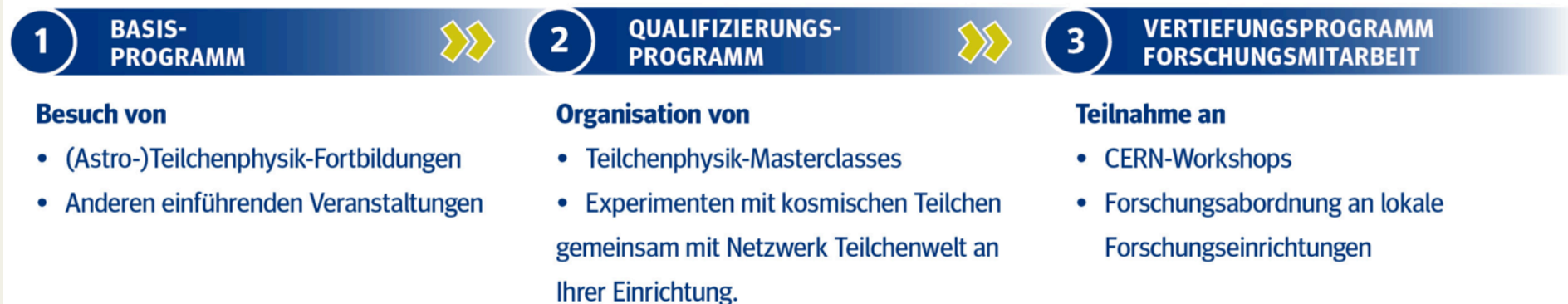
Vermittlung von Teilchenphysik ist unser Anliegen

Lehrkräfte sind unsere wichtigsten Multiplikatoren!

Angebot für Jugendliche



Angebot für Lehrkräfte



Lehrkräfte



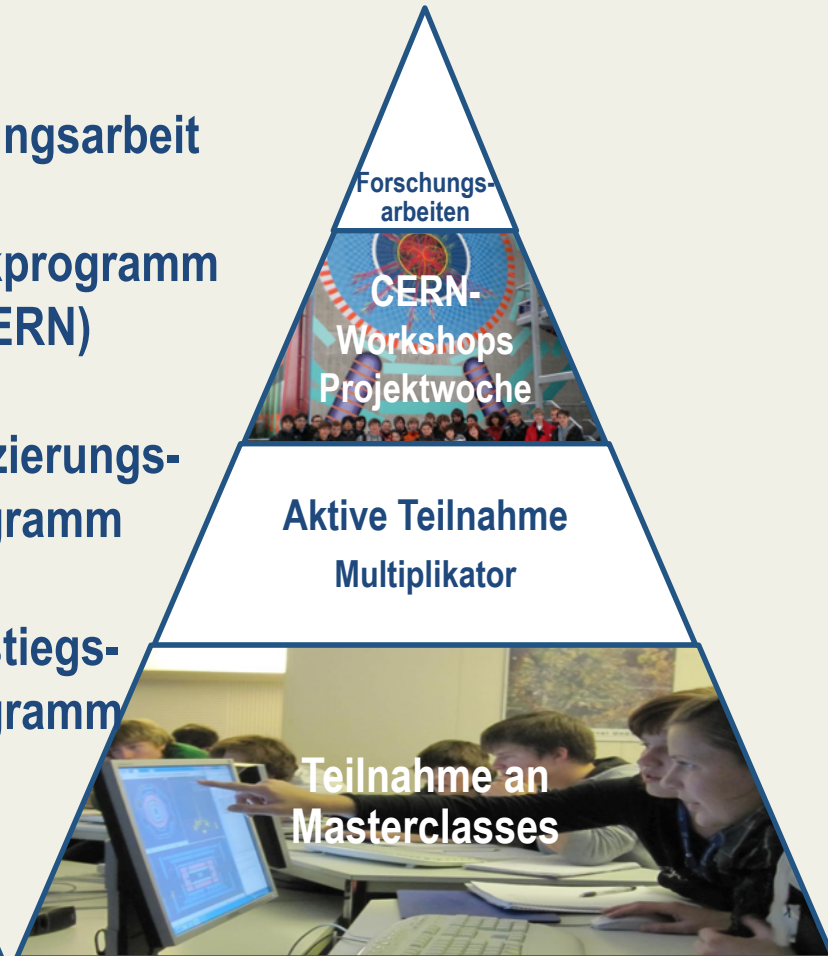
Forschungsarbeit

**Netzwerkprogramm
(CERN)**

**Qualifizierungs-
programm**

**Einstiegs-
programm**

SchülerInnen



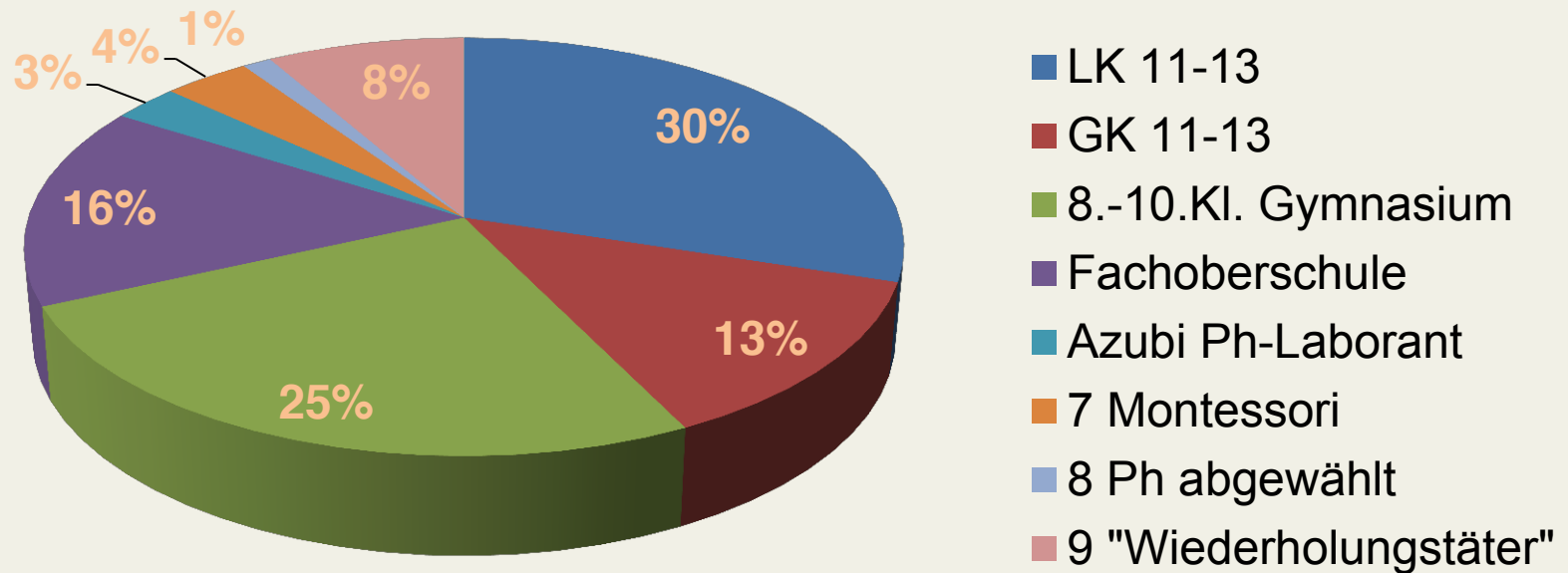
- Erhebung in 25/28 MC's
- pre: $N \approx 490$; pre+post $N \approx 450$; pre+post+follow-up $N \approx 340$
- Messungen: 16 x ATLAS W
8 x LEP Z
1 x ATLAS Z
- Standorte:



- Erlangen/ Nürnberg
- Dresden
- Berlin
- Hamburg
- Bonn
- Münster
- Mainz
- Rostock
- Freiburg

Teilnehmergruppen

N≈500



3. Interessenvariablen und Items (pre/post/follow-up)

Variable	Dimensionen	Beispiel-Items	Bem. zum FB
Fachinteresse Ph	-	Der Physikunterricht macht mir Spaß.	4 Items; $\alpha=.861$
Selbstkonzept Ph	-	Physik liegt mir nicht besonders.	4 Items; $\alpha=.880$
Berufsinteresse Ph	-	Ich kann mir vorstellen, in einem Beruf zu arbeiten, der etwas mit Physik zu tun hat.	4 Items; $\alpha=.914$
Sachinteresse Teilchenphysik	Inhalte	was die elementaren Bausteine der Materie sind was das „Higgs“ eigentlich ist	6 Items; $\alpha=.881$
	„mysteriöse“ Inhalte	was „Antimaterie“ eigentlich ist was „Dunkle Energie“ eigentlich ist	4 Items; $\alpha=.857$; Itemschwierigk.>0.8
	Kontext Forschung	wie die Forschung am CERN organisiert ist welche Phänomene Wissenschaftler noch nicht erklären können	7 Items; $\alpha=.835$
	Tätigkeit Physiker	wie Physiker des CERN über Messergebnisse diskutieren wie Experimente am CERN durchgeführt werden	5 Items; $\alpha=.877$
	Tätigkeit selbst	selbst Experimente auswerten, wie am CERN Selbst verschiedene Teilchen identifizieren, wie es am CERN geschieht	5 Items; $\alpha=.896$



Das Bild kann nicht angezeigt werden. Dieser Computer verfügt möglicherweise über zu wenig Arbeitsspeicher, um das Bild zu öffnen, oder das Bild ist beschädigt. Starten Sie den Computer neu, und öffnen Sie dann erneut die Datei. Wenn weiterhin das rote x angezeigt wird, müssen Sie das Bild möglicherweise löschen und dann erneut einfügen.



Das Bild kann nicht angezeigt werden. Dieser Computer verfügt möglicherweise über zu wenig Arbeitsspeicher, um das Bild zu öffnen, oder das Bild ist beschädigt. Starten Sie den Computer neu, und öffnen Sie dann erneut die Datei. Wenn weiterhin das rote x angezeigt wird, müssen Sie das Bild möglicherweise löschen und dann erneut einfügen.

