

Teil 2: Wie wir nach dem Higgs-Boson suchen

Beschleuniger und Detektoren



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

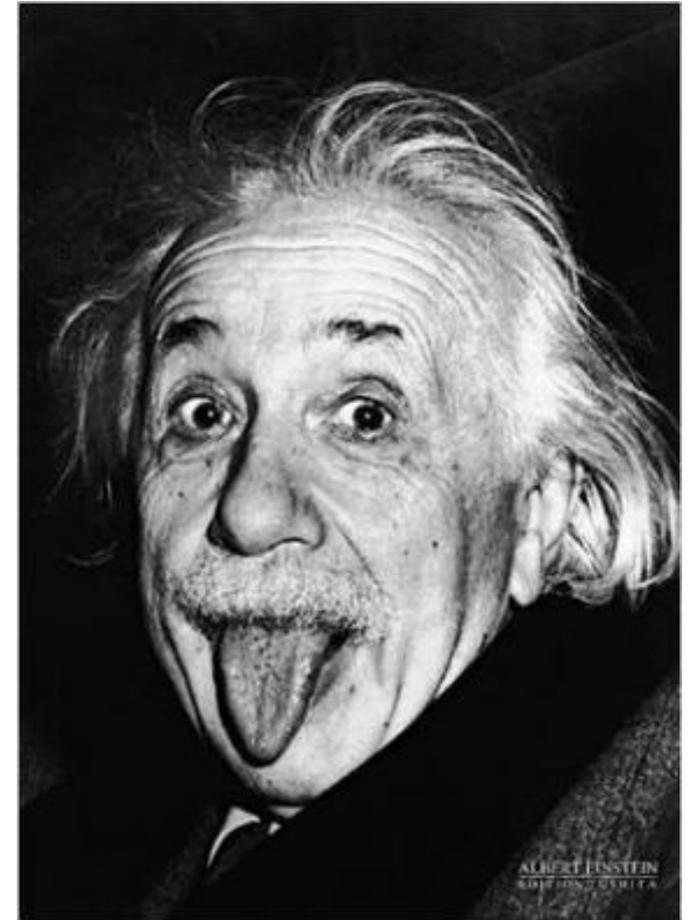


NETZWERK
TEILCHENWELT

Wir erzeugt man das Higgs?

Teilchenbeschleuniger ➤ Erzeugung massereicher Teilchen

Masse ist eine Form von Energie!



$$E = mc^2$$

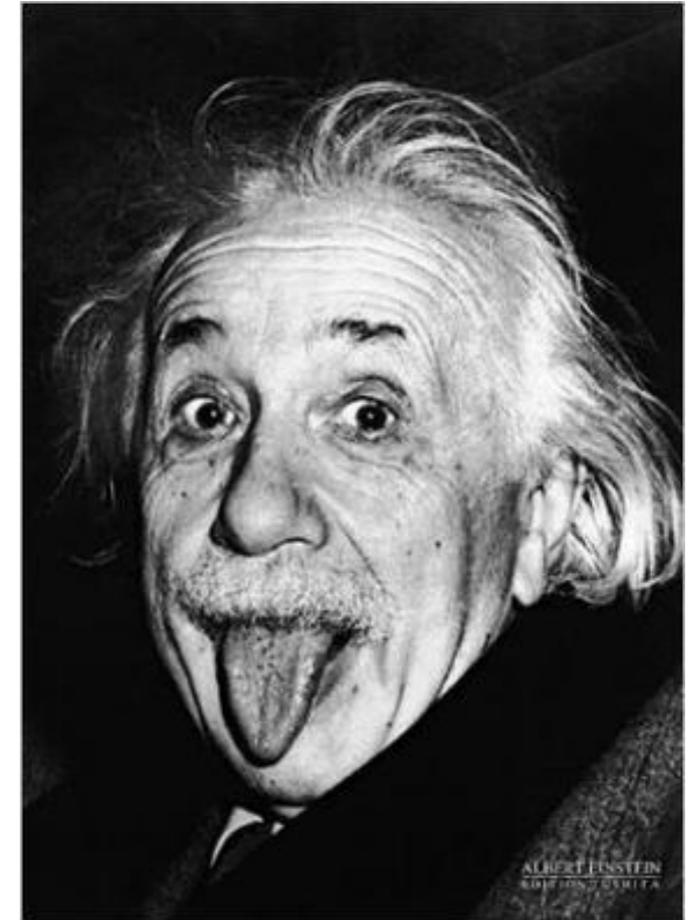
Wir erzeugt man das Higgs?

Teilchenbeschleuniger ➤ Erzeugung massereicher Teilchen

Masse ist eine Form von Energie!

- Masse und andere Energieformen können sich ineinander umwandeln.

Beispiel:



$$E = mc^2$$

Wir erzeugt man das Higgs?

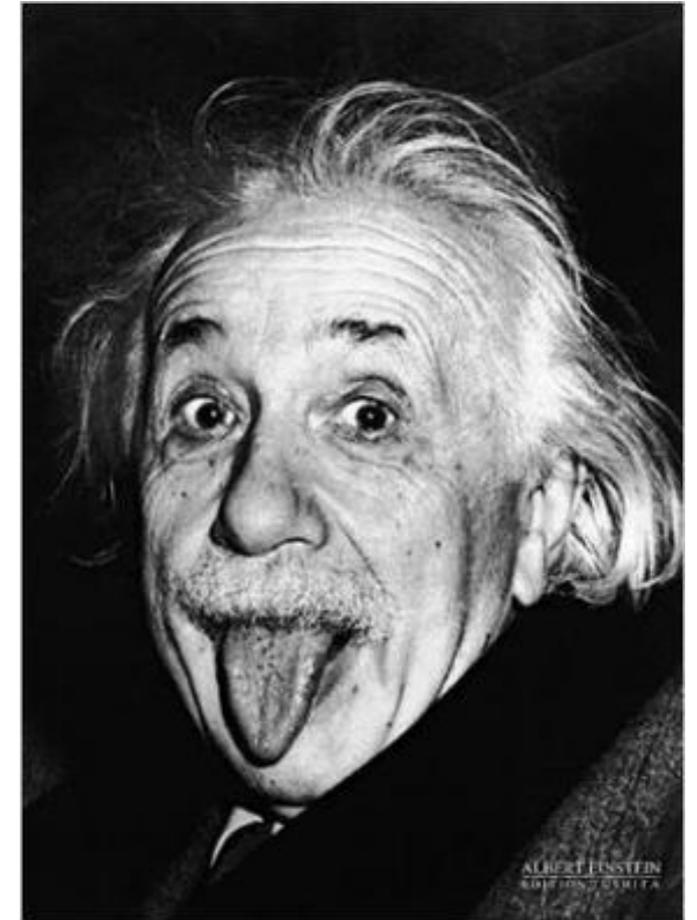
Teilchenbeschleuniger ➤ Erzeugung massereicher Teilchen

Masse ist eine Form von Energie!

- Masse und andere Energieformen können sich ineinander umwandeln.

Beispiel:

- Kernspaltung im Kraftwerk
(Masse → Wärme → elektrische Energie)



$$E = mc^2$$

Wir erzeugt man das Higgs?

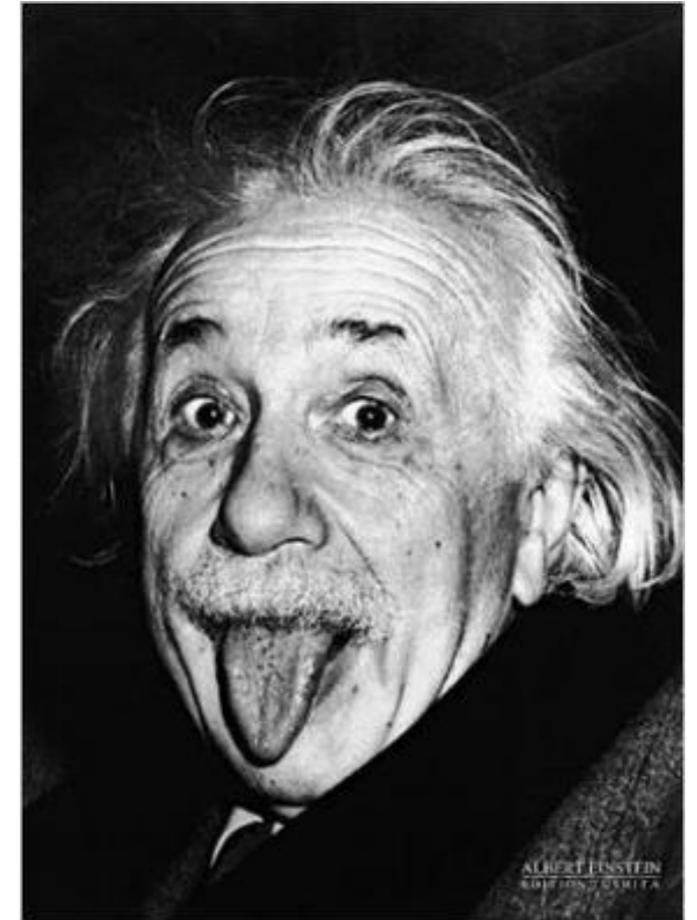
Teilchenbeschleuniger ➤ Erzeugung massereicher Teilchen

Masse ist eine Form von Energie!

- Masse und andere Energieformen können sich ineinander umwandeln.

Beispiel:

- Kernspaltung im Kraftwerk
(Masse → Wärme → elektrische Energie)
- Teilchenkollisionen!
(Bewegungsenergie → Masse)



$$E = mc^2$$

Wir erzeugt man das Higgs?

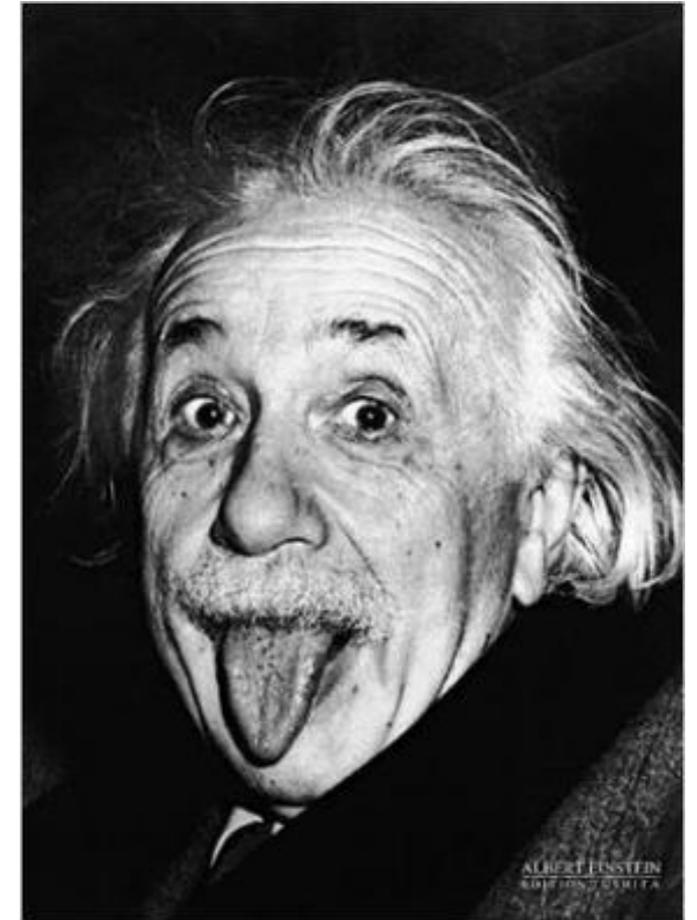
Teilchenbeschleuniger ➤ Erzeugung massereicher Teilchen

Masse ist eine Form von Energie!

- Masse und andere Energieformen können sich ineinander umwandeln.

Beispiel:

- Kernspaltung im Kraftwerk
(Masse → Wärme → elektrische Energie)
- Teilchenkollisionen!
(Bewegungsenergie → Masse)



$$E = mc^2$$

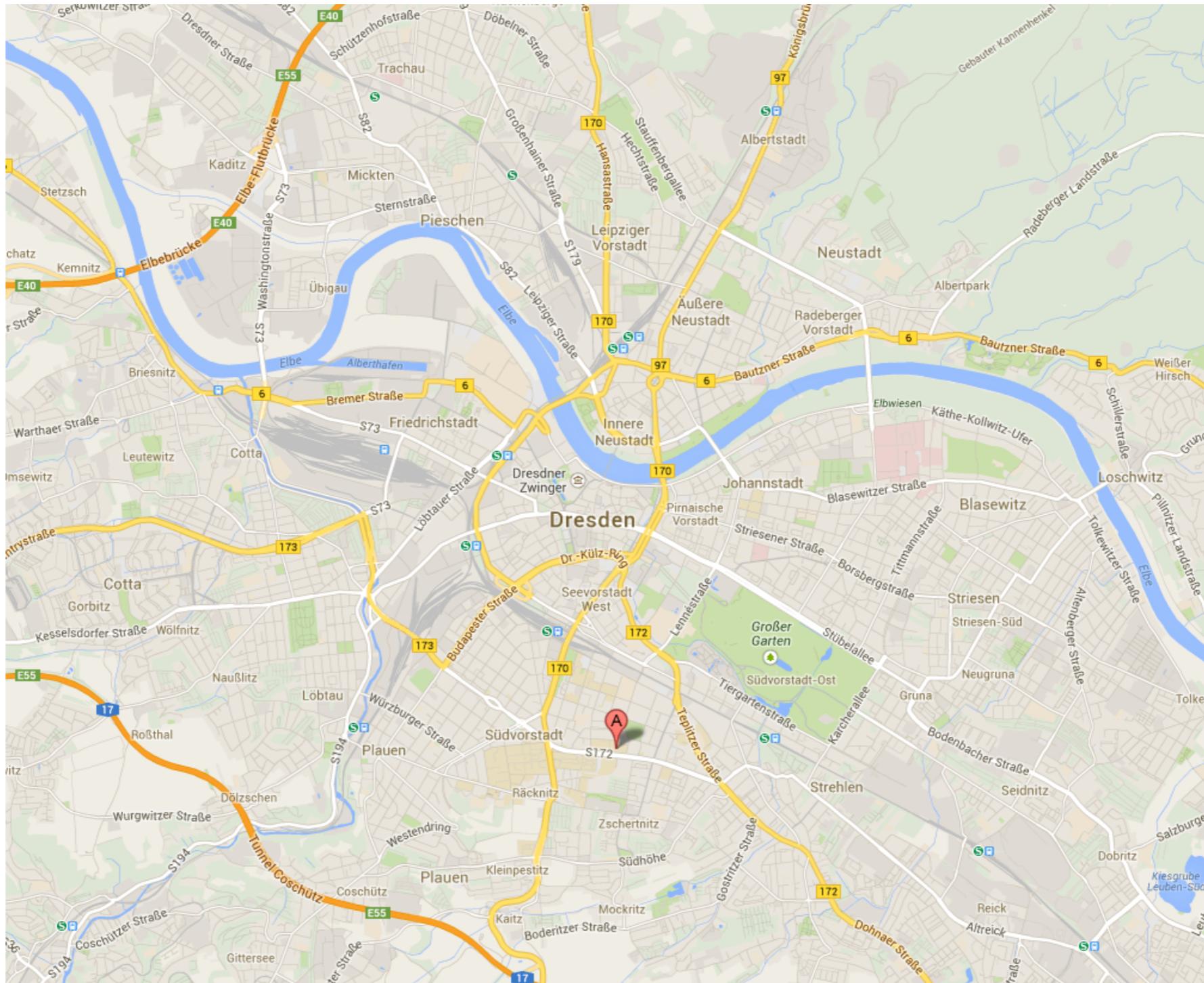
Das CERN

(Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire)



Das CERN

(Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire)

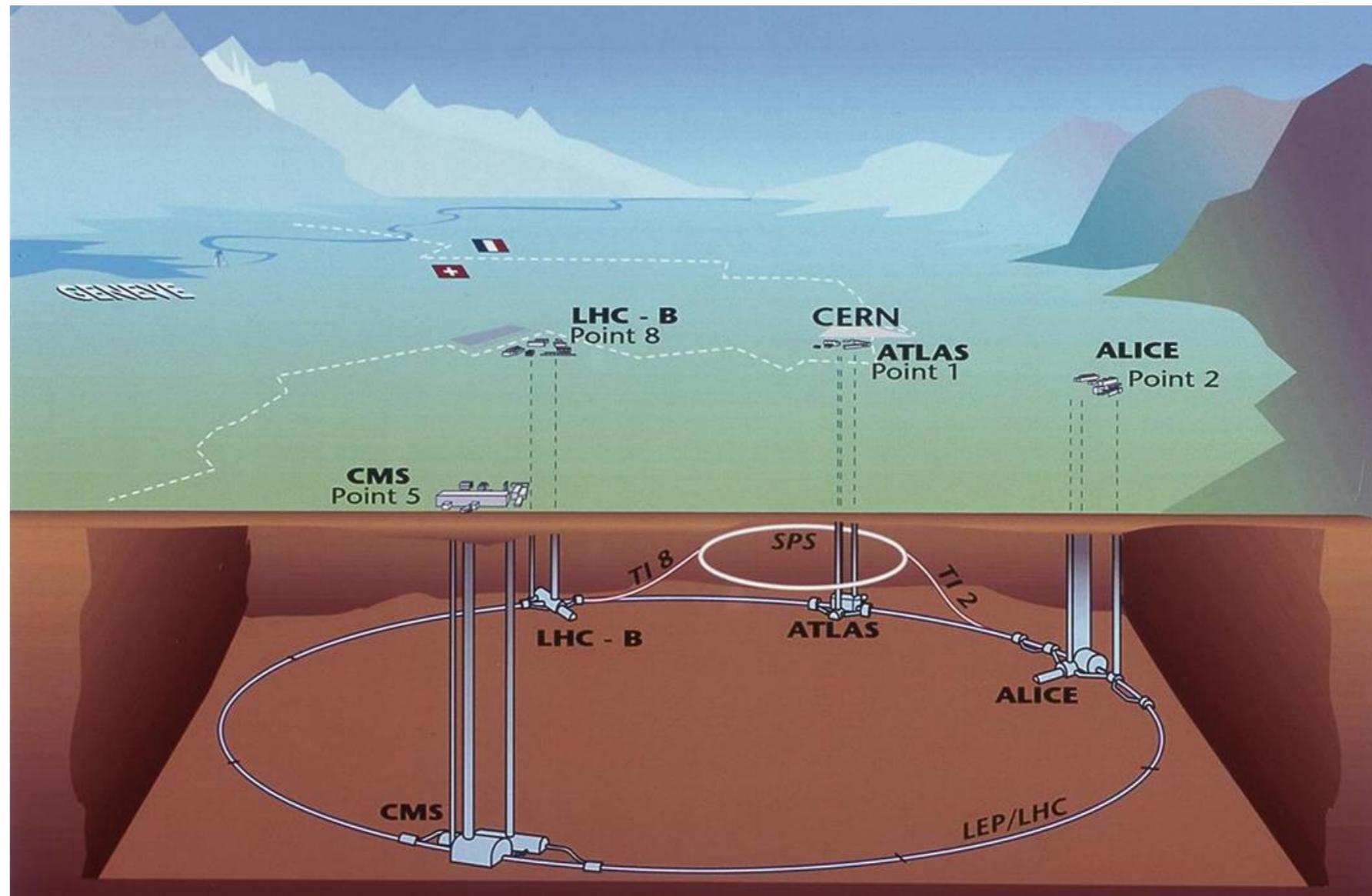


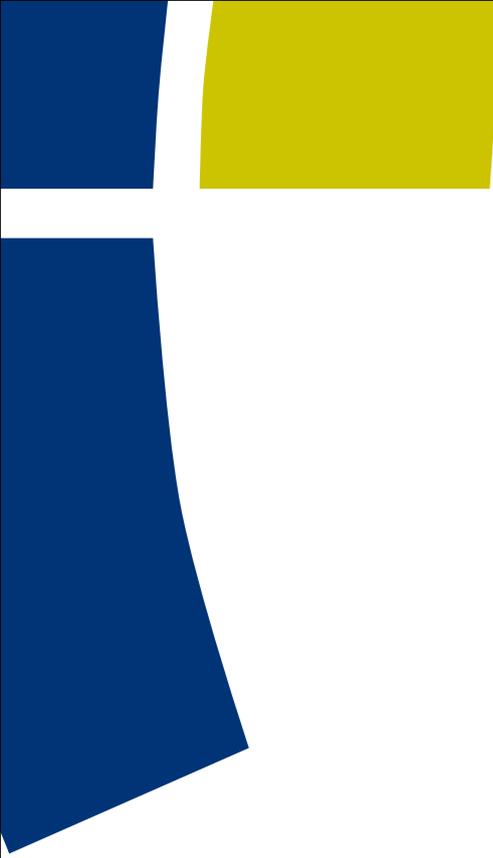
Das CERN

(Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire)



Der LHC (Large Hadron Collider)





Was geschieht im LHC?

Was geschieht im LHC?

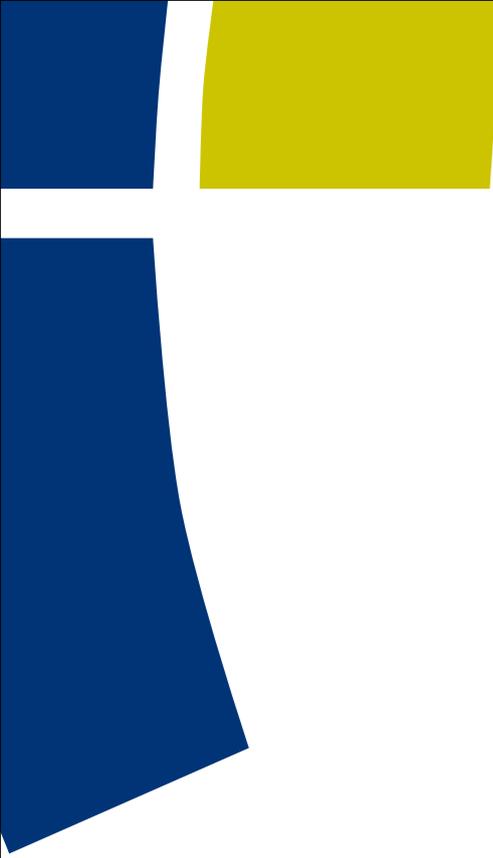
- Protonen kreisen in entgegengesetzten Richtungen mit einer Energie von je 4 Tera-Elektronenvolt (TeV)
- Wenn die Protonen zusammenstoßen, entstehen neue Teilchen, die man in Detektoren nachweist.

Was geschieht im LHC?

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

Aber von Anfang an:
Es beginnt mit einer Flasche voller Wasserstoff ...





Wie funktioniert ein Teilchenbeschleuniger?

Wie funktioniert ein Teilchenbeschleuniger?

Der einfachste Beschleuniger:

Ein alter Fernseher (Braun'sche Röhre)!

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

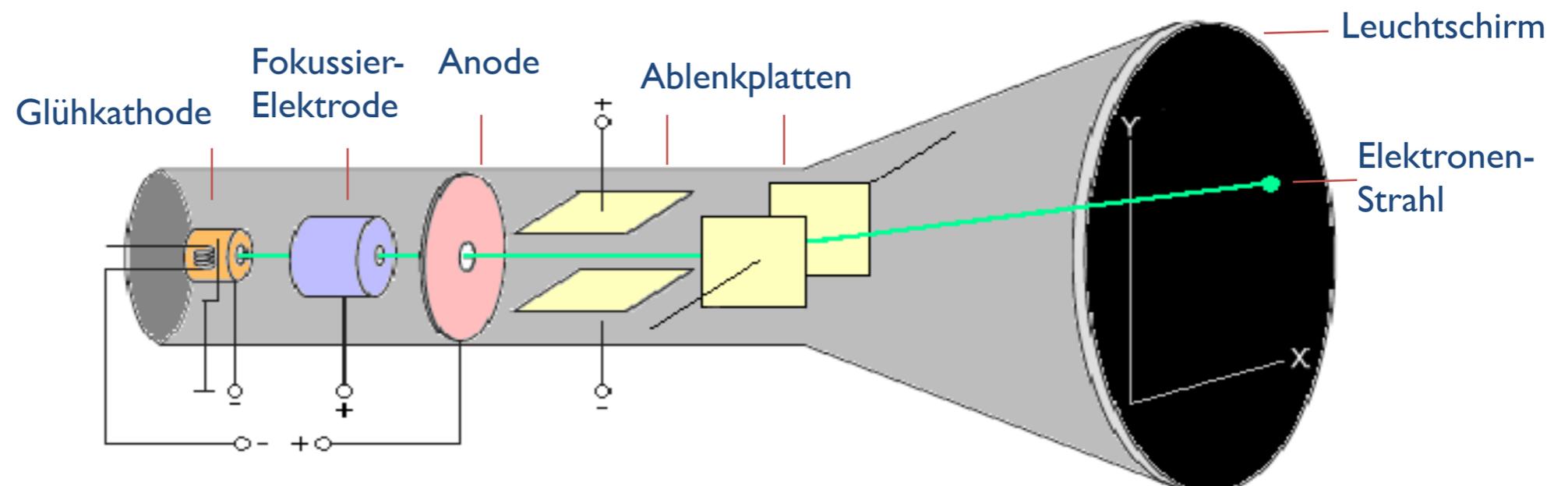


Wie funktioniert ein Teilchenbeschleuniger?

Der einfachste Beschleuniger:

Ein alter Fernseher (Braun'sche Röhre)!

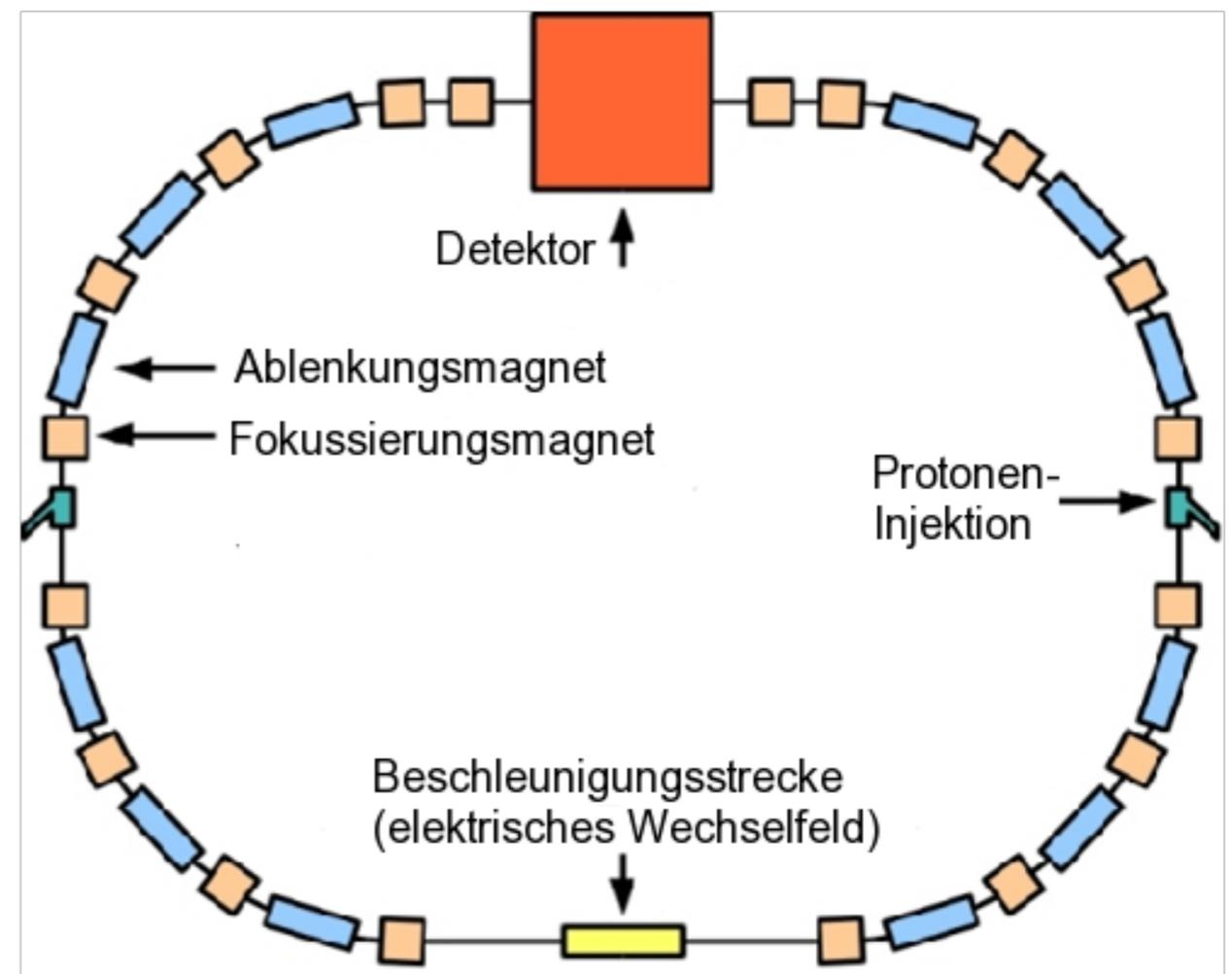
- Elektronen erzeugen: Glühkathode
- ...beschleunigen: elektrisches Feld (Hochspannung)
- ...ablenken und fokussieren: elektrisches oder magnetisches Feld



Wie funktioniert der LHC?

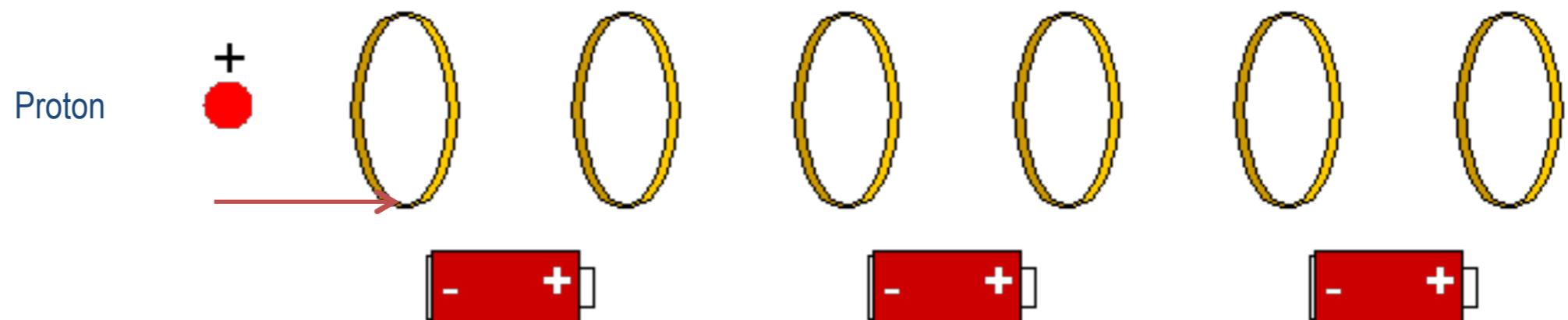
Im LHC durchlaufen Pakete (Bunches) von Protonen eine kreisförmige Bahn, auf der sie...

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



Beschleunigung durch elektrische Felder

- Um in Teilchenbeschleunigern höhere Energien zu erreichen, durchlaufen die geladenen Teilchen ein elektrisches Wechselfeld:



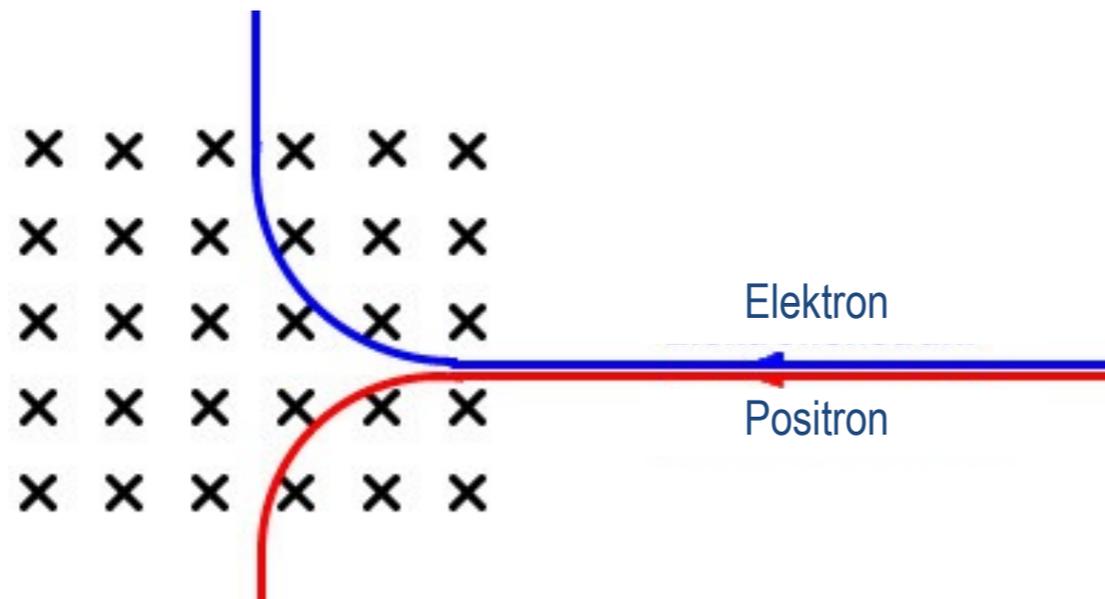
- Wird die Polung des elektrischen Feldes im richtigen Moment umgekehrt, wird das Teilchen beschleunigt.

Der LHC ist...

- **Eine der schnellsten Rennstrecken der Welt**
 - Knapp eine Billion Protonen
 - 99,999997% der Lichtgeschwindigkeit
 - 27 km langer Tunnel
 - **Wieviele Grenzüberschreitungen pro Sekunde?**

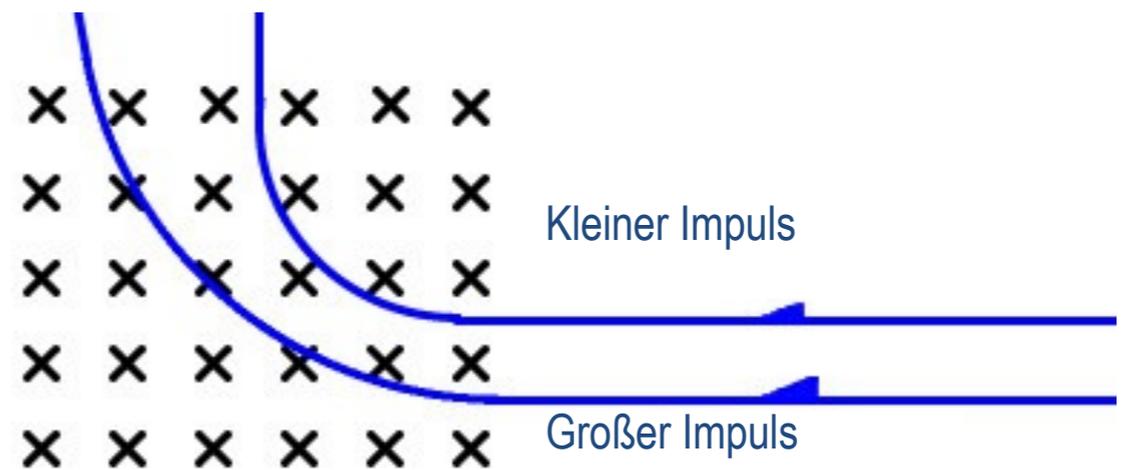
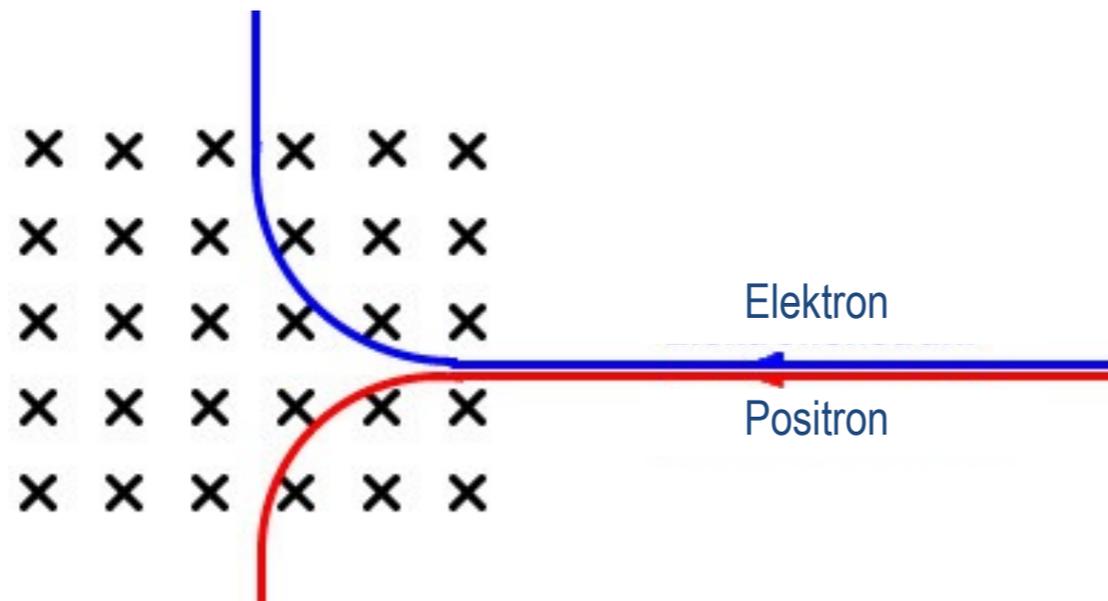


Ablenkung durch Magnetfelder



x: Das Magnetfeld zeigt vom Betrachter weg

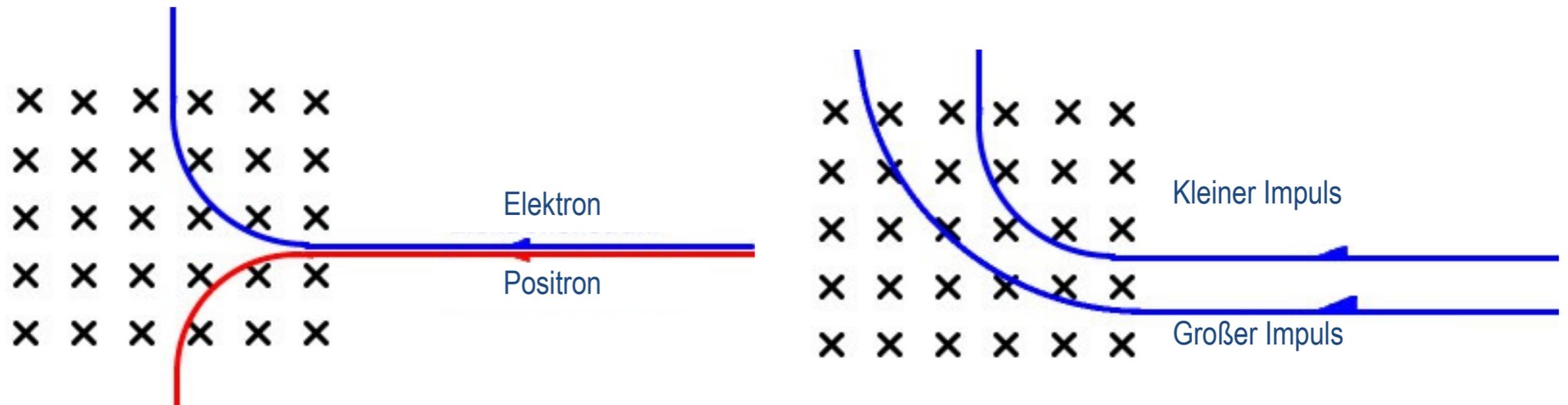
Ablenkung durch Magnetfelder



x: Das Magnetfeld zeigt vom Betrachter weg

Ablenkung durch Magnetfelder

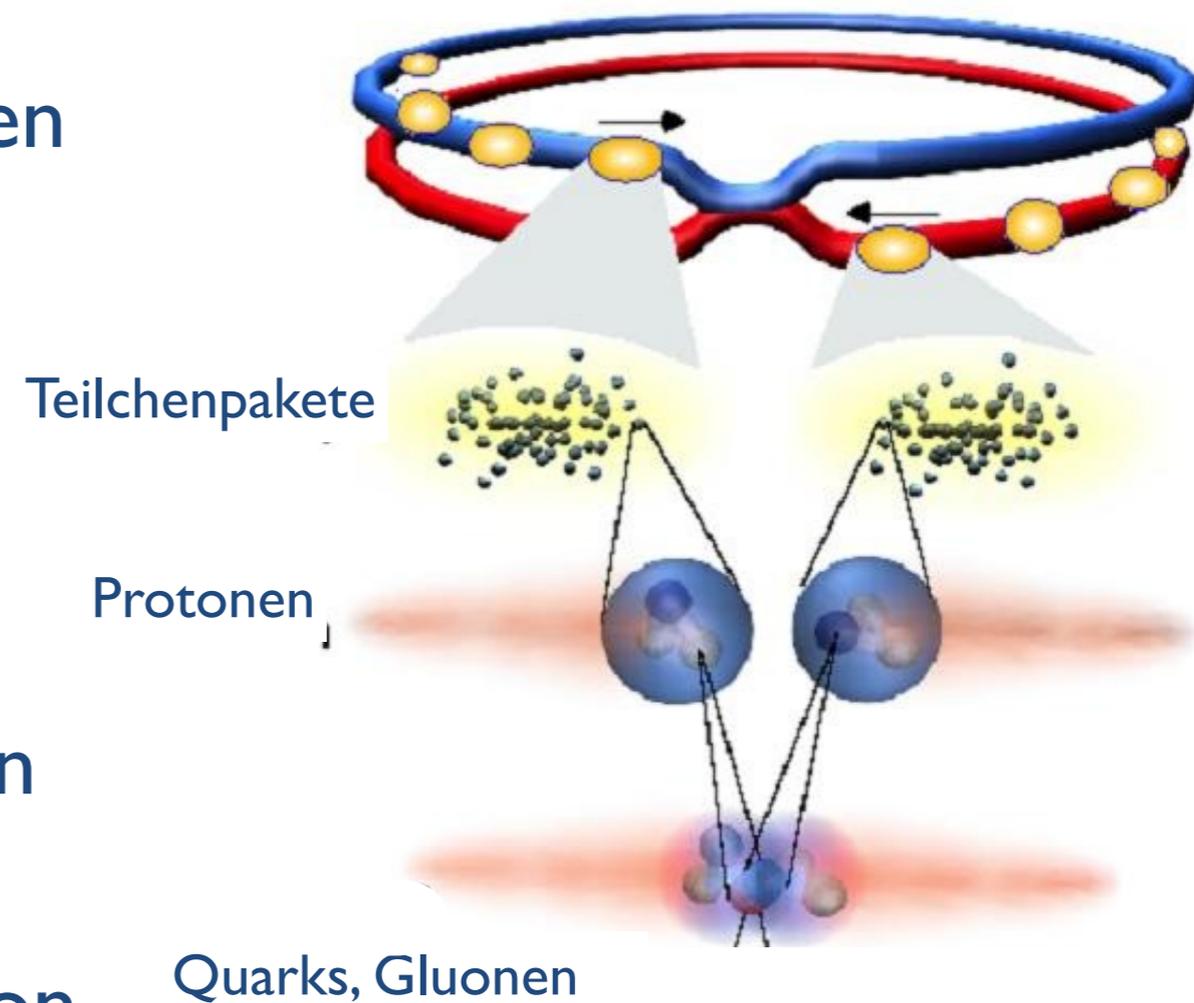
- Ein Magnetfeld lenkt elektrisch geladene Teilchen senkrecht zu ihrer Flugbahn ab (Lorentzkraft):
- Die Richtung und Stärke der **Bahnkrümmung** hängen von der **elektrischen Ladung** und vom **Impuls** (also von Masse und Geschwindigkeit) des Teilchens ab.



x: Das Magnetfeld zeigt vom Betrachter weg

Teilchenkollisionen im LHC

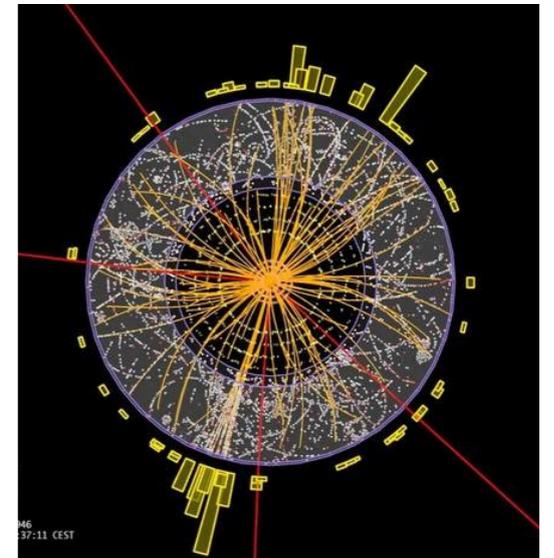
- 2 gegenläufige Protonenstrahlen
- ...mit je 1400 Teilchenpaketen
- 100 Milliarden Protonen pro Paket
- 20 Millionen Paket-Kreuzungen pro Sekunde...
- ...mit je etwa 30 Proton-Proton-Kollisionen



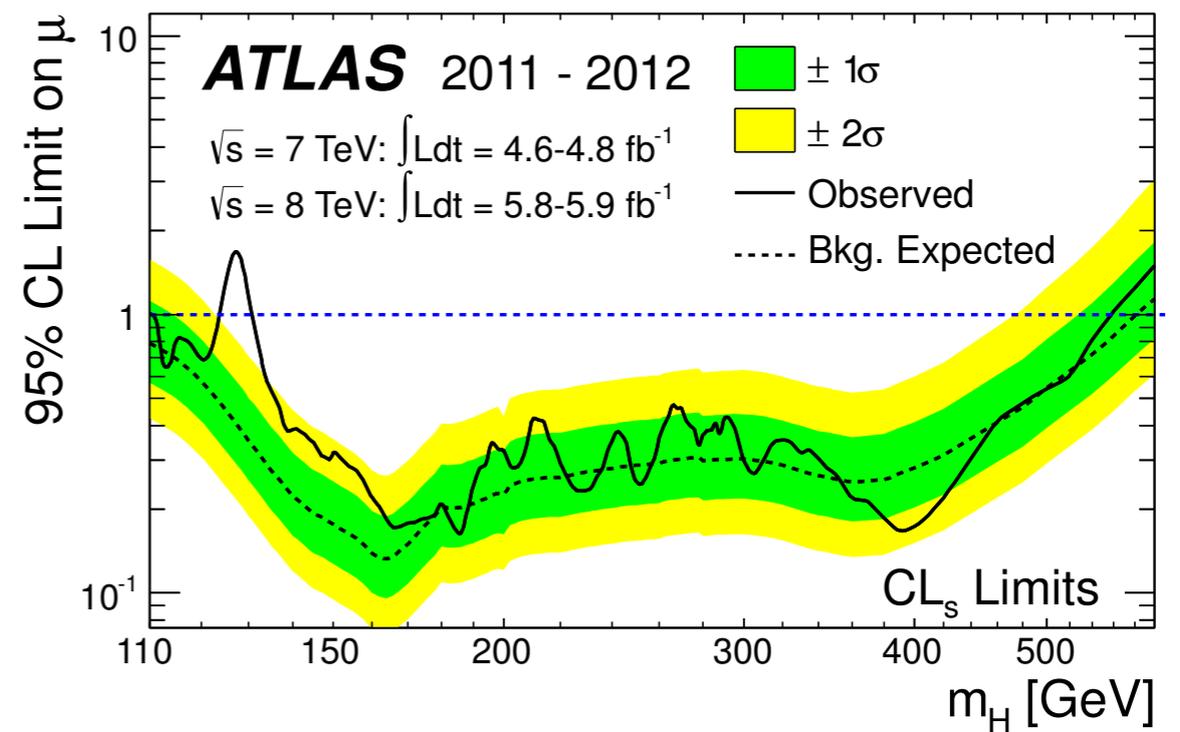
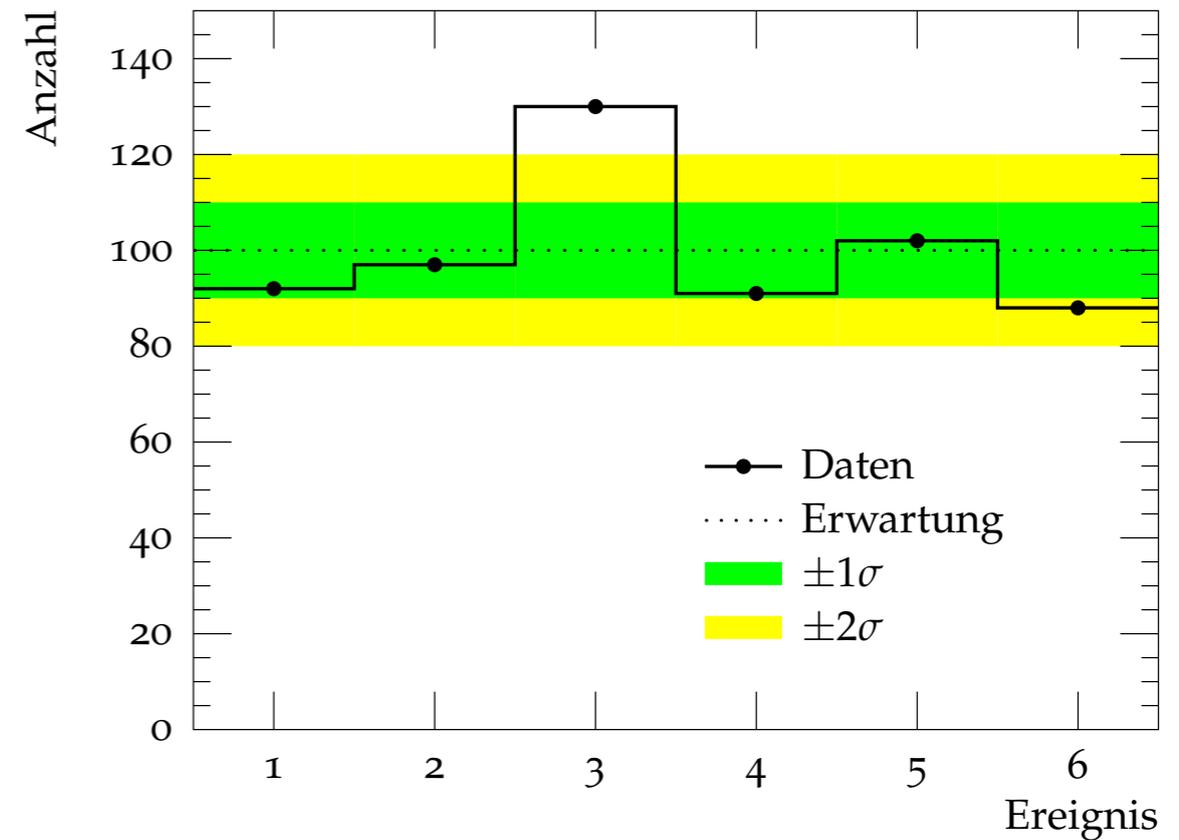
→ ca. 600 Millionen Kollisionen pro Sekunde!

Teilchenkollisionen im LHC

- 600 Mio. Kollisionen pro Sekunde! Warum?
 - „Interessante“ Teilchen entstehen sehr selten: ca. 1x pro 10^{10} Kollisionen!
 - Welche Teilchen bei einer bestimmten Kollision entstehen, ist vom Zufall bestimmt
 - Man kann nur vorhersagen, wie häufig welche Teilchenkombinationen vorkommen werden
 - Vergleich der Messergebnisse mit Vorhersagen aus dem Standardmodell und anderen Theorien

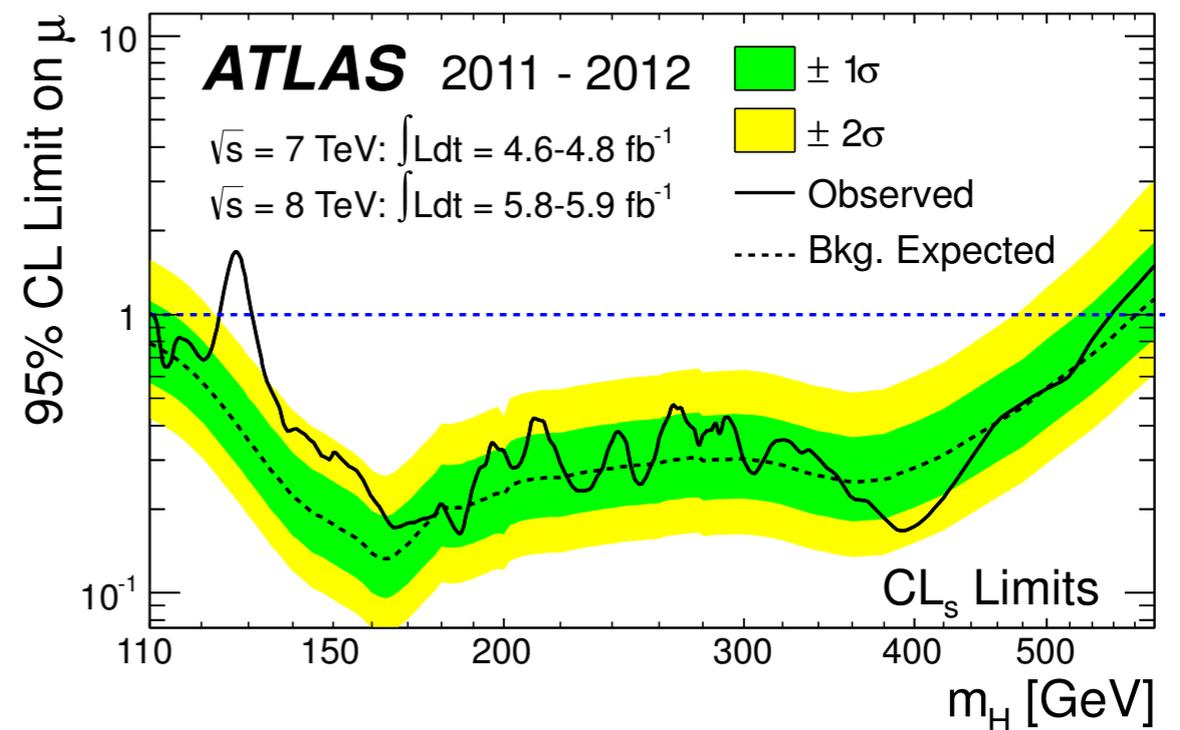
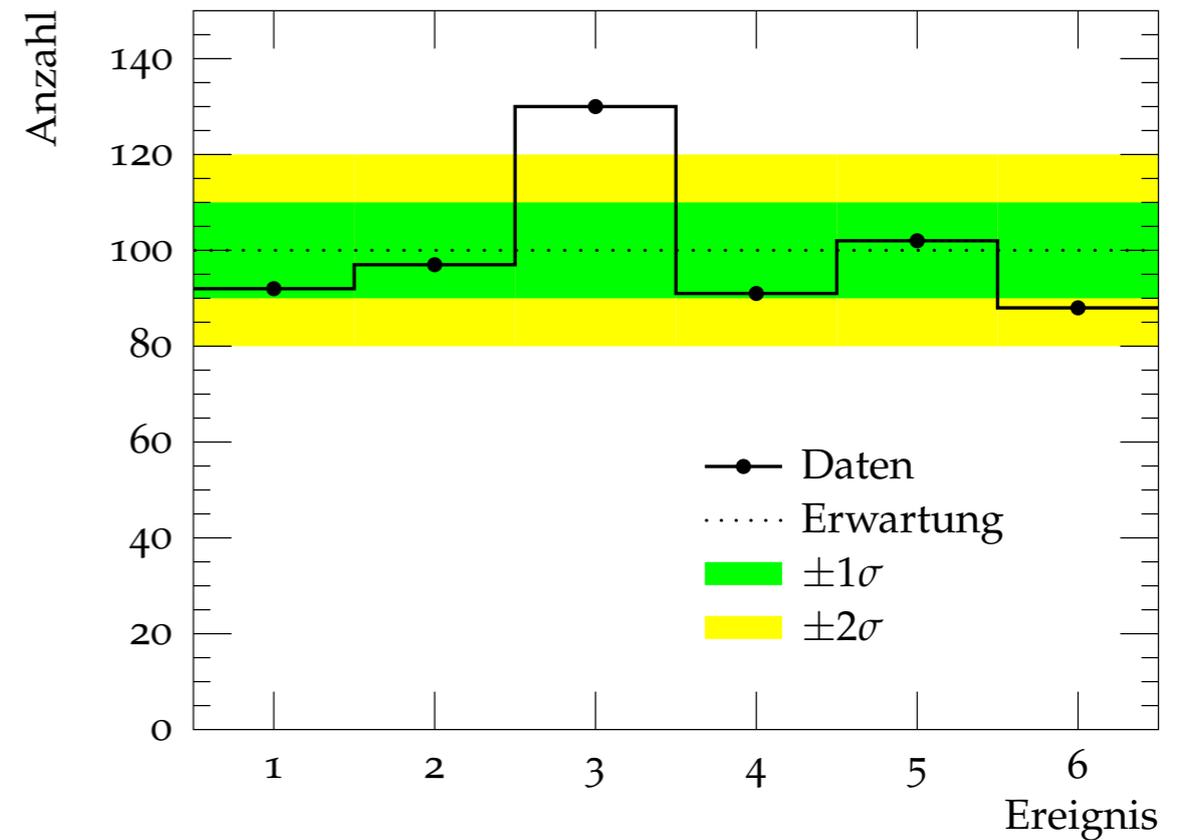


Warum so viele Kollisionen?



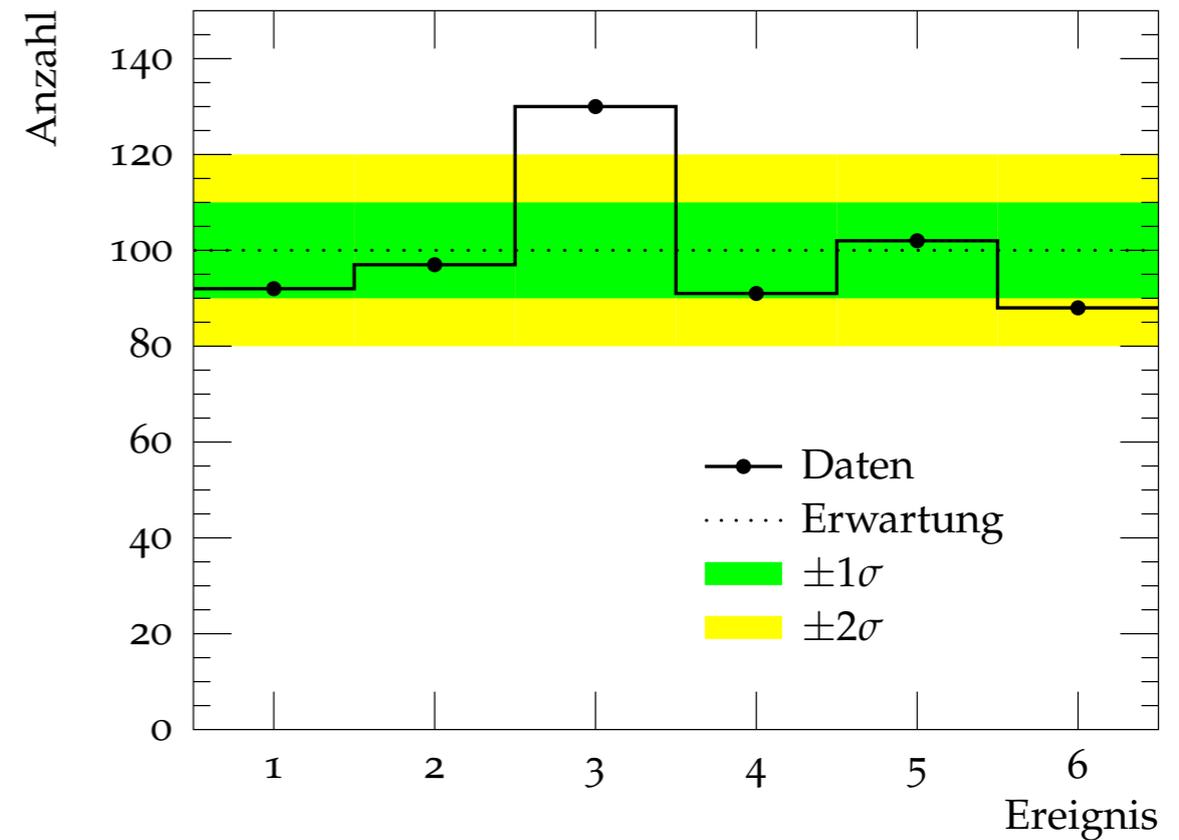
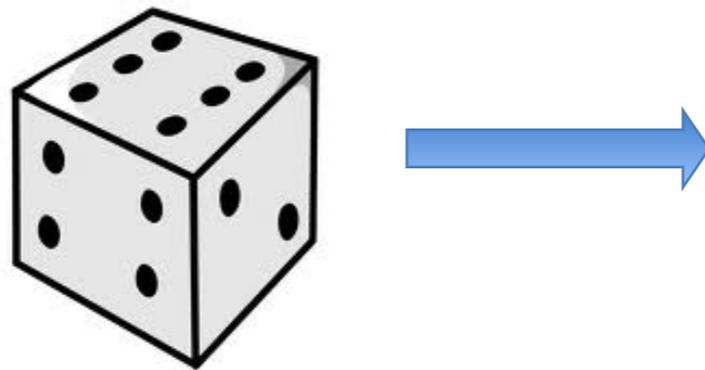
Warum so viele Kollisionen?

Ist der Würfel manipuliert oder nicht?

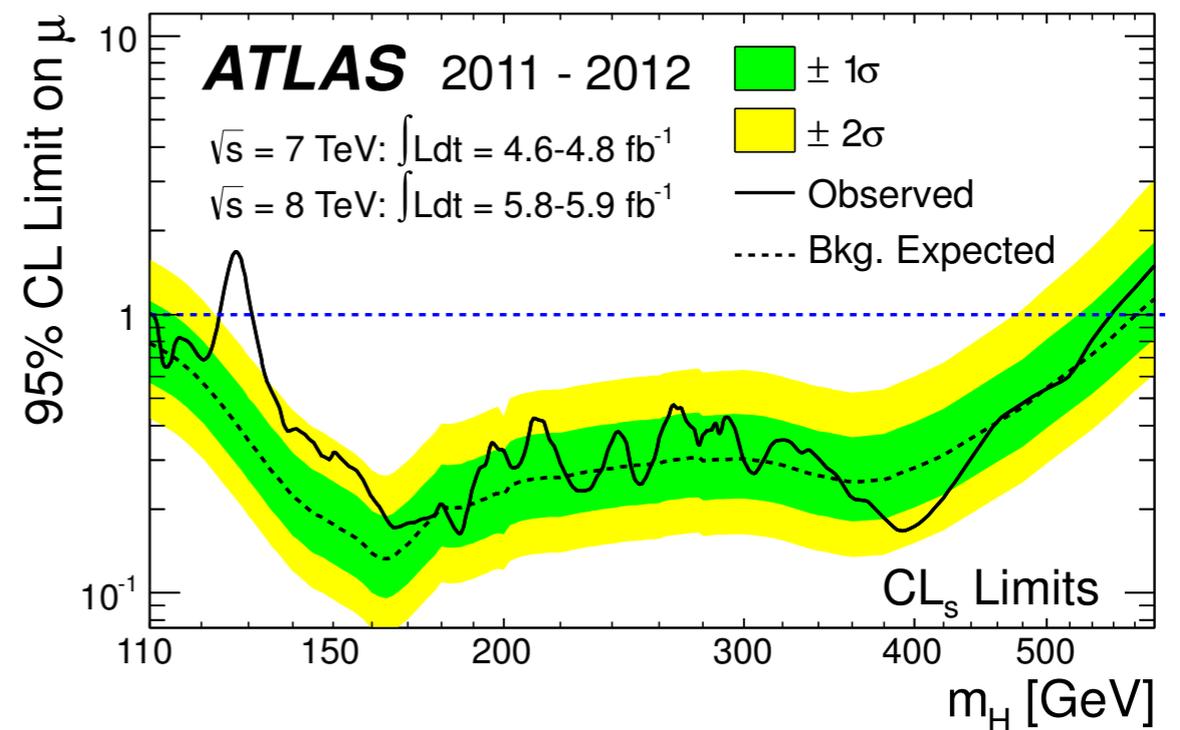


Warum so viele Kollisionen?

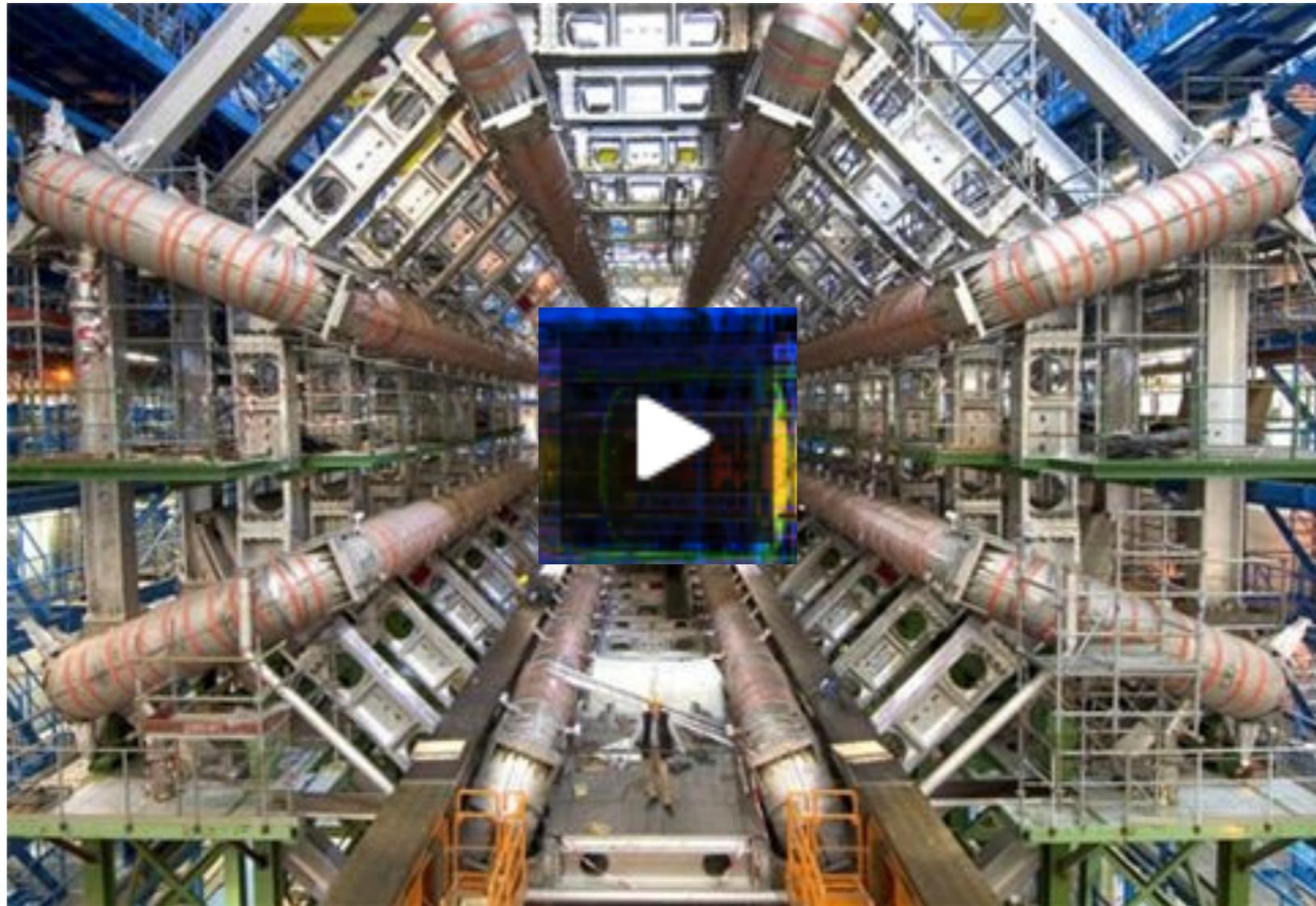
Ist der Würfel manipuliert oder nicht?



Existiert das Higgs-Boson oder nicht?



Im Schnelldurchlauf



Analyse von Teilchenspuren im ATLAS Detektor



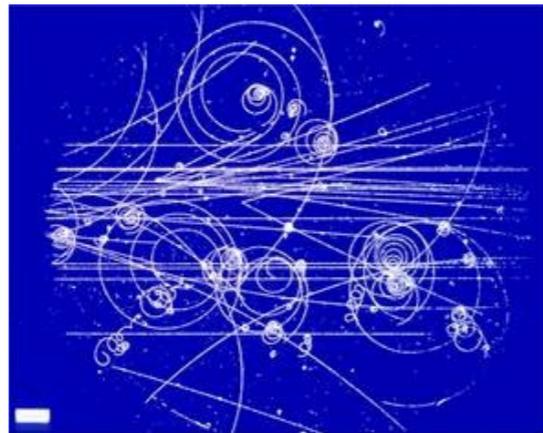


Wie weist man Elementarteilchen nach?

Wie weist man Elementarteilchen nach?

Bildgebende Detektoren

z.B.: Nebelkammer, Blasenkammer

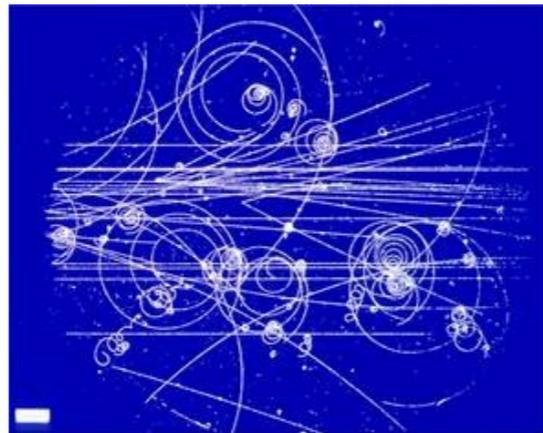


➤ sichtbare Teilchenspuren

Wie weist man Elementarteilchen nach?

Bildgebende Detektoren

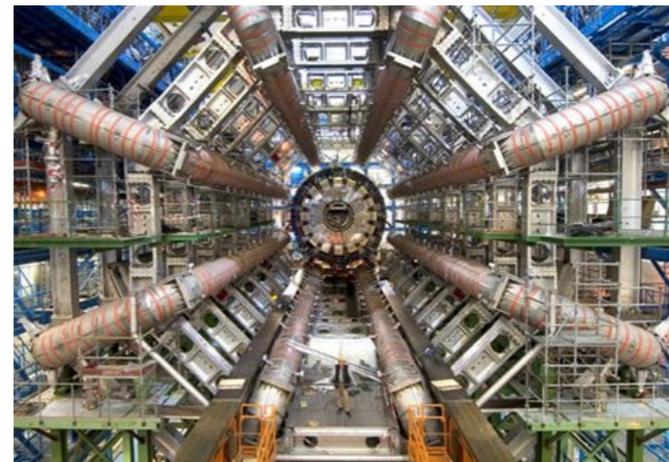
z.B.: Nebelkammer, Blasenkammer



➤ sichtbare Teilchenspuren

Elektronische Detektoren

z.B.: ATLAS-Detektor, Geigerzähler



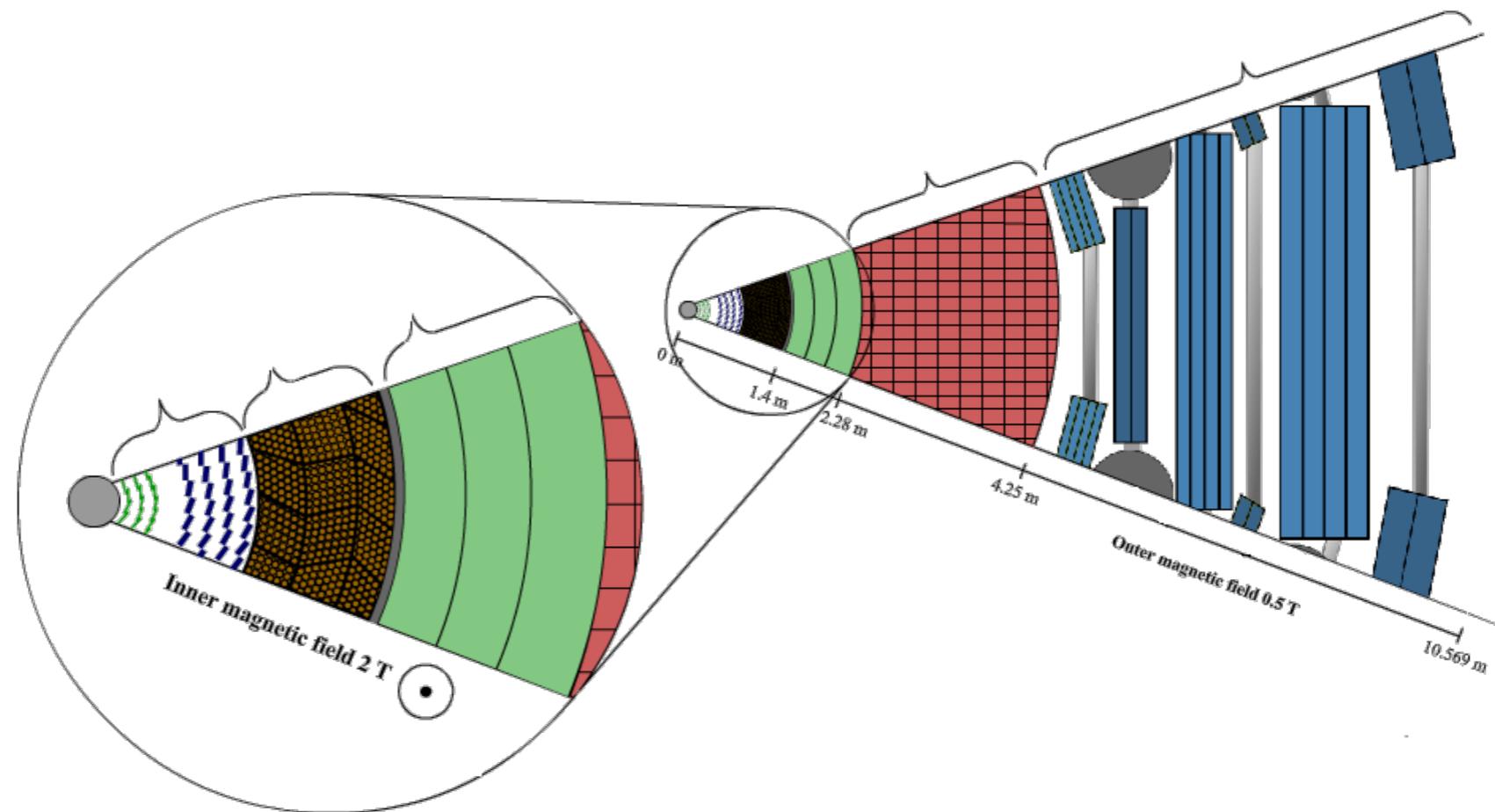
➤ elektrische Signale
➤ Eigenschaften der Teilchen werden daraus rekonstruiert

Wer ist ATLAS?



37 Länder
173 Institute
3000 Wissenschaftler

Der ATLAS-Detektor

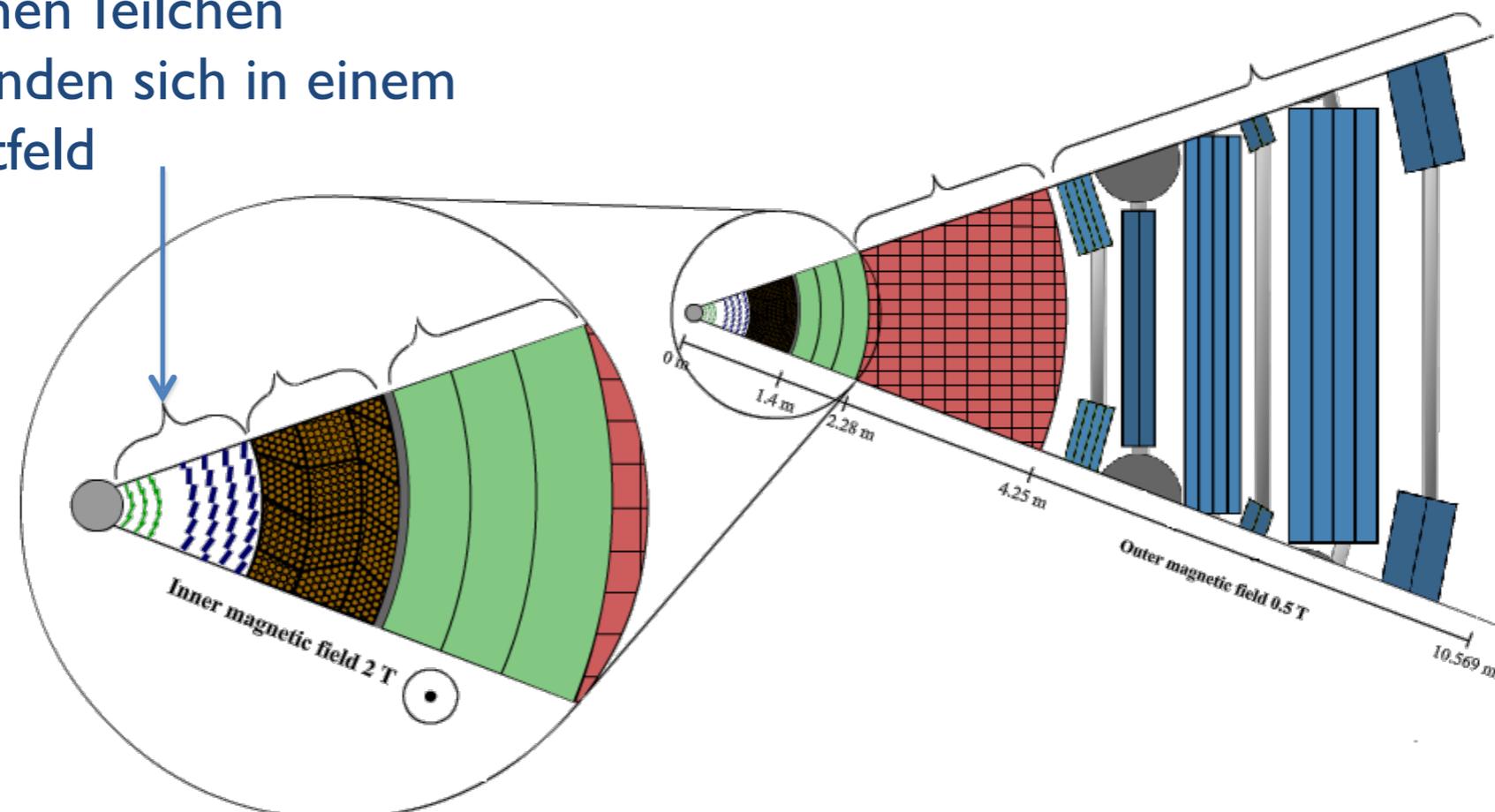


Created by T. Herrmann, O. Jeřábek, K. Jende, M. Kobel

Der ATLAS-Detektor

Spurdetektoren

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

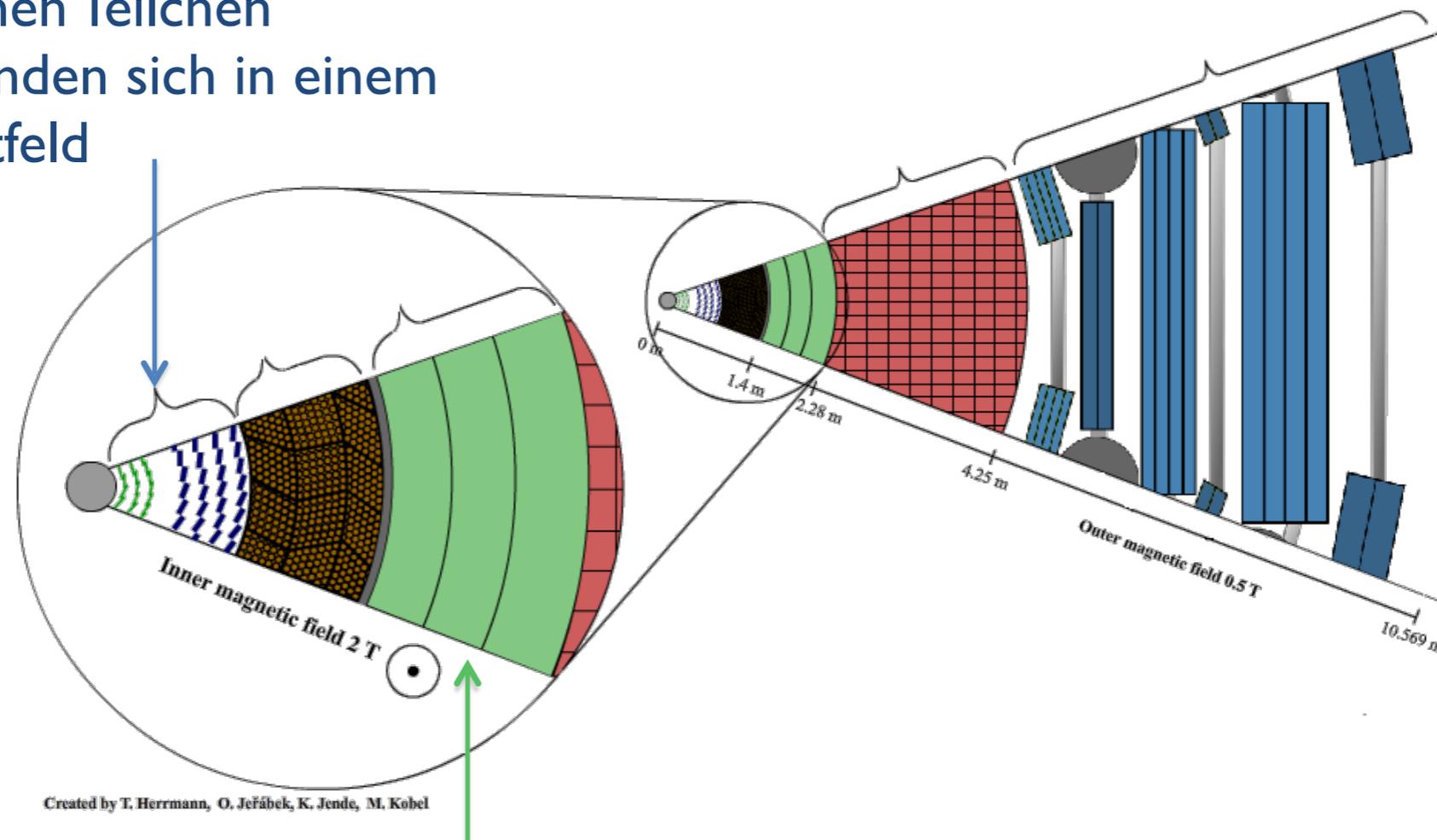


Created by T. Herrmann, O. Jeřábek, K. Jende, M. Kobel

Der ATLAS-Detektor

Spurdetektoren

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



Elektromagnetisches Kalorimeter

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

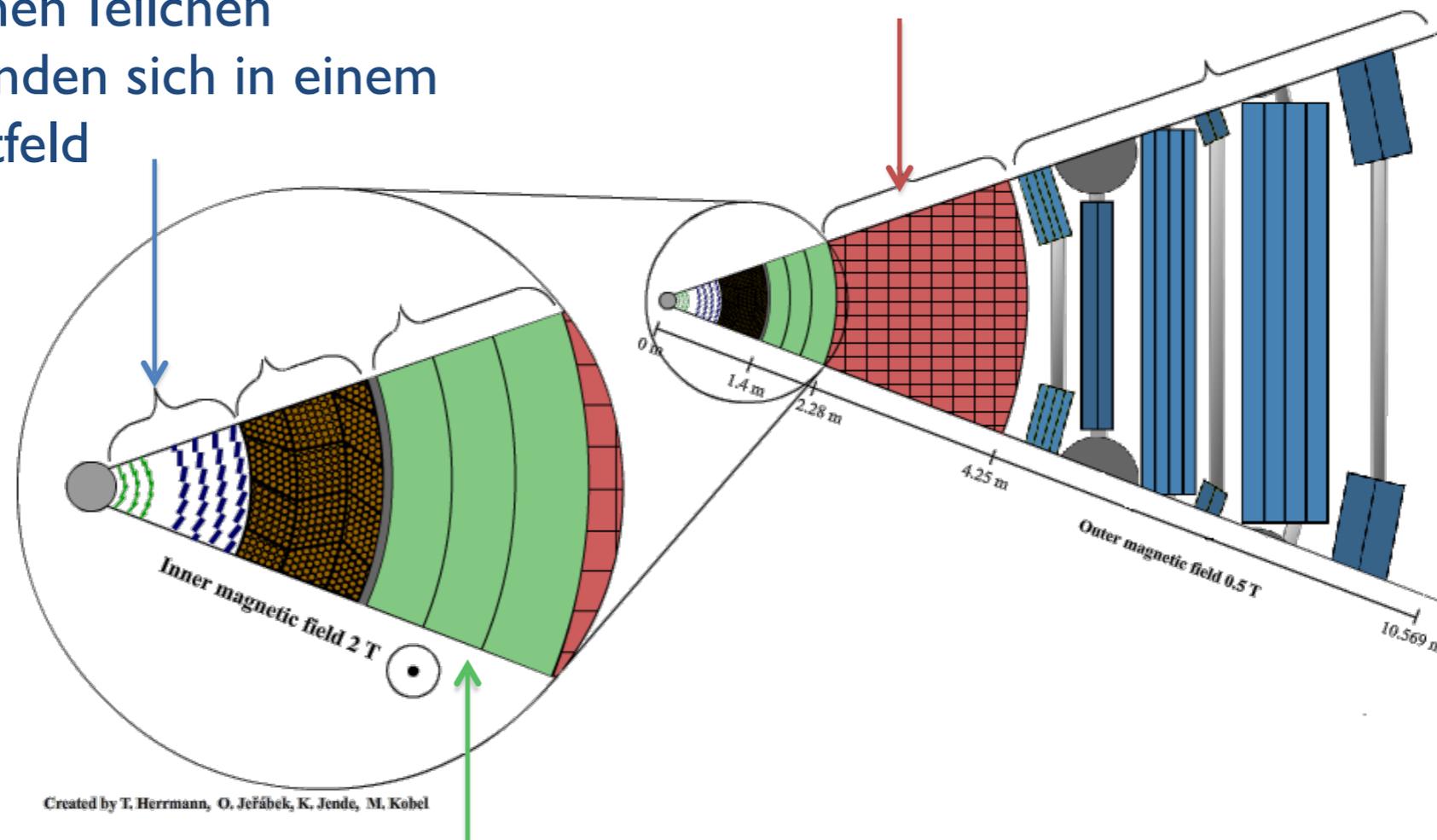
Der ATLAS-Detektor

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

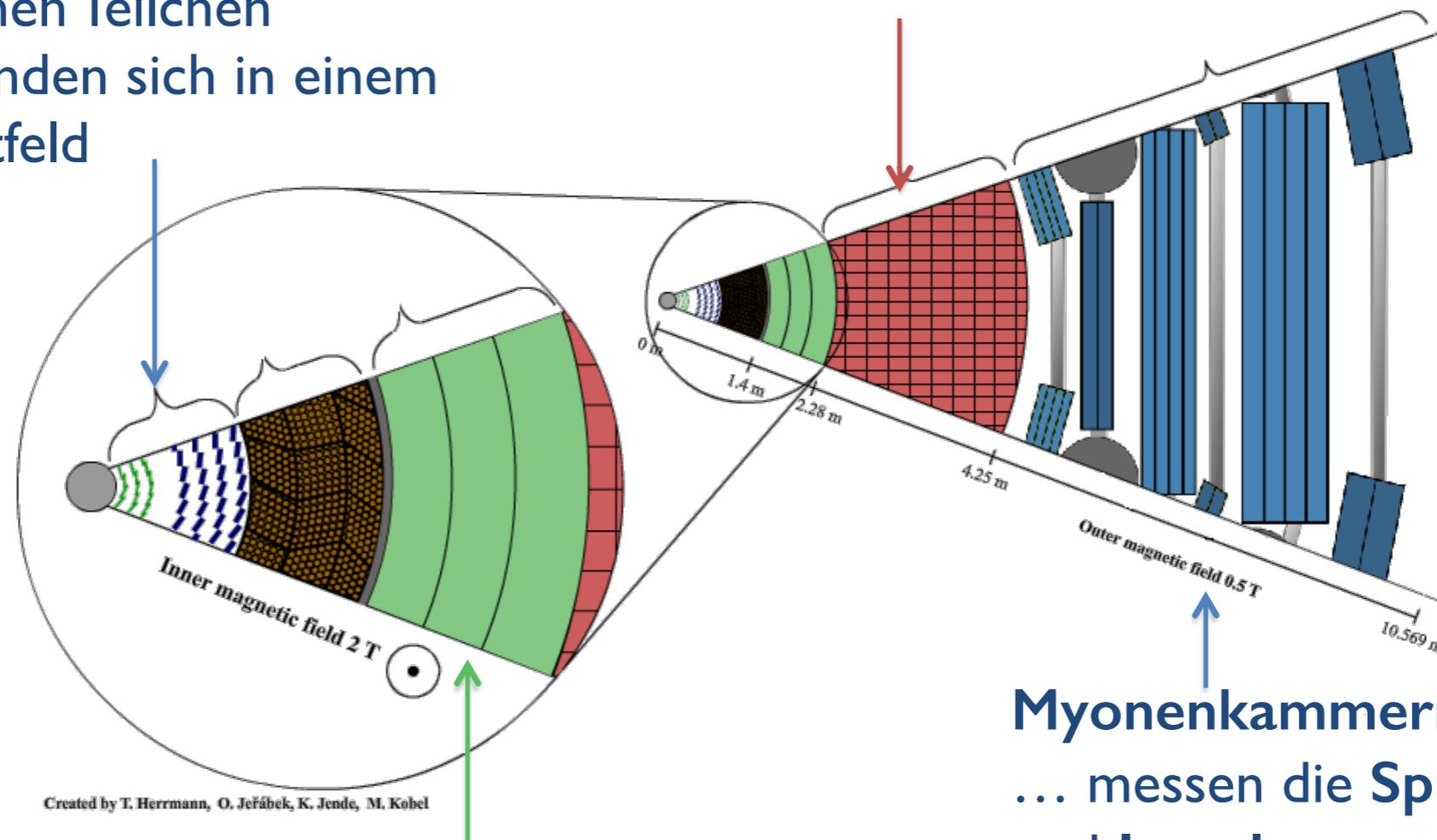
Der ATLAS-Detektor

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

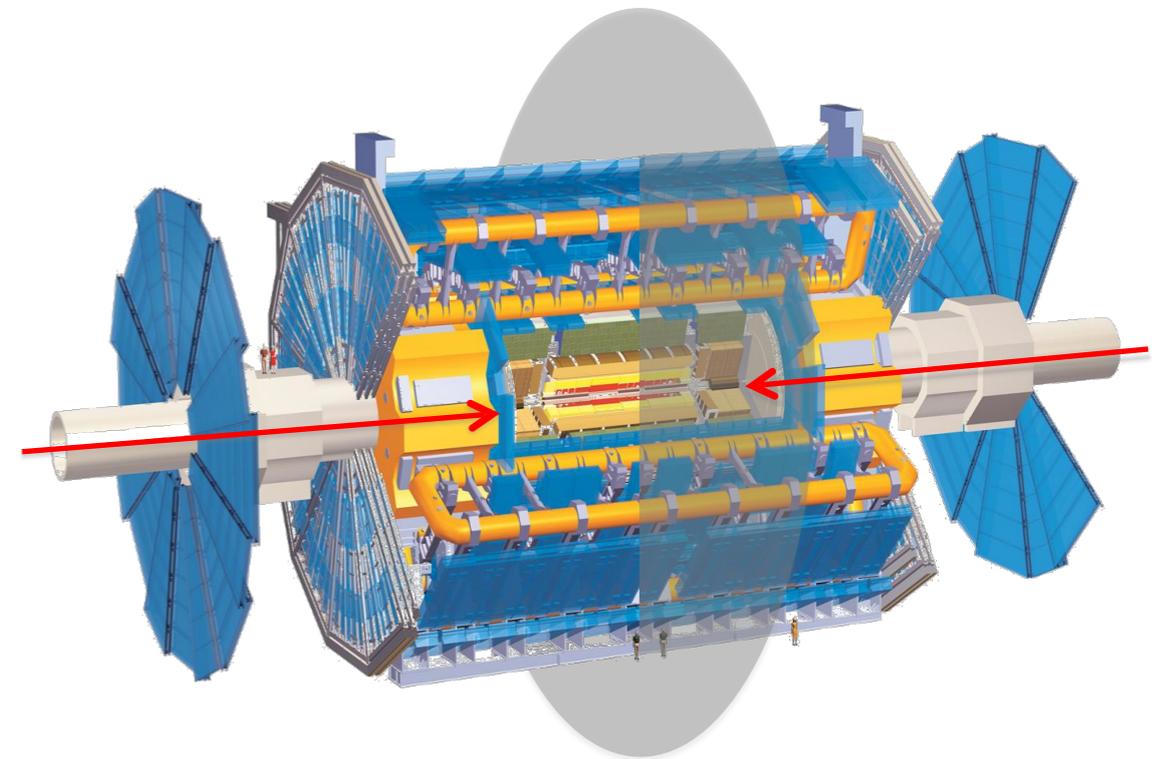
... misst die **Energie** von Elektronen,
Positronen und Photonen

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**
- Besonders wichtig sind die **transversalen Anteile**
von Impuls und Energie (**senkrecht zum Strahlrohr**):
 - **PT**: transversaler Impuls
 - **ET**: transversale Energie



Beispielereignis

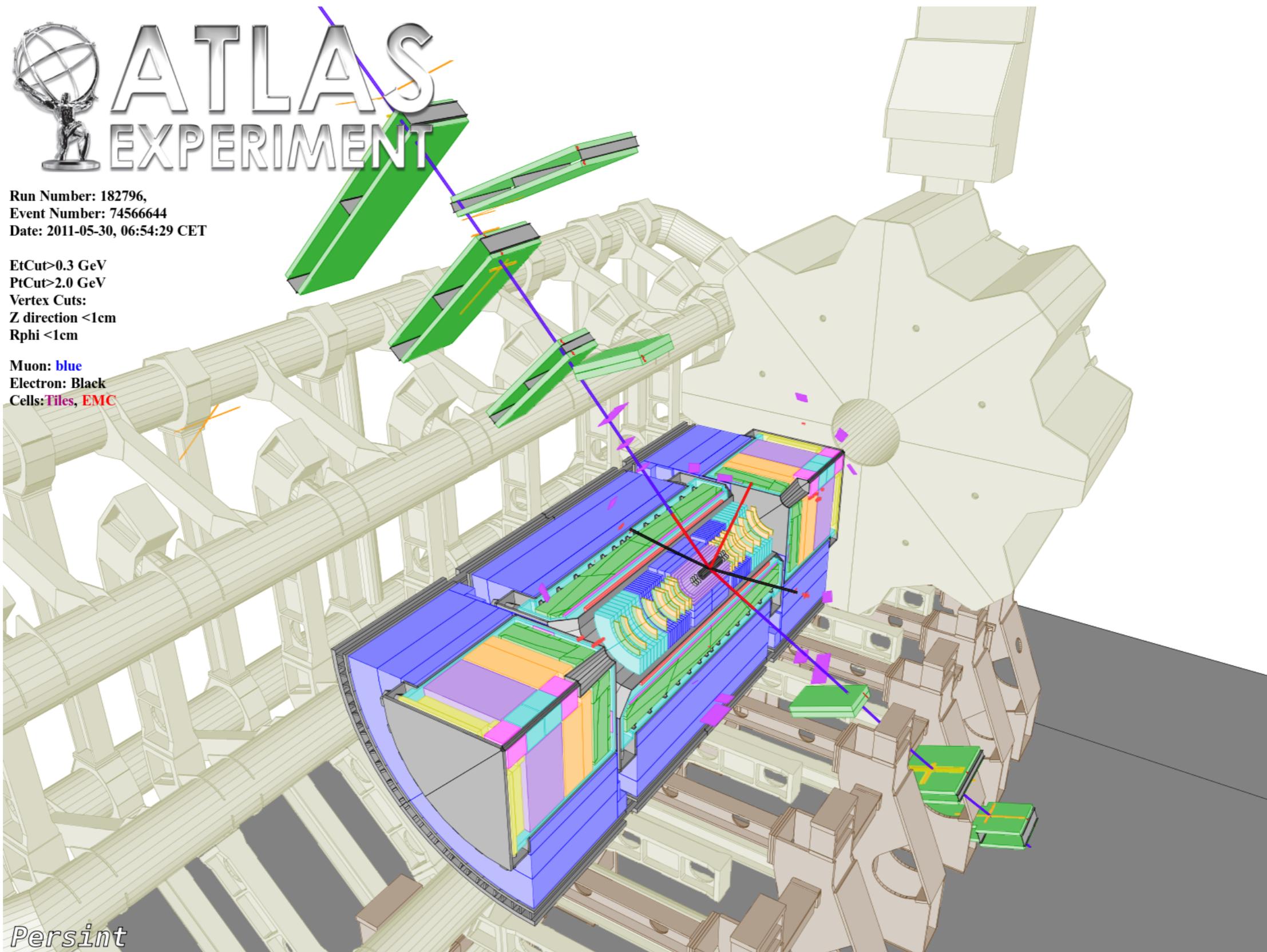


ATLAS EXPERIMENT

Run Number: 182796,
Event Number: 74566644
Date: 2011-05-30, 06:54:29 CET

EtCut > 0.3 GeV
PtCut > 2.0 GeV
Vertex Cuts:
Z direction < 1cm
Rphi < 1cm

Muon: blue
Electron: Black
Cells: Tiles, EMC



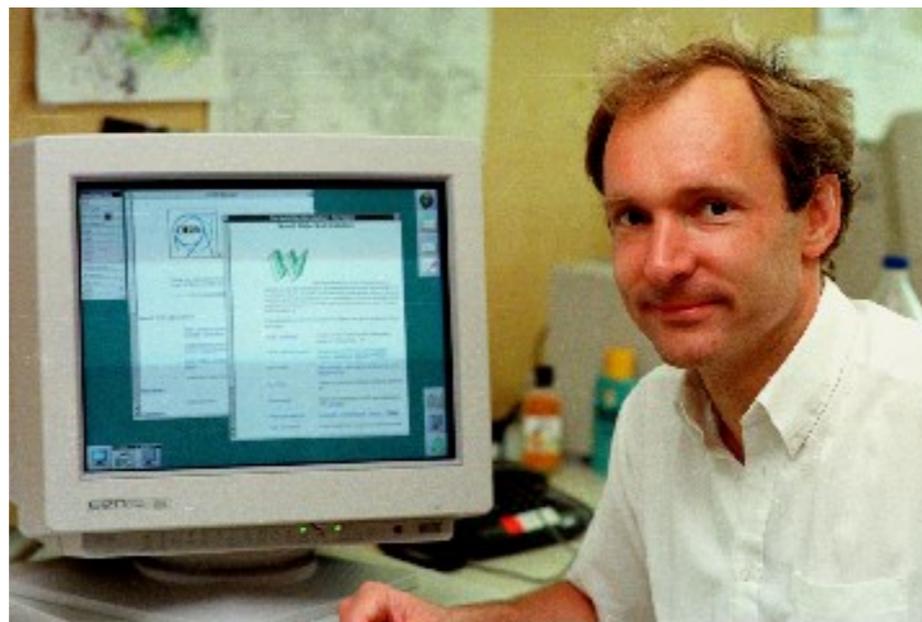
Persint

Und was nützt
mir das heute?



Das World Wide Web

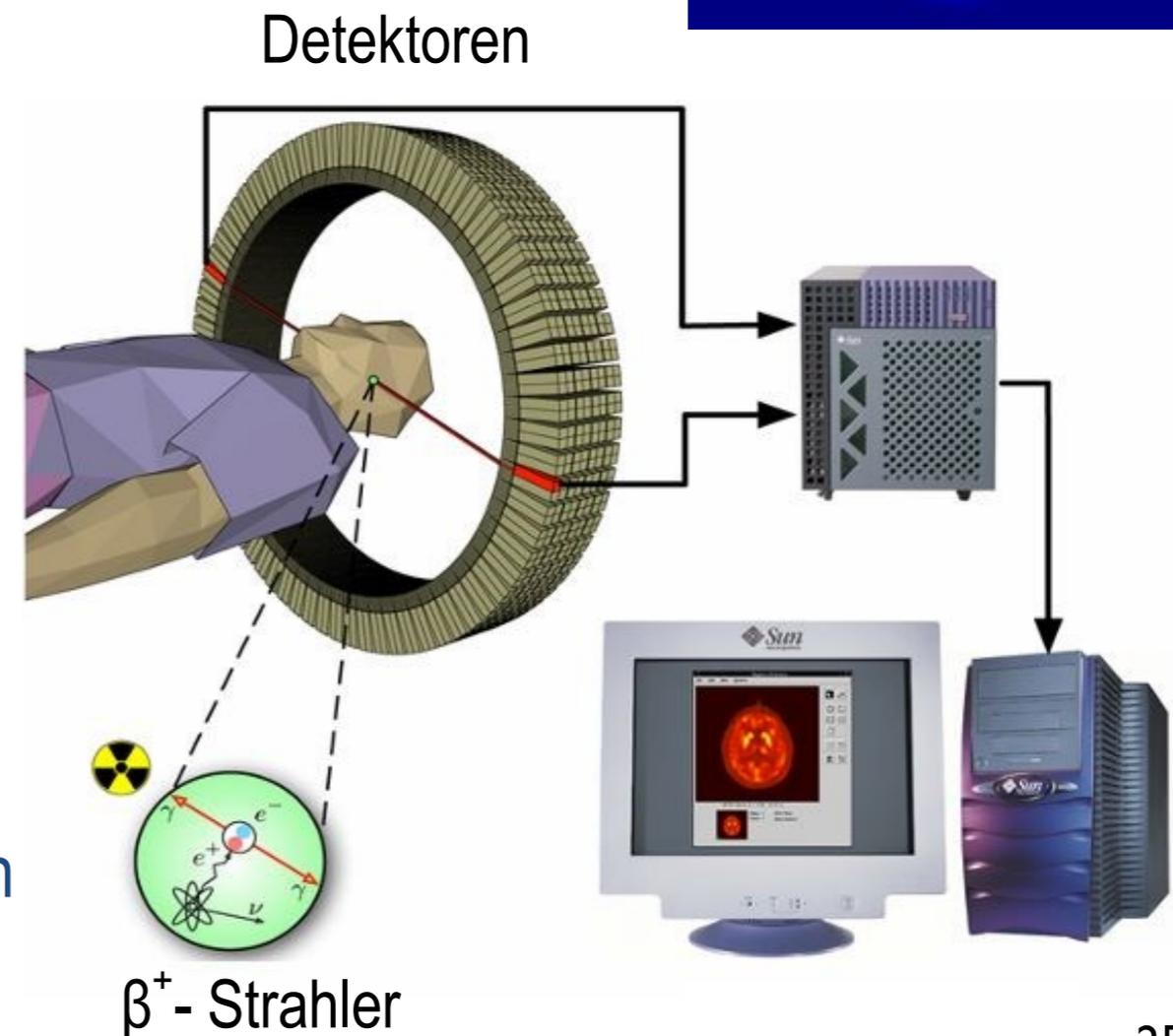
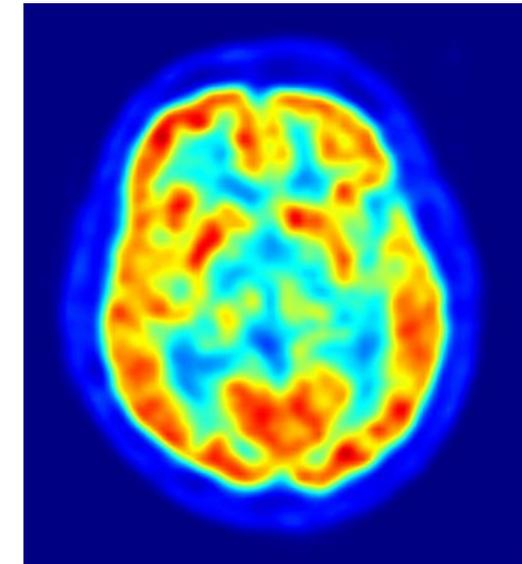
- Erfunden 1989 am CERN von Tim Berners-Lee
- Methode, um schnell und einfach wissenschaftliche Daten auszutauschen
- Erster Webserver lief am CERN



Positronen-Emissions-Tomografie

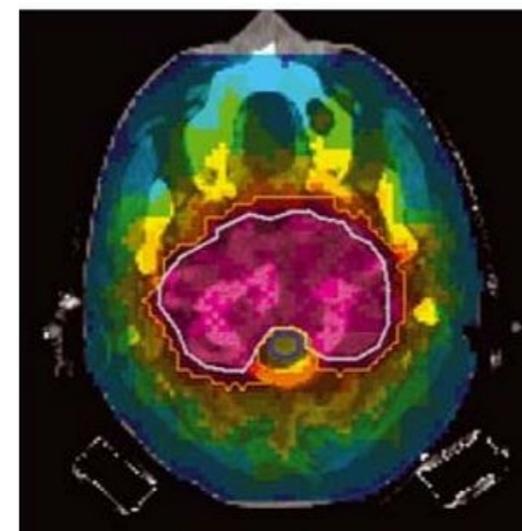
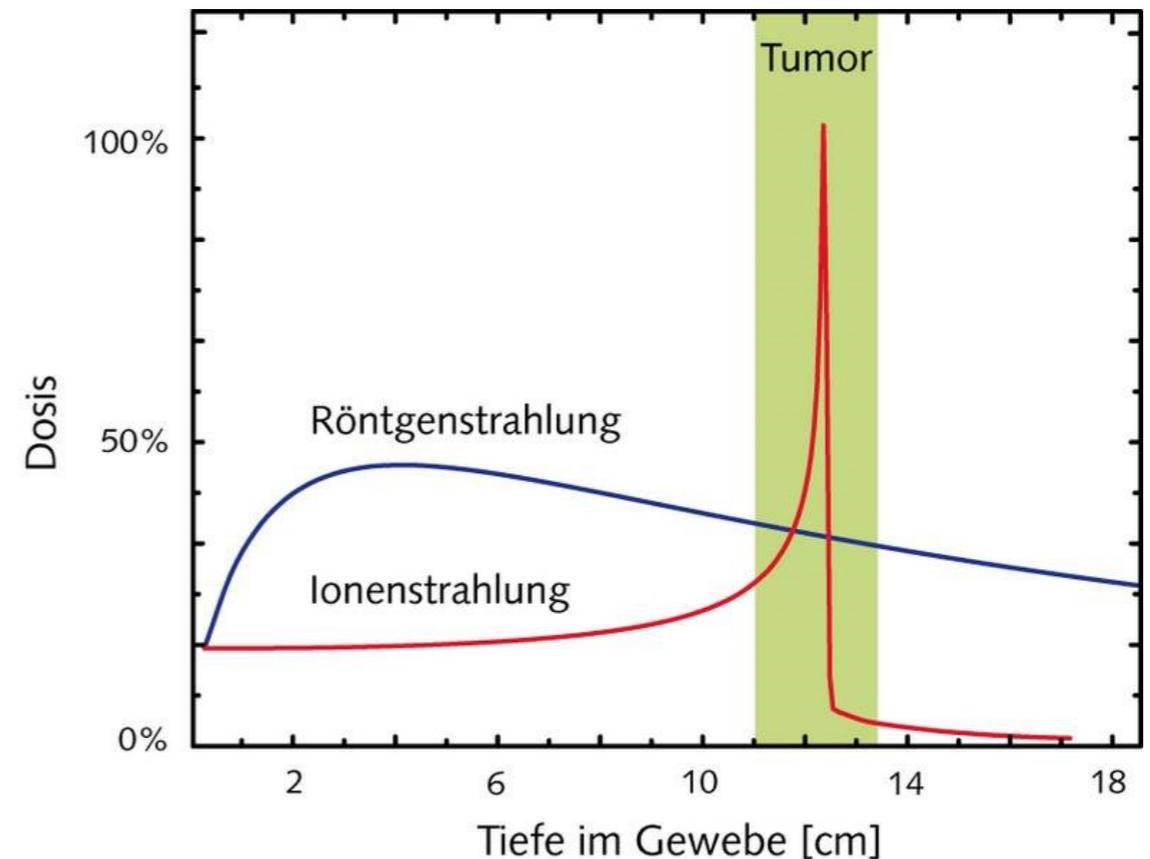
PET: Ein bildgebendes Verfahren für die Medizin

- Patienten wird eine spezielle Zuckerlösung gespritzt
- Diese enthält ein Fluor-Isotop, das Positronen abstrahlt (β^+ - Strahler)
- Zucker sammelt sich in Gewebe, das viel Energie benötigt, besonders in Tumorgewebe
- Positronen und Elektronen zerstrahlen in zwei Photonen
- Detektoren registrieren die Photonen
- Eine Software berechnet den Ursprungsort der Photonen...
- ... und setzt daraus ein Bild zusammen

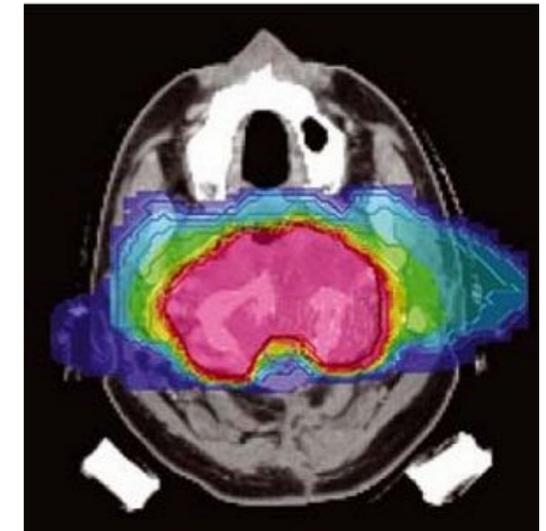


Tumorthherapie mit Hadronen

- Vorteil gegenüber Bestrahlung mit Elektronen oder Photonen:
Eindringtiefe einstellbar, genaue Fokussierung auf den Tumor möglich
 - es werden mehr Tumorzellen als gesunde Zellen zerstört
 - gut für tiefliegende Tumore geeignet
 - geringere Dosis nötig
- Nachteile: hohe Kosten, großer Beschleuniger nötig

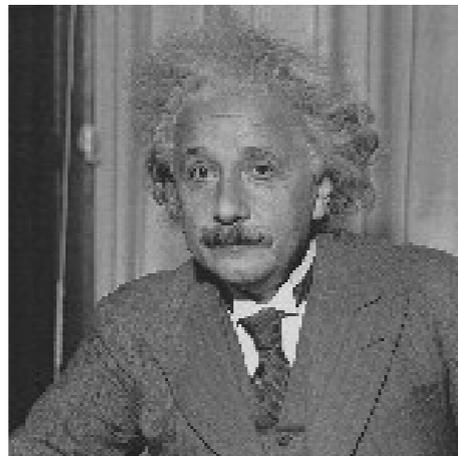


Photonen



Kohlenstoff-Ionen

Grundlagenforschung als Motor für Innovation



Relativitäts-
theorie



100% Wissenschaft



Elektro-
magnetismus

