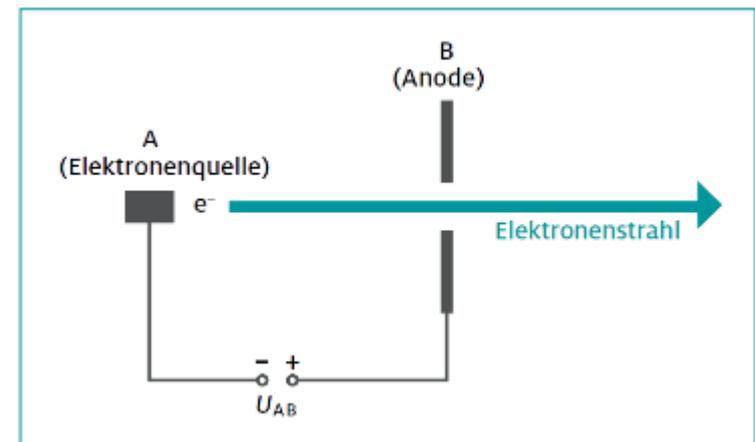
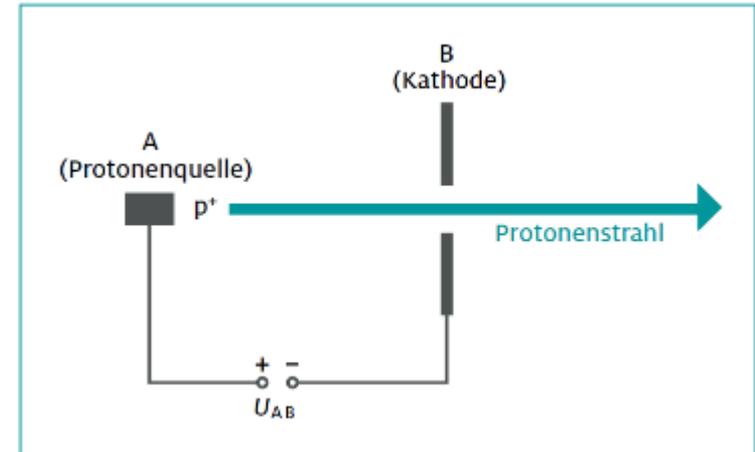


Teil 2: Beschleuniger und Detektoren

Beschleuniger

Beschleuniger – grundlegender Aufbau

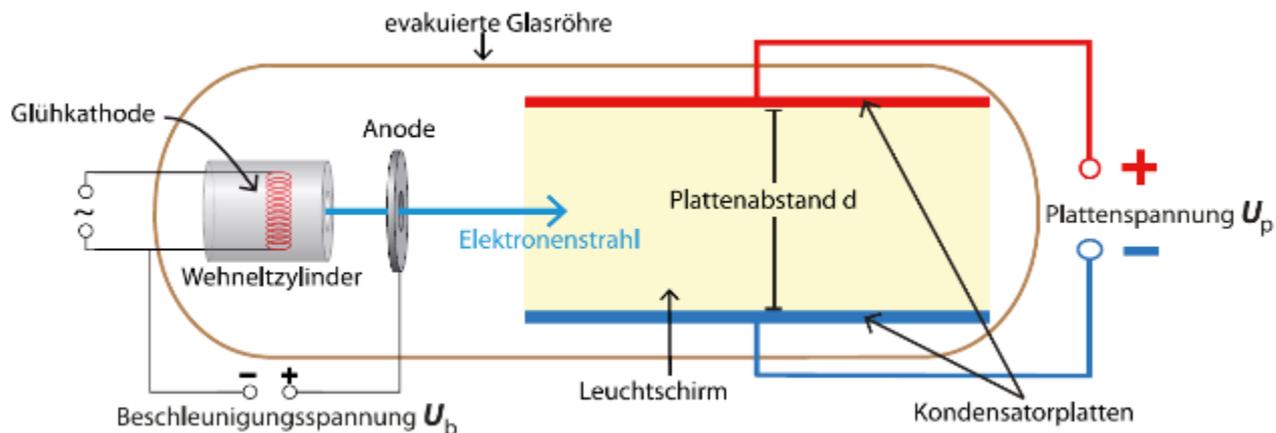
- ▶ Beschleunigung von Teilchen
 - Teilchen erzeugen:
Elektrisch neutrale Teilchen werden zunächst ionisiert
 - Teilchen beschleunigen:
Elektrisch geladenen Teilchen durchlaufen ein elektrisch „anziehendes“ Feld



Beschleuniger – Elektronenkanone

► Beschleunigung von Elektronen

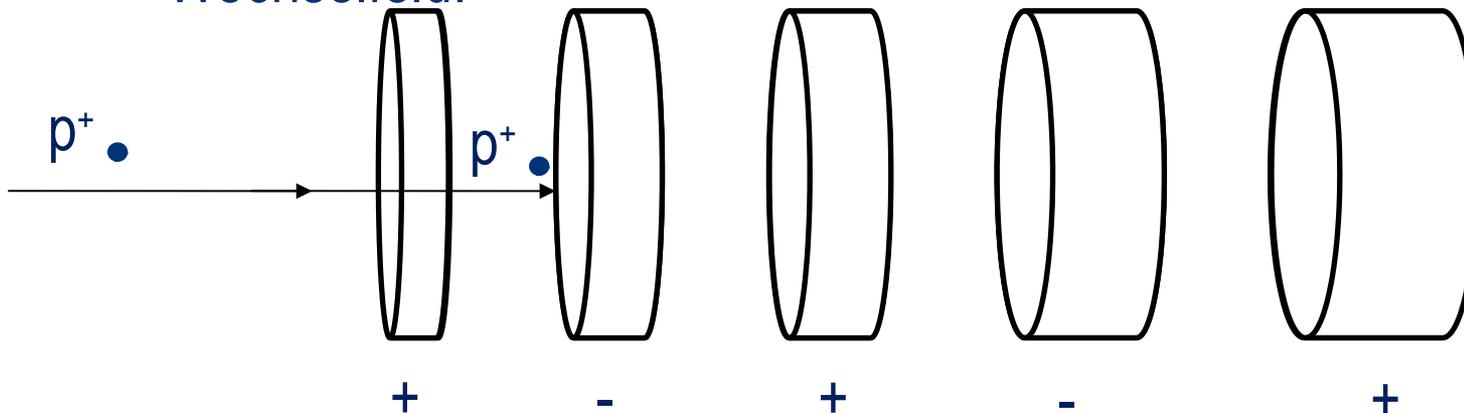
- Elektronen erzeugen:
Elektrisch neutrale Teilchen werden zunächst ionisiert
- Elektronen beschleunigen:
Elektrisch geladenen Teilchen durchlaufen ein elektrisch „anziehendes“ Feld
- Elektronen ablenken und/oder fokussieren: elektrisches oder magnetisches Feld





Wie funktioniert ein Teilchenbeschleuniger?

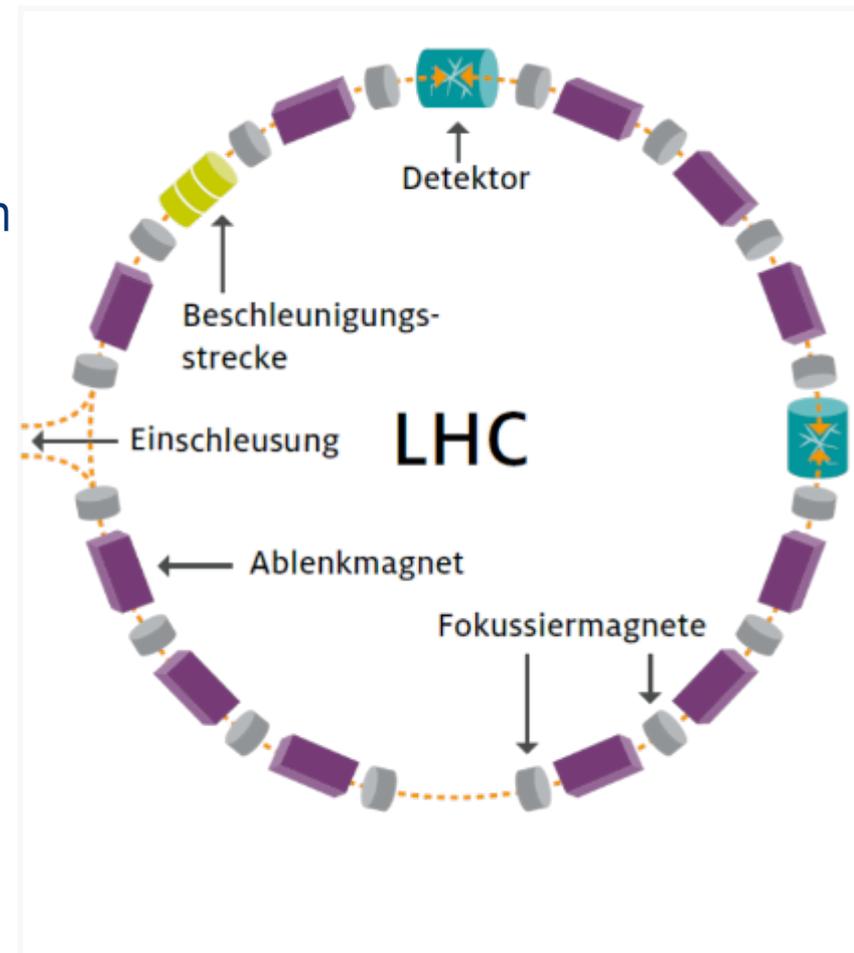
- ▶ Um in Teilchenbeschleunigern höhere Energien zu erreichen, durchlaufen die geladenen Teilchen ein elektrisches Wechselfeld:



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

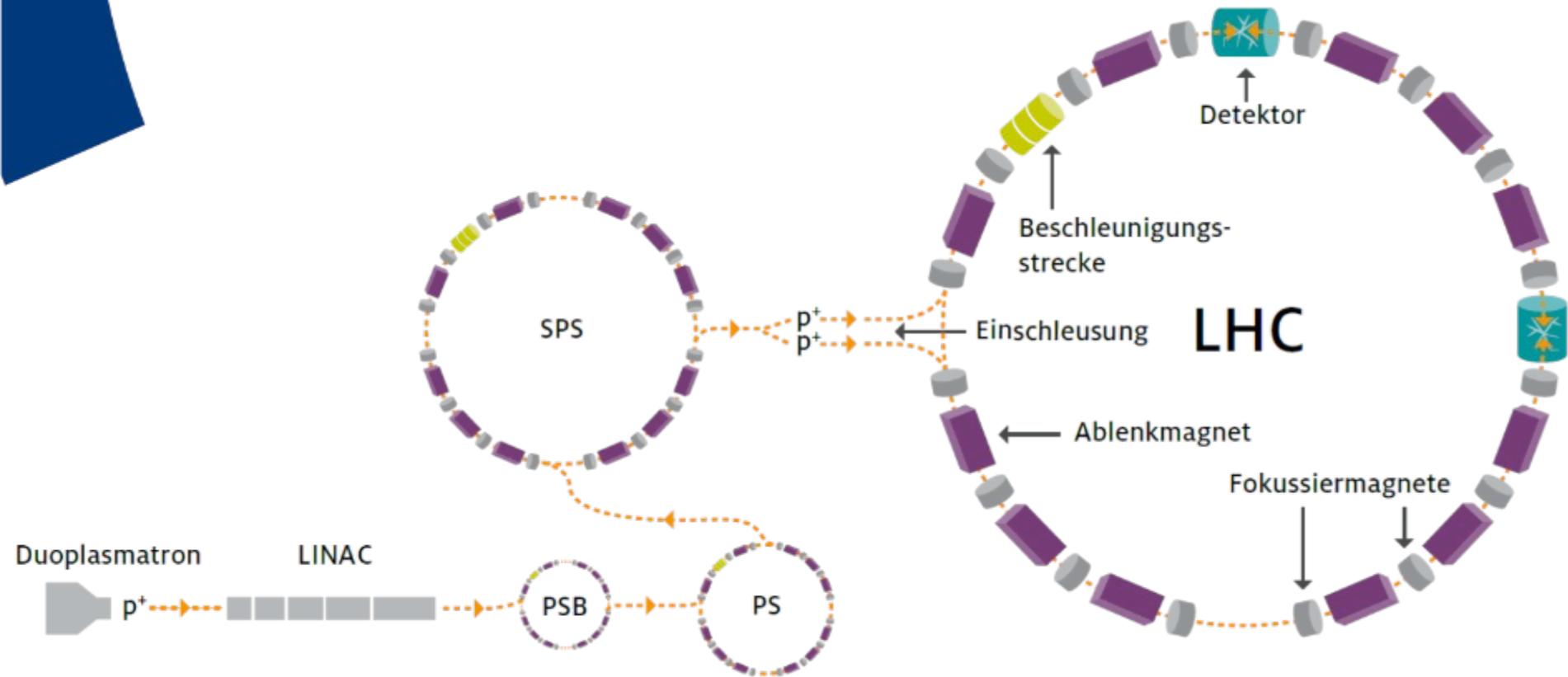
LHC – grundlegender Aufbau

- ▶ Beschleunigung von Teilchen
 - **Teilchen erzeugen:**
Elektrisch neutrale Teilchen werden zunächst ionisiert
 - **Teilchen beschleunigen:**
Elektrisch geladenen Teilchen durchlaufen ein elektrisch „anziehendes“ Feld
 - **Teilchen ablenken und/oder fokussieren:** elektrisches oder magnetisches Feld
 - **Teilchen nachweisen:**
Detektoren



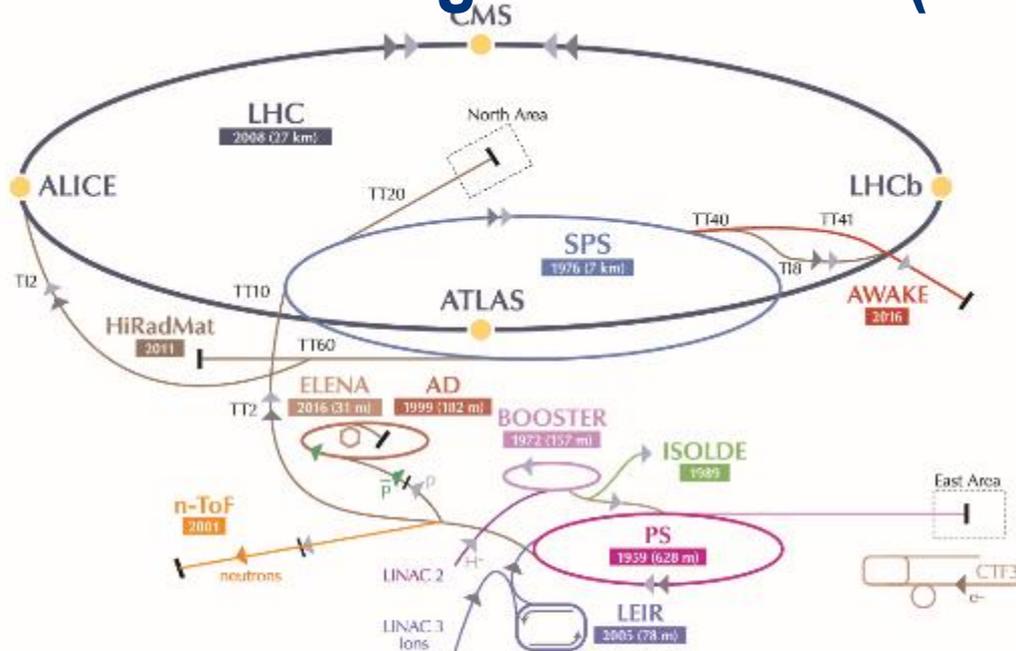
© Netzwerk Teilchenwelt

Die Beschleuniger am CERN



© Netzwerk Teilchenwelt

Die Beschleuniger am CERN (Realität)



▶ p (proton) ▶ ion ▶ neutrons ▶ \bar{p} (antiproton) ▶ electron ▶↔ proton/antiproton conversion

LHC Large Hadron Collider SPS Super Proton Synchrotron PS Proton Synchrotron

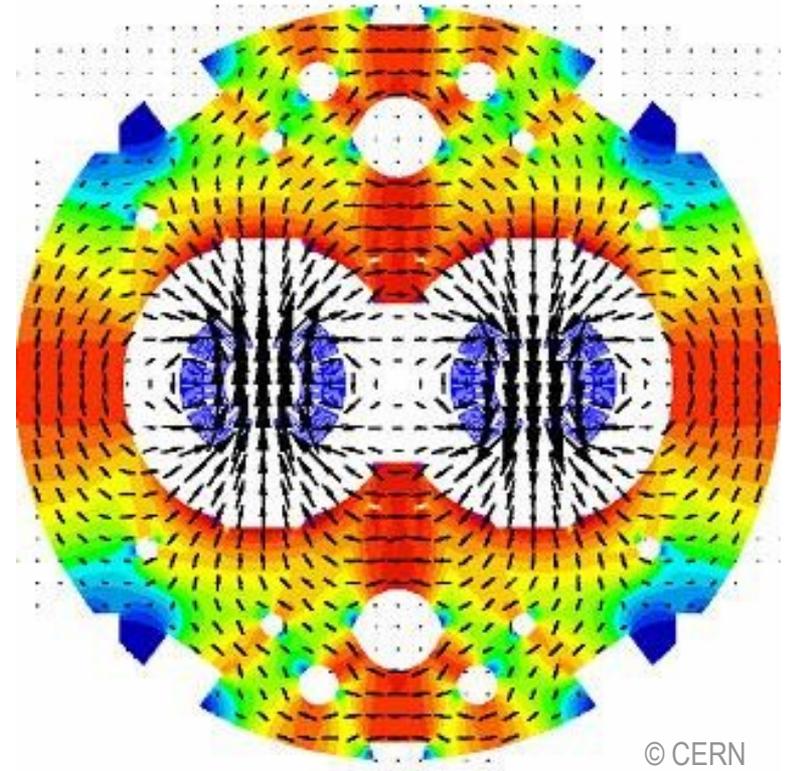
AD Antiproton Decelerator CTF3 Clic Test Facility AWAKE Advanced WAKEfield Experiment ISOLDE Isotope Separator OnLine DEvice

LEIR Low Energy Ion Ring LINAC LINear ACcelerator n-ToF Neutrons Time Of Flight HiRadMat High-Radiation to Materials

© CERN

LHC Dipol Magnete

- ▶ 1232 Dipolmagnete mit kupferverkleideten supraleitende Niob-Titan Leitern
- ▶ Jeder Magnet ist 15 Meter
- ▶ Die Betriebstemperatur wird durch das Kühlsystem auf 1.9 K gehalten.
- ▶ Die max. magnetische Flussdichte beträgt 8.36 Tesla.



Supraleitung

- ▶ Effekt: elektrischer Widerstand fällt auf Null bei sehr niedriger Temperatur kein Energieverlust durch Wärmeabgabe

- Temperatur im LHC kälter als im Universum (1.9K vs. 2.7K)
- 60 Tonnen suprafluides Helium

- ▶ Der LHC ist der größte und kälteste Kühlschranks der Welt!

- Kühlvolumen: 22 Mio. Liter

160.000 x

=



- Energieverbrauch: 800.000 kWh/Jahr

5.000 x

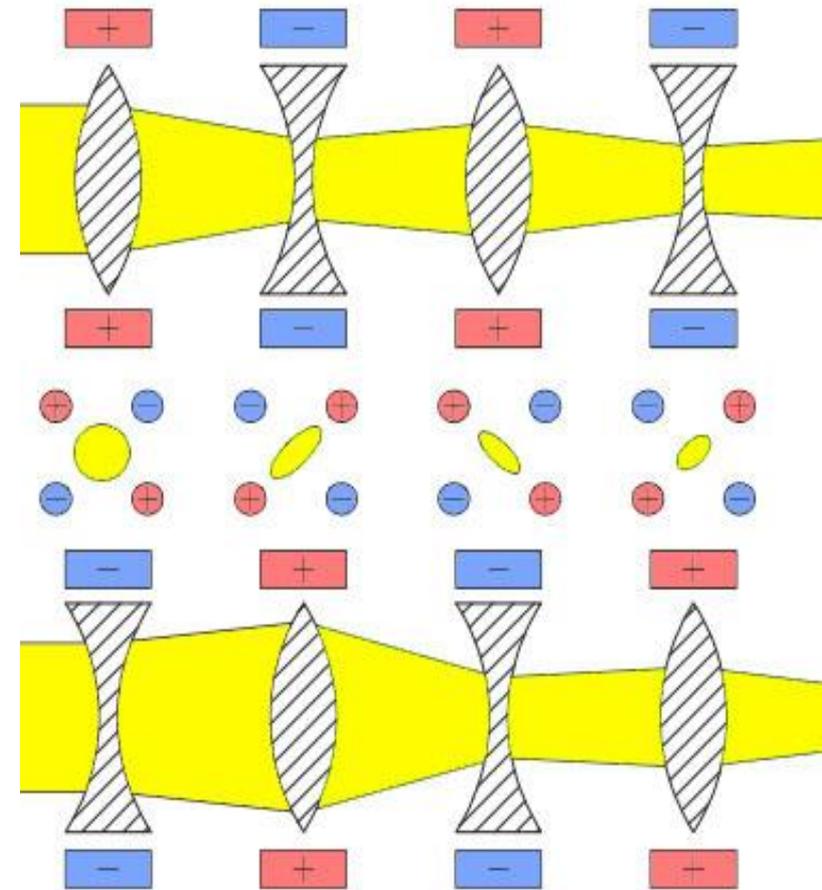
=



© CERN

Ein Quadrupolmagnet

- ▶ Besteht aus vier Polen, von denen jeweils zwei gegenüberliegende, gleichpolig ausgerichtet sind
- ▶ Fokussierung ist notwendig, da die Teilchen sich gegenseitig durch die abstoßen
- ▶ Wirkt in Flugrichtung immer durch zwei gegenüberliegende Pole fokussierend, während die anderen zwei Pole defokussierend wirken.
- ▶ Um eine radiale Fokussierung zu erreichen, werden mehrere Quadrupolmagnete, hintereinander angeordnet.

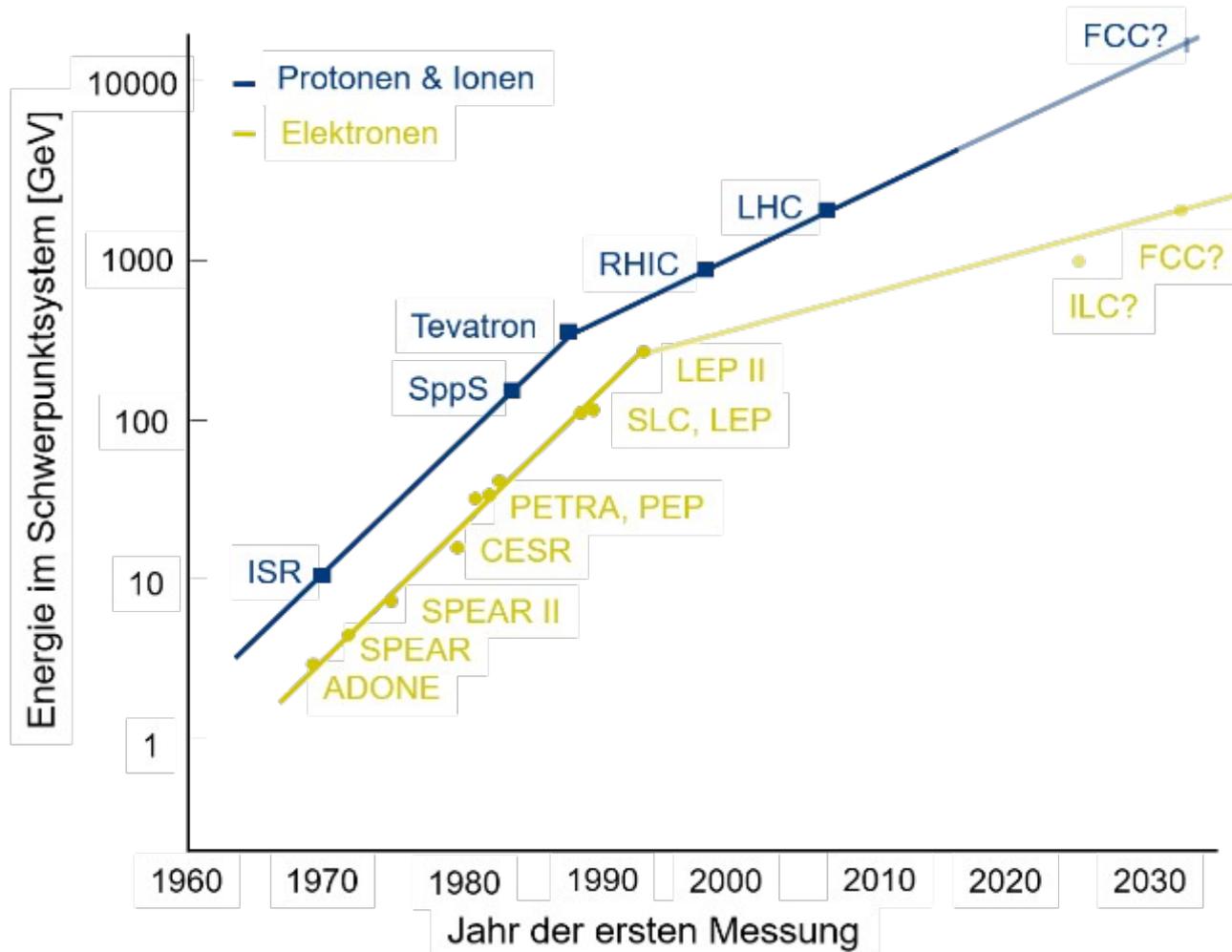


<http://www.lhc-facts.ch/index.php?page=quadrupol>



<https://www.youtube.com/watch?v=pQhbhpU9Wrg>

Beschleunigeranlagen



Teil 2: Beschleuniger und Detektoren

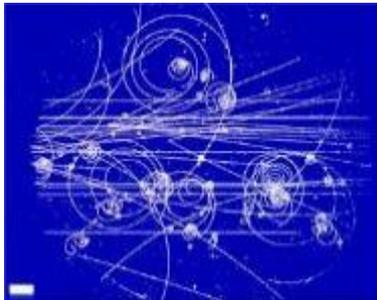
Teilchenidentifikation Allgemein



Wie weist man Elementarteilchen nach?

- ▶ Eigenschaften der Teilchen werden daraus rekonstruiert
Bildgebende Detektoren

- z.B.: Nebelkammer, Blasenkammer



© CERN

- sichtbare Teilchenspuren

- ▶ Elektronische Detektoren

- z.B: ATLAS-Detektor, Geigerzähler



© CERN

- elektrische Signale
- Eigenschaften der Teilchen werden daraus rekonstruiert



Was misst ein typischer Teilchen Detektor?

▶ Spurdetektoren:

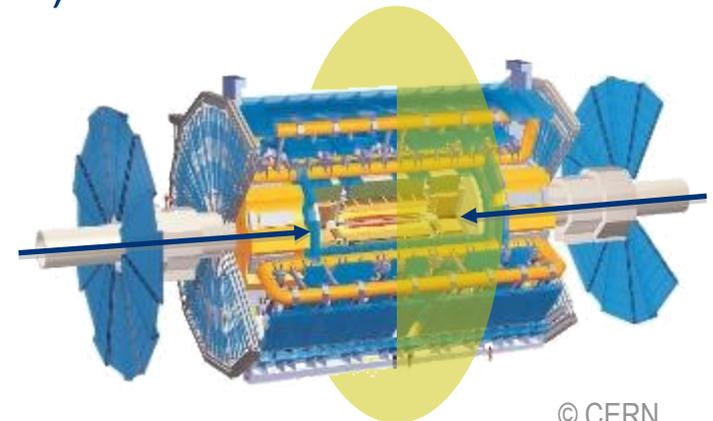
- **Spur**
- **Impuls** und Vorzeichen der **elektrischen Ladung**

▶ Kalorimeter:

- **Energie**

▶ Besonders wichtig sind die **transversalen Anteile** von Impuls und Energie (**senkrecht zum Strahlrohr**):

- **PT**: transversaler Impuls
- **ET**: transversale Energie





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.

Kalorimeter

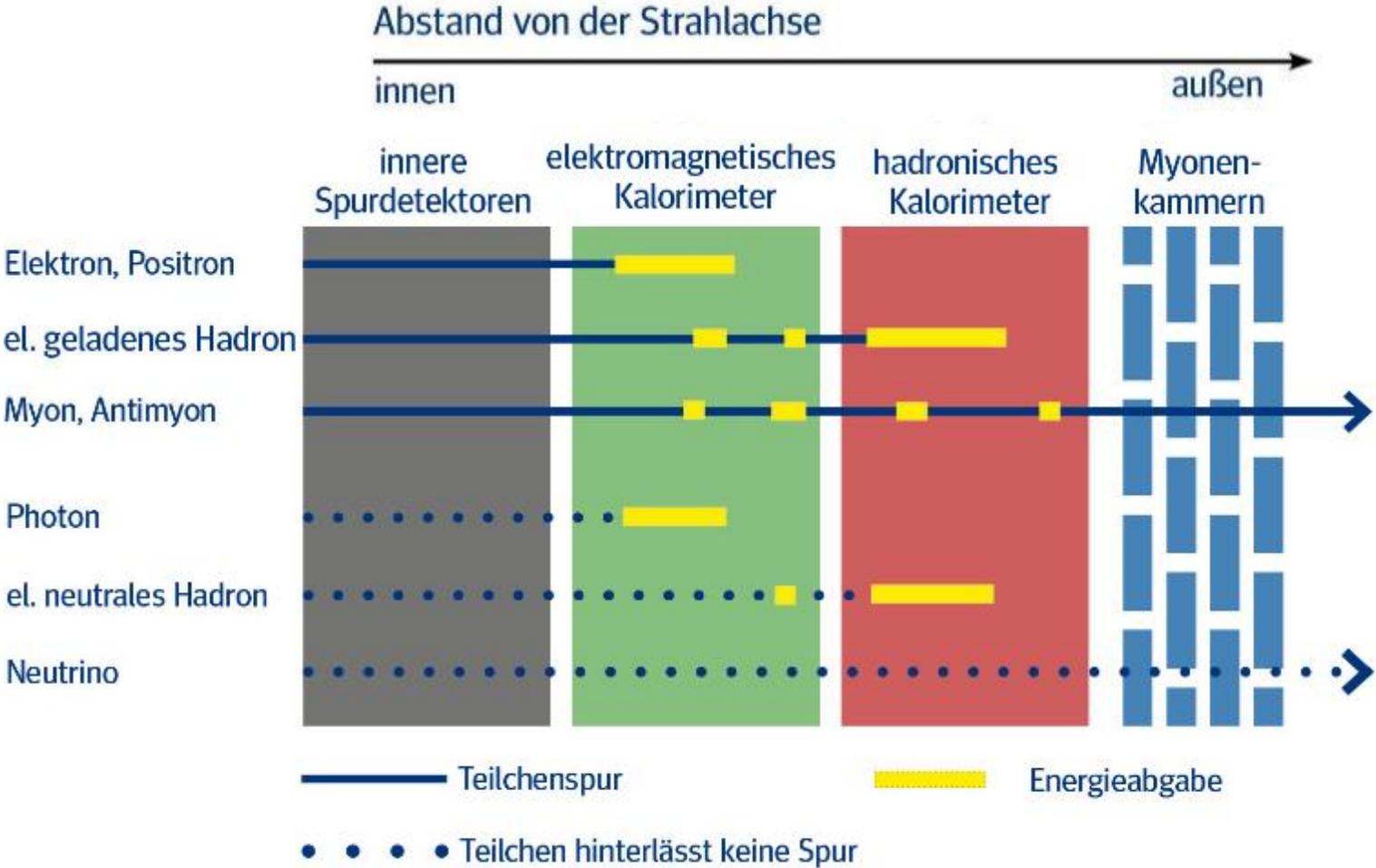
- ▶ Messung der Energie
- ▶ Aufbau in Schichten
- ▶ Teilchen wird durch Kalorimeter gestoppt
 - Abgegebene Energie wird in Detektorschichten nachgewiesen
- ▶ EM Kalorimeter
 - Nachweis via elektromagnetischen Kaskaden
 - Abhängig von Z des Materials
- ▶ Hadronisches Kalorimeter
 - Nachweis via starker Wechselwirkung



© Netzwerk Teilchenwelt



Teilchenspuren in einem-Detektor

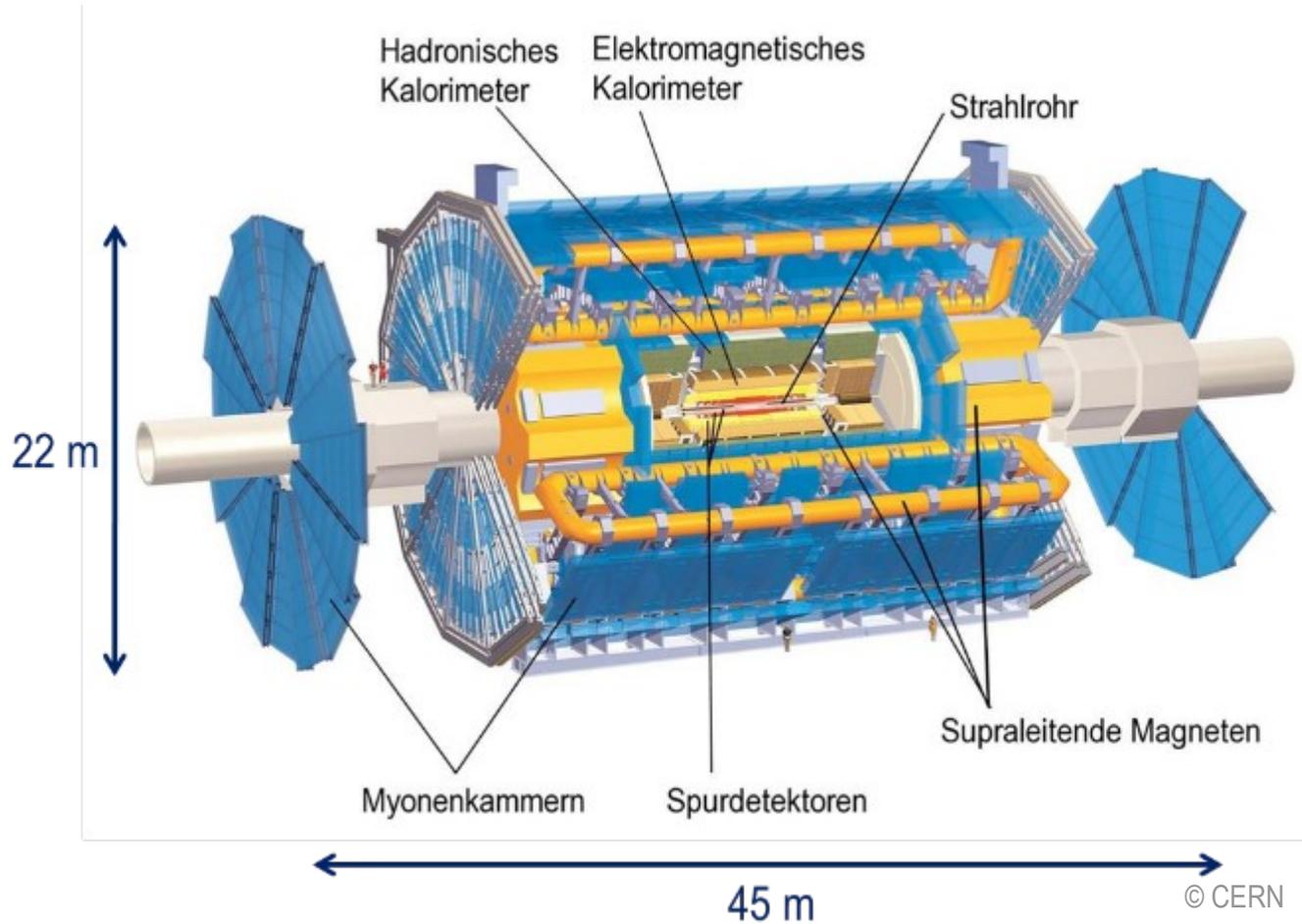


Teil 2: Beschleuniger und Detektoren

ATLAS



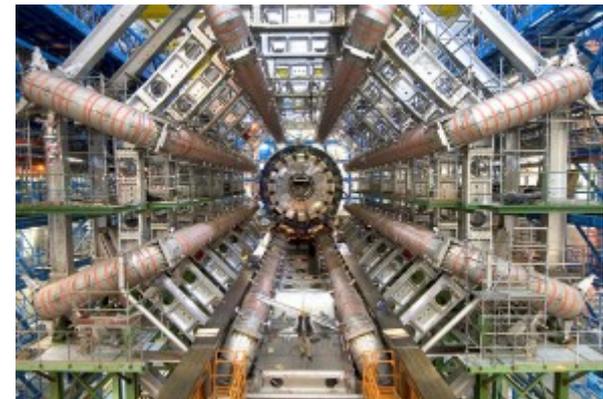
Der ATLAS-Detektor





Forschung am ATLAS-Detektor

- ▶ Wie entsteht Masse?
- ▶ Welche physikalischen Effekte gibt es jenseits des Standardmodells?
 - Gibt es eine vierte Teilchengeneration oder weitere Wechselwirkungen?
 - Gibt es „**supersymmetrische**“ **Teilchen**?
 - Gibt es mehr als 3 Raum-**Dimensionen**?
 - Woraus könnte **Dunkle Materie** bestehen?



© CERN



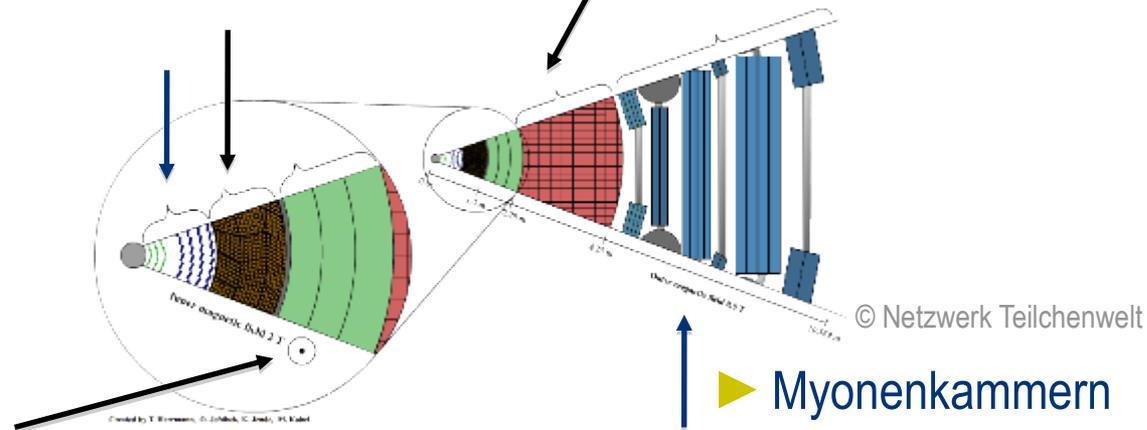
Der ATLAS-Detektor

▶ Spurdetektoren

- ... messen die Spuren und Impulse von elektrisch 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:

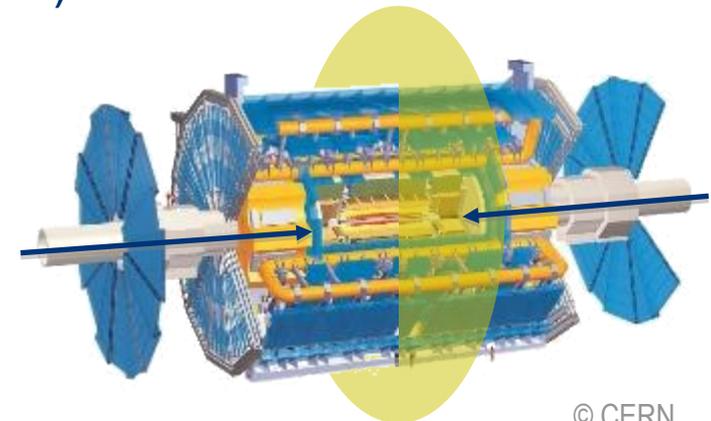
- **Spur**
- **Impuls** und Vorzeichen der **elektrischen Ladung**

▶ Kalorimeter:

- **Energie**

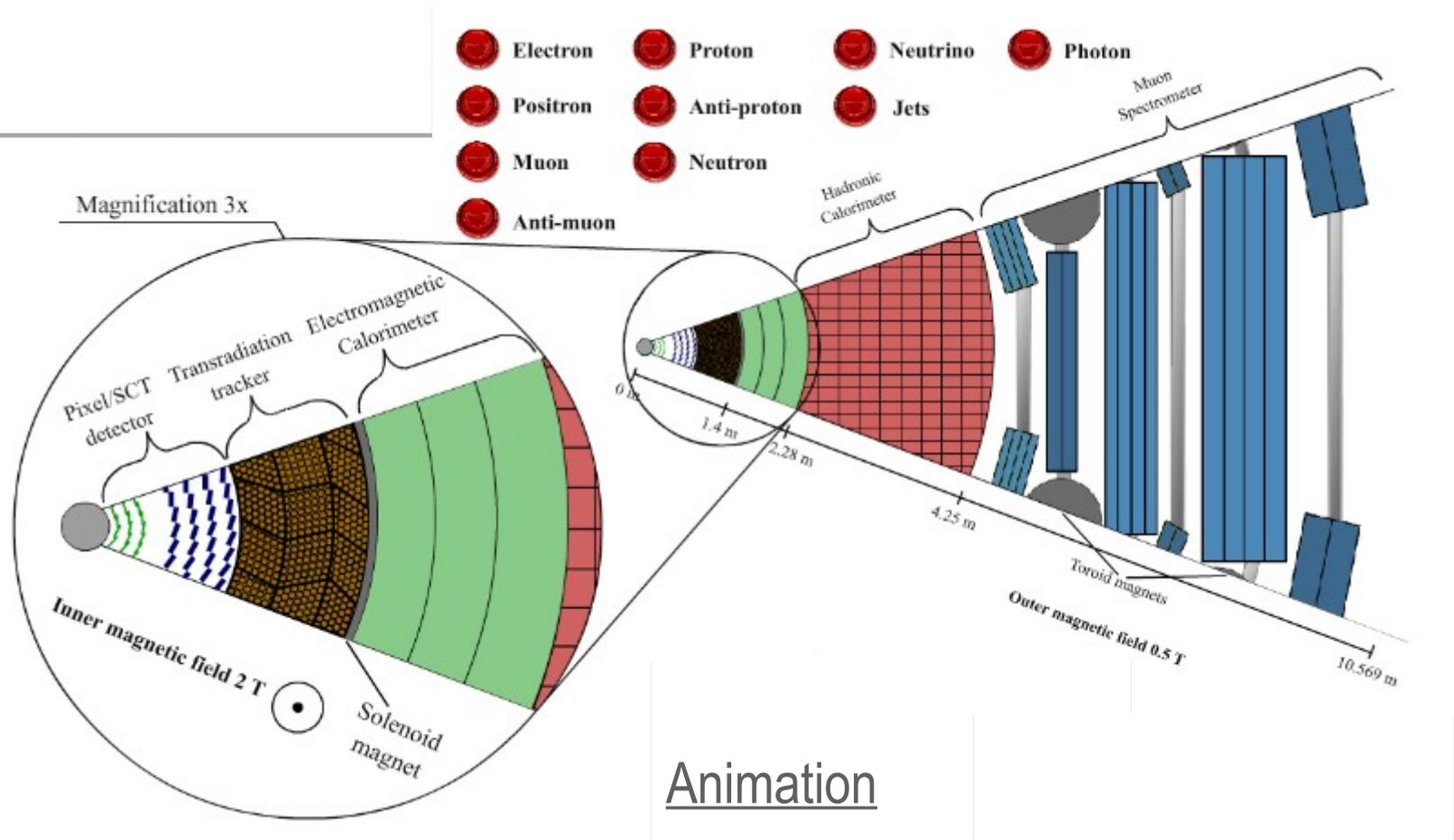
▶ Besonders wichtig sind die **transversalen Anteile** von Impuls und Energie (**senkrecht zum Strahlrohr**):

- **PT**: transversaler Impuls
- **ET**: transversale Energie



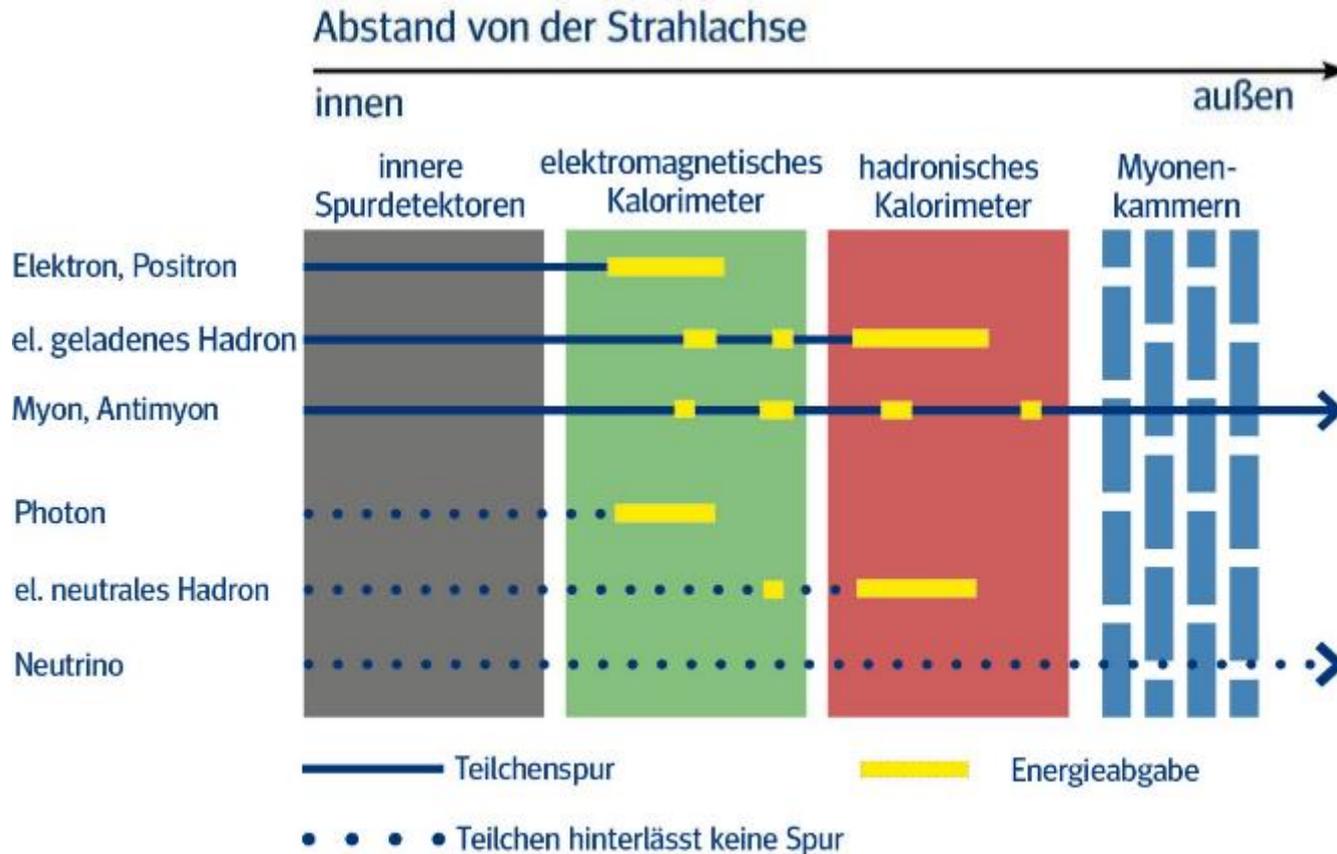


Teilchenspuren im ATLAS-Detektor





Teilchenspuren im ATLAS-Detektor



© Netzwerk Teilchenwelt