

Masterclass - Einführung

Ein Ausflug in die Welt
eines Teilchenphysikers

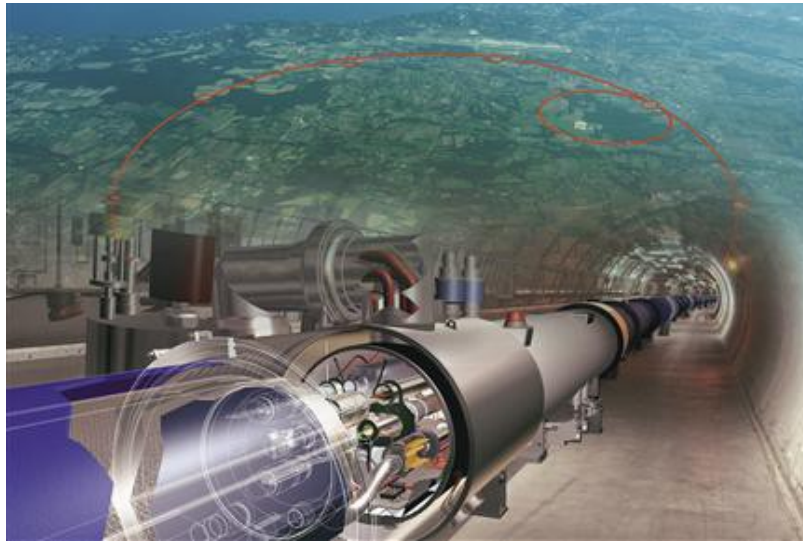


TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN



NETZWERK
TEILCHENWELT

Teil 1: Einleitung



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN



NETZWERK
TEILCHENWELT

Das CERN

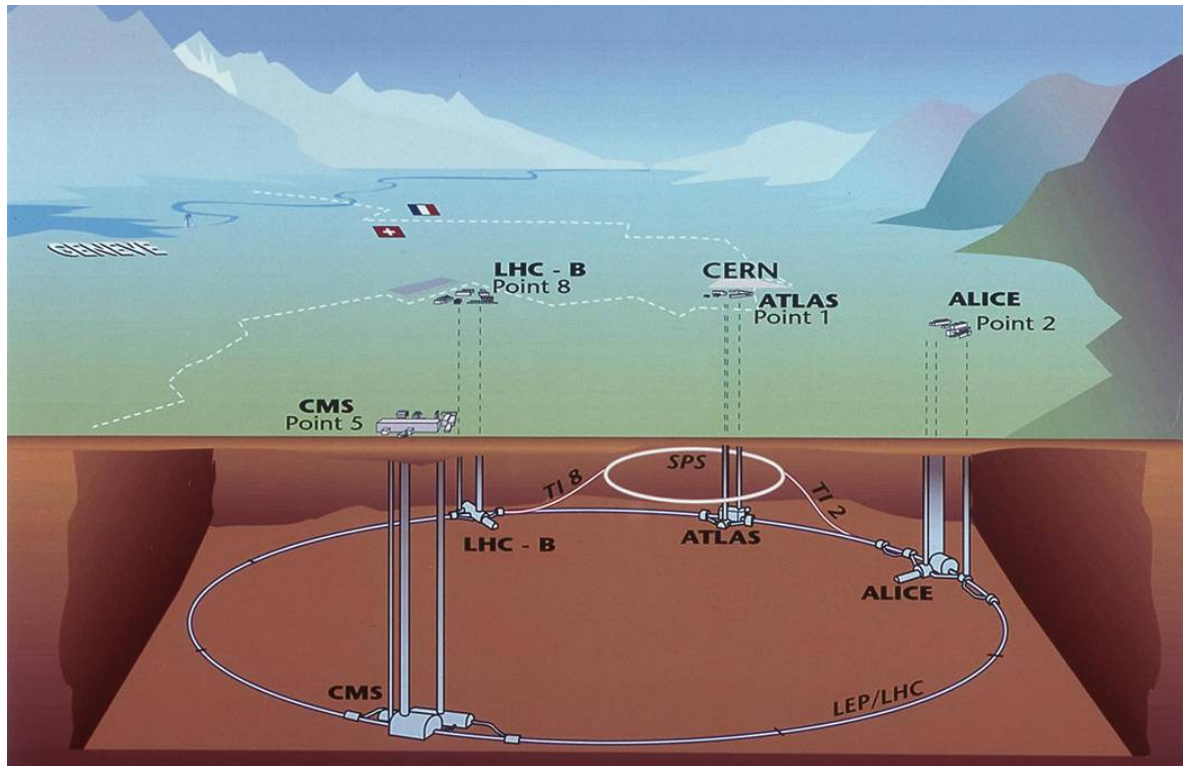
(Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire)



- Eines der größten Teilchenphysik-Forschungszentrum der Welt
- Der grösste Teil liegt in der Schweiz, ein kleinerer in Frankreich
- Gründung 1954
- 20 Mitgliedsstaaten: Deutschland, Frankreich, GB, Italien, Spanien, Niederlande, Belgien, Norwegen, Polen, Schweiz, Schweden, Österreich, Griechenland, Dänemark, Finnland, Portugal, Tschechien, Ungarn, Slowakei, Bulgarien

Der LHC

(Large Hadron Collider)



Hochenergetischster **Teilchenbeschleuniger** der Welt
2009 in Betrieb gegangen

Was geschieht im LHC?

- Protonen kreisen in entgegengesetzten Richtungen mit einer Energie von je 4 TeV
- Wenn die Protonen zusammenstoßen, entstehen neue Teilchen, die man in Detektoren nachweist



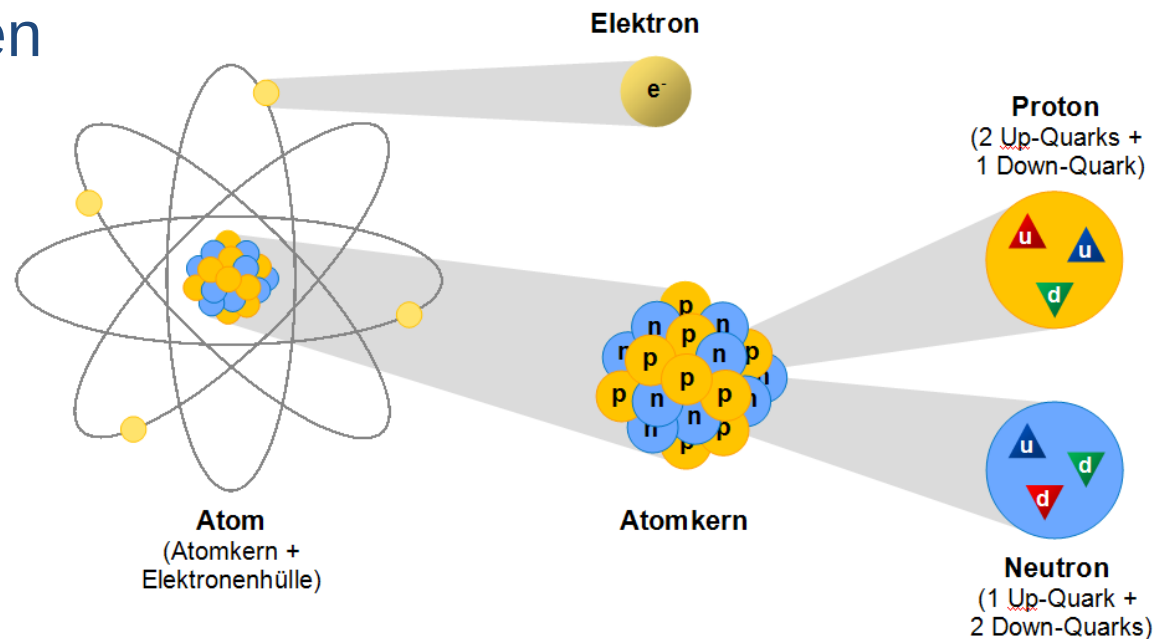
Teil 2: Woraus besteht die Welt?

FERMIONS			BOSONS	
	I	II	III	
QUARKS	 u UP QUARK	 c CHARM QUARK	 t TOP QUARK	 γ PHOTON
	 d DOWN QUARK	 s STRANGE QUARK	 b BOTTOM QUARK	 g GLUON
	 ν_e ELECTRON-NEUTRINO	 ν_μ MUON-NEUTRINO	 ν_τ TAU-NEUTRINO	 Z Z BOSON
LEPTONS	 e^- ELECTRON	 μ MUON	 τ TAU	 W W BOSON



Woraus besteht Materie?

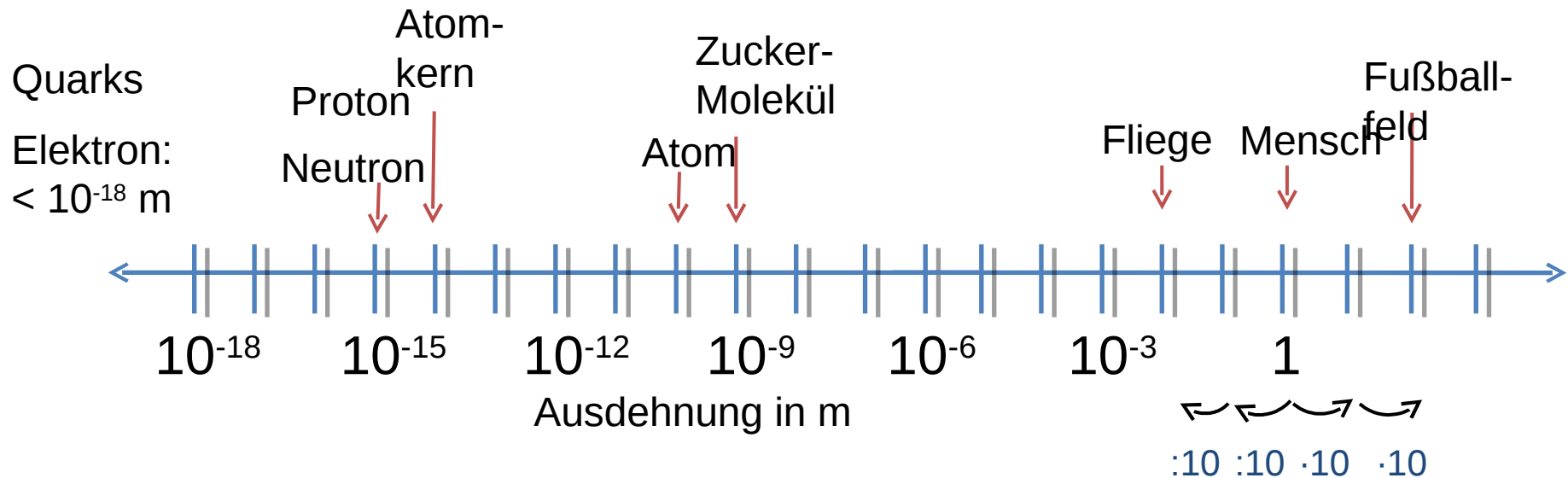
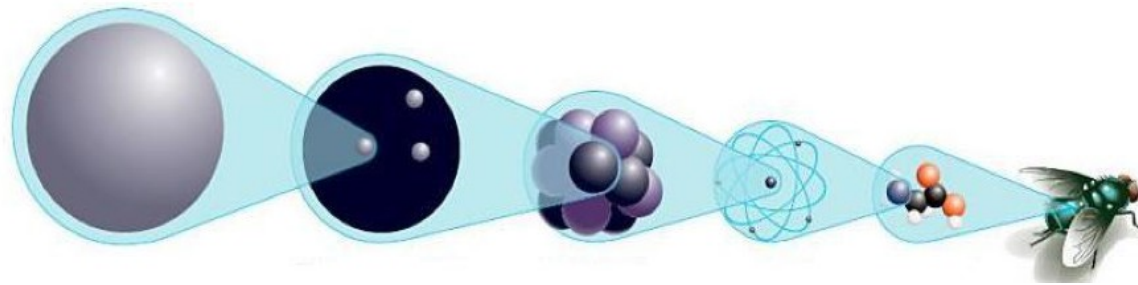
- Materie besteht aus **Elementarteilchen**
⇒ Teilchen, die **nicht** aus noch kleineren Teilchen bestehen



- Die stabile Materie in unserer Umgebung besteht aus Elektronen, Up- und Down-Quarks.

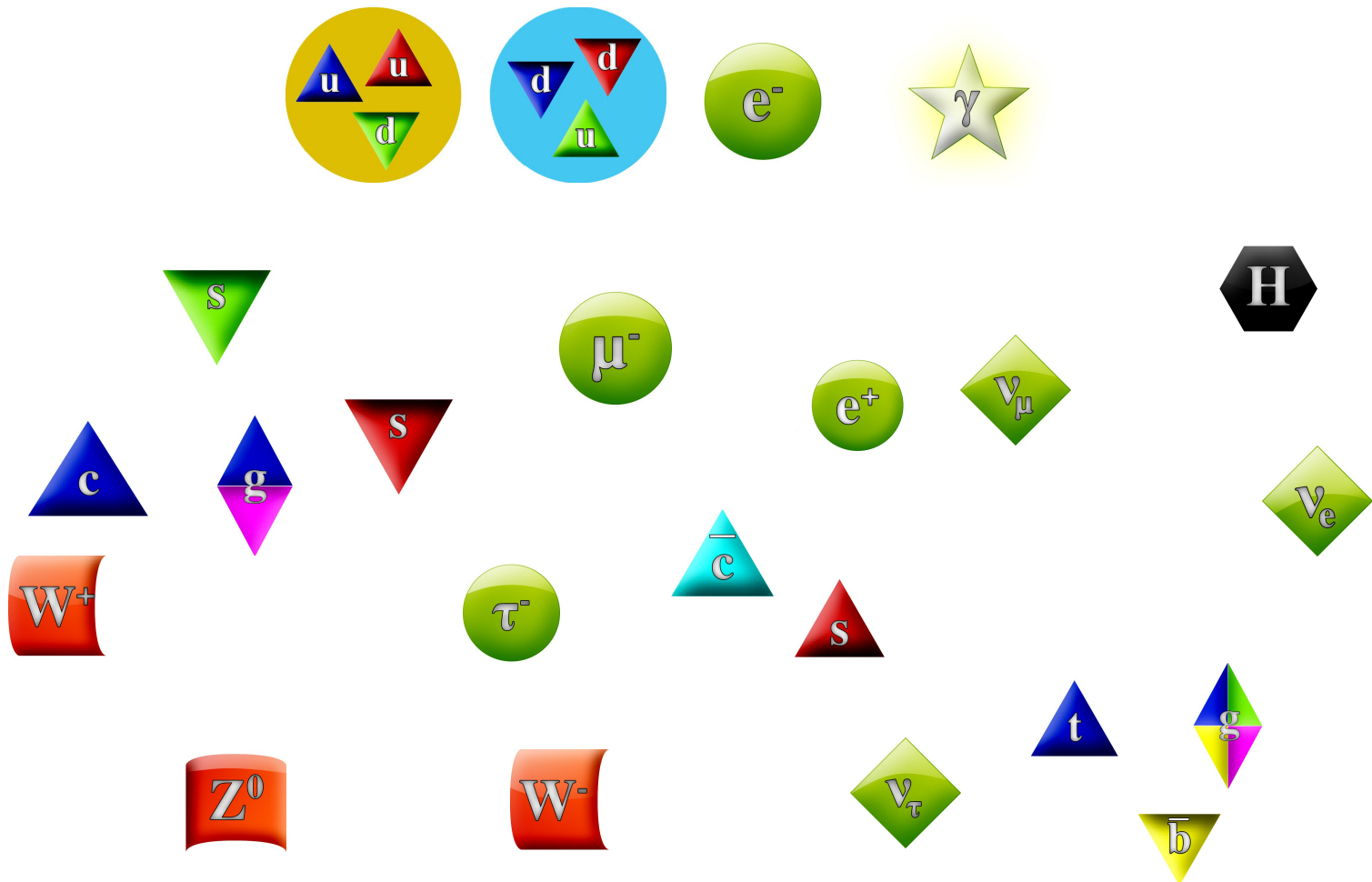


Wie klein sind Elementarteilchen?





Was gibt es für Elementarteilchen?





Elementarteilchen – Puzzle

Bringt Ordnung in die Elementarteilchen!

- Sortiert die Teilchen in sinnvolle Gruppen
- Überlegt dann:
 - Welche Eigenschaften haben die Teilchen in einer Gruppe gemeinsam?
 - Was unterscheidet die Teilchen voneinander?
Wie könnt ihr sie innerhalb der Gruppen sortieren?

Materieteilchen

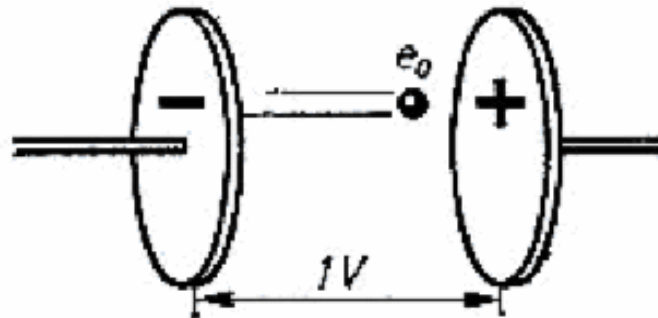
QUARKS		LEPTONEN			
3 GENERATIONEN	1.	UP-QUARKS $m = 2 \text{ MeV}/c^2$ $q = +2/3$	DOWN-QUARKS $m = 5 \text{ MeV}/c^2$ $q = -1/3$	ELEKTRON $m = 0,511 \text{ MeV}/c^2$ $q = -1$	ELEKTRON-NEUTRINO $m < 0,000\ 002 \text{ MeV}/c^2$ $q = 0$
	2.	CHARM-QUARKS $m = 1300 \text{ MeV}/c^2$ $q = +2/3$	STRANGE-QUARKS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

Stabile Materie in unserer Umgebung besteht nur aus Teilchen der ersten Generation: Elektronen, Up- und Down-Quarks.

Von ihnen gibt es je zwei massereichere, instabile "Kopien" mit gleichen Ladungen (2. und 3. Generation).

Das Elektronenvolt – Die Energieeinheit der Teilchenphysik

- 1 eV ist die Energie, die ein Elektron gewinnt, wenn es eine Spannung von 1 Volt durchfliegt.

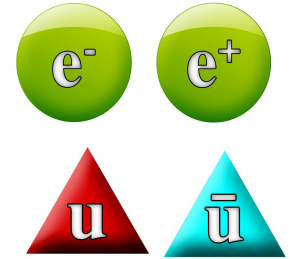


- $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Joule}$
 $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$
 $1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV}$

Vergleiche von Energien

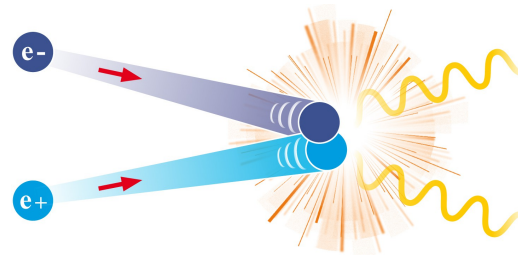
- 4 TeV: Bewegungsenergie eines Protons im LHC,
 $\approx$ Bewegungsenergie einer Mücke
- 0,94 GeV/c²: Masse eines Protons ($E=mc^2$)
- Bewegungsenergie aller Protonen (Billionen) im LHC
 $\approx$ Bewegungsenergie eines ICE bei 150 km/h

Antimaterie

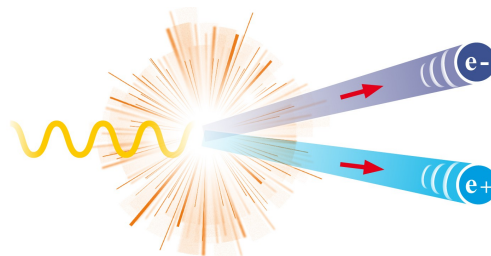


- Zu jedem Materieteilchen gibt es ein Antiteilchen mit **gleicher Masse und entgegengesetzten Ladungen**.
- Trifft ein Materieteilchen auf seinen Antipartner, so „vernichten“ sie sich - aus der vorhandenen Energie entstehen oft Photonen:

$$E = mc^2$$

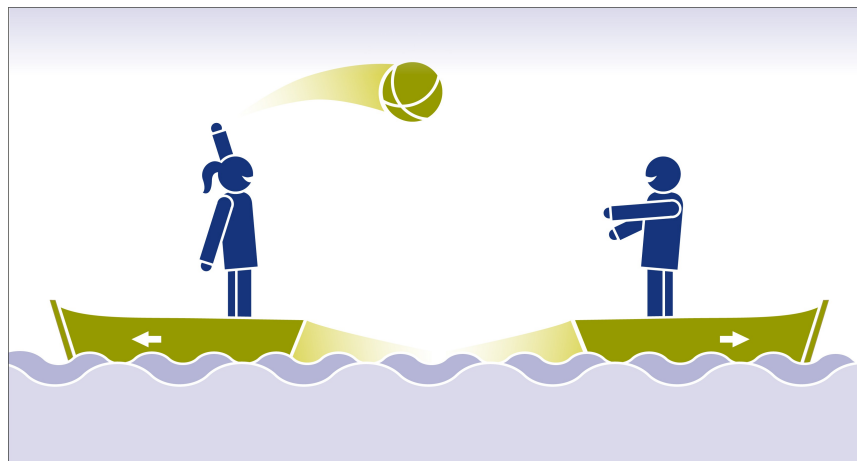


- Umgekehrt kann aus Photonen ein Teilchen-Antiteilchen-Paar entstehen:



Wechselwirkungen

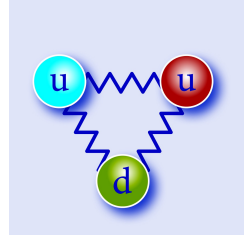
- Wenn Teilchen einander begegnen, „wechselwirken“ sie: d.h. sie können sich anziehen oder abstoßen, Teilchen können erzeugt werden oder sich ineinander umwandeln, etc.
- Wechselwirkungen werden durch **Austauschteilchen** übertragen:



Wechselwirkungen

- **Starke Wechselwirkung**

- Anziehung zwischen Quarks, Zusammenhalt von Atomkernen



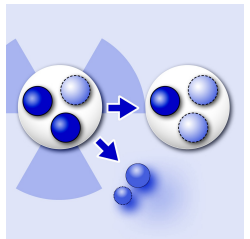
- **Elektromagnetische Wechselwirkung**

- Elektromagnetische Wellen, Zusammenhalt von Atomen, Chemie, Magnetismus



- **Schwache Wechselwirkung**

- Betazerfall, Kernfusion (Umwandlung von schweren Quarks in leichtere Quarks, und von schweren Leptonen in leichtere Leptonen)
- Wechselwirkung von Neutrinos mit anderen Teilchen



- **Gravitation**

- spielt für Elementarteilchen keine Rolle; sehr schwach

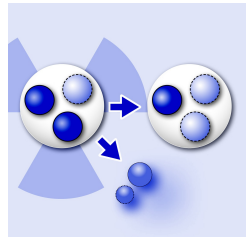
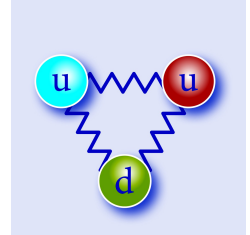




Wechselwirkungen

Welche Wechselwirkung spielt die Hauptrolle?

- Jemand telefoniert mit dem Handy
- Ein Atomkern wandelt sich durch einen Betazerfall in einen anderen um
- Viele Atomkerne sind stabil, obwohl sich die Protonen untereinander abstoßen
- Eine Kompassnadel richtet sich nach Norden aus
- Zwei Atome gehen eine chemische Bindung ein
- Ein Glas fällt vom Tisch
- Zwei Up-Quarks und ein Down-Quark bilden ein Proton; Quarks kommen nie einzeln vor



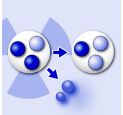


Wechselwirkungen

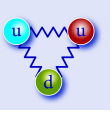
Welche Wechselwirkung spielt die Hauptrolle?



Jemand telefoniert mit dem Handy



Ein Atomkern wandelt sich durch einen Betazerfall in einen anderen um



Viele Atomkerne sind stabil, obwohl sich die Protonen untereinander abstoßen



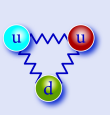
Eine Kompassnadel richtet sich nach Norden aus



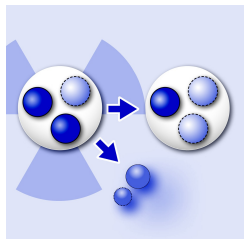
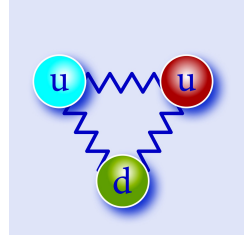
Zwei Atome gehen eine chemische Bindung ein



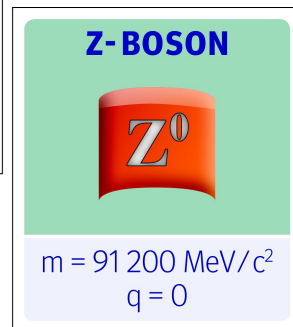
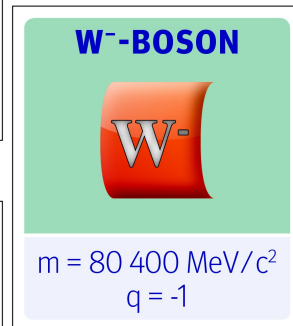
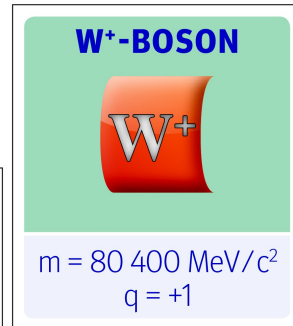
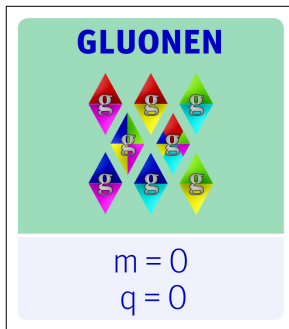
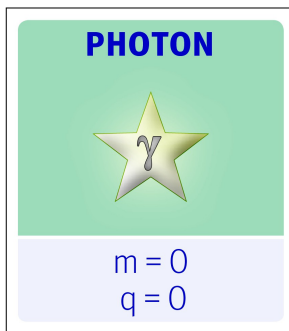
Ein Glas fällt vom Tisch



Zwei Up-Quarks und ein Down-Quark bilden ein Proton; Quarks kommen nie einzeln vor



Wechselwirkungen und Austauschteilchen



Das **Photon** vermittelt die **Elektromagnetische Wechselwirkung**.

Acht **Gluonen** vermitteln die **Starke Wechselwirkung**.

Die massereichen **W- und Z-Bosonen** vermitteln die **Schwache Wechselwirkung**.



Ladungen und Wechselwirkungen

Zu jeder Wechselwirkung gehört eine Ladung.

Nur Teilchen mit der entsprechenden Ladung spüren die Wechselwirkung:

- Starke Wechselwirkung $\leftrightarrow$ Starke Ladung (Farbladung)
- Elektromagnetische Wechselwirkung $\leftrightarrow$ Elektrische Ladung
- Schwache Wechselwirkung $\leftrightarrow$ Schwache Ladung



Ladungen und Wechselwirkungen

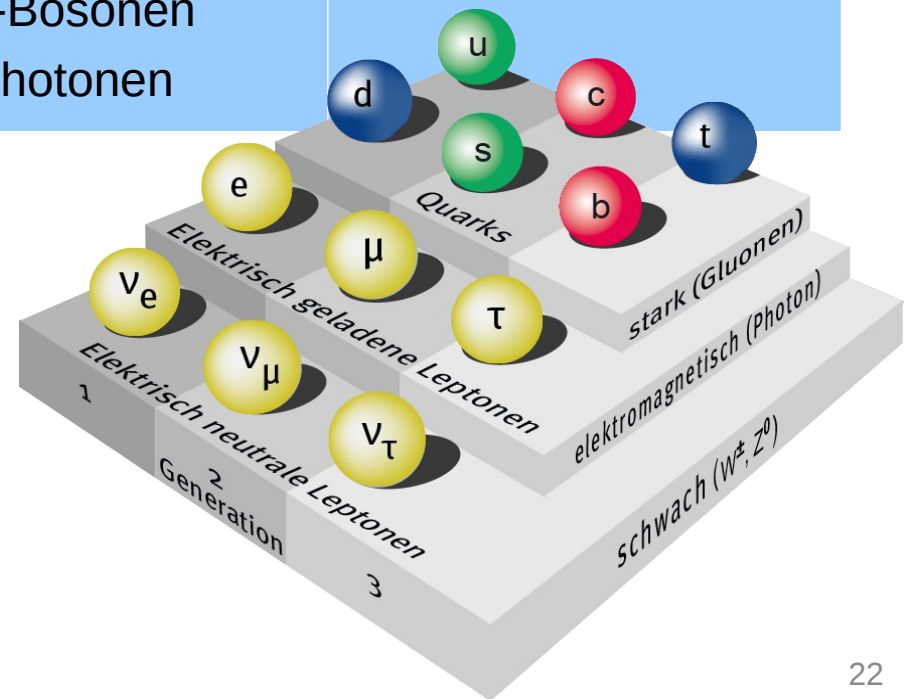
Ordnet die Elementarteilchen den Wechselwirkungen zu! ACHTUNG: Ein Teilchen kann an mehreren Wechselwirkungen teilnehmen!

Starke Wechselwirkung	Elektromagnetische Wechselwirkung	Schwache Wechselwirkung



Das Standardmodell der Teilchenphysik

Starke Wechselwirkung	Elektromagnetische Wechselwirkung	Schwache Wechselwirkung
Quarks Gluonen	Quarks Leptonen, W-Bosonen Photonen	alle Materieteilchen W- und Z-Bosonen



Das Higgs-Boson



- Aus der Theorie Standardmodell folgt: Elementarteilchen sind „an sich“ masselos.
- Aber was würde geschehen, wenn Teilchen tatsächlich masselos wären?

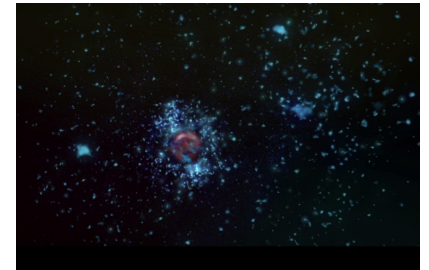
Das Higgs-Boson



- Aus der Theorie Standardmodell folgt: Elementarteilchen sind „an sich“ masselos.
- Aber was würde geschehen, wenn Teilchen tatsächlich masselos wären?
 - Masselose Teilchen würden sich stets mit Lichtgeschwindigkeit bewegen; es gäbe keine feste Materie.

➤ Wie erhalten Teilchen ihre Masse?

- Mögliche Erklärung: Teilchen wechselwirken mit dem **Higgs-Feld** und erhalten so Masse
- Schwingungen des Higgs-Feldes sollten als neues Elementarteilchen experimentell nachweisbar sein: Das **Higgs-Boson**.





Feynman-Diagramme

...veranschaulichen Wechselwirkungen zwischen Elementarteilchen. Jedes Teilchen wird durch eine Linienart dargestellt:

Materieteilchen 

Antimaterieteilche 

W- oder Z-Boson,
Photon 

Gluon 

Richard Feynman
(1918 – 1988)

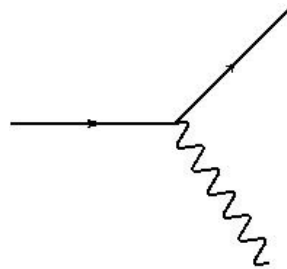




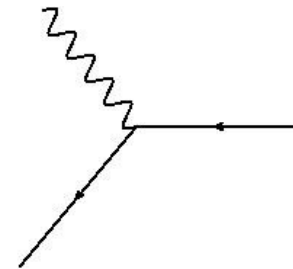
Feynman-Diagramme

...setzen sich aus vier Bausteinen zusammen:

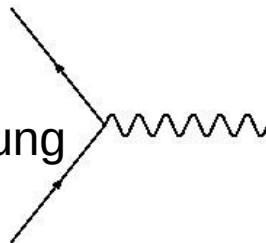
Abstrahlung



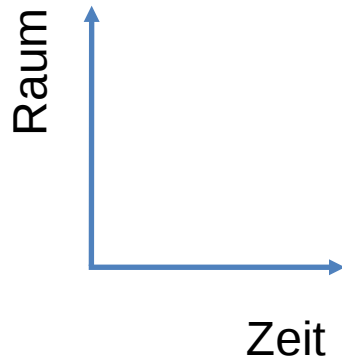
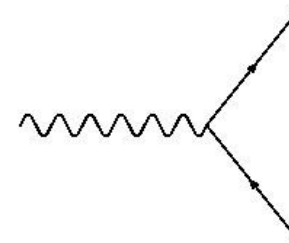
Einfang



Paarvernichtung



Paarbildung

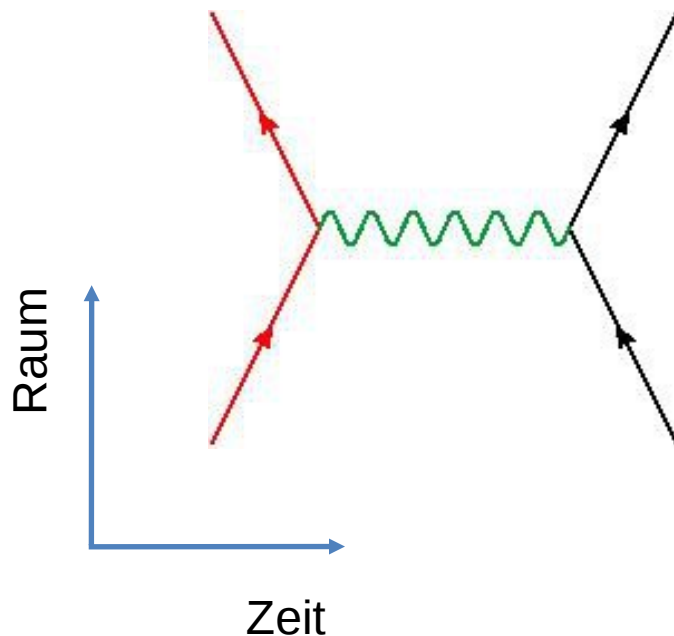




Feynman-Diagramme

...zeigen:

- **welche Teilchen vor der Wechselwirkung vorhanden sind**
- **wie sie wechselwirken**
- **welche Teilchen danach vorhanden sind**



Ein Teilchen und ein Antiteilchen
treffen aufeinander...

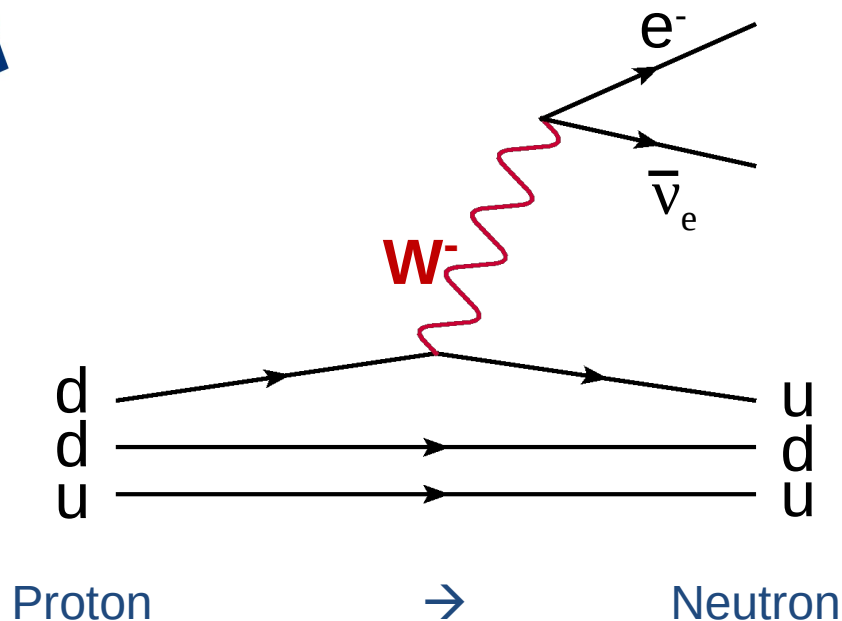
Sie „vernichten“ sich in ein
Austauschteilchen

Aus dem Photon entstehen ein
Teilchen und ein Antiteilchen



Feynman-Diagramme

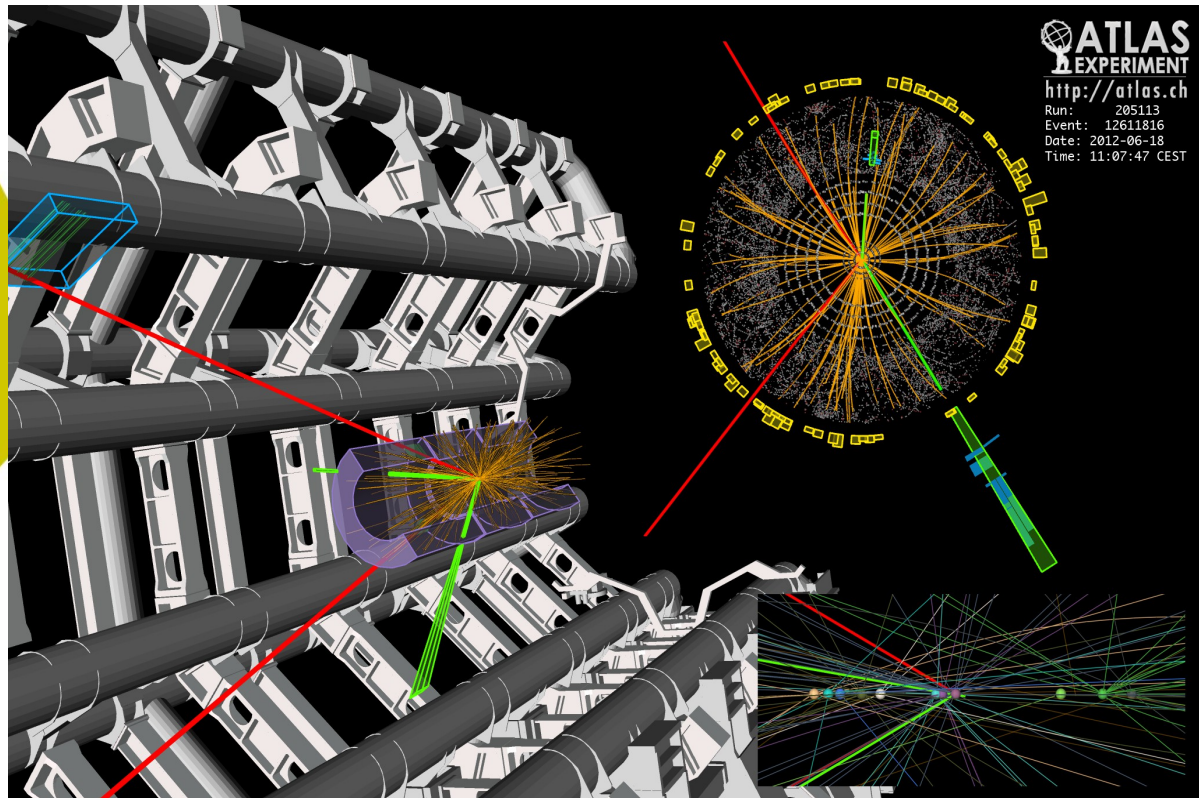
Noch ein Beispiel – der **Beta-Zerfall**:



Animation

- Ein Down-Quark wandelt sich in ein Up-Quark um
- Dabei sendet es ein **W^- -Boson** aus
- Dieses wandelt sich in ein Elektron und ein Antineutrino um

Teil 2: Wie untersucht man Elementarteilchen?



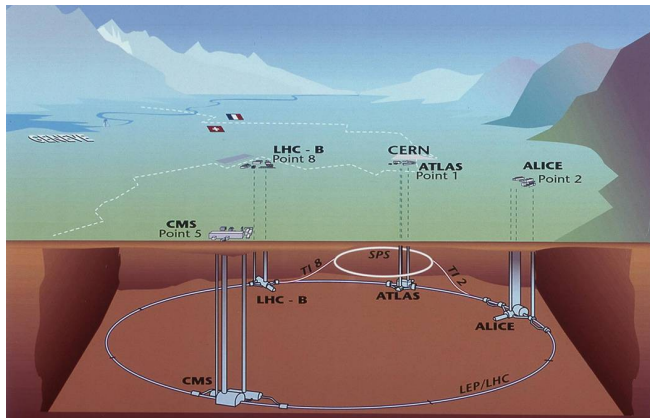
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN



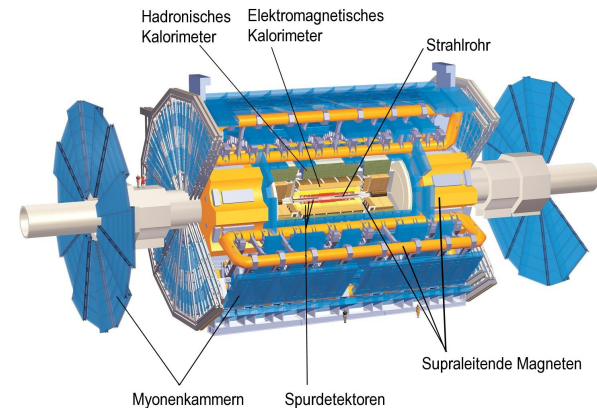
NETZWERK
TEILCHENWELT

Werkzeug: Man benötigt einen Teilchenbeschleuniger und einen Detektor!

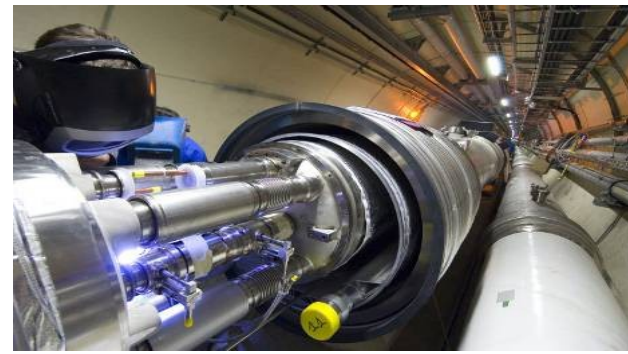
In unserem Fall ist das der LHC...



...und der ATLAS Detektor



Der LHC ist...

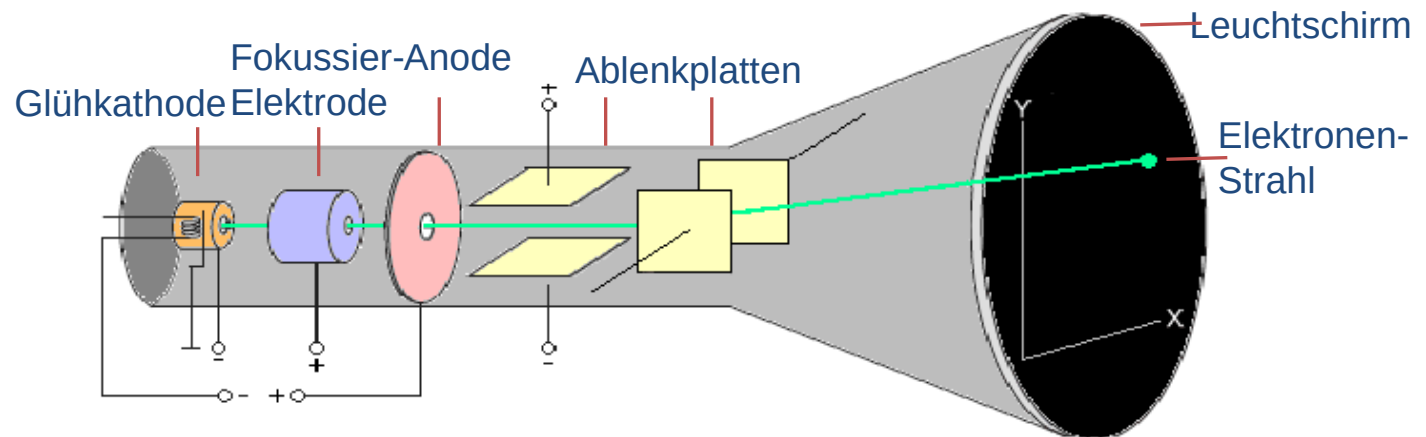


- **Eine Hochenergiemaschine**
 - Protonen mit 99,999997% der Lichtgeschwindigkeit
 - 27 km langer Tunnel
 - über 11 000 Runden pro Sekunde!
- **Der leerste Raum im Sonnensystem**
 - Im Strahlrohr herrscht ein Vakuum wie im fernen Weltall; selbst auf dem Mond ist der Druck höher.
- **Einer der kältesten Orte im Universum...**
 - Die supraleitenden Magnete des LHC arbeiten bei 2,7 K (– **271°C**): kälter als im Weltall!
 - 100 Tonnen flüssiges Helium – der größte Tiefkühlschrank der Welt!

Wie funktioniert ein Teilchenbeschleuniger?

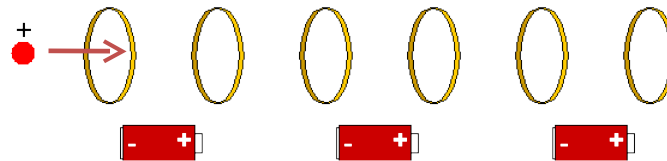
Der einfachste Beschleuniger: Ein alter Fernseher (Braun'sche Röhre)!

- Elektronen werden erzeugt: Glühkathode
- ...beschleunigen: elektrisches Feld (Hochspannung)
- ...ablenken und fokussieren: elektrisches oder magnetisches Feld



Wie funktioniert ein Teilchenbeschleuniger?

- Um die Teilchen zu beschleunigen durchlaufen sie ein elektrisches Wechselfeld, Voraussetzung: die Teilchen müssen geladen sein!

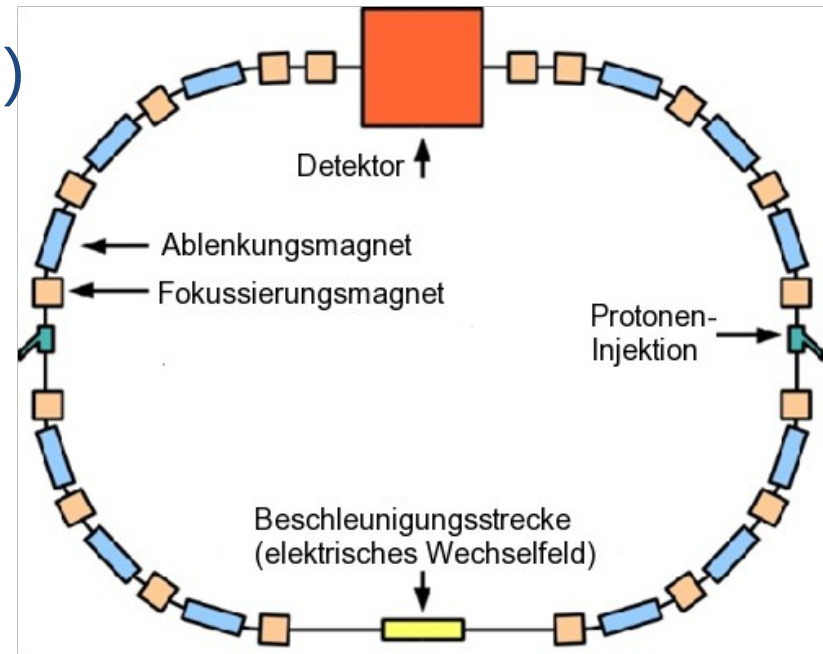


- Wird die Polung des elektrischen Feldes im richtigen Moment umgekehrt, wird das Teilchen beschleunigt.

Wie funktioniert der LHC?

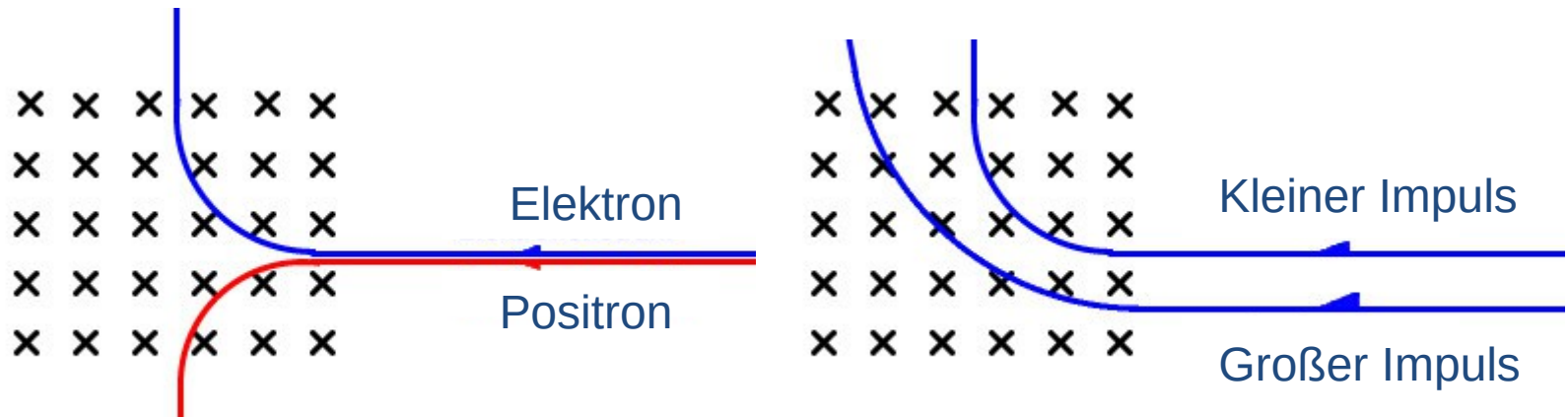
Im LHC durchlaufen Pakete (Bunches) von Protonen eine kreisförmige Bahn, auf der sie...

- ...beschleunigt werden (elektrisches Wechselfeld)
- ...abgelenkt werden... (Dipol-Magnete)
- ...und fokussiert werden (Quadrupol-Magnete)



Magnetfelder und geladene Teilchen

- Ein Magnetfeld lenkt elektrisch geladene Teilchen senkrecht zu ihrer Flugbahn ab (Lorentzkraft):



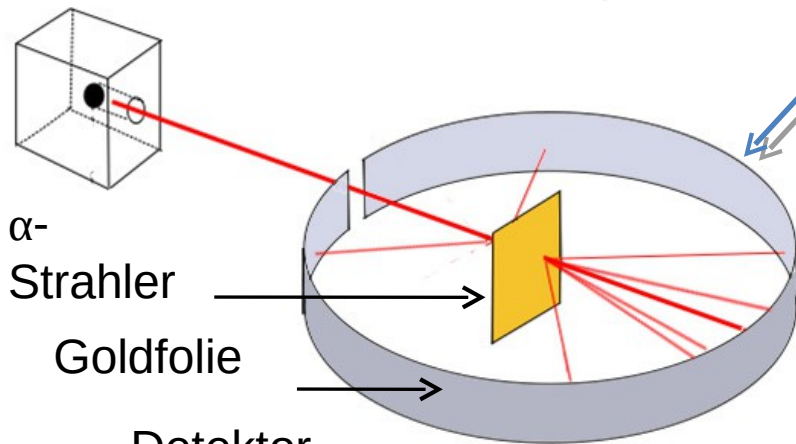
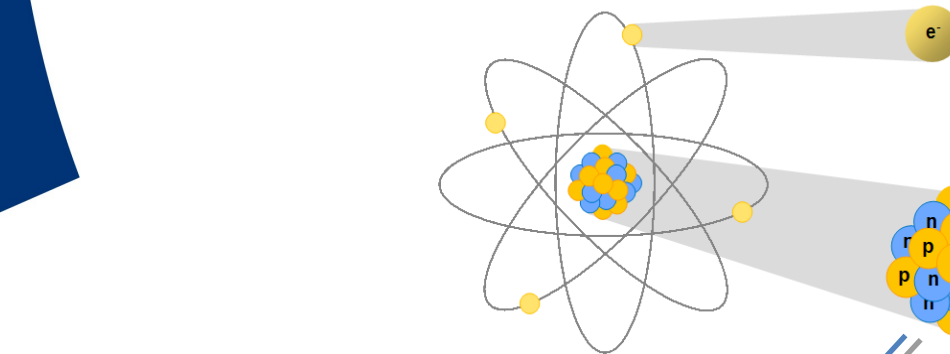
x: Das Magnetfeld zeigt vom Betrachter weg

- Die Richtung und Stärke der **Bahnkrümmung** hängen von der **elektrischen Ladung** und vom **Impuls** (also von Masse und Geschwindigkeit) des Teilchens ab.



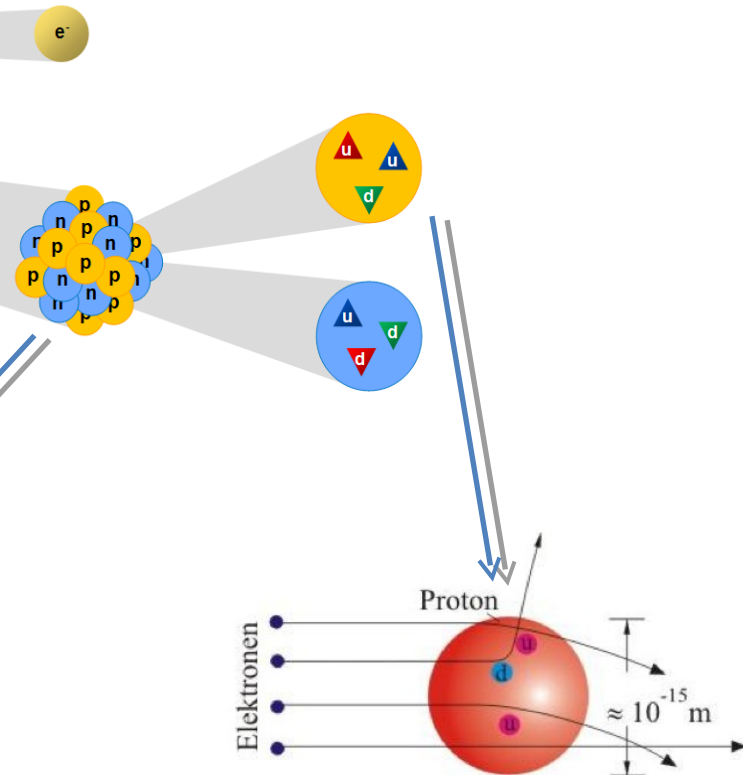
Wozu Teilchenbeschleuniger?

➤ Strukturuntersuchungen



**Rutherford-Streuxperiment
(1911)**

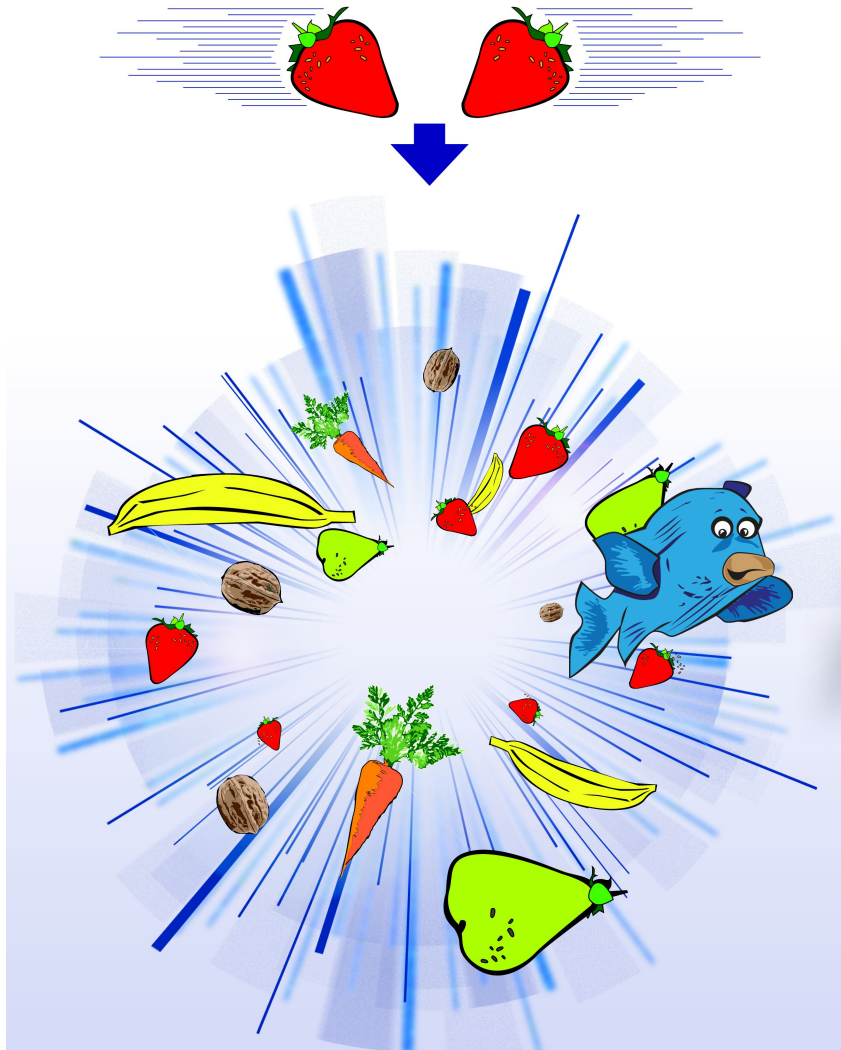
Streuung von α -Teilchen an
Goldatomen $\rightarrow$ Atomkern



Experiment am SLAC (1969)
Streuung von Elektronen an
Protonen
 $\rightarrow$ Quarks

Wozu Teilchenbeschleuniger?

→ Erzeugung massereicher Teilchen

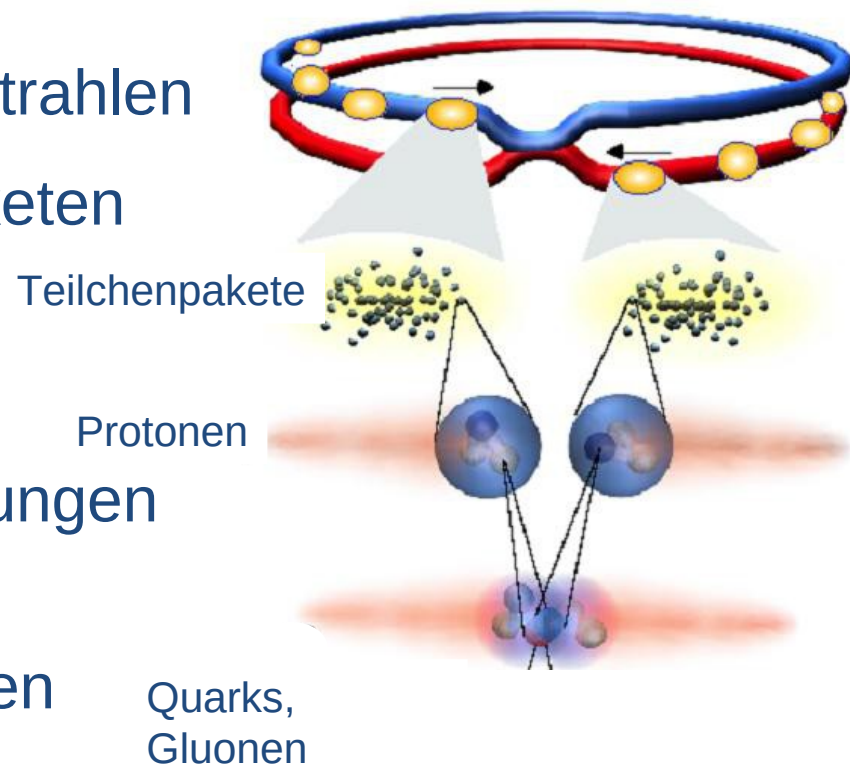


- Bei Teilchenkollisionen wandelt sich ein Teil der Bewegungsenergie in Masse um
- So werden **völlig neue Teilchen** erzeugt...
- ...diese waren vorher keine Teile der Protonen!



Teilchenkollisionen im LHC

- 2 gegenläufige Protonenstrahlen
- ...mit je 1400 Teilchenpaketen
- 100 Milliarden Protonen pro Paket
- 40 Millionen Paket-Kreuzungen pro Sekunde...
- ...mit je etwa 30 Kollisionen

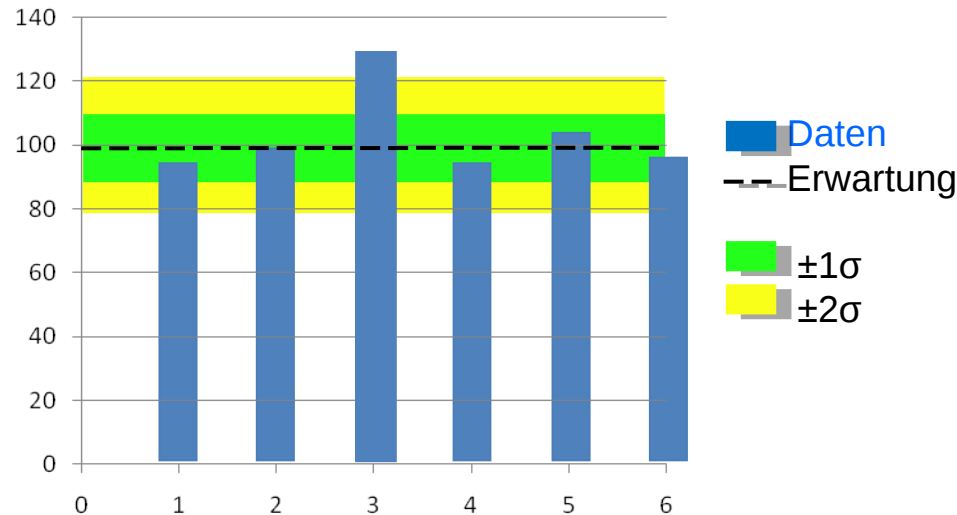
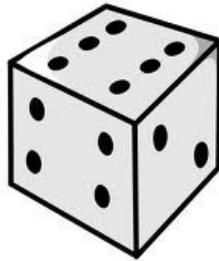


➔ ca. 1200 Millionen Kollisionen pro Sekunde!

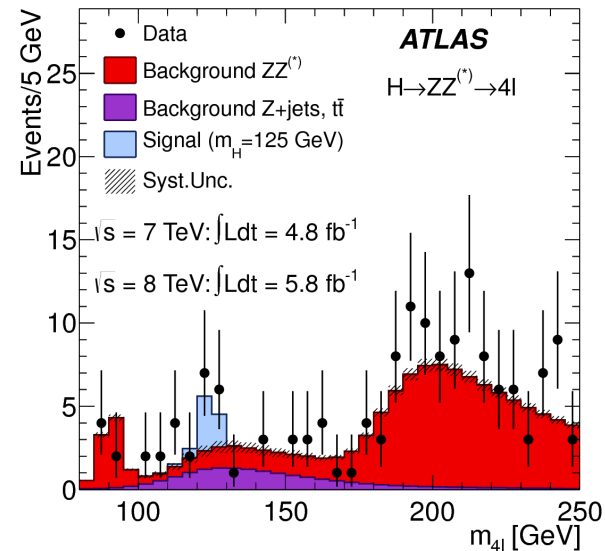


Warum so viele Kollisionen?

Ist der Würfel
manipuliert oder
nicht?



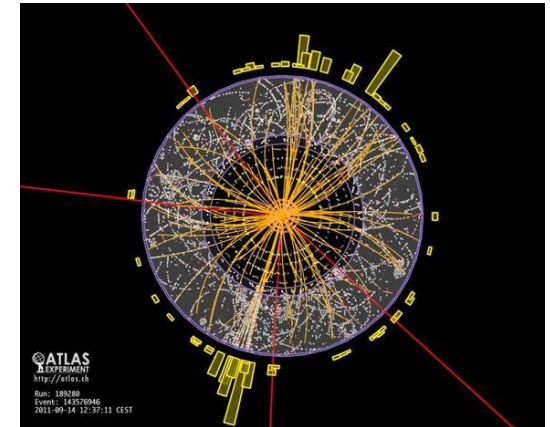
Existiert das Higgs-Boson
oder nicht?





Wohin mit so vielen Daten?

- 40 Mio. Protonenstrahl-Kreuzungen pro Sekunde
 - Detektoren weisen die entstandenen Teilchen nach
 - einige MB pro Detektorbild
...das wären > 100 GB pro Sekunde!
-
- "Trigger": automatische Auswahl interessanter Kollisionen
 - etwa 1000 Kollisionen/s bleiben übrig
-
- Verteilung der Daten auf ca. 200 000 Rechner in 34 Ländern (GRID)
 - etwa 15 Petabyte/Jahr



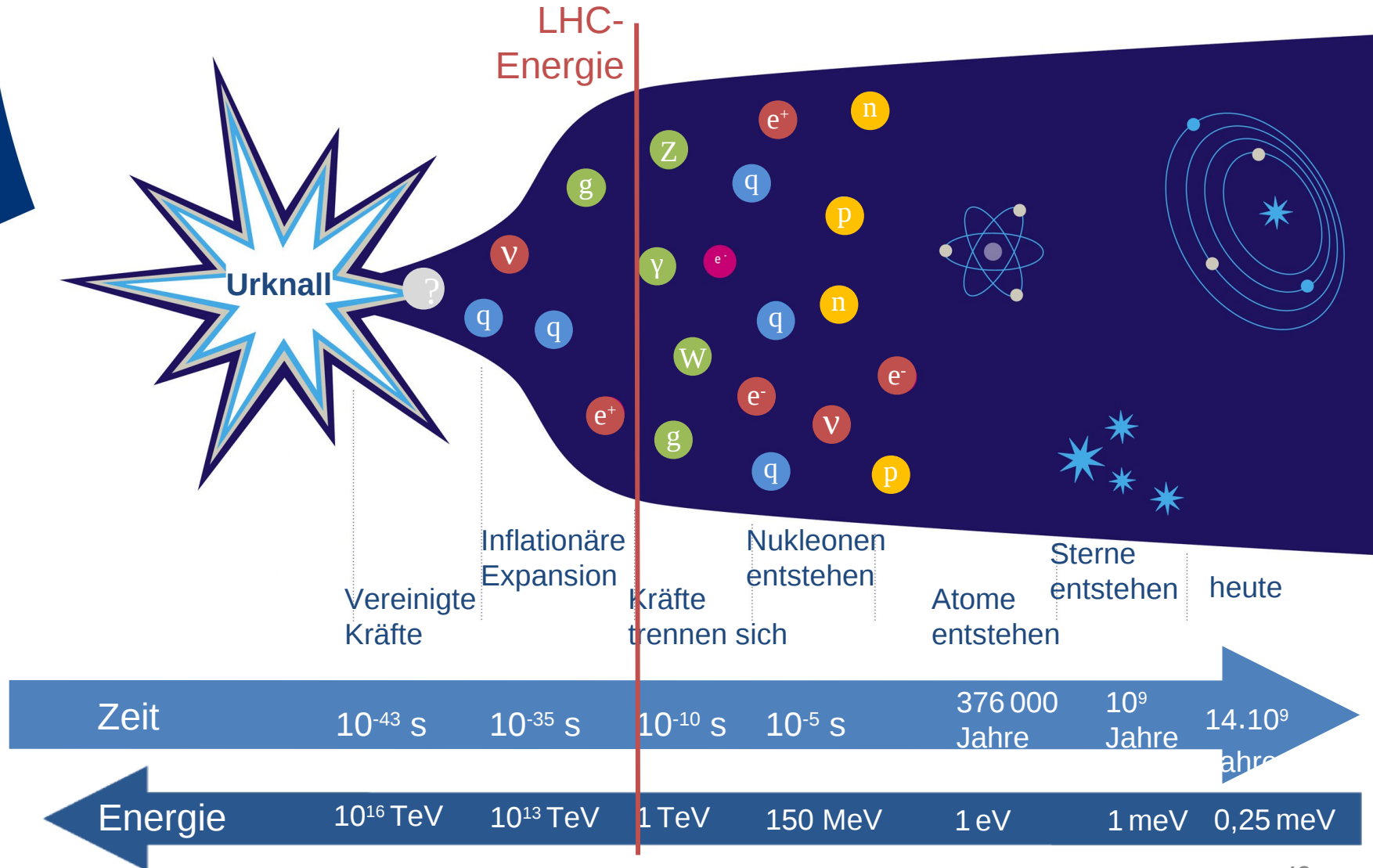


Warum Grundlagenforschung?

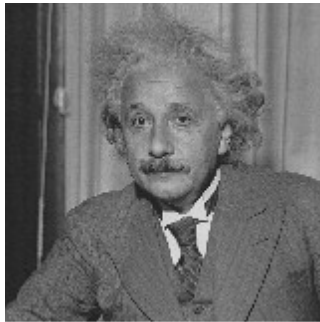
- Erkenntnisgewinn!
...z.B. über die Geschichte, Funktionsweise und den Aufbau des Universums (96 % des Universums besteht aus dunkler Materie und dunkler Energie, über die wir nichts wissen)
- Anwendungen:
 - World Wide Web
 - Medizin: Tumorthherapie, PET
 - Weiterentwicklung von Technologien für Computerchips, Detektoren, Magnete uvm.



Die Geschichte des Universums



Grundlagenforschung als Motor für Innovation



Relativitäts-
theorie



100% Wissenschaft



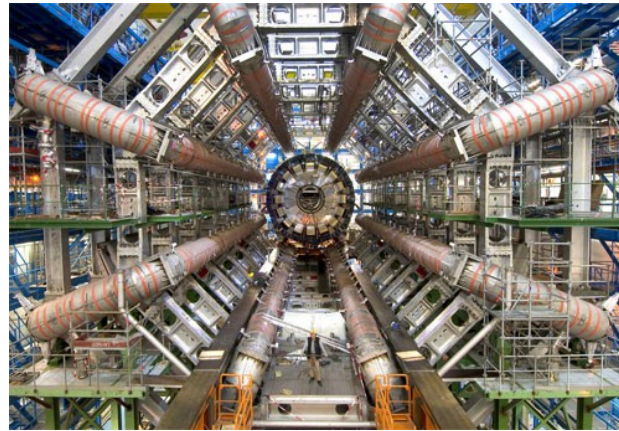
Elektro-
magnetismus



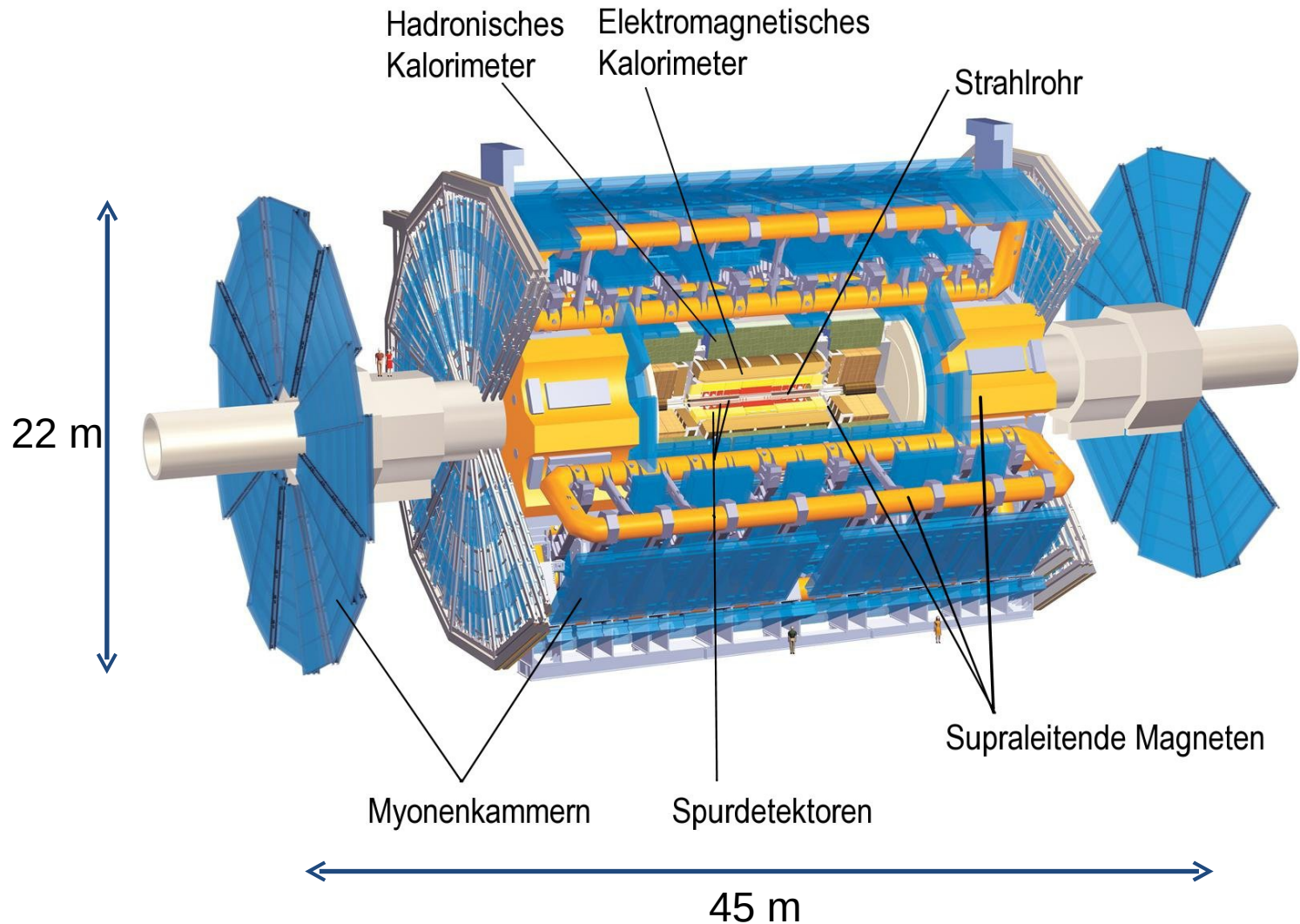


PAUSE

Teil 2: Analyse von Teilchenspuren im **ATLAS-Detektor**



Der ATLAS-Detektor



Der ATLAS-Detektor

Spurdetektoren

... messen die **Spuren** und **Impulse** von geladenen Teilchen
... befinden sich in einem Magnetfeld

Hadronisches Kalorimeter

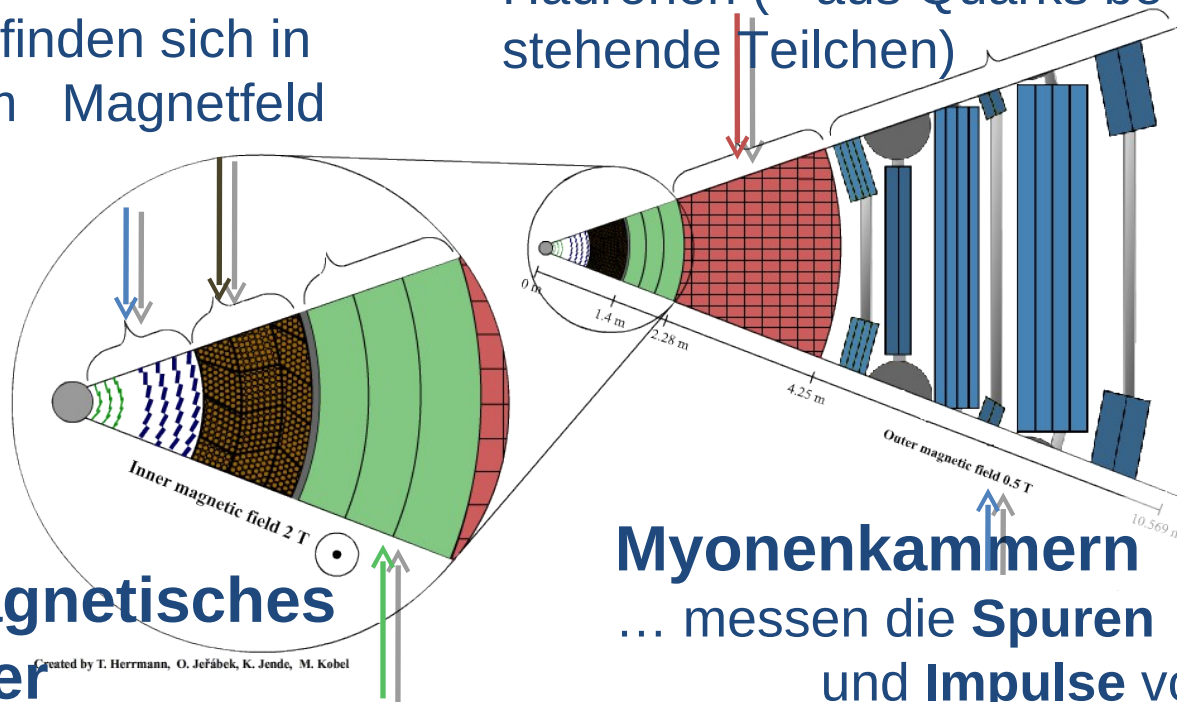
... misst die **Energie** von Hadronen (= aus Quarks bestehende Teilchen)

Elektromagnetisches Kalorimeter

... misst die **Energie** von Elektronen, Positronen und Photonen

Myonenkammern

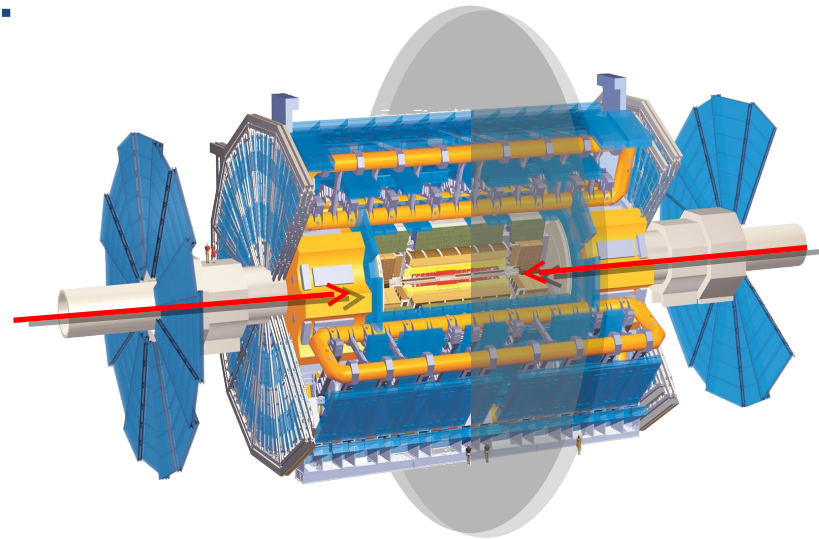
... messen die **Spuren** und **Impulse** von Myonen
... befinden sich in einem Magnetfeld



Was misst ATLAS?

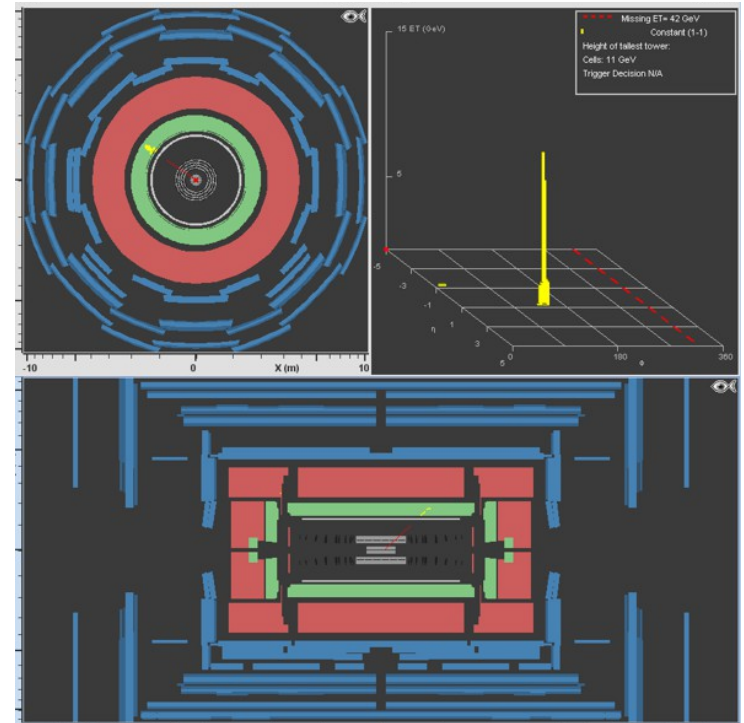
- Spurdetektoren: **Spur, Impuls** und Vorzeichen der **elektrischen Ladung**
- Kalorimeter: **Energie**
- Die Messungen konzentrieren sich auf die **transversalen Anteile** von Impuls und Energie **(senkrecht zum Strahlrohr)**:
 - **PT**: transversaler Impuls
 - **ET**: transversale Energie

Warum?

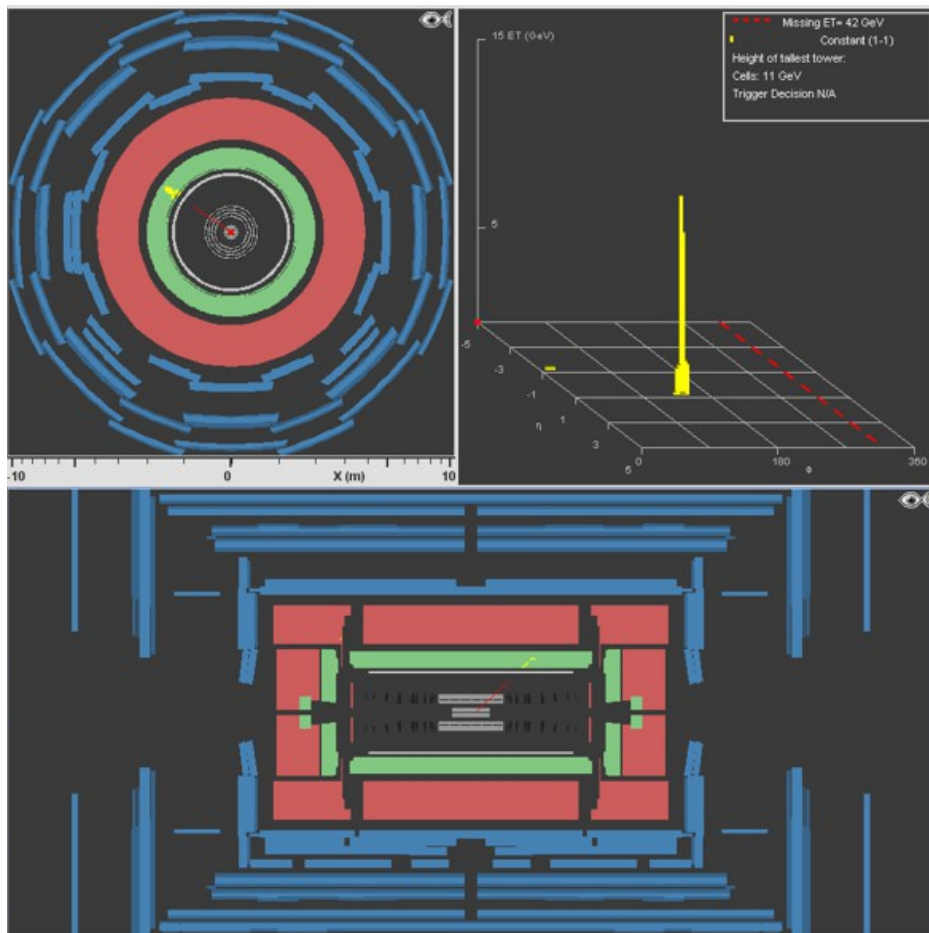


Teilchenrekonstruktion

- Impulsmessung
 - Energiemessung
 - Ladungsbestimmung
- Grafische Darstellung der Teilchenspuren und Energieeinträge in einem „Event-Display“

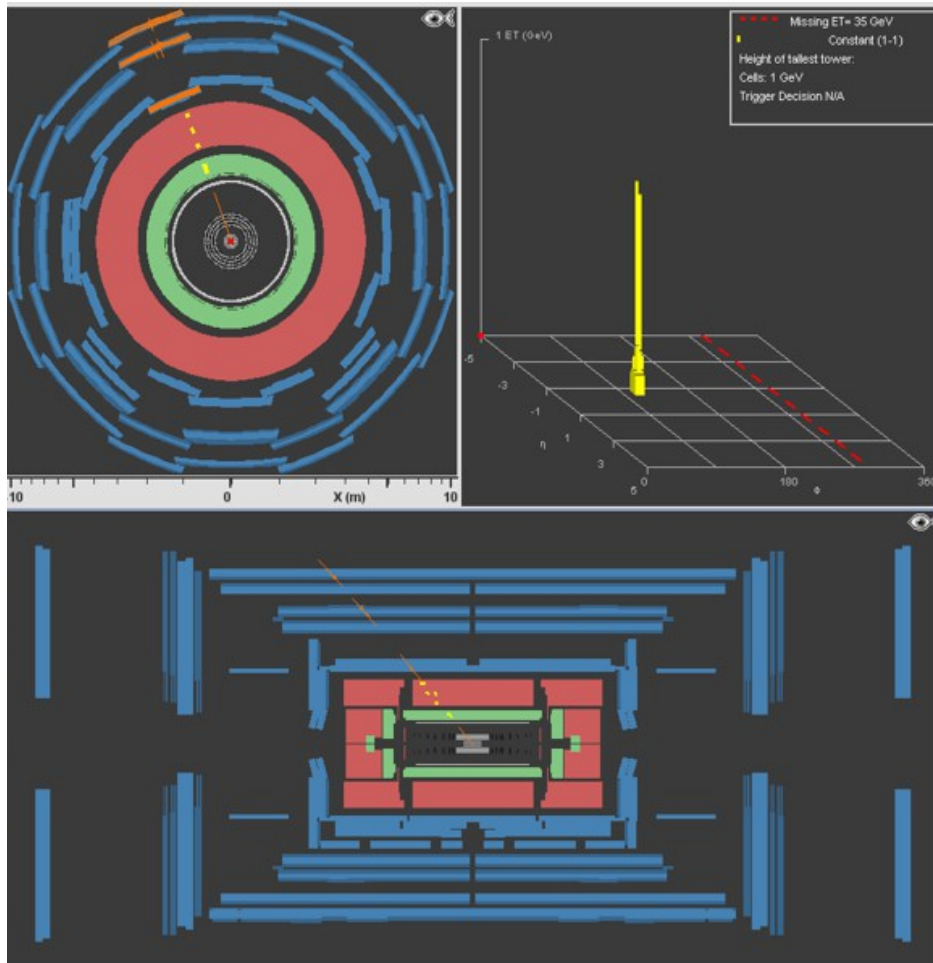


Teilchenspuren: Elektron oder Positron



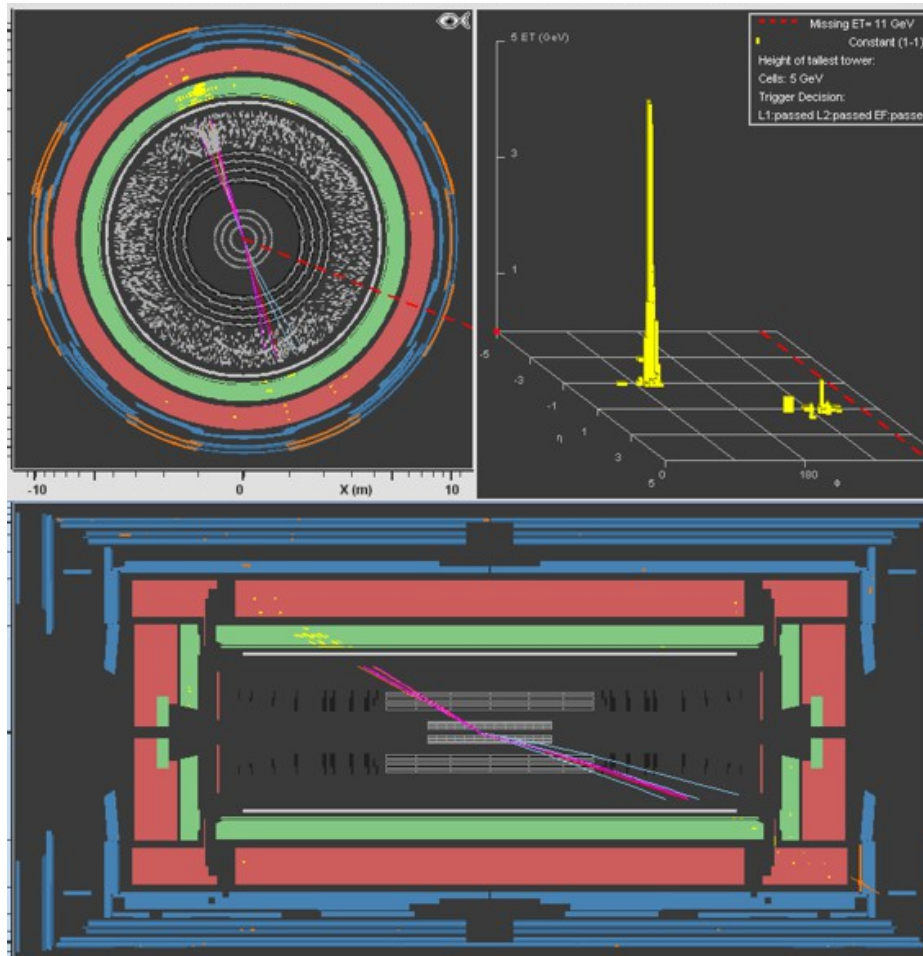
- Spur im inneren Detektor
- Vollständige Energieabgabe im elektromagnetischen Kalorimeter
- Keine Energieabgabe im hadronischen Kalorimeter
- Photon: Wie Elektron, aber ohne Spur

Teilchenspuren: Myon oder Antimyon



- Spur im inneren Detektor und in den Myonenkammern
- Wenig Energieabgabe in Kalorimetern

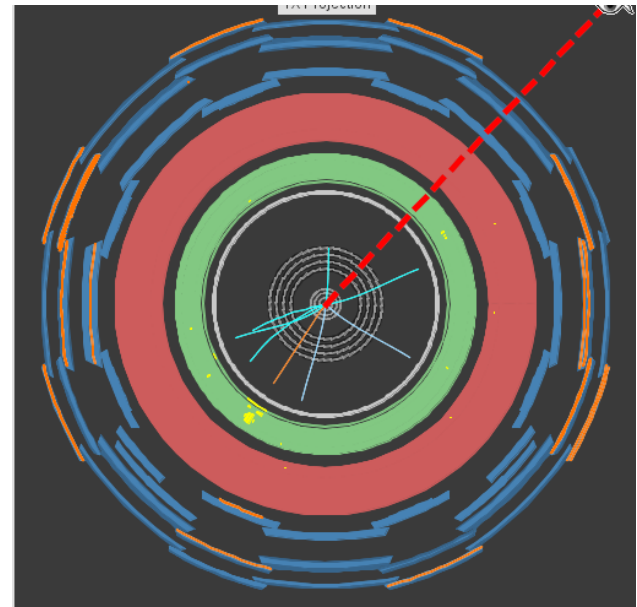
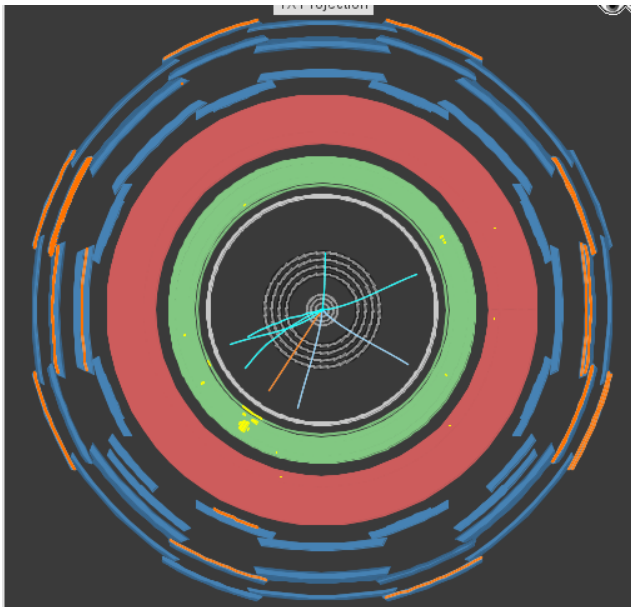
Teilchenspuren: Quarks



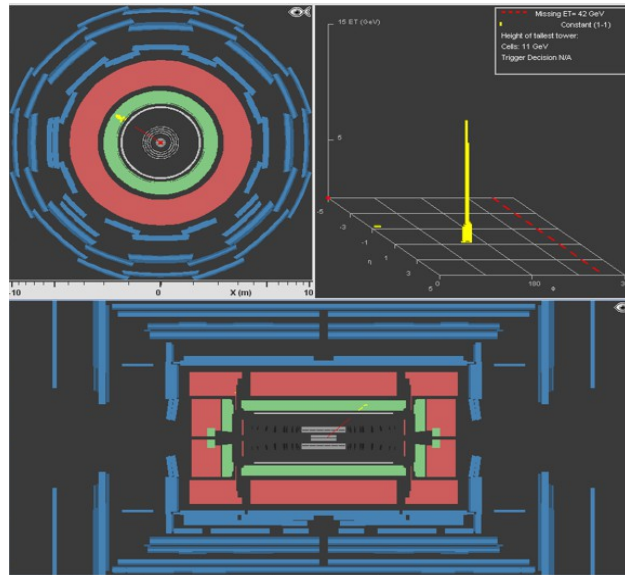
- Quarks erzeugen Bündel aus Hadronen (z.B. Pionen, Protonen, Neutronen): **Jets**
- Nachweis:
 - Spurbündel
 - Energieabgabe in beiden Kalorimetern

Neutrinos

- Neutrinos hinterlassen keine Spur und keine Energie in den Kalorimetern.
 - **Woran kann man sie trotzdem erkennen?**
- Wenn ein Neutrino durch den Detektor fliegt,
„fehlt“ in dieser Richtung Impuls bzw.
Energie: **„Missing ET“**
- Die Richtung des fehlenden Impulses wird durch eine gestrichelte Linie dargestellt.

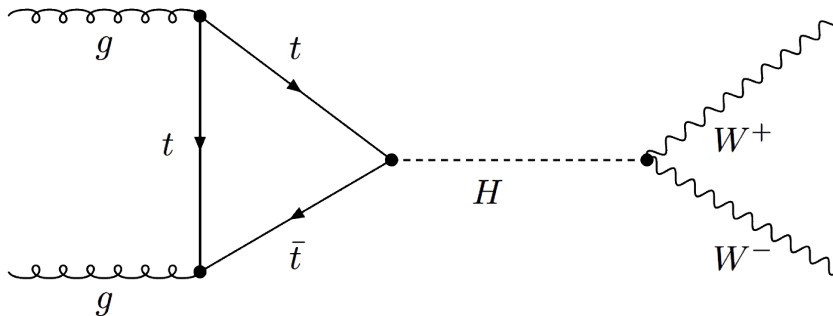


Teil 3: Vorbereitung der Messung



Die Hauptdarsteller heute: W-Bosonen

- Mit ihrer Hilfe werden wir den Aufbau von Protonen erforschen...
- ...und erfahren, wie Physiker nach dem Higgs-Boson suchen.



W⁻-BOSON
NACHWEIS: 1983

W⁻

AUSTAUSCHTEILCHEN

Masse:	80 400 MeV/c ²
Elektrische Ladung:	-1
Starke Ladung:	-
Schwache Ladung:	-1
Mittlere Lebensdauer:	$\sim 3 \cdot 10^{-25}$ s
Reichweite:	$\sim 10^{-18}$ m

W⁺-BOSON
NACHWEIS: 1983

W⁺

AUSTAUSCHTEILCHEN

Masse:	80 400 MeV/c ²
Elektrische Ladung:	+1
Starke Ladung:	-
Schwache Ladung:	+1
Mittlere Lebensdauer:	$\sim 3 \cdot 10^{-25}$ s
Reichweite:	$\sim 10^{-18}$ m



W-Bosonen...

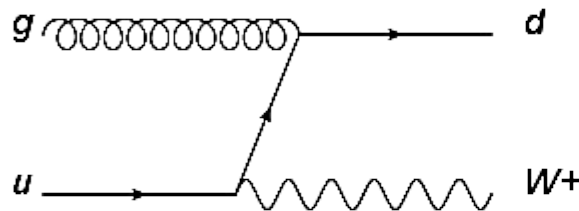
- ...sind Austauschteilchen der Schwachen Wechselwirkung
- ...sind elektrisch geladen: W^+ , W^-
- ...gehören zu den massereichsten Teilchen des Standardmodells (80,4 GeV !)
- ...wandeln sich nach ca. 10^{-25} s in leichtere Teilchen um

➤ geringe Reichweite: **Daher können wir sie nicht direkt im Detektor beobachten, sondern erkennen sie anhand ihrer Zerfallsprodukte!**

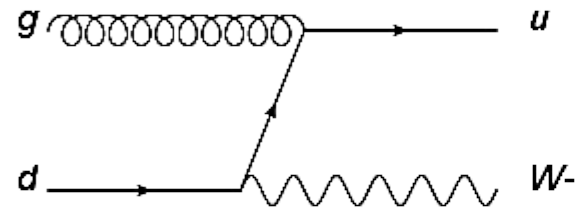


Wie entstehen W-Bosonen?

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



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



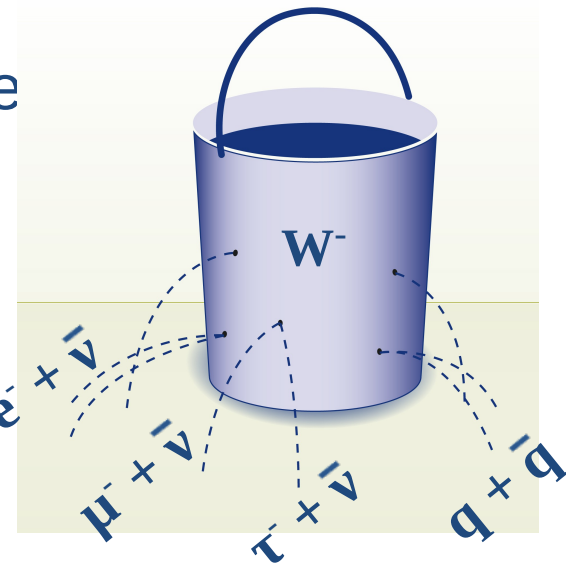
$$d + g \rightarrow W^- + u$$



Wie erkennt man W-Bosonen?

Man sucht nach ihren Zerfallsprodukte
W-Bosonen zerfallen meistens so:

- $W^{\pm} \rightarrow \text{Quark} + \text{Antiquark}$
- $W^{-} \rightarrow \text{Lepton} (e^{-}, \mu^{-}, \tau^{-}) + \text{Antineutrino}$
 $W^{+} \rightarrow \text{Antilepton} + \text{Neutrino}$



Art der Zerfallsprodukte	(Anti-)Lepton(e, μ, τ) + (Anti-) Neutrino	Quark + Antiquark
Wahrscheinlichkeit	33,3%	66,6%
Möglichkeiten	3	6



Wie erkennt man W-Bosonen?

- Ihr sucht heute nach folgenden Zerfallsprodukten:

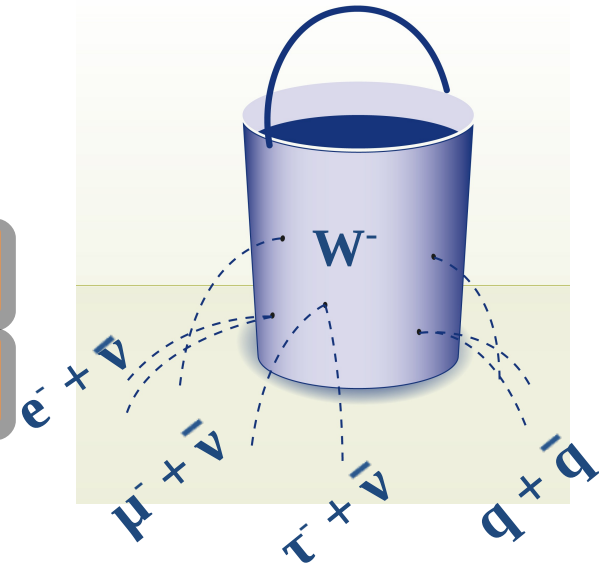
$$W^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}$$

$$W^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}$$

$$W^+ \rightarrow e^+ + \nu$$

$$W^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$$

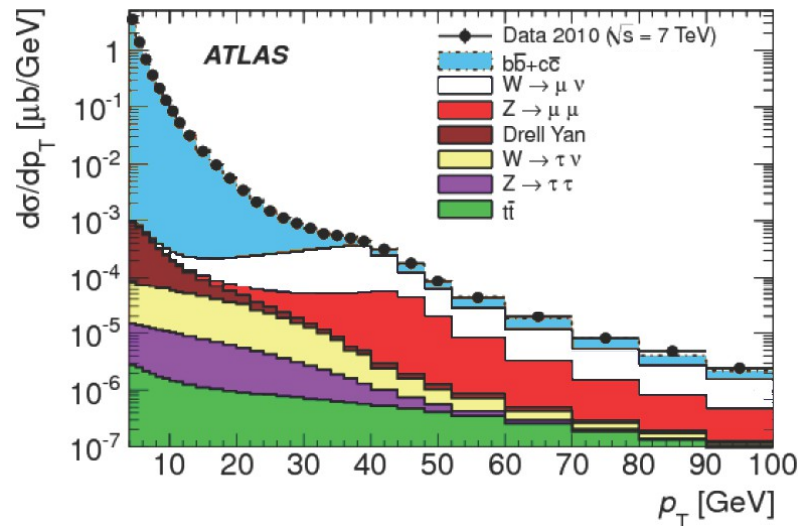
- Das sind **Signalereignisse**. Alle anderen Ergebnisse von Kollisionen sind "Untergrund".





Kriterien für die Suche nach W-Bosonen

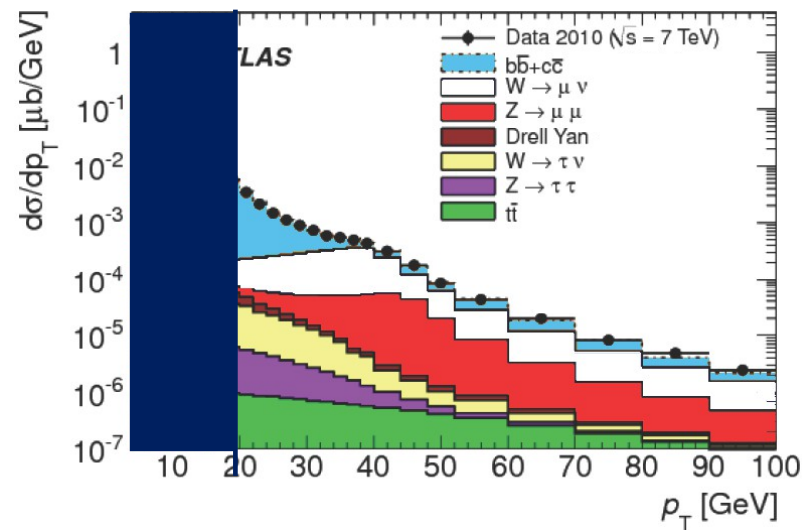
- Die optimalen Grenzen für PT und Missing ET wurden durch Simulationen des Standardmodells bestimmt.



- Y-Achse:** Anzahl von Ereignissen, die ein Myon enthalten (abhängig vom PT des Myons)
- Weiß:** Nur diese Ereignisse stammen von W-Bosonen!
- Der Rest stammt von anderen Prozessen.

Welche Ereignisse würdet ihr wegschneiden, damit ein möglichst grosses W/Untergrund Verhältnis entsteht?

Mögliche Lösung:



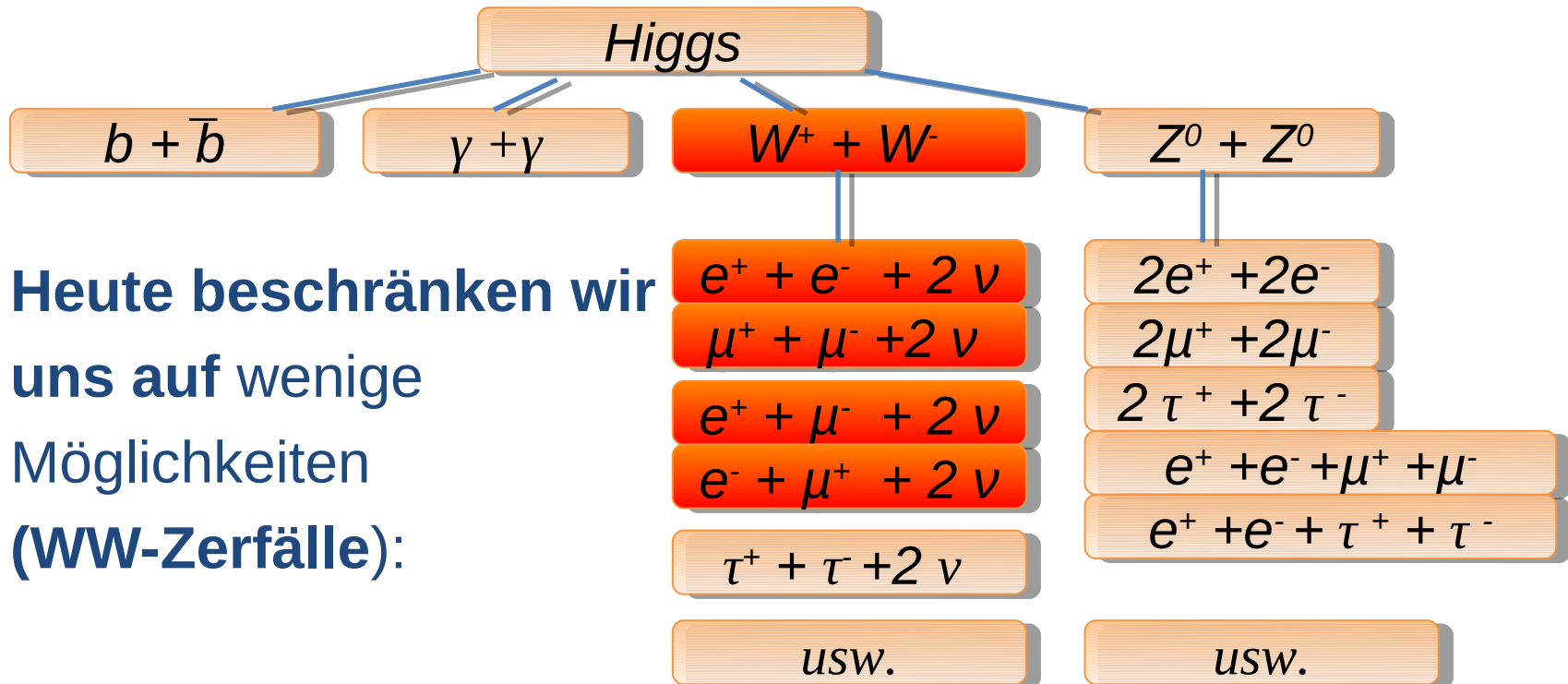
Ereignisse mit $p_T < 20$ GeV kann man weglassen, weil sie nur wenig zu den gesuchten W-Bosonen beitragen.



Entdecke das Higgs-Boson!

Das **Higgs-Boson** muss massereich und elektrisch neutral sein.

In welche Teilchen könnte es zerfallen?



Heute beschränken wir
uns auf wenige
Möglichkeiten
(WW-Zerfälle):



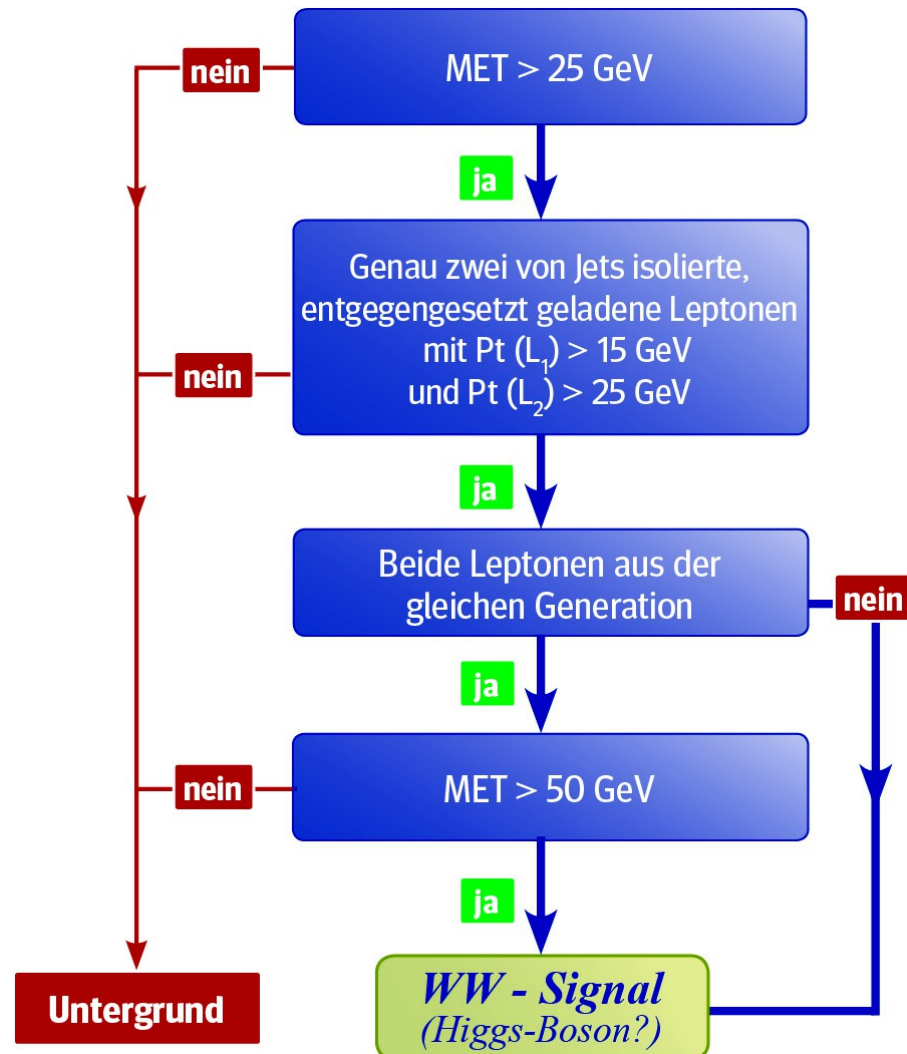
Signalereignis 2: So erkennst du WW-Zerfälle

Checkliste:

- Im Ereignis fehlt viel Energie
 - ...bei gleichartigen Leptonen: **Missing ET > 50 GeV**
 - ...bei nicht gleichartigen Leptonen: **Missing ET > 25 GeV**
- Das Ereignis enthält genau **zwei entgegengesetzt elektrisch geladene Leptonen** (e^+ , e^- , μ^+ , μ^-)
 - ...die von Jets isoliert sind
 - ...eines trägt **PT > 15 GeV**,
 - ...das andere **PT > 25 GeV**



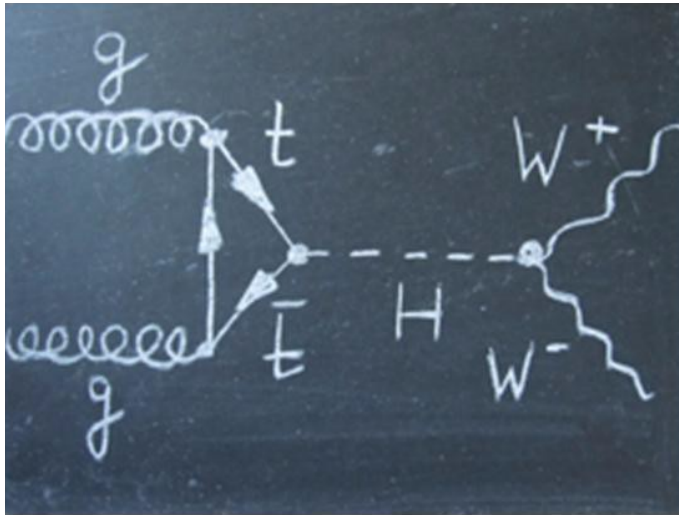
Signalereignis 2: So erkennst du WW-Zerfälle



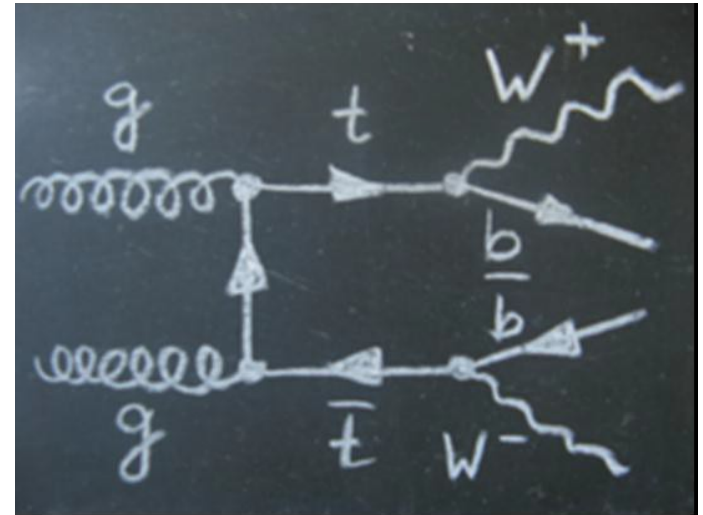


Higgs-Boson oder Untergrund?

Zwei W-Bosonen können von einem Higgs-Boson stammen...



...aber sie können auch anders entstanden sein (Untergrund), z.B. so:

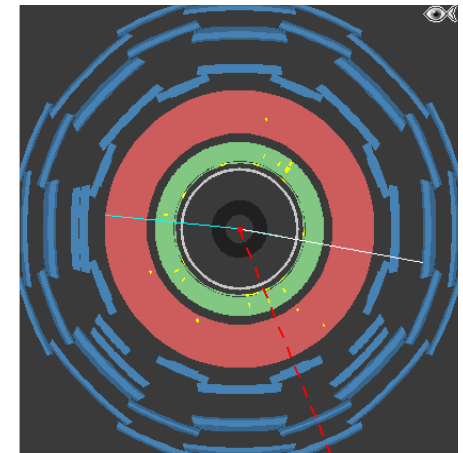


- Wie können wir Higgs-Bosonen von Untergrund unterscheiden?



Higgs-Boson oder Untergrund?

- Um zwischen Higgs-Zerfällen und Untergrund zu unterscheiden, misst man den Winkel zwischen den beiden Leptonen.
 - Bei Higgs-Zerfällen treten häufiger Winkel zwischen 0° und 90° auf als bei Untergrund-Ereignissen
- Winkelmessung:
 - Spurauswahl-Werkzeug anklicken
 - P-Taste gedrückt halten, beide Spuren markieren
 - Der Winkel $\Delta\Phi$ wird in der Infobox angezeigt

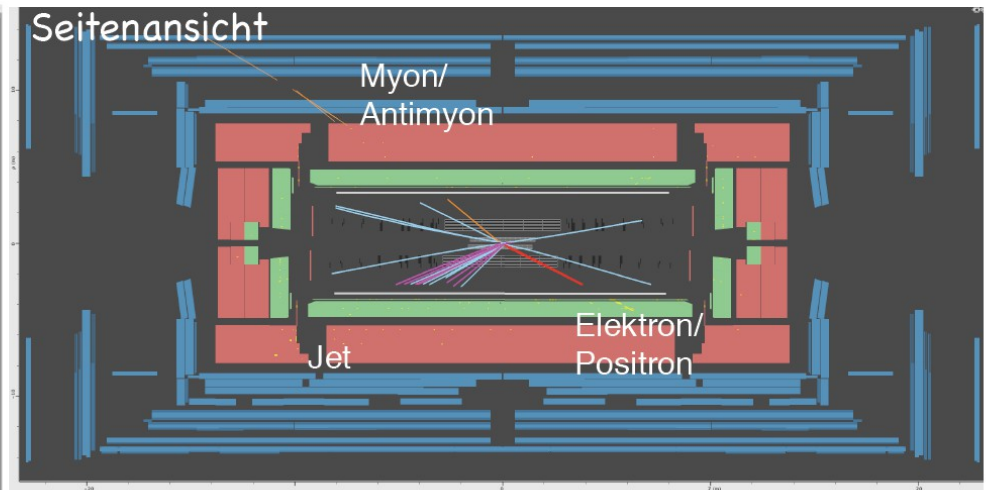
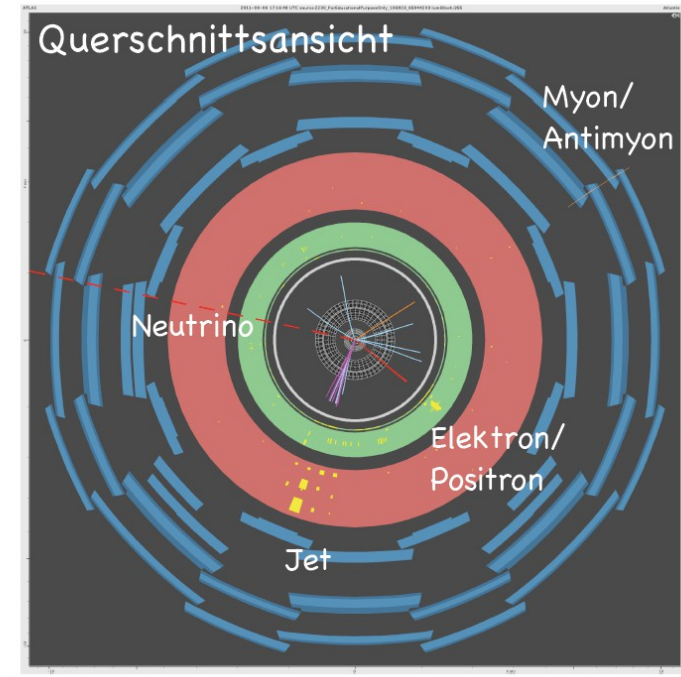




Jetzt seid ihr dran!

- **Teilchenspuren im Detektor:**
http://atlas.physicsmasterclasses.org/de/wpath_teilchenid1.htm
- **MINERVA** (Version 2013) herunterladen: ...
- **Übung 1**
http://atlas.physicsmasterclasses.org/de/wpath_exercise1.htm
- **Übung 2:**
http://atlas.physicsmasterclasses.org/de/wpath_exercise2.htm
- **Datenpaket** in Minerva öffnen
- Jedes Team erhält ein Datenpaket (Buchstabe A-T) mit Ereignisbildern aus 50 Kollisionen.
- Jedes Team durchsucht sein Datenpaket nach Signalereignissen für WW-Zerfälle und trägt sie in der Strichliste ein.

Teilchenspuren: Übersicht



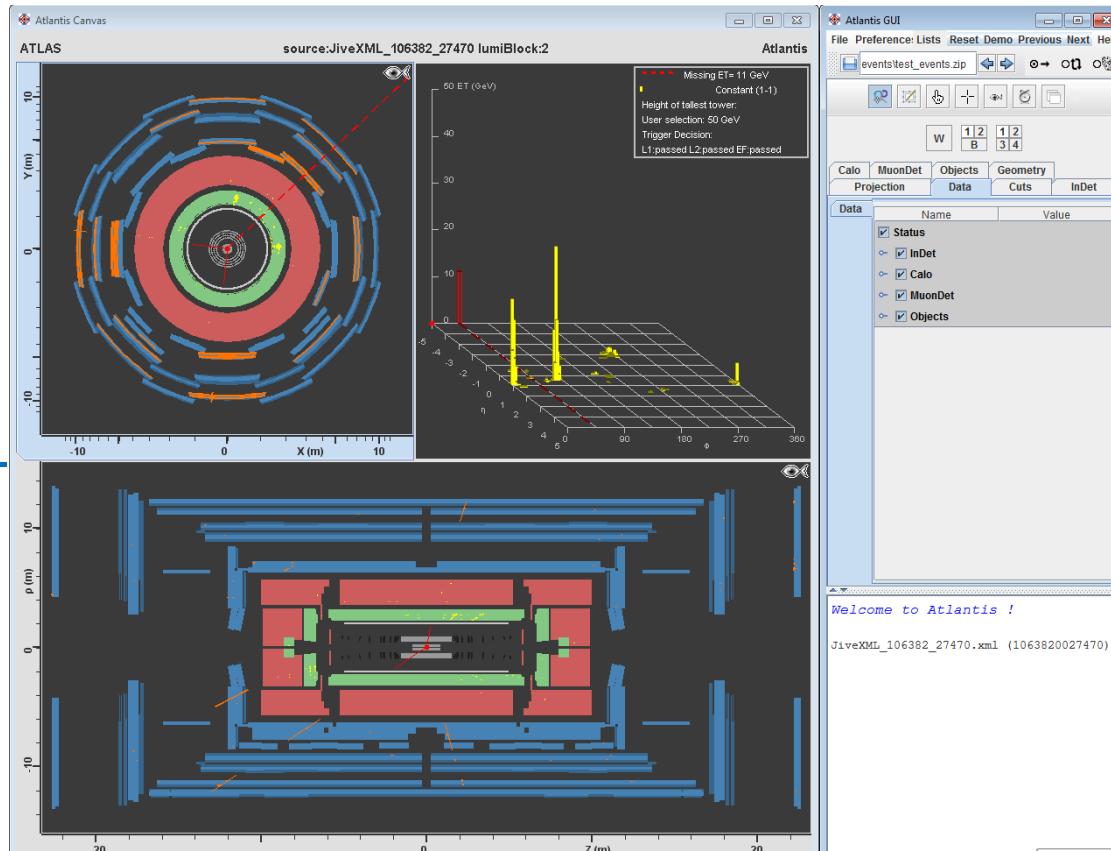
- Spurdetektor
- Elektromagnetische Kalorimeter
- Hadronisches Kalorimeter
- Myonenkammer

PT

- $\leq 2 \text{ GeV/c}$
- $2 - 4 \text{ GeV/c}$
- $4 - 10 \text{ GeV/c}$
- $10 - 40 \text{ GeV/c}$
- $> 40 \text{ GeV/c}$

Die Software MINERVA

Anzeige
der
Teilchen-
spuren



Werkzeuge,
Navigation

Einstellungen

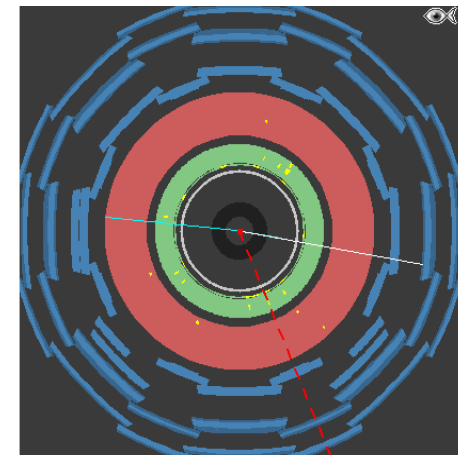
Informationen zu
Teilchenspuren



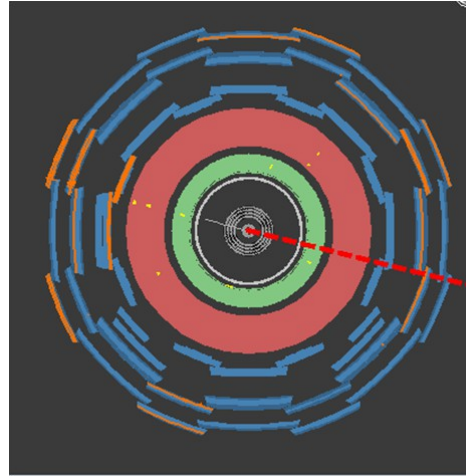
Winkelmessung mit MINERVA

Winkelmessung:

- ▮ Spurauswahl-Werkzeug anklicken
- ▮ P-Taste gedrückt halten, beide Spuren markieren
- ▮ Der Winkel $\Delta\Phi$ wird in der Infobox angezeigt



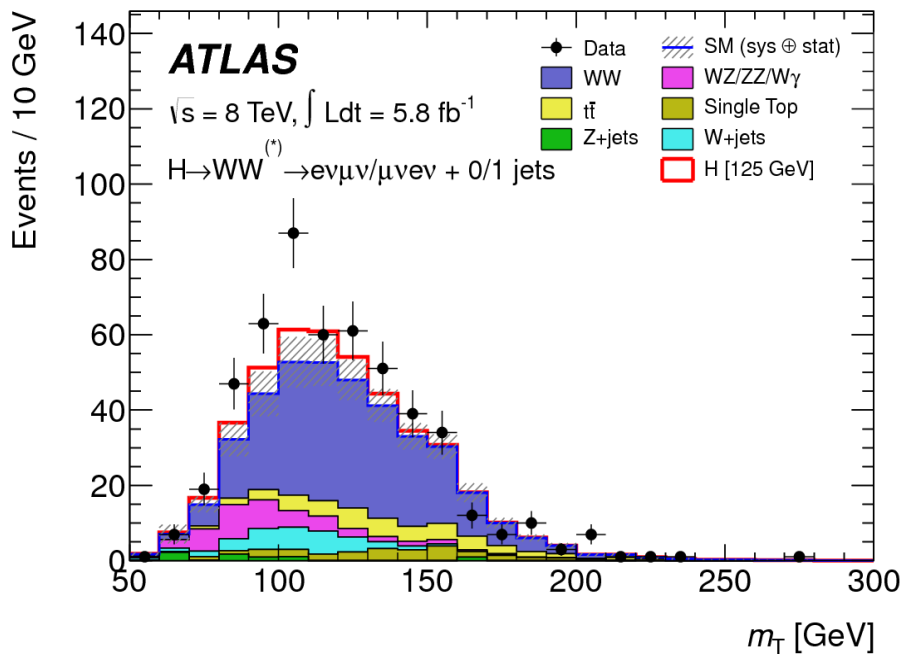
Teil 3: Auswertung





Higgs-Boson entdeckt?

Ergebnisse der ATLAS Collaboration vom 4.7.2012:



Nachweis eines bisher unbekannten Teilchens:

Masse: 126 GeV

Elektrische Ladung: 0

Spin: 0 oder 2

Die bisherigen Messungen passen zu den Standardmodell-Vorhersagen für das Higgs-Boson. Weitere Messungen sind nötig!



Warum treten Higgs-Ereignisse bei kleinen Winkeln zwischen den Leptonen auf?

Es gilt immer Drehimpulserhaltung!

Somit sind die Richtungen der Drehimpulse der Zerfallsprodukte schon vorher festgelegt.

Folgende Regeln gelten:

$S = 1$ für W-Bosonen

$S = 0$ für Higgs-Bosonen

$S = \frac{1}{2}$ für Leptonen

ABER: Neutrinos können nur einen Drehimpuls entgegen der Bewegungsrichtung haben, Antineutrinos nur einen entlang der Bewegungsrichtung



Warum treten Higgs-Ereignisse bei kleinen Winkeln zwischen den Leptonen auf?

Es gilt immer Drehimpulserhaltung!

Somit sind die Richtungen der Drehimpulse der Zerfallsprodukte schon vorher festgelegt.

Folgende Regeln gelten:

$S = 1$ für W-Bosonen

$S = 0$ für Higgs-Bosonen

$S = \frac{1}{2}$ für Leptonen

ABER: **Neutrinos** können nur einen Drehimpuls **entgegen** der Bewegungsrichtung haben,
Antineutrinos nur einen **entlang** der Bewegungsrichtung

vorher

H
●
 $s = 0$

nachher

W^+ W^-
← →
 $s = -1$ $s = +1$

W^+
←
 $s = -1$

e^+ ν
← →
 $s = -1/2$ $s = -1/2$

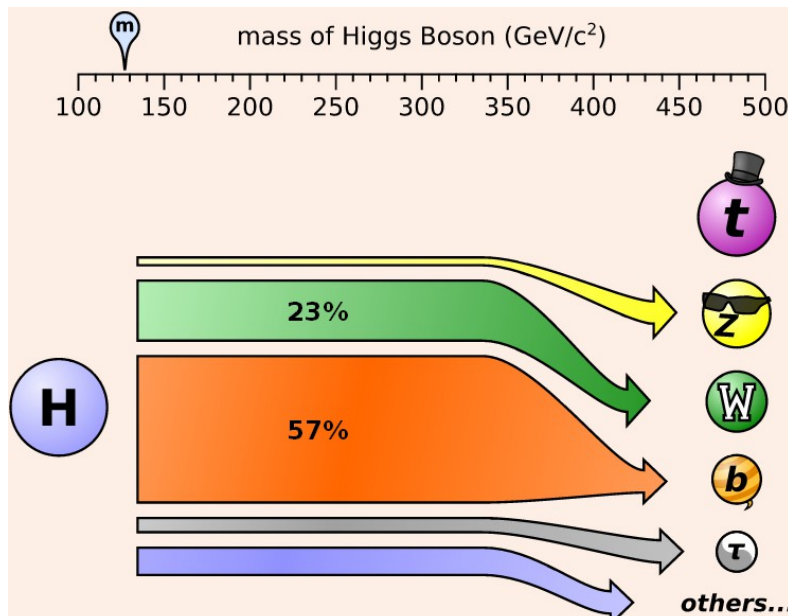
W^-
→
 $s = +1$

e^- $\bar{\nu}$
← →
 $s = +1/2$ $s = +1/2$

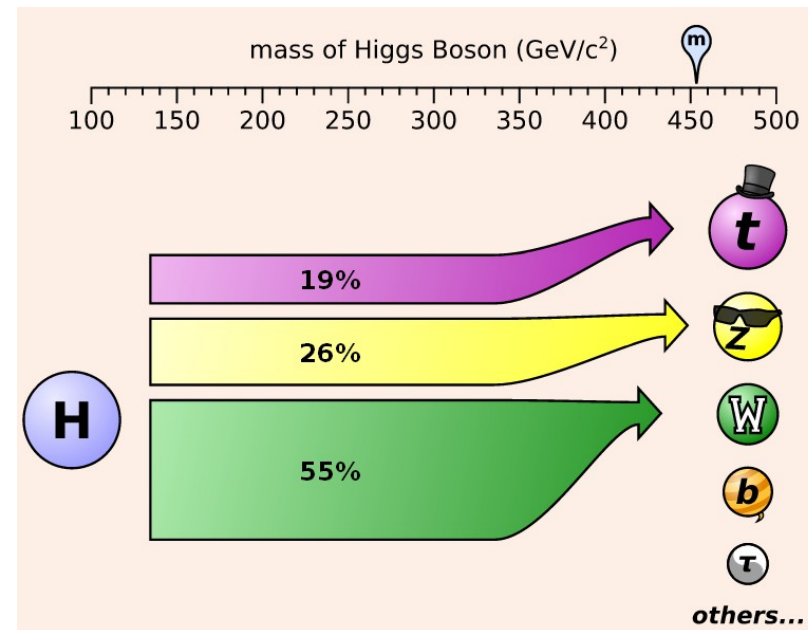


Wie zerfällt das Higgs-Boson?

- Wie häufig das Higgs-Boson in welche Teilchen zerfällt, ist von seiner Masse abhängig (Vorhersagen vom Standardmodell).
- Vergleich mit experimentellen Daten notwendig!



$m = 130 \text{ GeV}$



$m = 450 \text{ GeV}$

<http://www.teilchenwelt.de/>

**Vielen Dank für eure
Aufmerksamkeit!**

ORIGINALSCHAUPLATZ



PARTNER



SCHIRMHERRSCHAFT



PROJEKTLEITUNG



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

<http://www.teilchenwelt.de/service/impressum>



NETZWERK
TEILCHENWELT