

EXPERIMENTE &  
MESSUNG

---

LHC & ATLAS

Grundprinzipien des Beschleunigers und der Experimente

# GRUNDPRINZIPIEN DER EXPERIMENTE

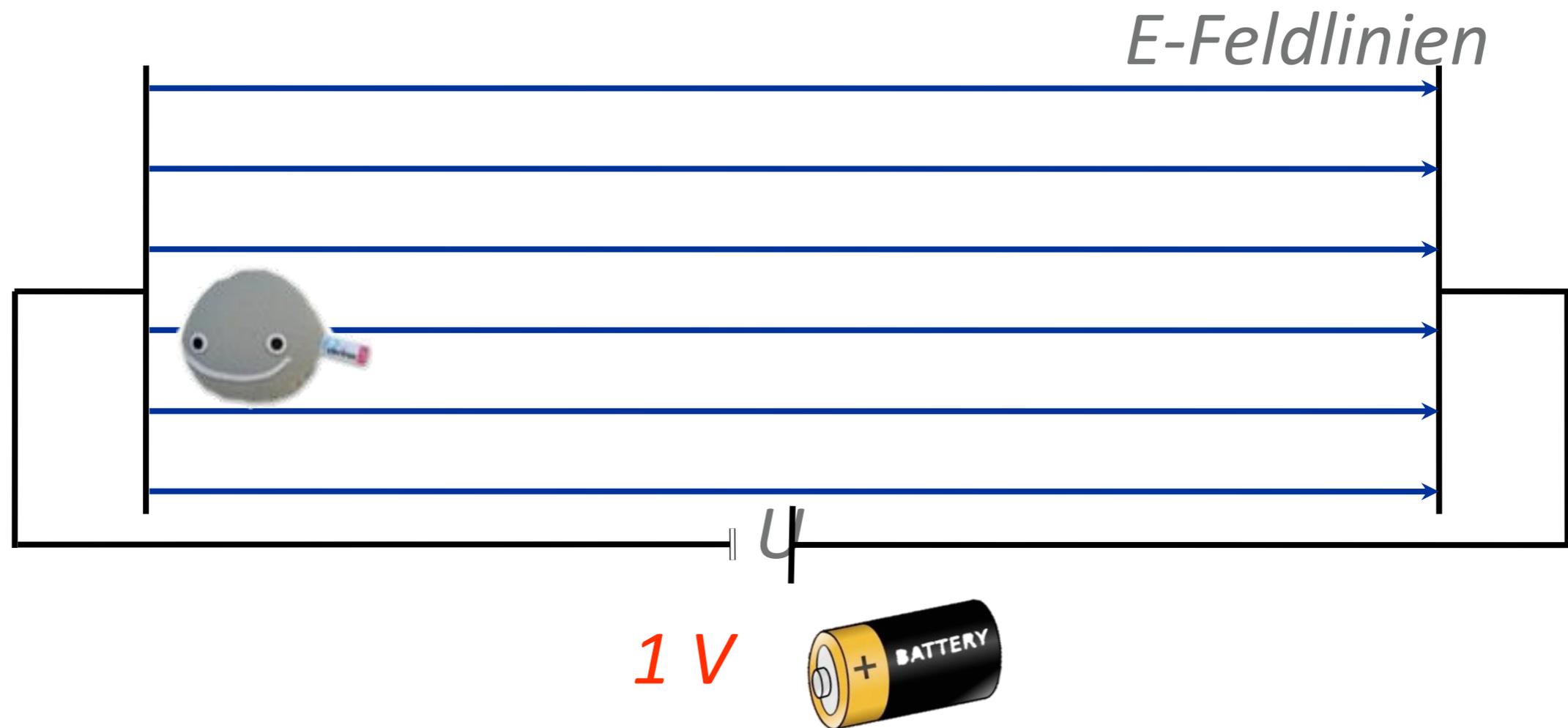
---

- ▶ Teilchen werden
  - ▶ beschleunigt -> erhalten kinetische Energie  $E$
  - ▶ zur Kollision gebracht -> Umwandlung in Masse ( $E=mc^2$ )
- ▶ Neue Teilchen
  - ▶ entstehen
  - ▶ werden aufgezeichnet -> Detektoren
  - ▶ werden identifiziert -> statistische Analyse

# TEILCHEN BESCHLEUNIGEN

---

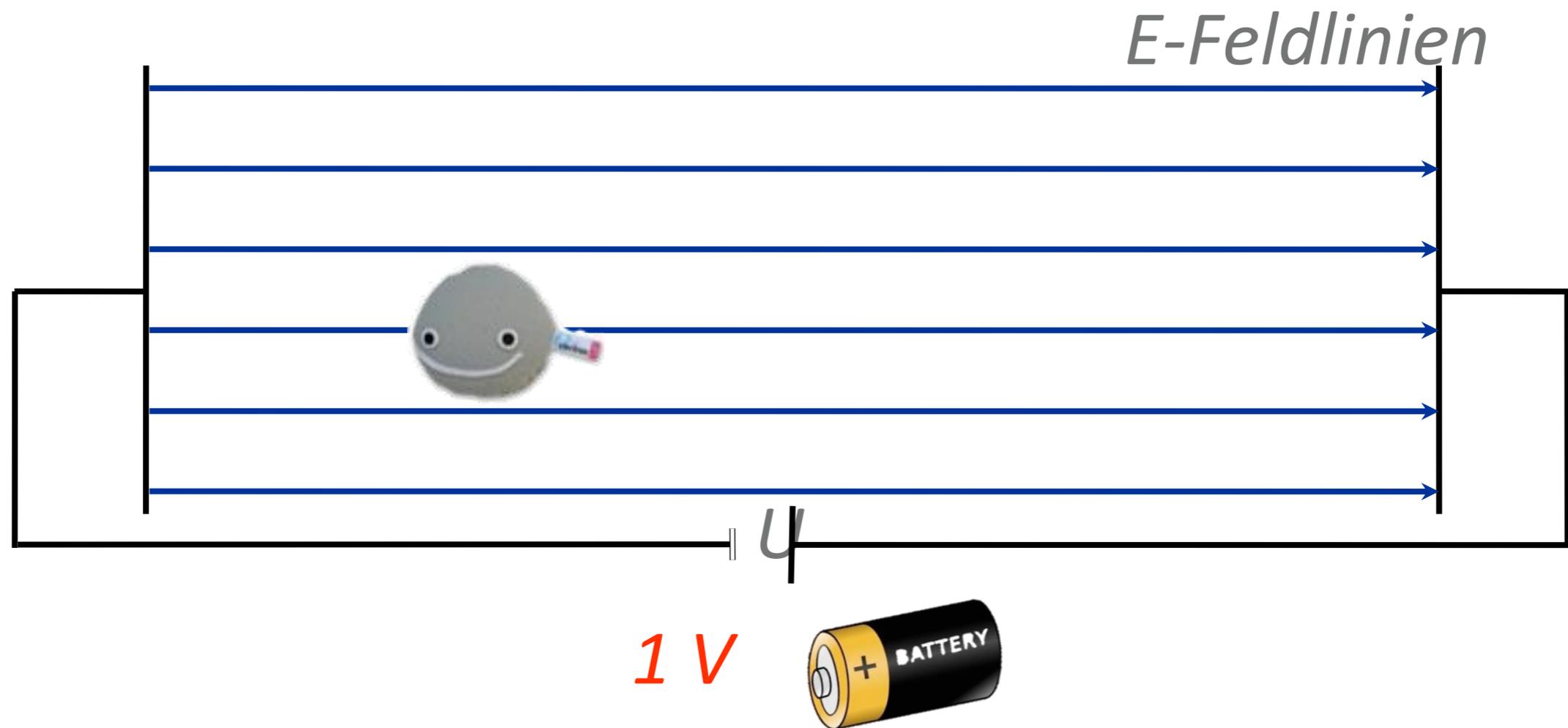
- ▶ geladene Teilchen (z.B. Elektronen) werden im E-Feld entlang der Feldlinien beschleunigt



# TEILCHEN BESCHLEUNIGEN

---

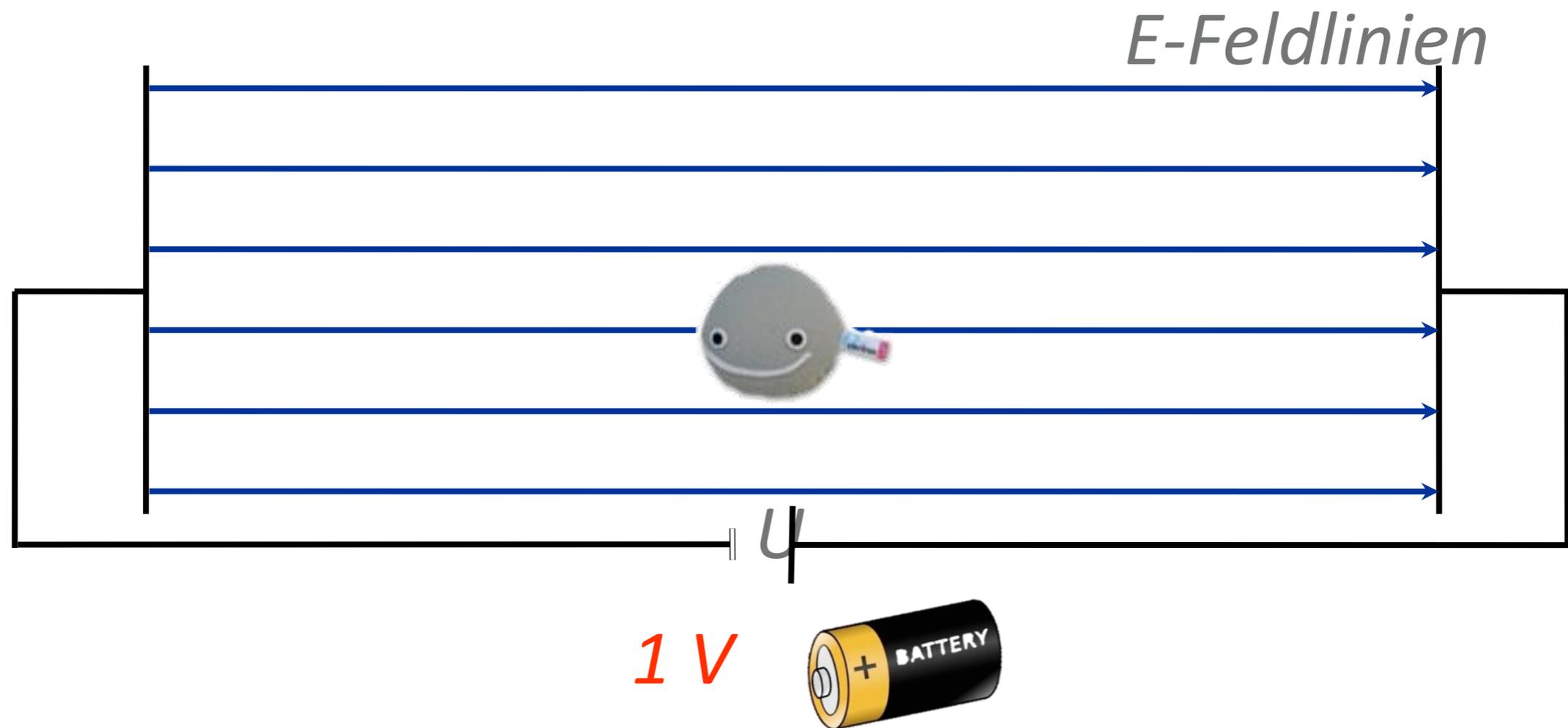
- ▶ geladene Teilchen (z.B. Elektronen) werden im E-Feld entlang der Feldlinien beschleunigt



# TEILCHEN BESCHLEUNIGEN

---

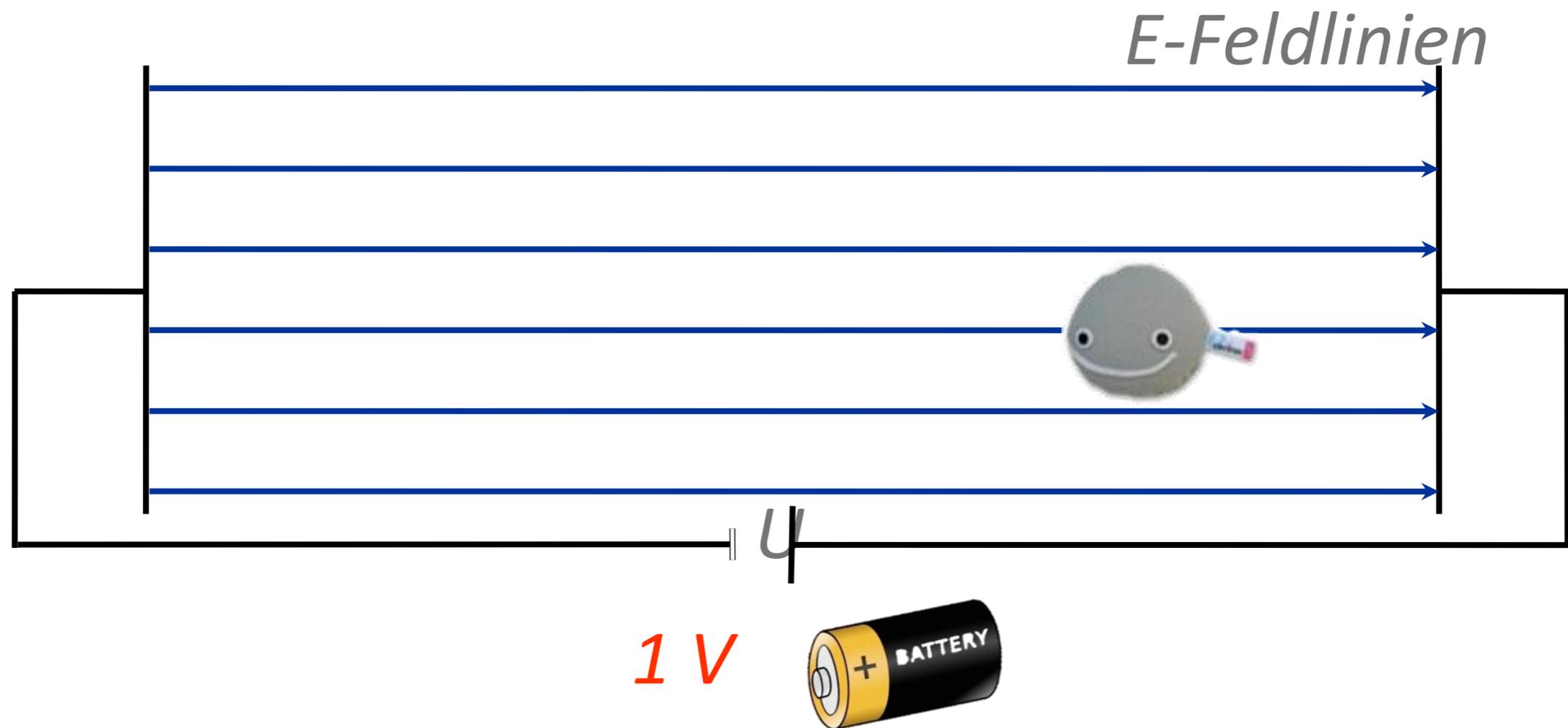
- ▶ geladene Teilchen (z.B. Elektronen) werden im E-Feld entlang der Feldlinien beschleunigt



# TEILCHEN BESCHLEUNIGEN

---

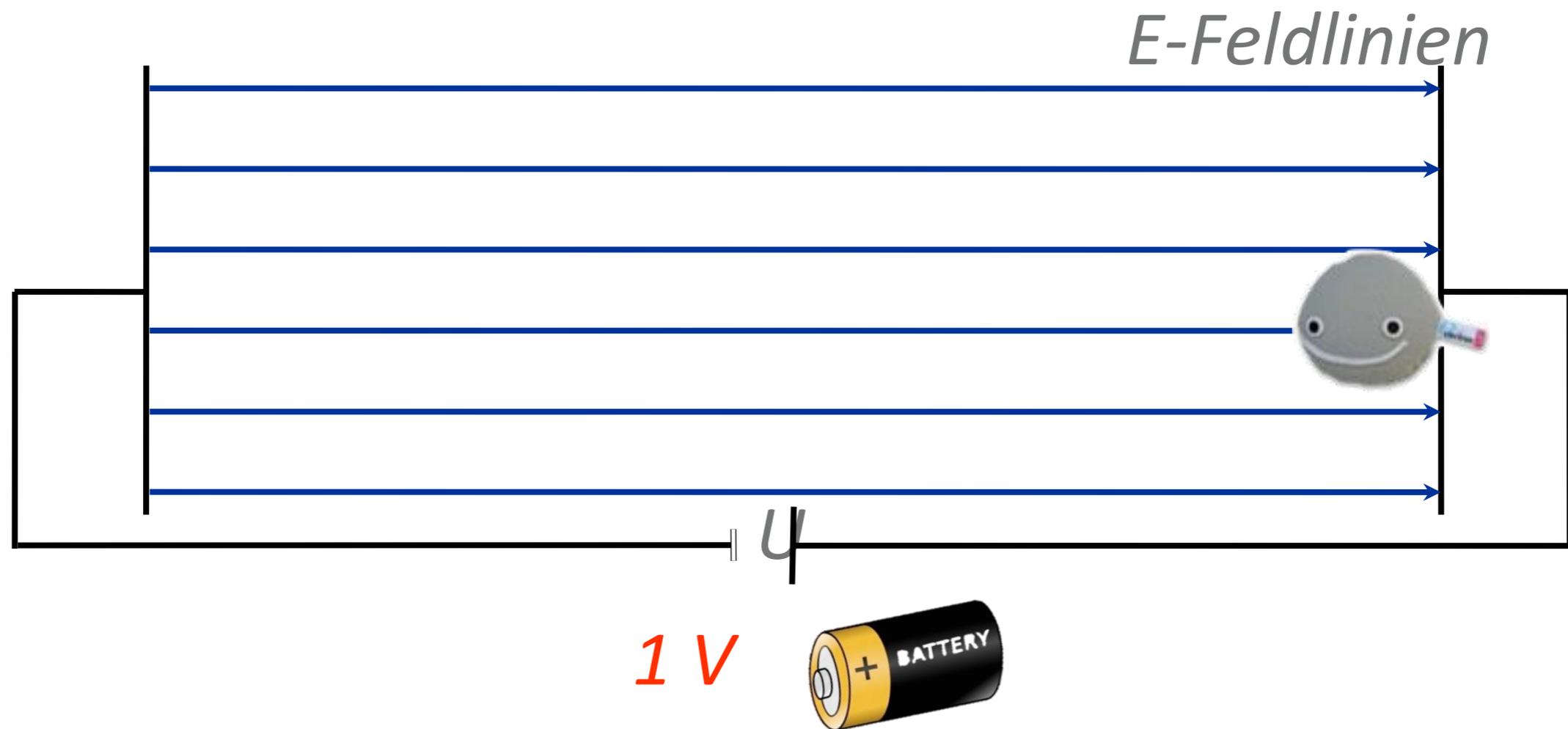
- ▶ geladene Teilchen (z.B. Elektronen) werden im E-Feld entlang der Feldlinien beschleunigt



# TEILCHEN BESCHLEUNIGEN

---

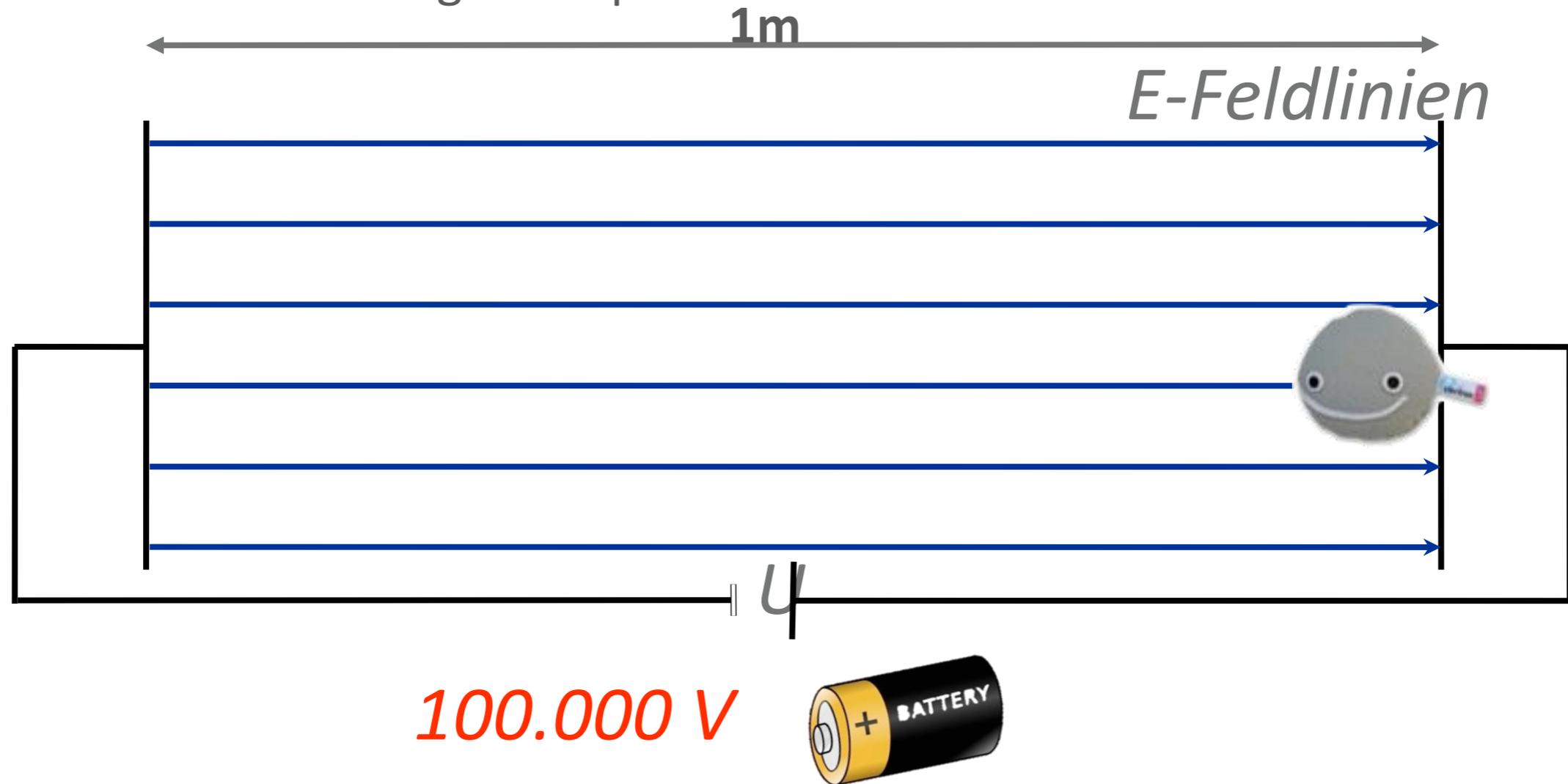
- ▶ geladene Teilchen (z.B. Elektronen) werden im E-Feld entlang der Feldlinien beschleunigt
- ▶ ...und erhalten die Energie  $E = q * U$  hier: 1 eV



# TEILCHEN BESCHLEUNIGEN

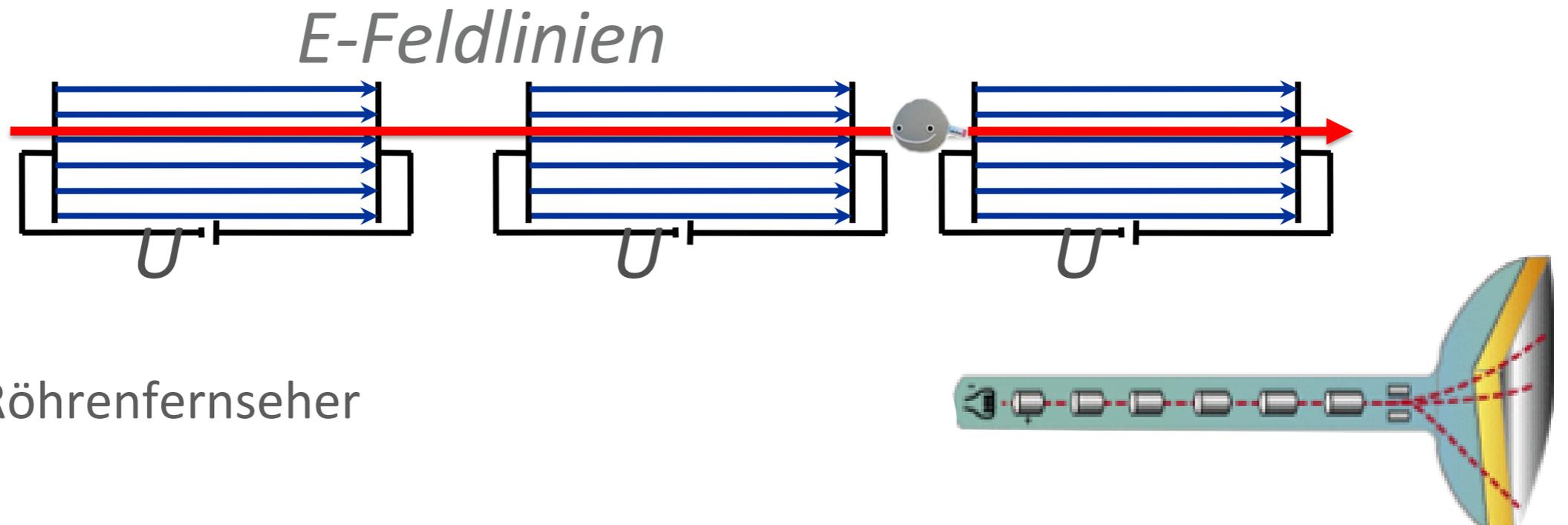
---

- ▶ geladene Teilchen (z.B. Elektronen) werden im E-Feld entlang der Feldlinien beschleunigt
- ▶ ...und erhalten die Energie  $E = q \cdot U$  hier: 100 keV



# LINEARBESCHLEUNIGER

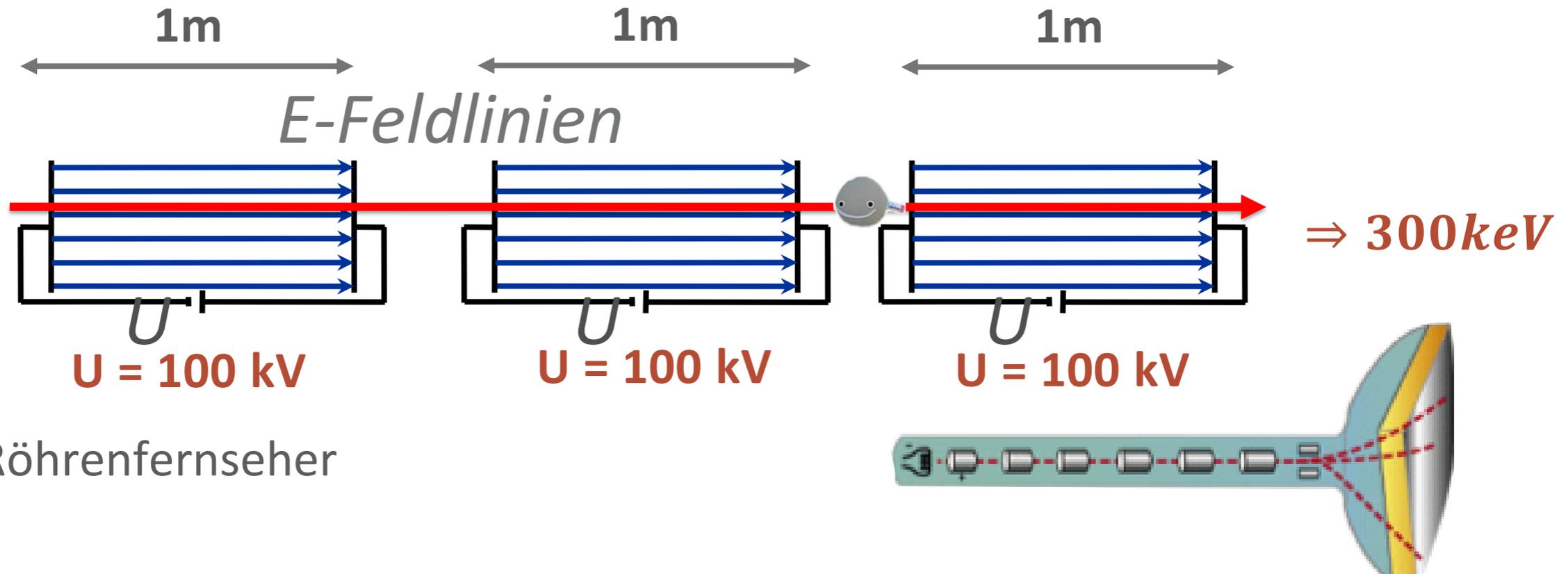
Viele E-Felder hintereinander



Bsp. alter Röhrenfernseher

# LINEARBESCHLEUNIGER

Viele E-Felder hintereinander



Bsp. alter Röhrenfernseher

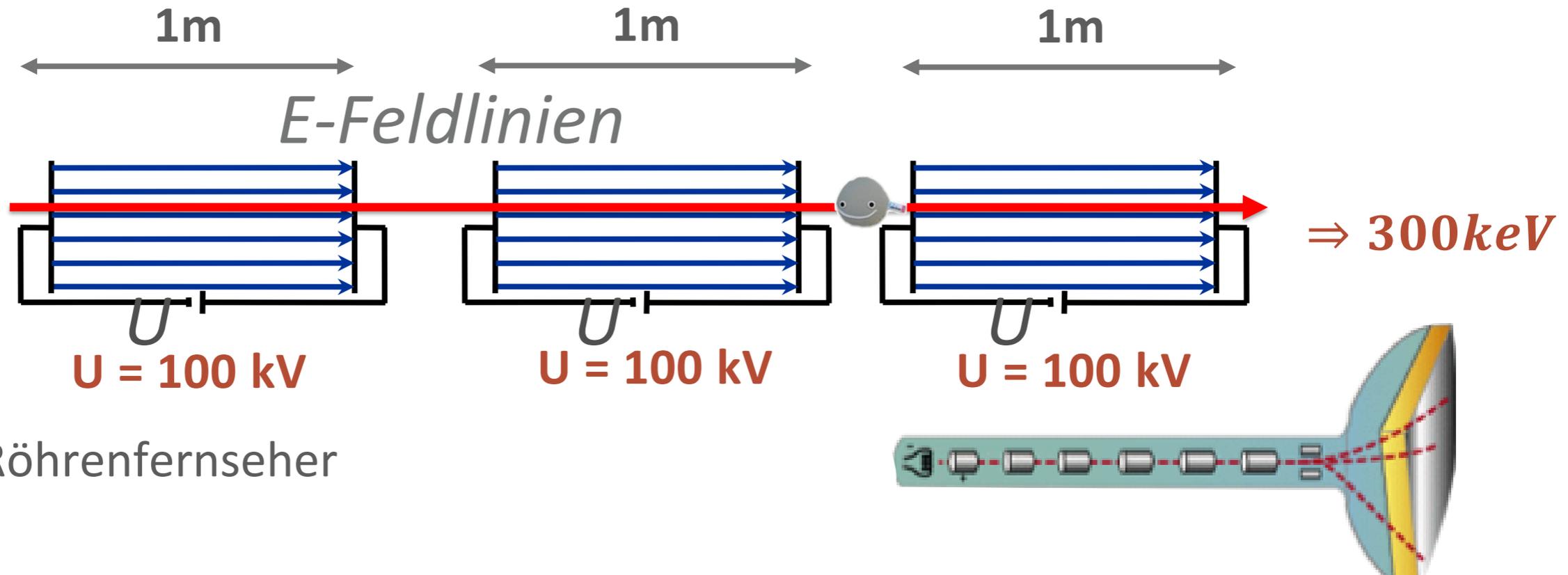
Aber: Wie lang muss ein solcher Beschleuniger mindestens werden, um ein Higgs produzieren zu können?



$$M_H = 125 \text{ GeV}/c^2 = 125.000.000 \text{ keV}/c^2$$

# LINEARBESCHLEUNIGER

Viele E-Felder hintereinander



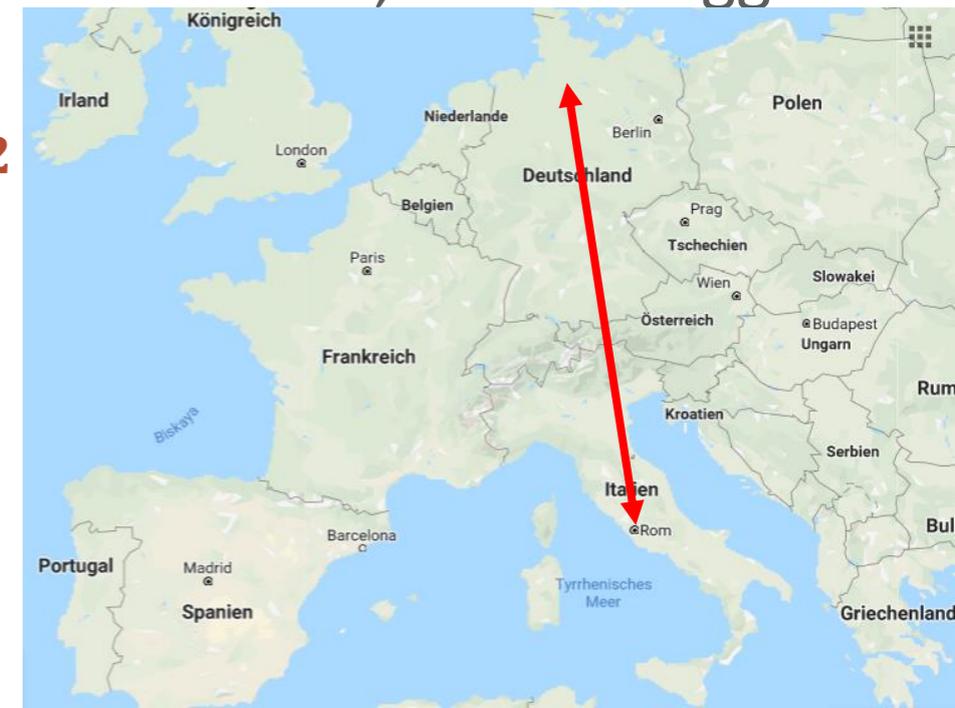
Bsp. alter Röhrenfernseher

Aber: Wie lang muss ein solcher Beschleuniger mindestens werden, um ein Higgs produzieren zu können?



$$M_H = 125 \text{ GeV}/c^2 = 125.000.000 \text{ keV}/c^2$$

$\Rightarrow 1.250 \text{ km}$  (ca. Hamburg – Rom)

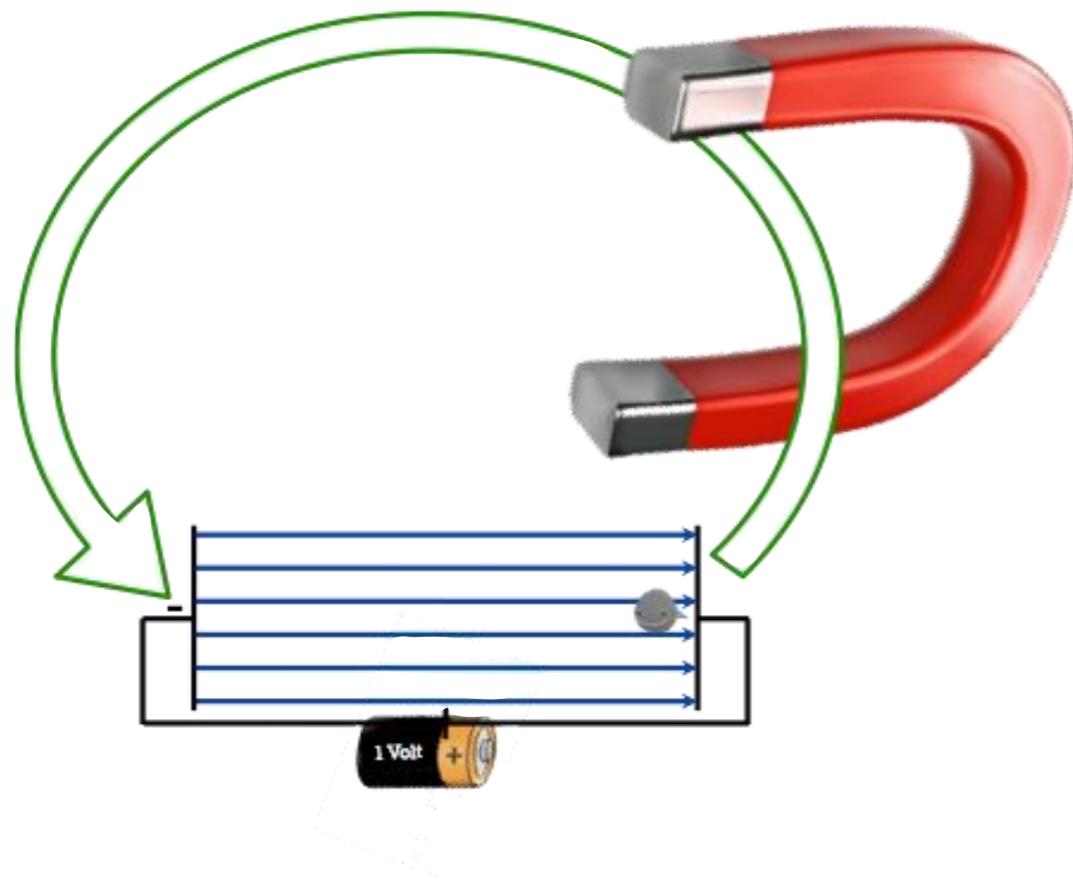


WAS KÖNNTE MAN  
STATTDESSEN  
MACHEN?

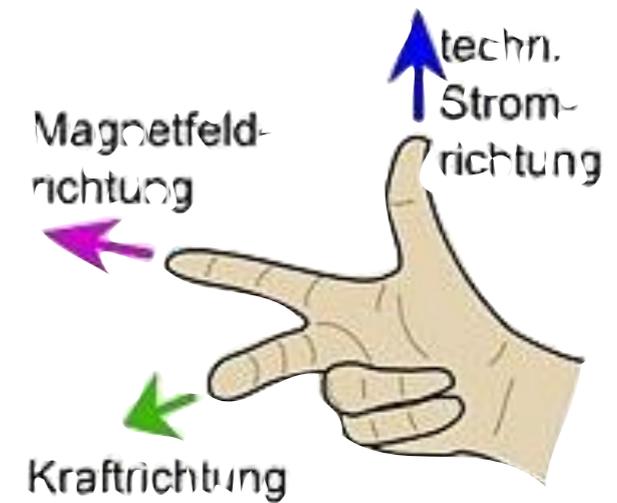
# FELDER MEHRFACH NUTZEN

---

- ▶ Teilchen mit Lorentzkraft auf Kreisbahn lenken



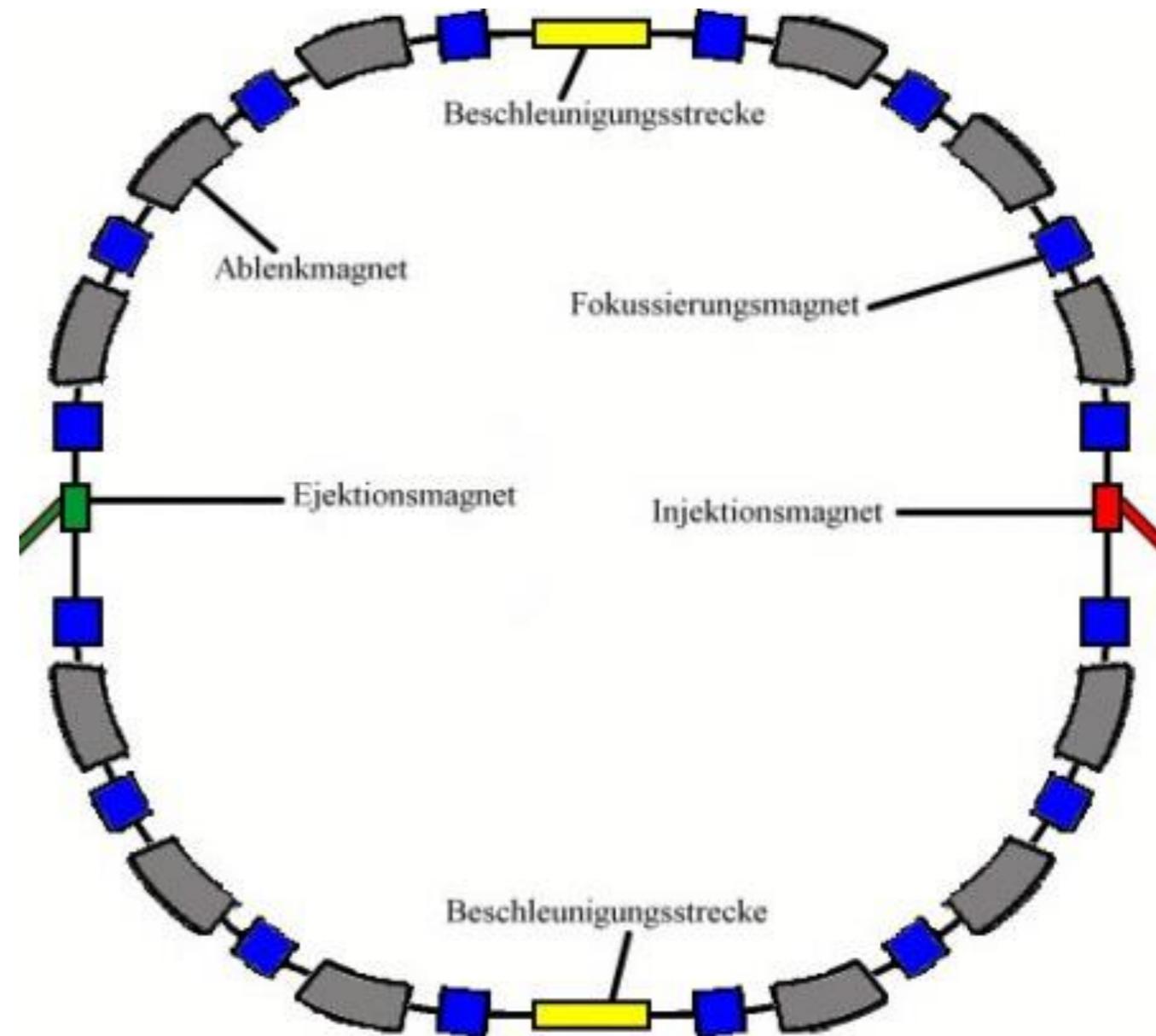
## *Rechte-Hand-Regel*



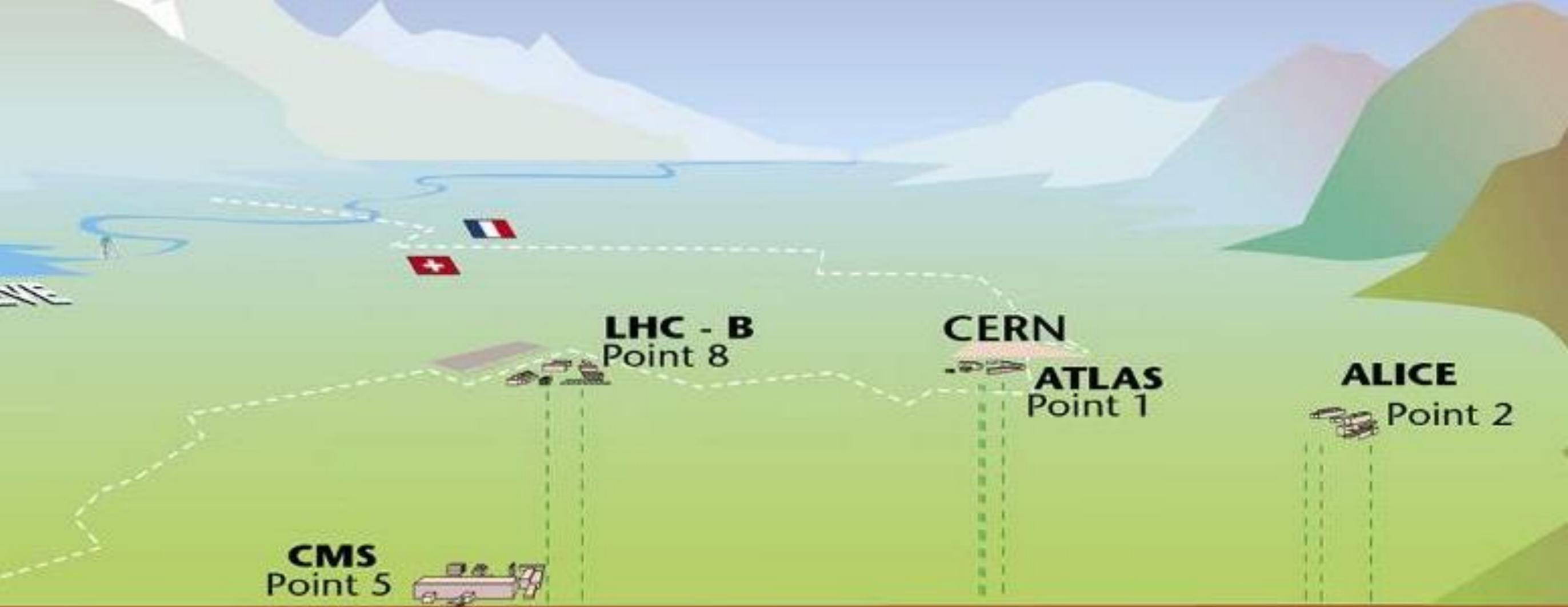
# RINGBESCHLEUNIGER

---

- Ablenkmagnete lenken Teilchen auf Kreisbahn
- Beschleunigung auf den geraden Strecken bei jedem Durchlauf

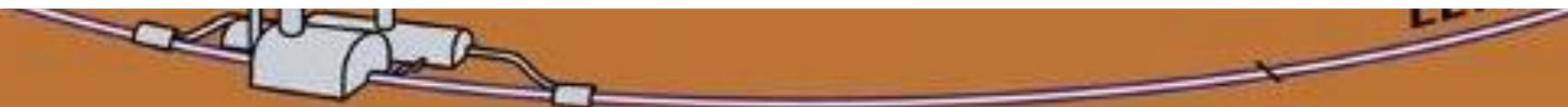


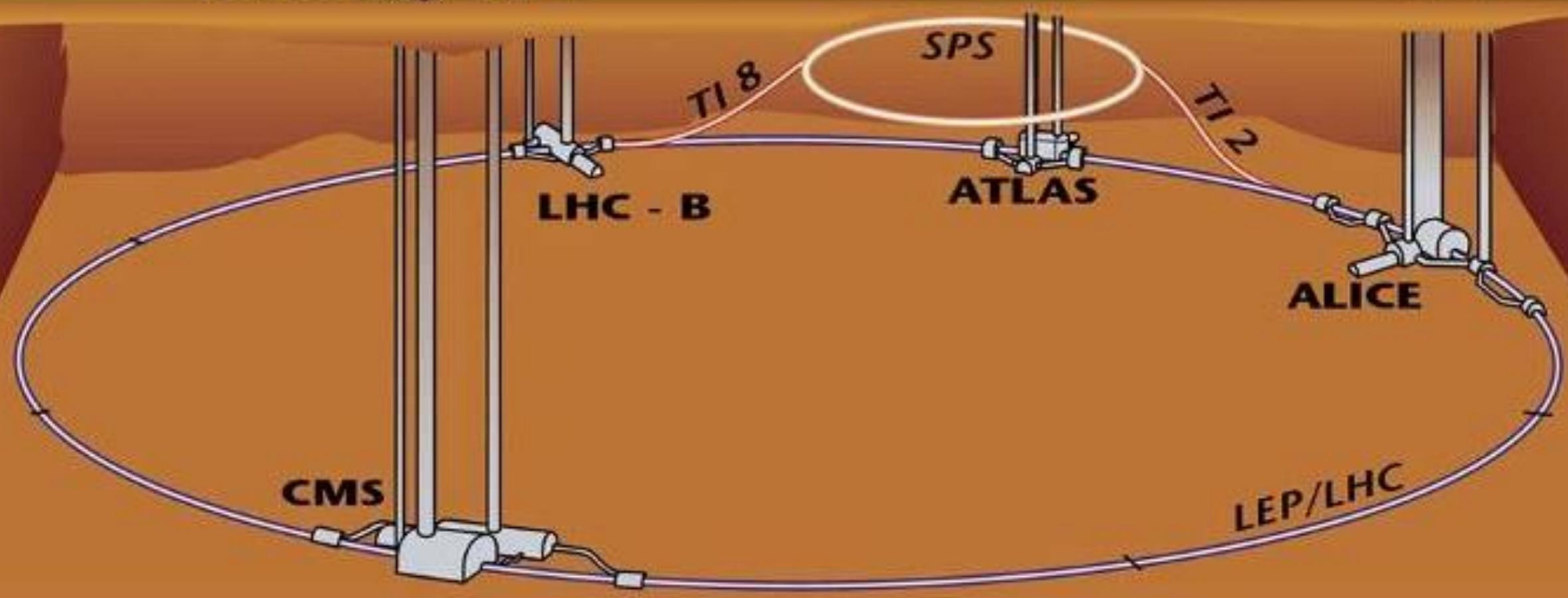
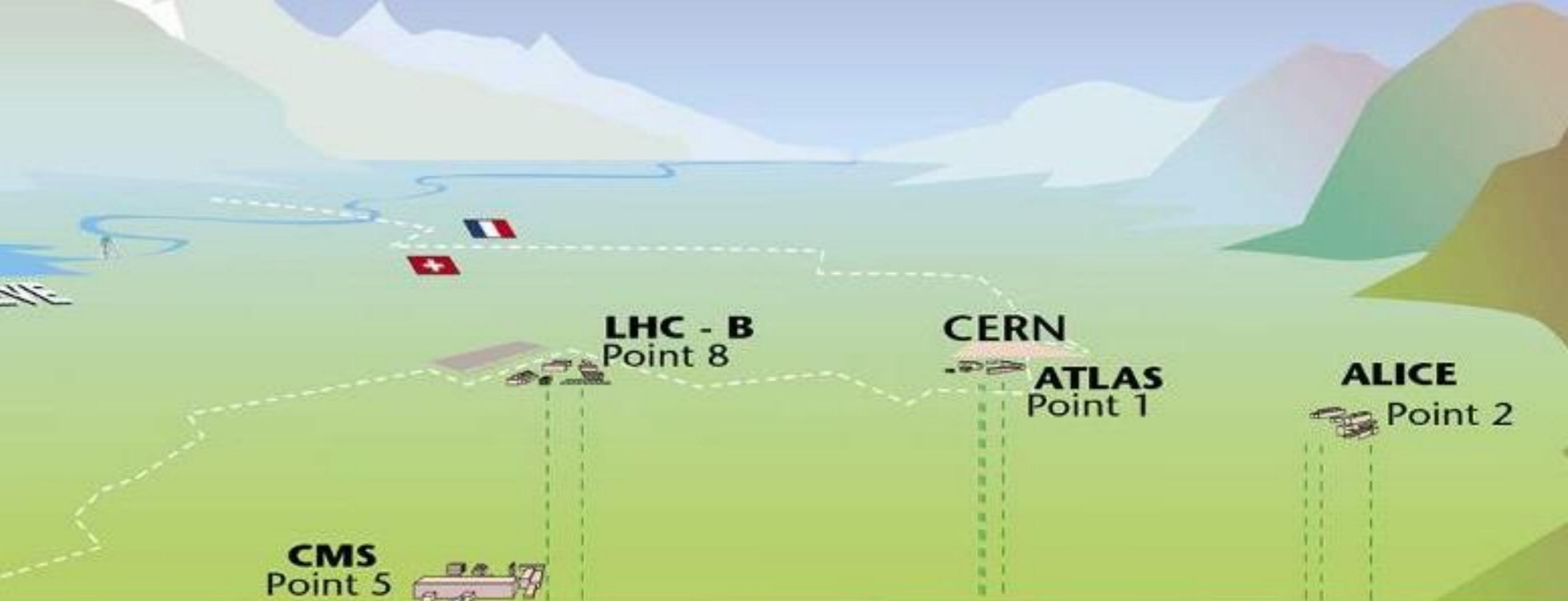
Kennt ihr Beispiele für Ringbeschleuniger?



# DER LARGE HADRON COLLIDER

.....  
2000 Pakete a 100 Milliarden Protonen umrunden den LHC **11000/s**  
in **entgegengesetzte Richtungen** -> 2 Strahlrohre  
4 Kreuzungspunkte -> Protonenpakete **kollidieren**







# DER LARGE HADRON COLLIDER

---

- 27 km Umfang
- 100 m unter Erde
- Protonen erreichen Energie von 6,5 TeV
- LHC-Strahl Energie eines ICEs
- Magnete: supraleitend bei  $1,9 \text{ K} < (\text{Universum}) = 2,7 \text{ K}$
- Vakuum im Strahlrohr 10x leerer als auf dem Mond

# ERINNERUNG TEILCHENKOLLISIONEN:

---

Live-Webcam: LHC, ATLAS-Experiment:

# ERINNERUNG TEILCHENKOLLISIONEN:

---

Live-Webcam: LHC, ATLAS-Experiment:



# WIE FINDET MAN DAS HIGGS?

---

- ▶ Jeder Forscher wählt einen “Zerfallskanal”, den er für vielversprechend hält
  - ☐ → Wie sieht “mein” Zerfall im Detektor aus?
  - ☐ → Welche anderen Prozesse gibt es, die genauso aussehen?
  - ☐ → Suche nach Kollisionen, welche die Kriterien erfüllen
  - ☐ → Wie viele finden wir?



# WIE FINDET MAN DAS HIGGS?

---



Ein (fiktives) Beispiel:

- ▶ Wir finden 200 Bilder, die wie ein Higgs aussehen
- ▶ Wir erwarten 150 Bilder, die genau so aussehen, ABER KEIN Higgs sind
- ▶ Bleiben 50 Kandidaten für ein Higgs-Teilchen

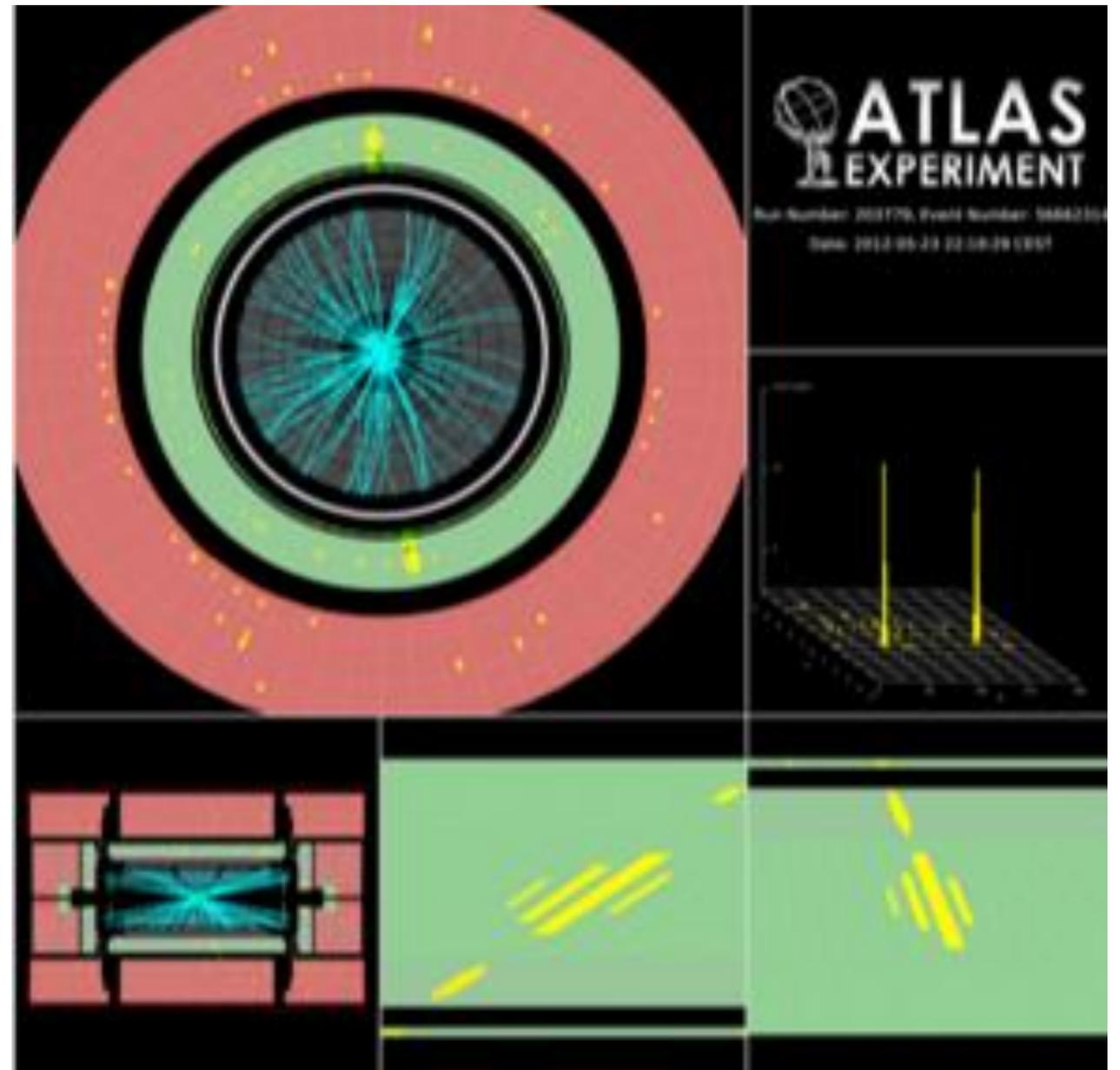
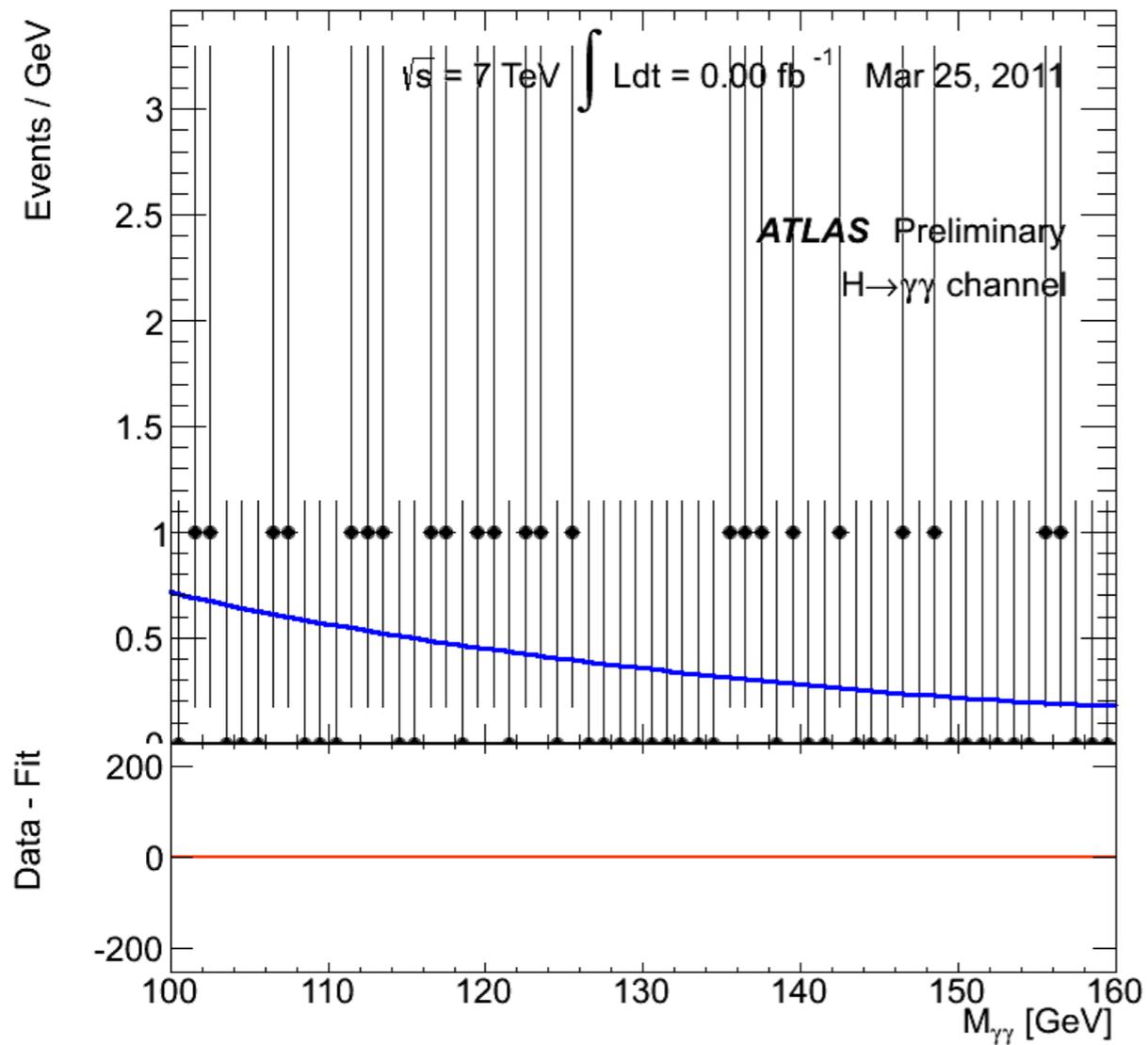
*150x  
kein Higgs*



*50x  
Higgs*

# BEISPIEL 2: $H \rightarrow \gamma\gamma$

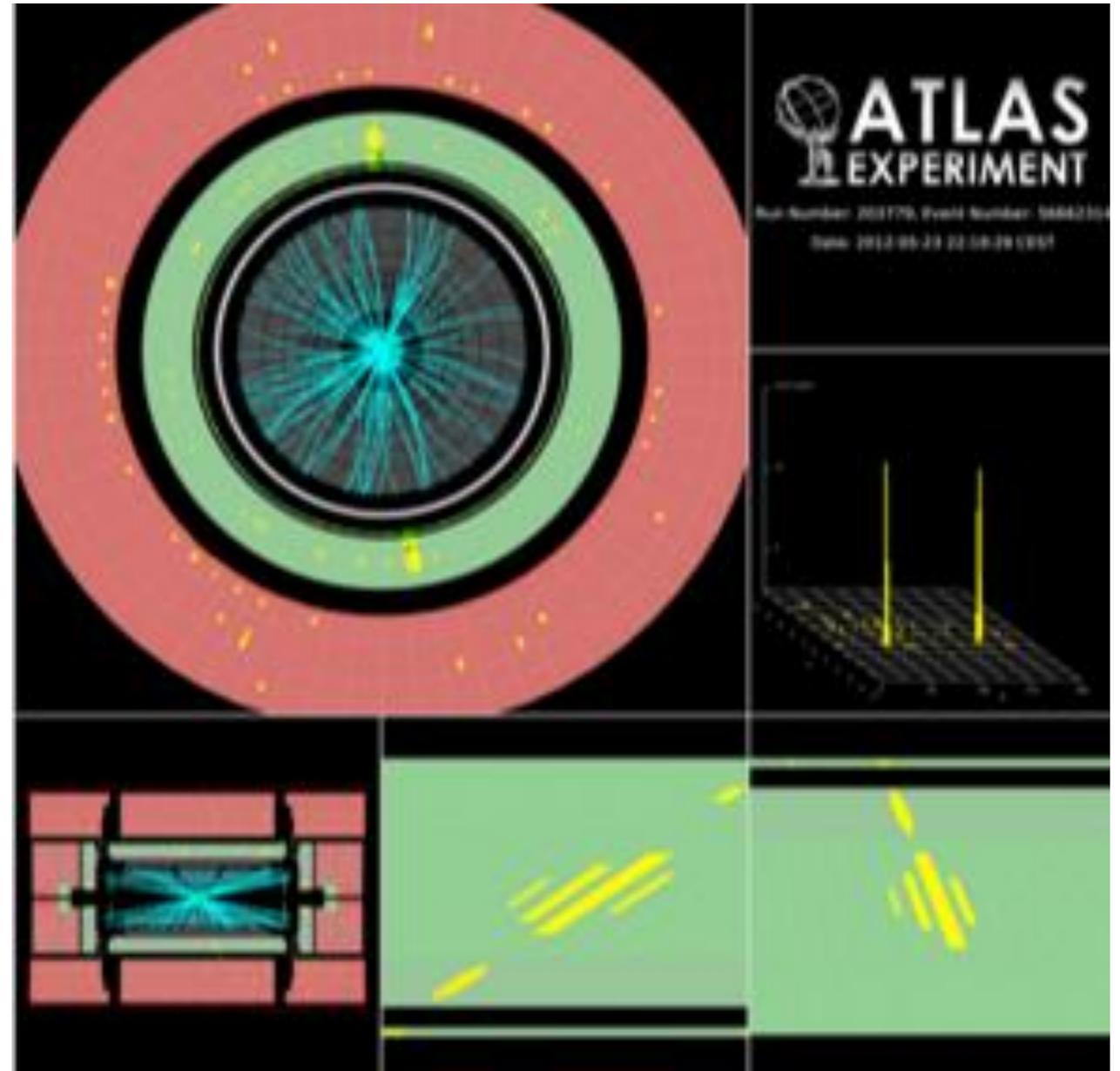
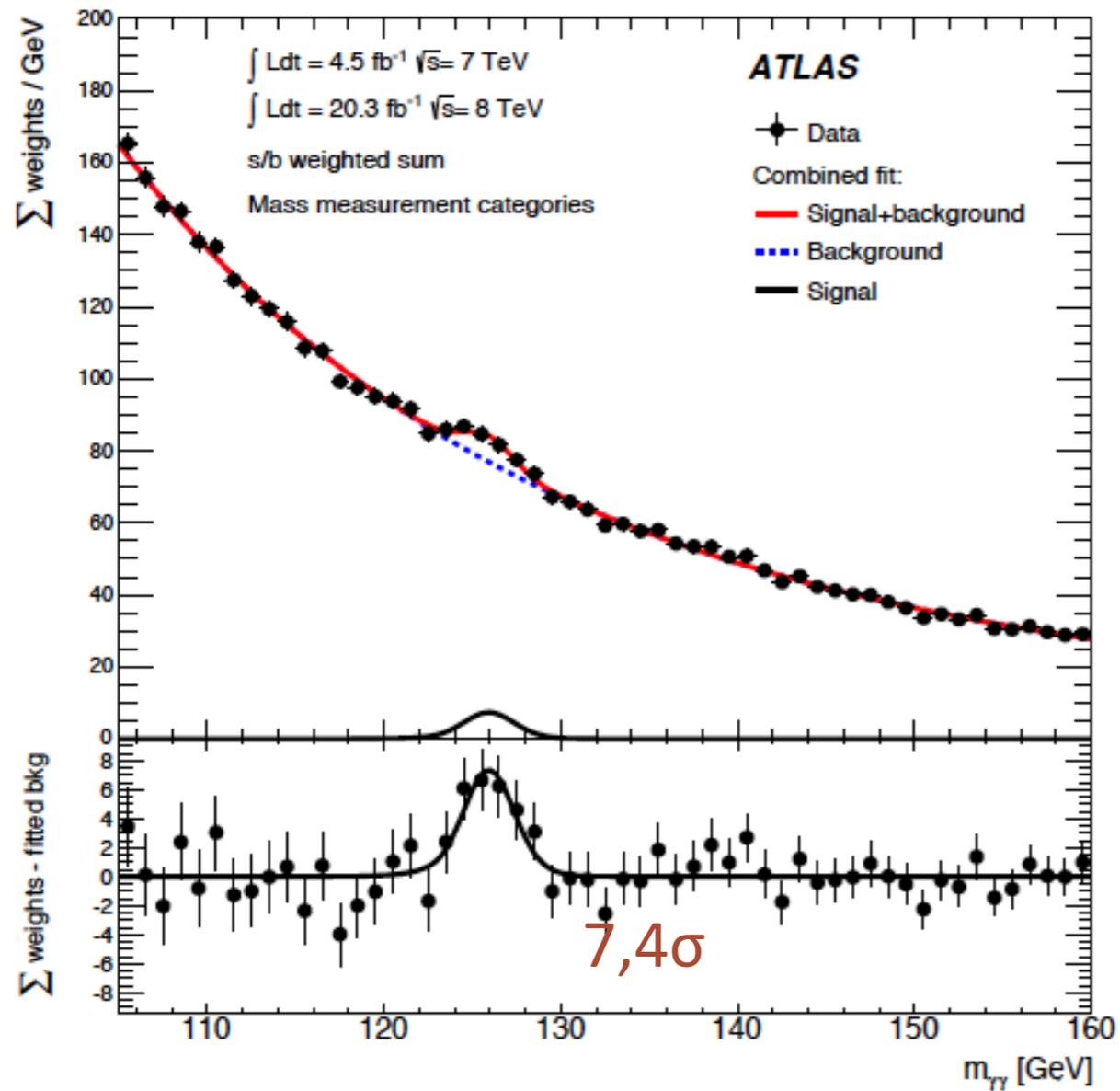
<http://arxiv.org/abs/1406.3827>



$7\sigma$  - Wahrscheinlichkeit eines Zufalls  $\lesssim 1: 400.000.000.000$

# BEISPIEL 2: $H \rightarrow \gamma\gamma$

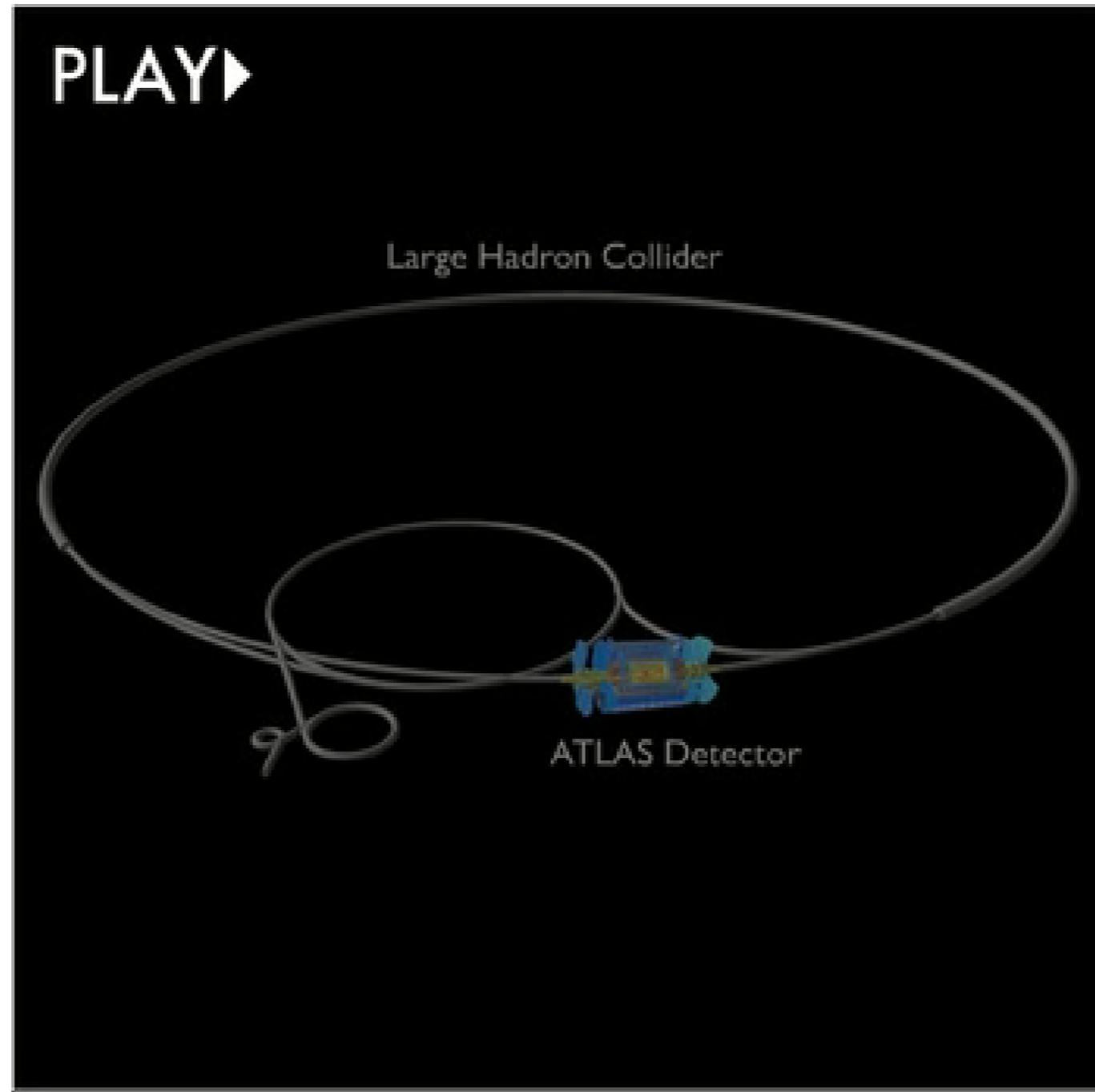
<http://arxiv.org/abs/1406.3827>



$7\sigma$  - Wahrscheinlichkeit eines Zufalls  $\lesssim 1: 400.000.000.000$

# DER WEG DER TEILCHEN

- ▶ Von LHC zu ATLAS

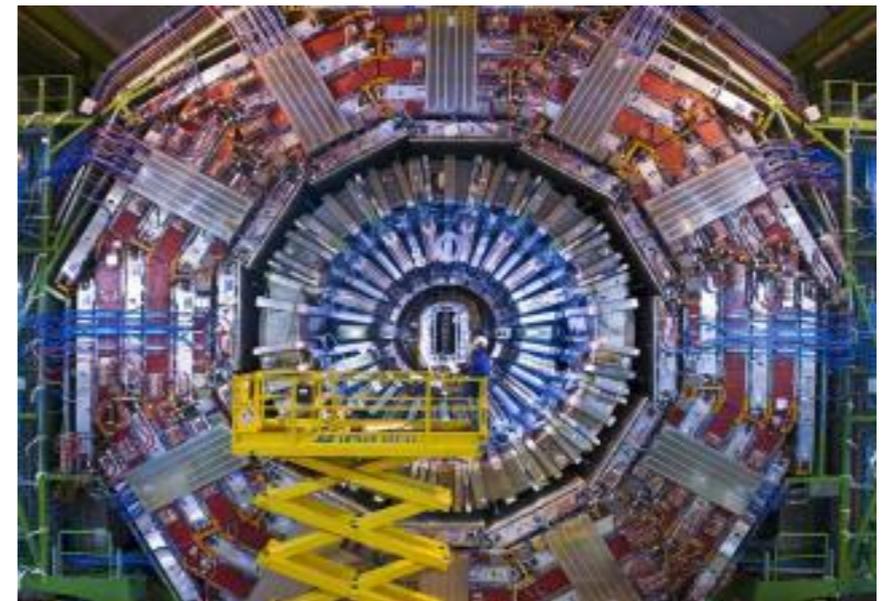
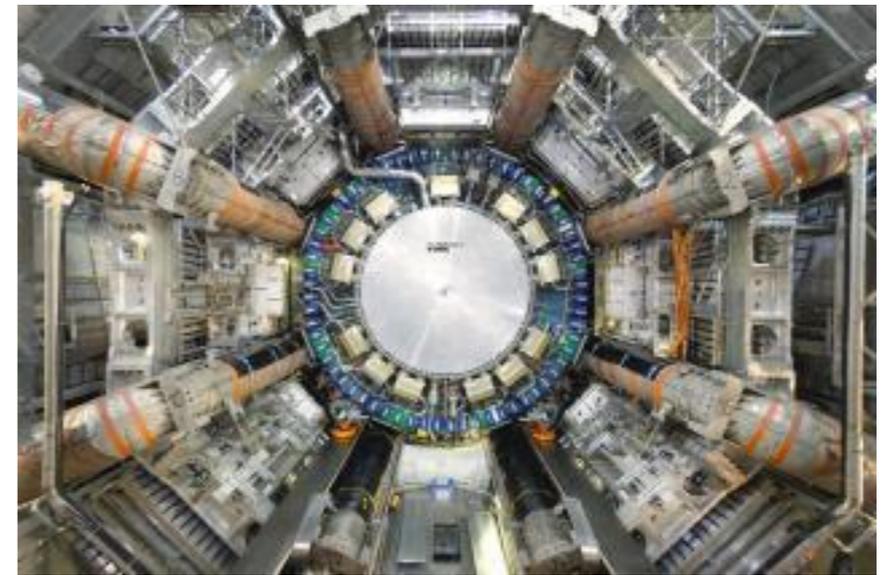


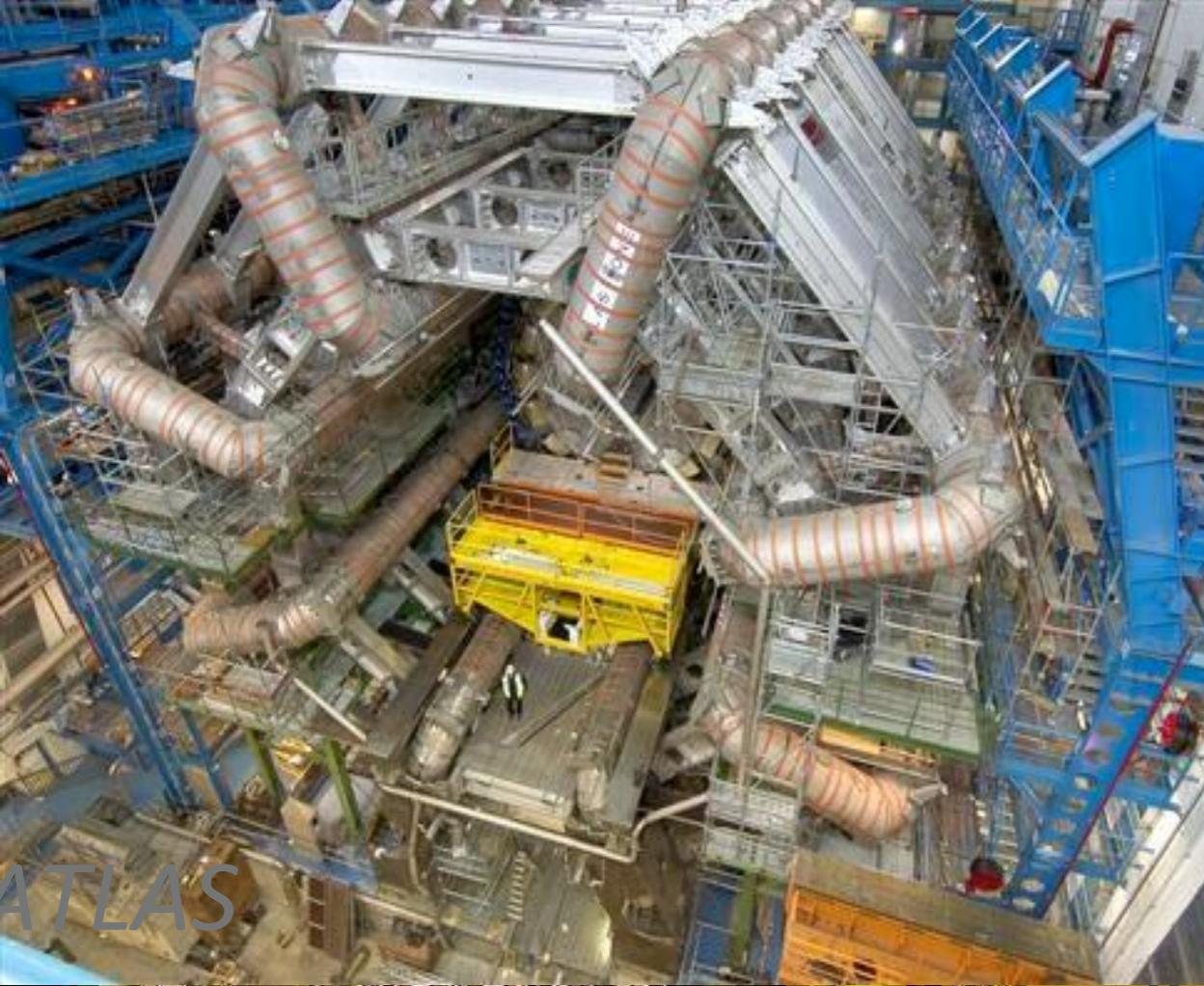
WIE KÖNNEN WIR  
DIE NEUEN  
TEILCHEN  
NACHWEISEN ?

# TEILCHENDETEKTOREN ...

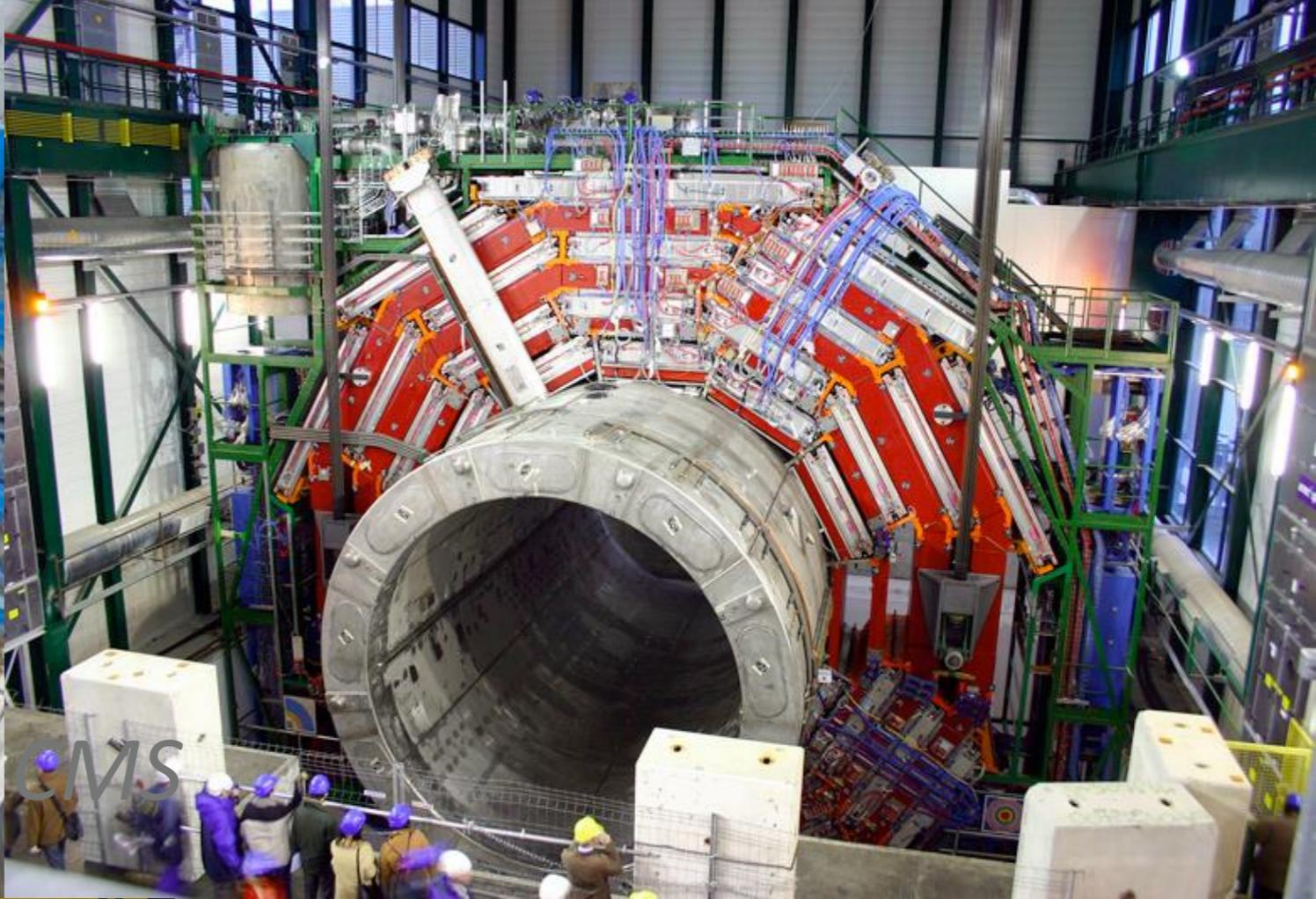
---

- ▶ sind „Kameras“, die Kollisionen aufzeichnen
- ▶ vermessen die entstandenen Teilchen:
  1. Welche Teilchen?
  2. Wo lang geflogen?
  3. Energie / Impuls?

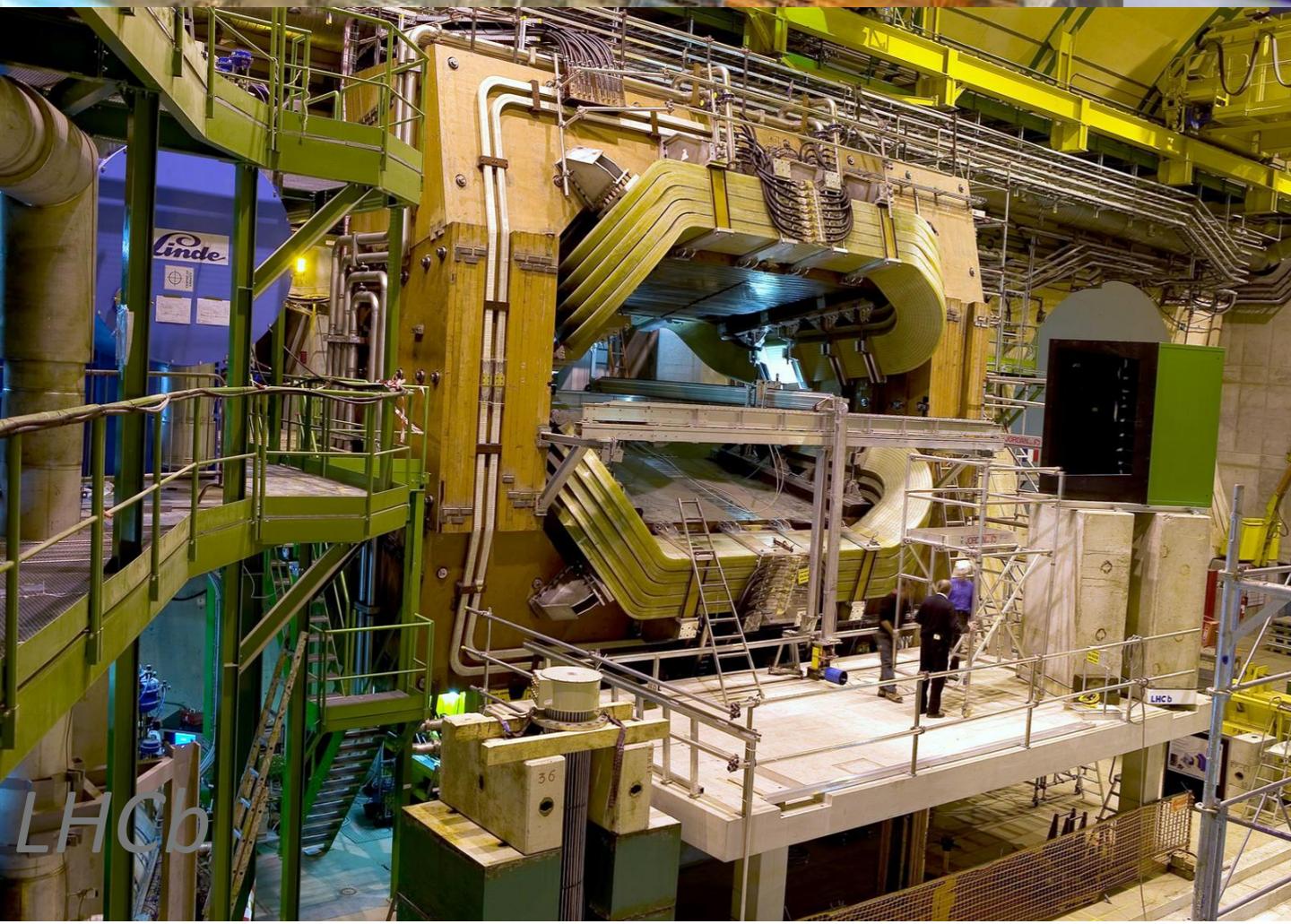




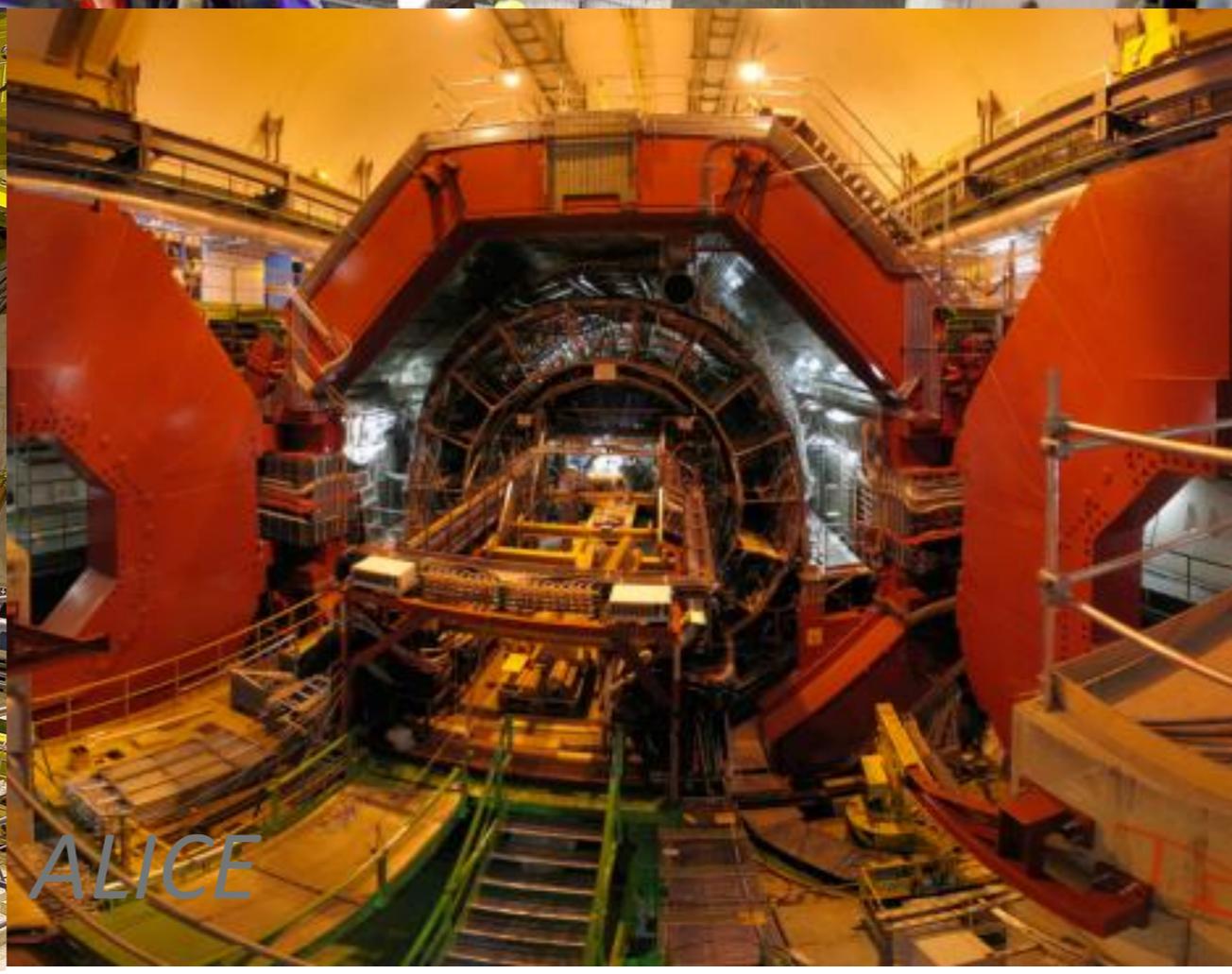
ATLAS



CMS

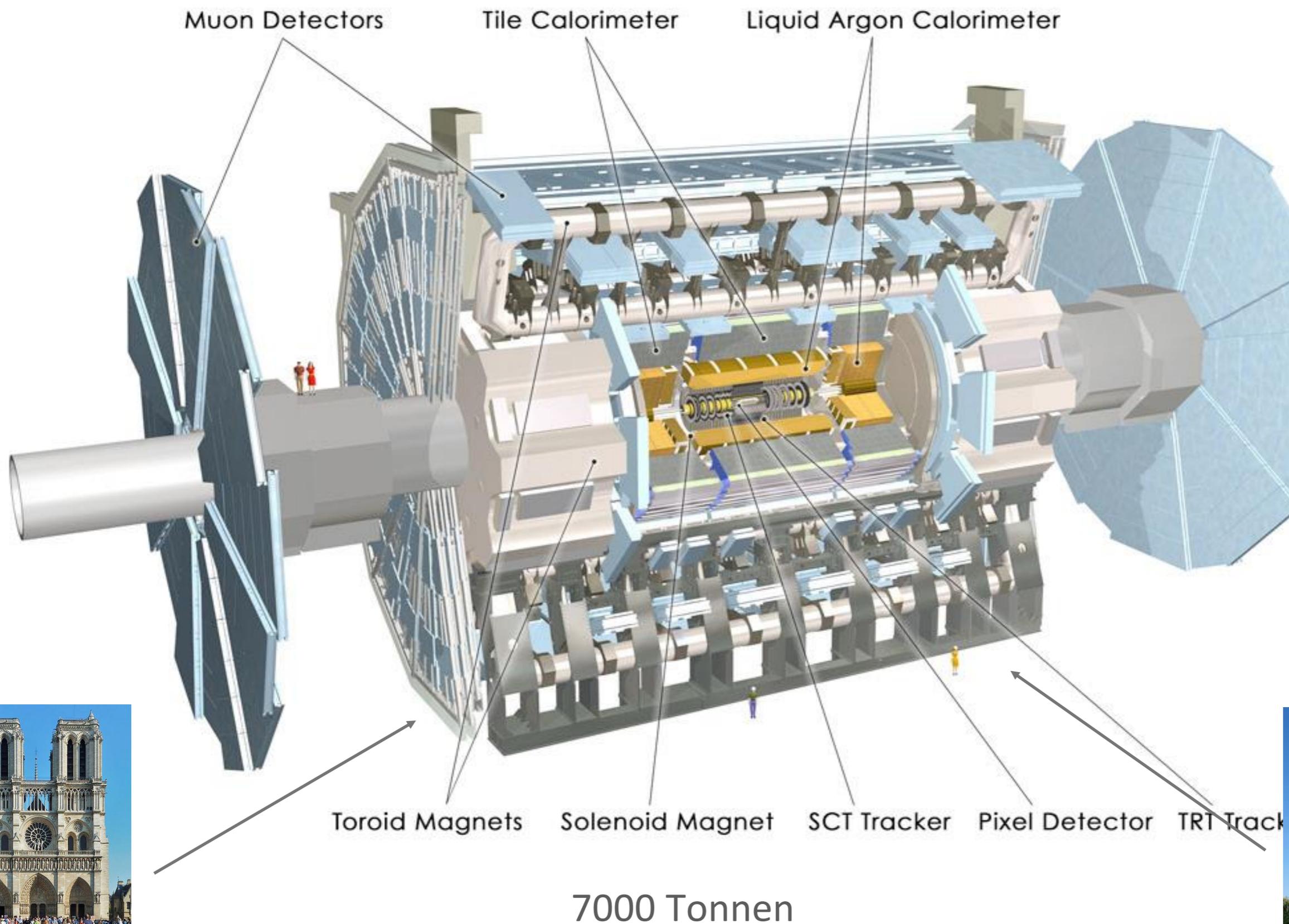


LHCb



ALICE

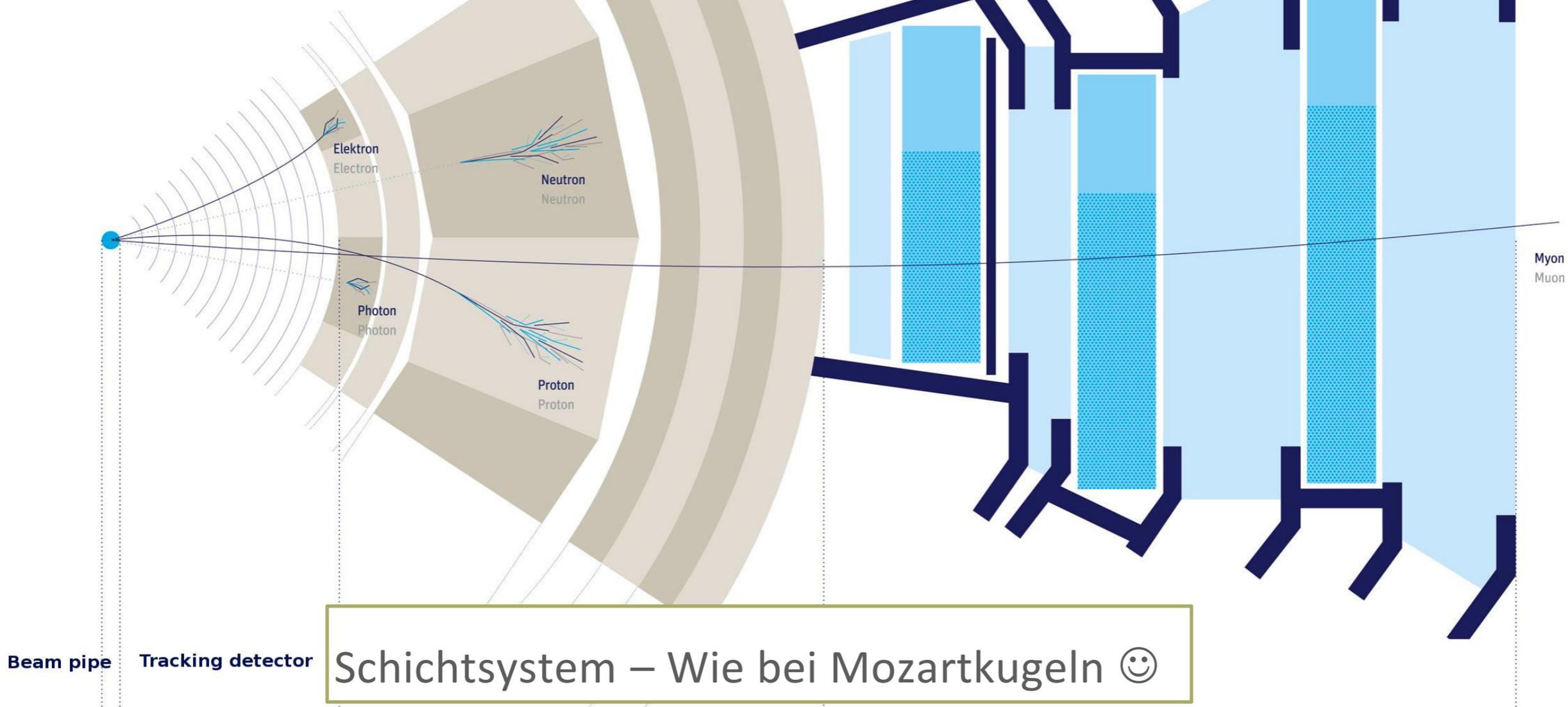
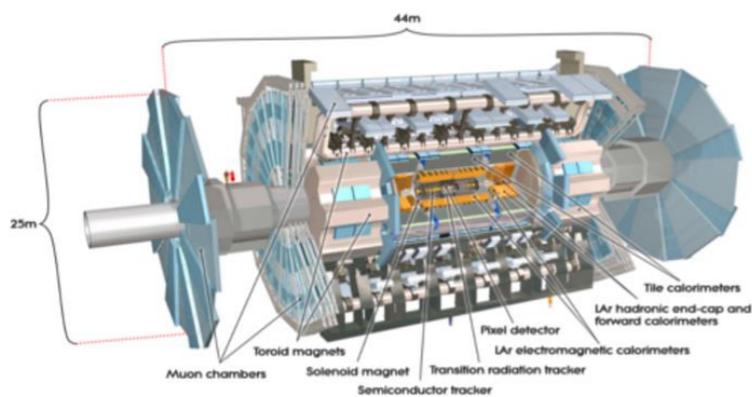
# A TOROIDAL LHC APPARATUS



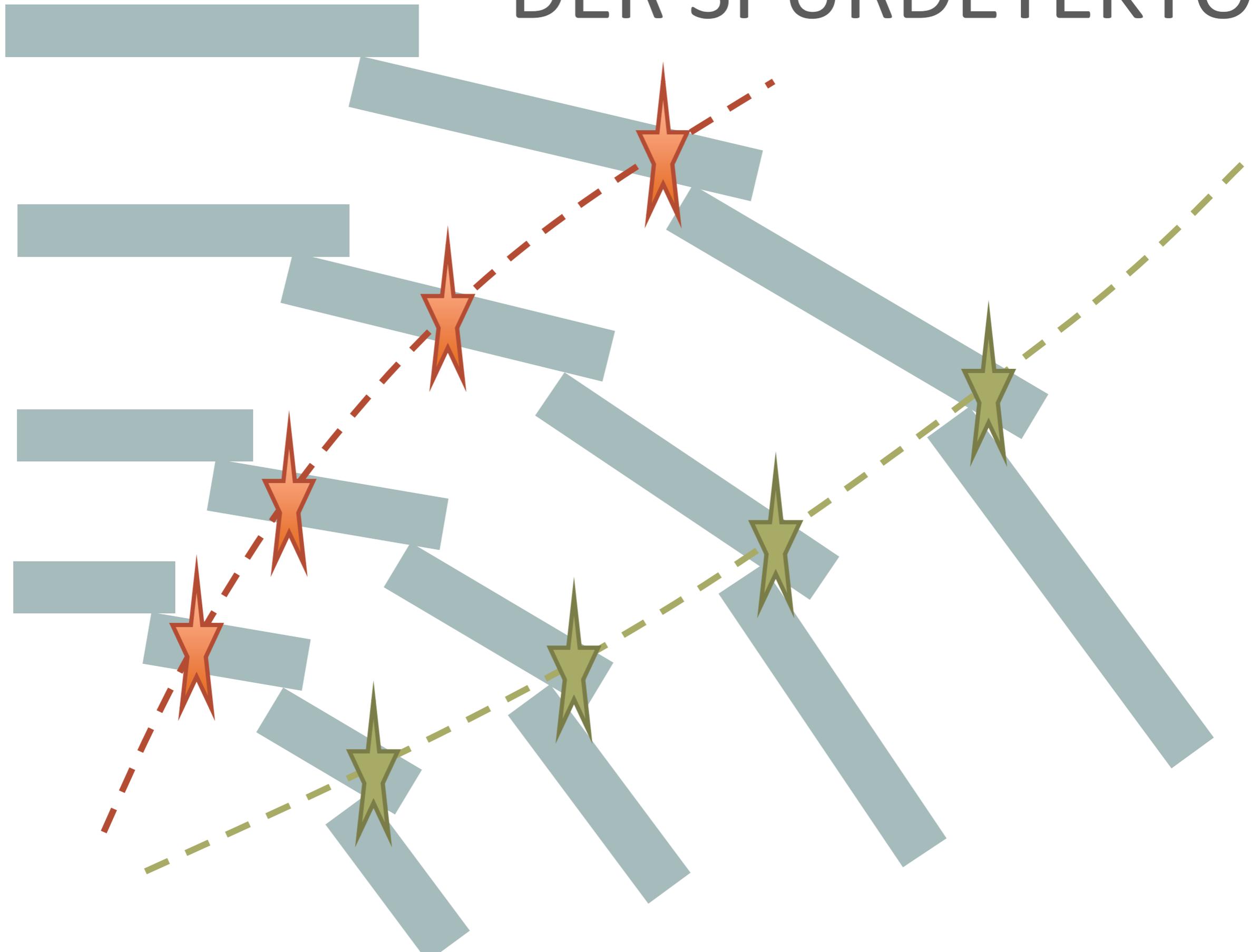
ATLAS Experiment © 2014 CERN



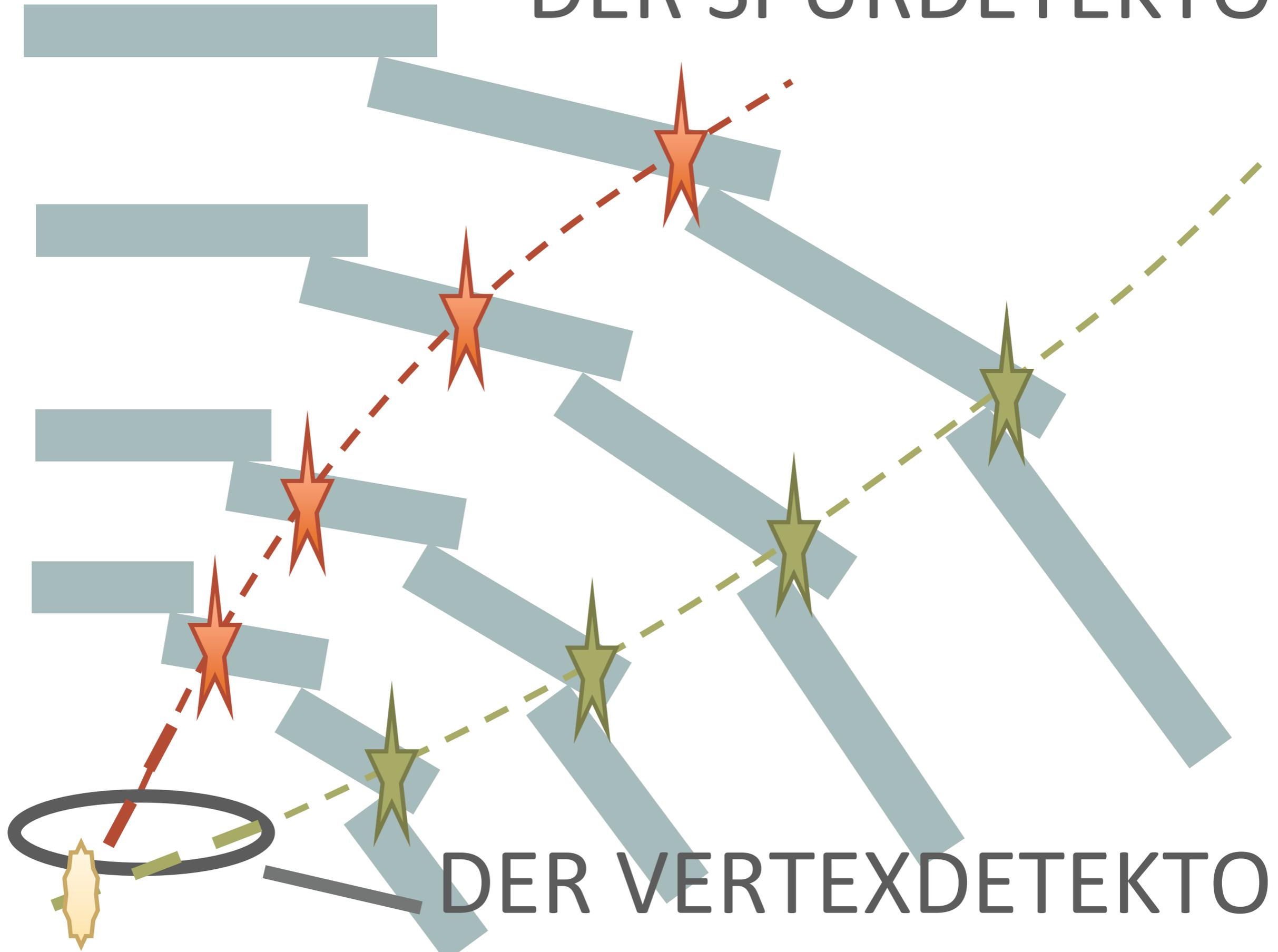
# EIN KUCHENSTÜCK AUS ATLAS



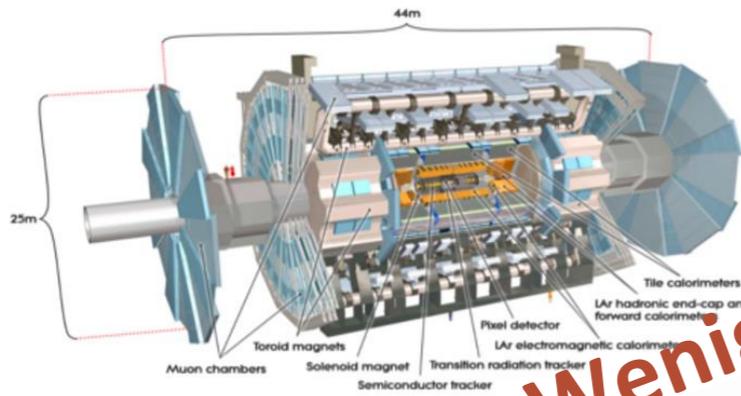
# DER SPURDETEKTOR



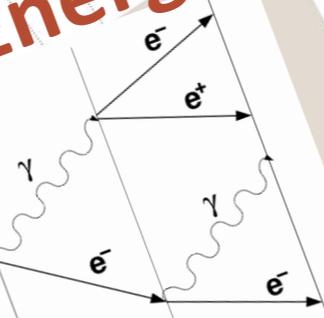
# DER SPURDETEKTOR



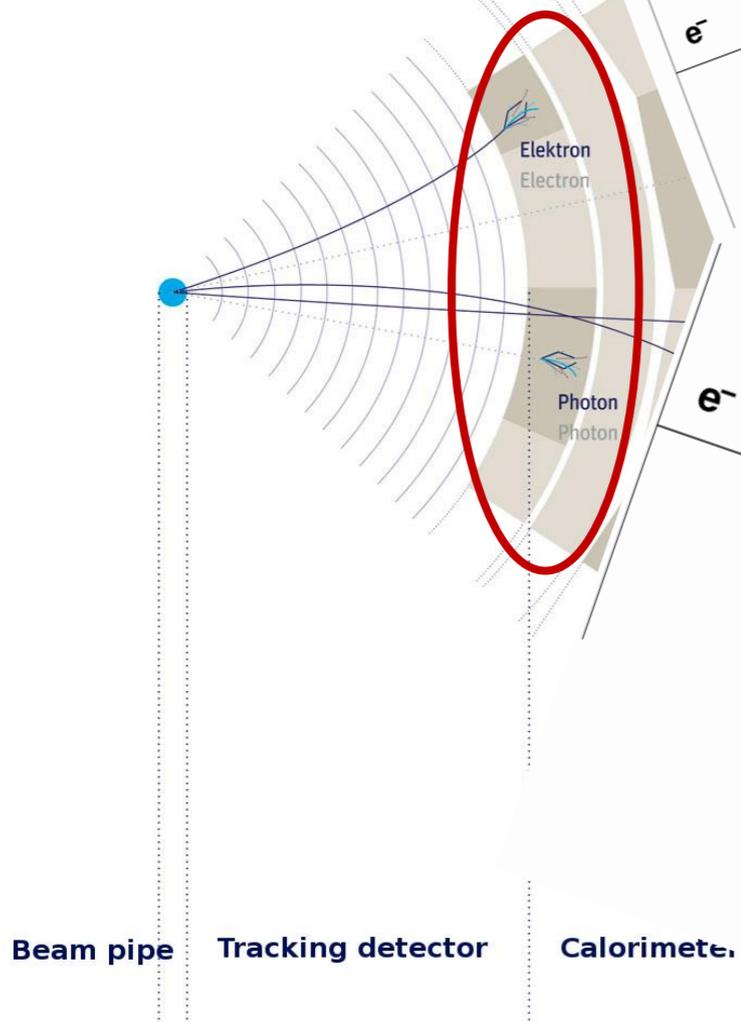
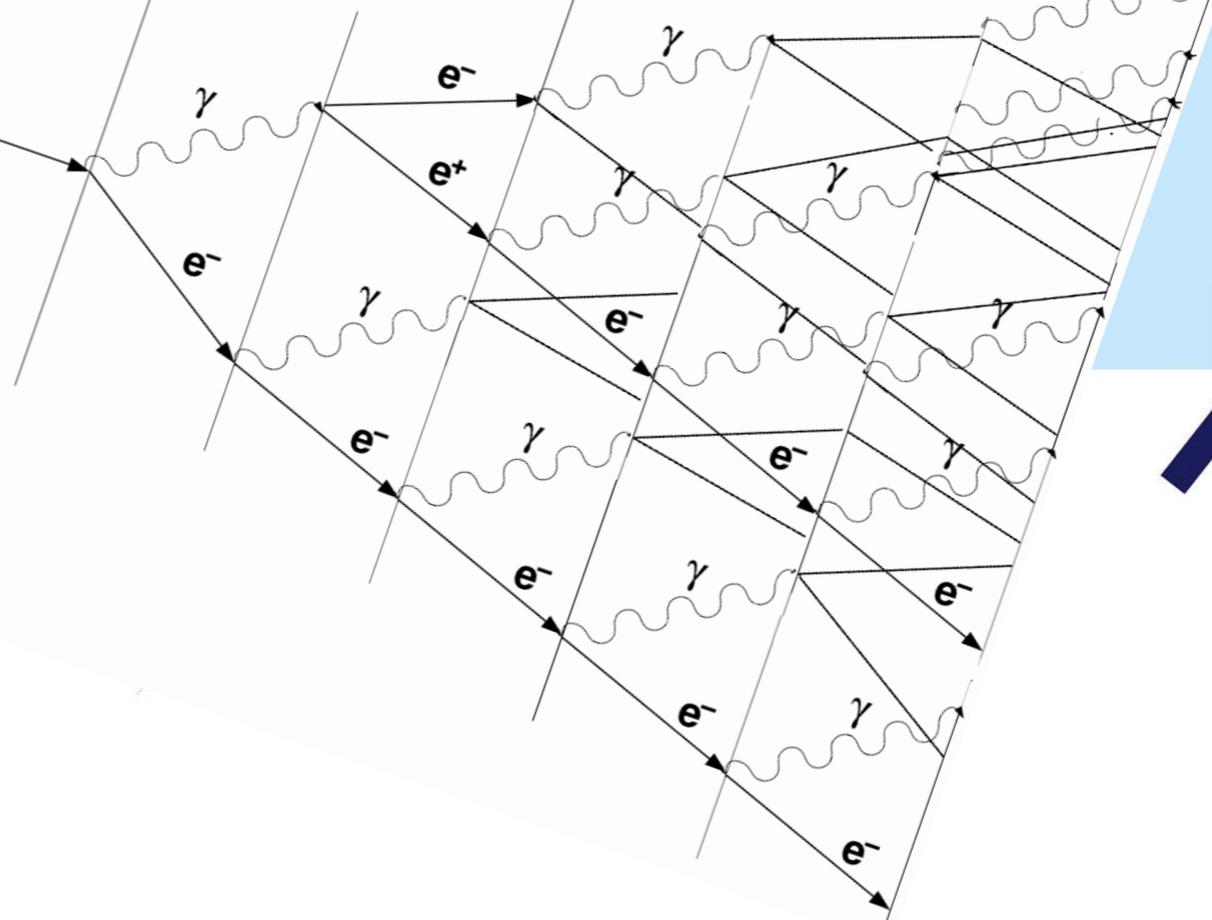
# DAS EM-KALORIMETER



Wenig Energie:



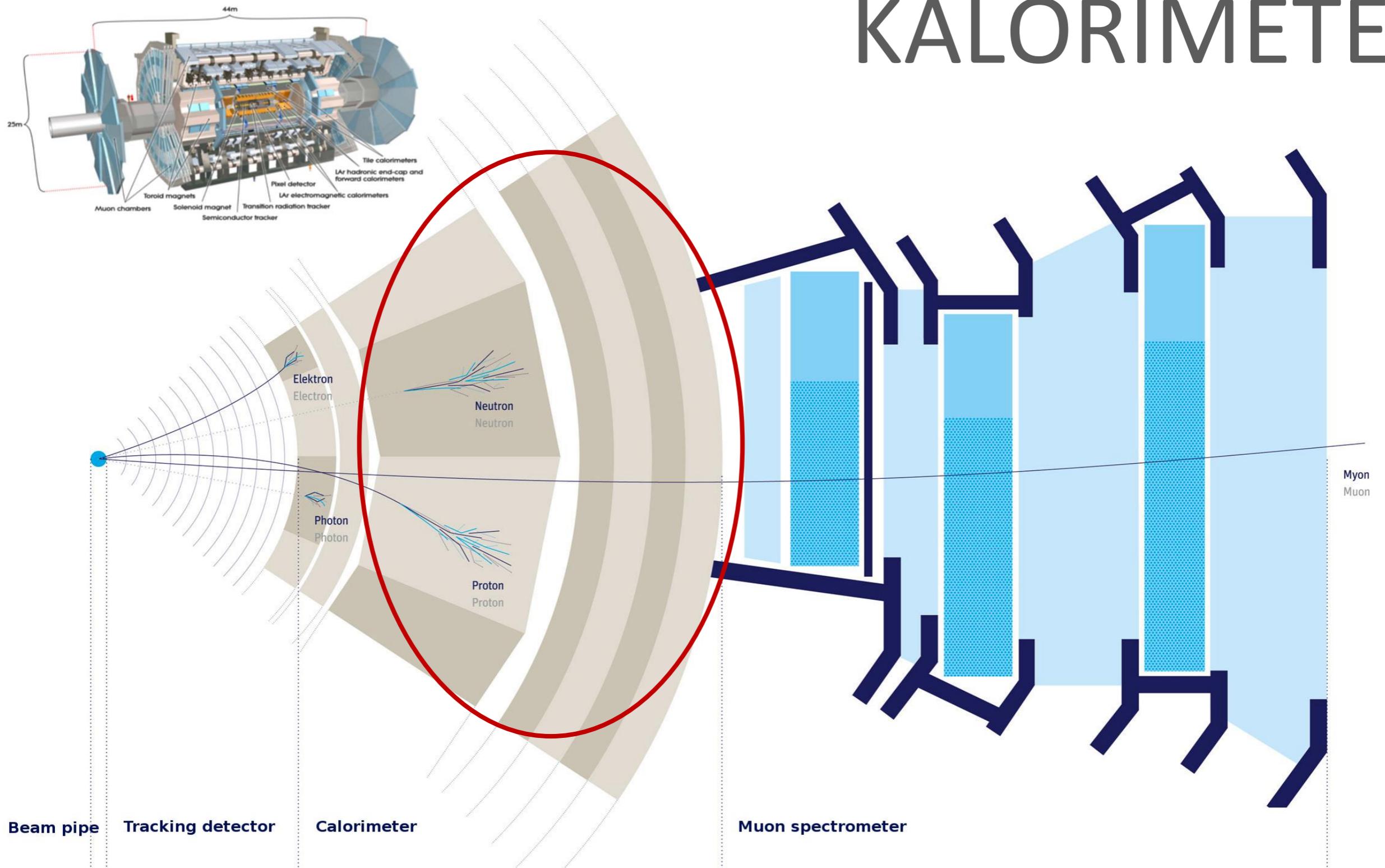
Viel Energie:



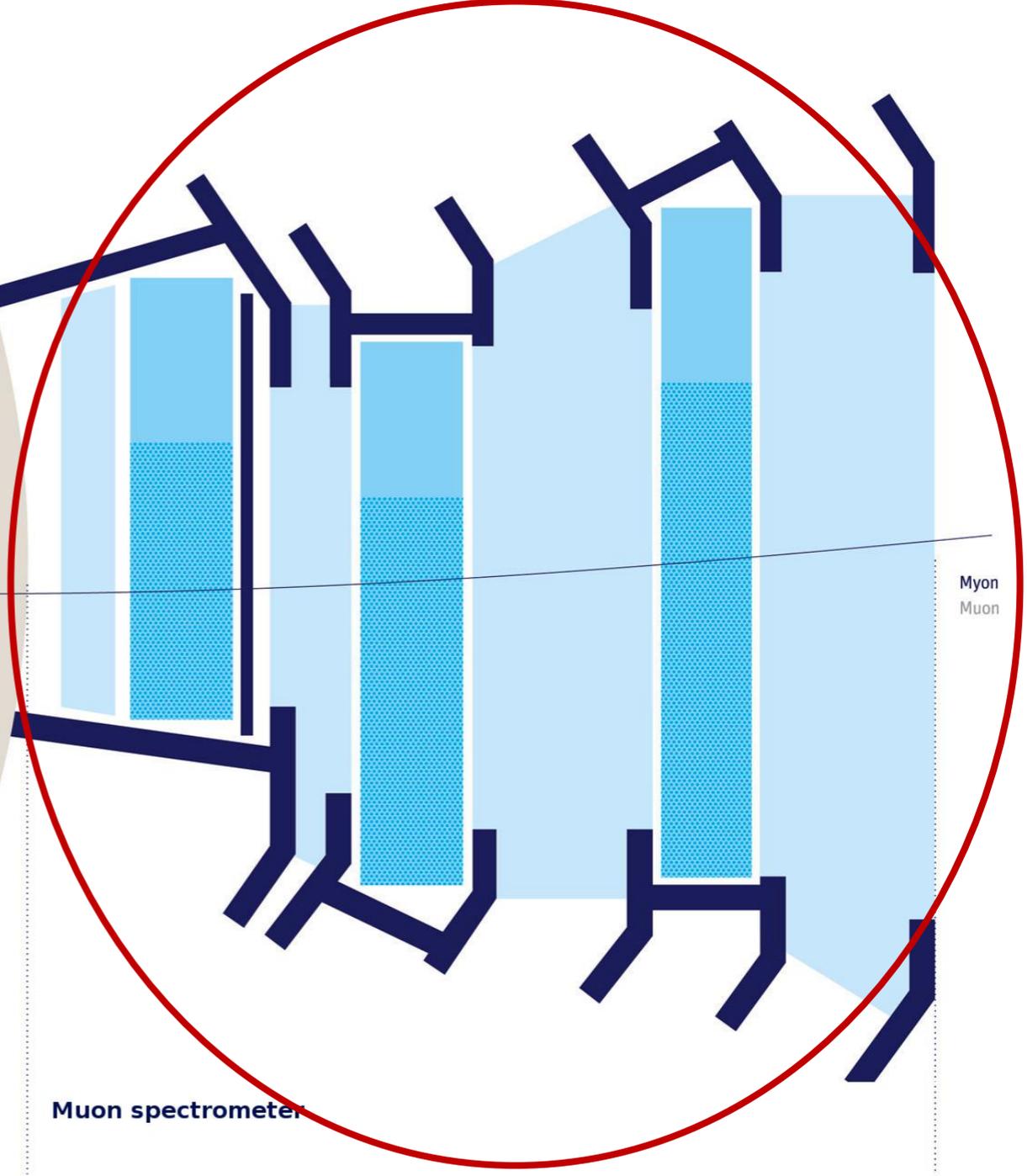
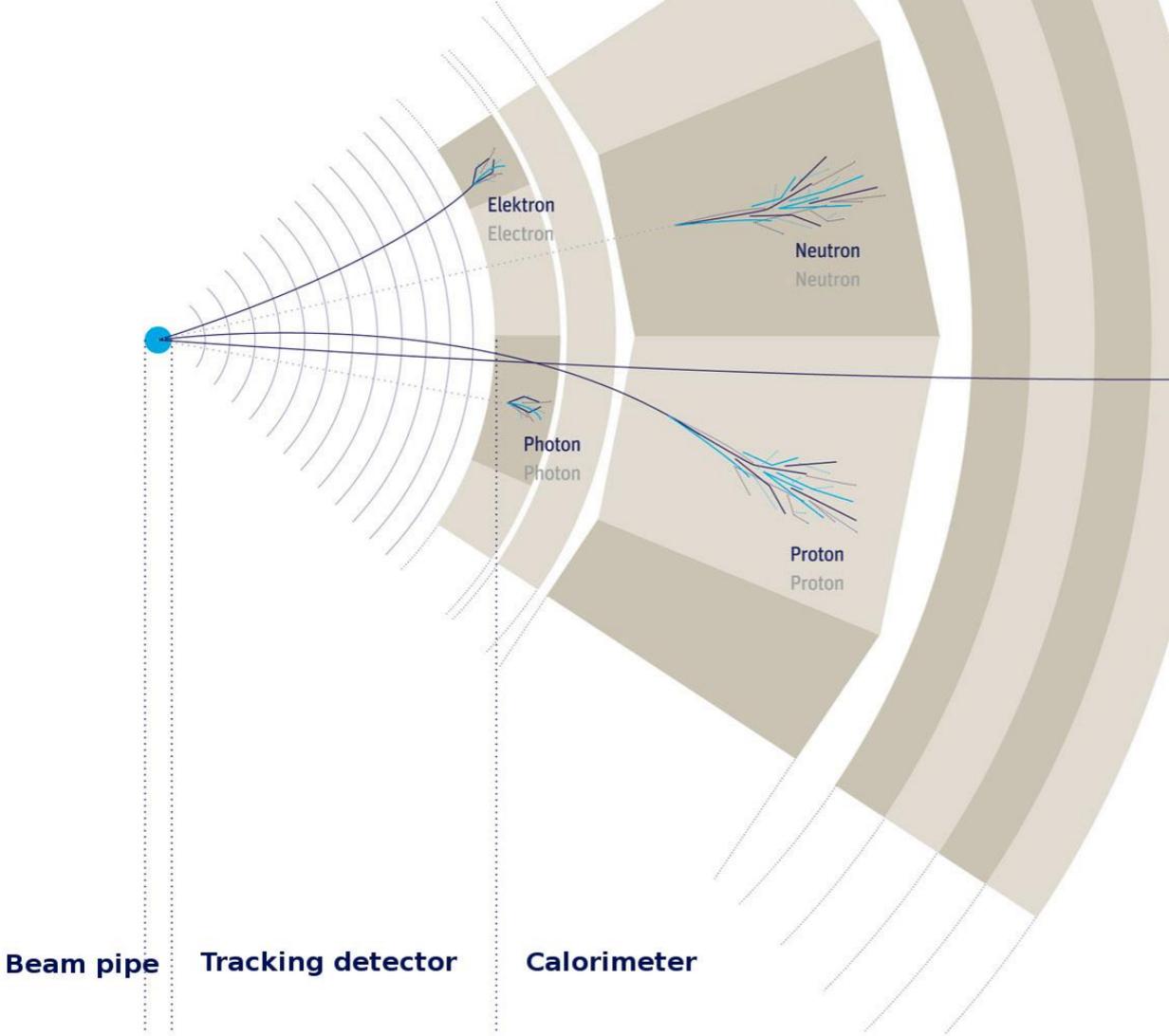
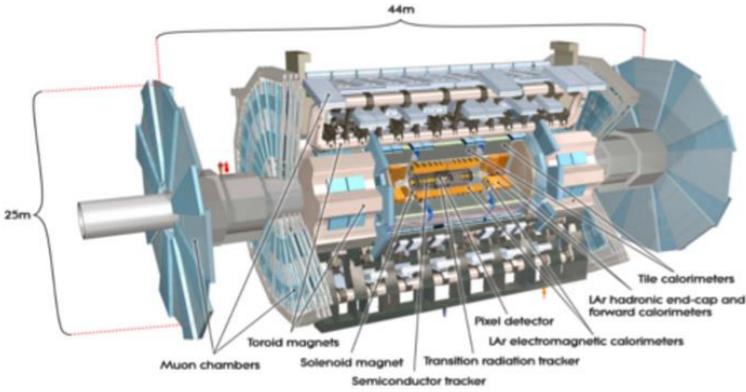
Beam pipe    Tracking detector    Calorimeter.

Myon  
Muon

# DAS HADRONISCHE KALORIMETER

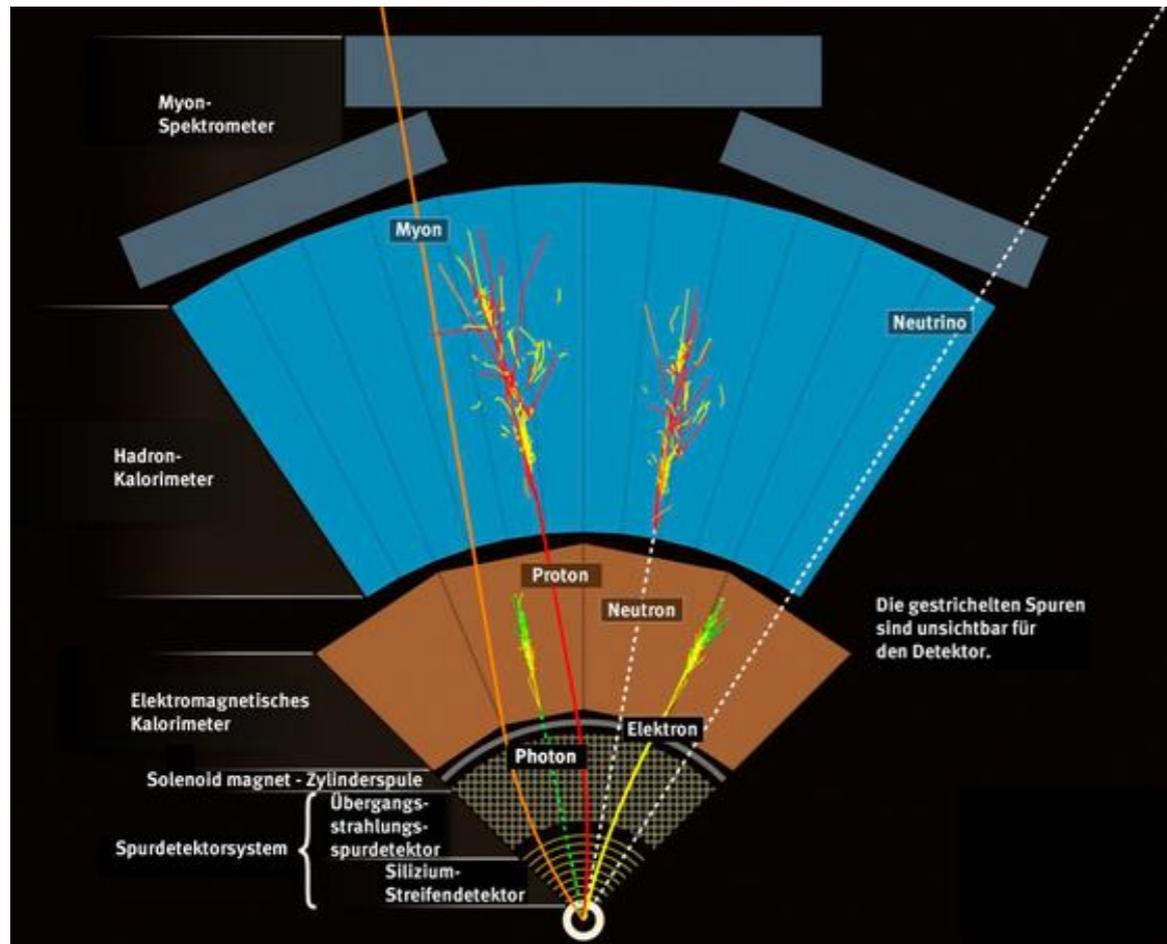


# DIE MYON KAMMERN



# WELCHE TEILCHEN SEHEN WIR WO?

- Kuchenstück des Detektors – nochmal anders



Sichtbar im Detektor	Schlussfolgerung
Teilchenspur	Geladenes Teilchen
Krümmung der Spur im Magnetfeld	Impuls
Mehrere Spuren starten versetzt zum Kollisionspunkt	Sekundärvertex → Entstandenes Teilchen ist zerfallen
Signal in speziellem Detektor (Übergangsstrahlung)	Teilchen = Elektron
Energieabgabe im Kalorimeter → Stoppen des Teilchens	Energie
Signal nach Kalorimetern	Teilchen = Myon
Summe aller Impulse in Transversalebene $\neq 0$ → Fehlende Transversalenergie	Teilchen hat den Detektor ohne Signal verlassen → Neutrino oder unbekannt

# WENN DER DETEKTOR EINE DIGITALKAMERA WÄRE

---

Auflösung

100 Mega-Pixel

Datenrate

2 MB / Bild

Schnappschüsse

100 000 Bilder / s in Flash-Speicher

Abzüge

200 Bilder / s in Permanent-Speicher

Datenvolumen

90 PB / Jahr

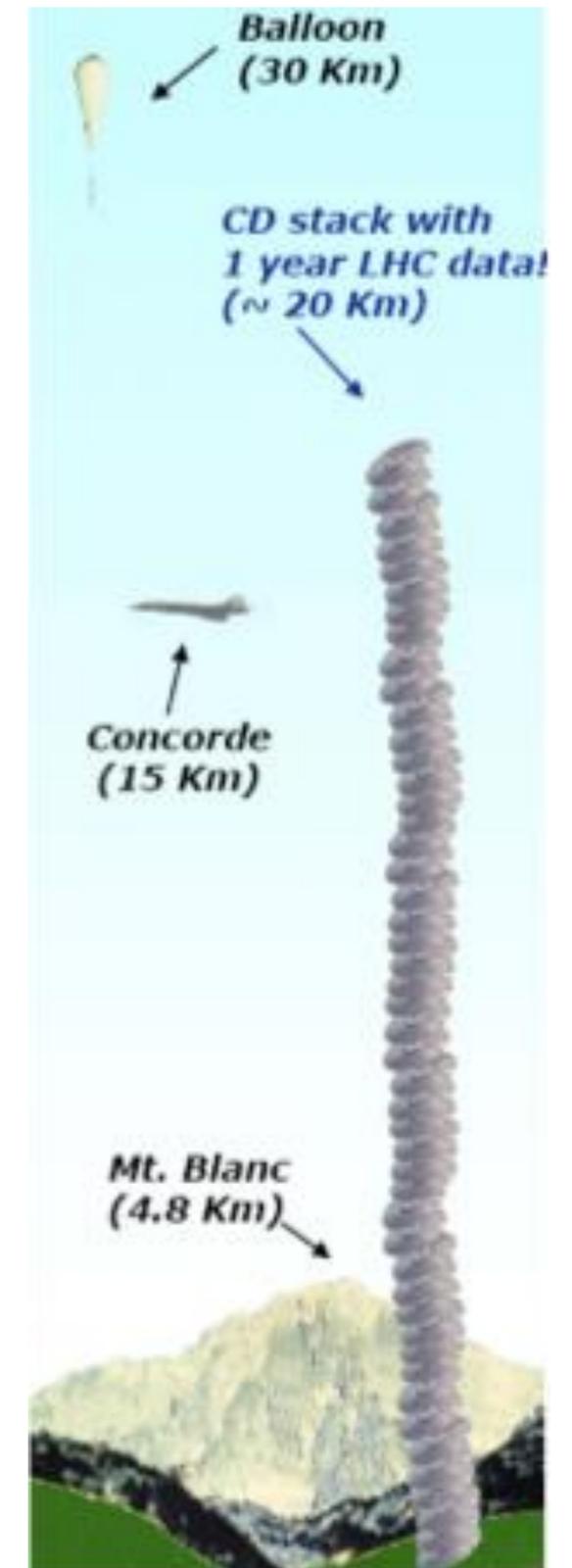


WOHIN MIT  
ALL DEN  
DATEN?

# WIR MÜSSEN FILTERN!

---

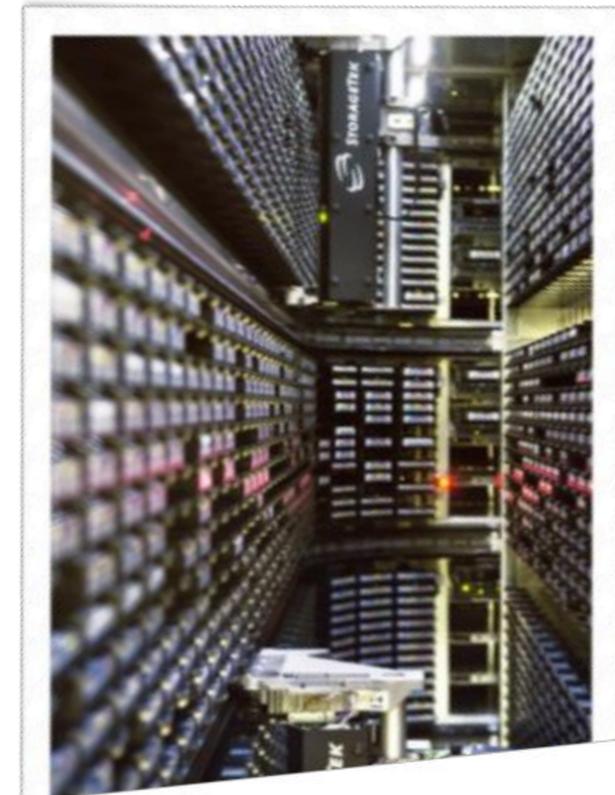
- ▶ Insgesamt 40 Millionen Kollisionen/s (80 TB/s)  
→ Wir müssen filtern!!
- ▶ Interessante (z.B. Higgs ähnliche) Ereignisse lösen Trigger aus → das Foto wird gespeichert!
- ▶ Reduktion auf 200 „interessante“ Kollisionen/s



# VERARBEITEN, ANALYSIEREN & SPEICHERN

---

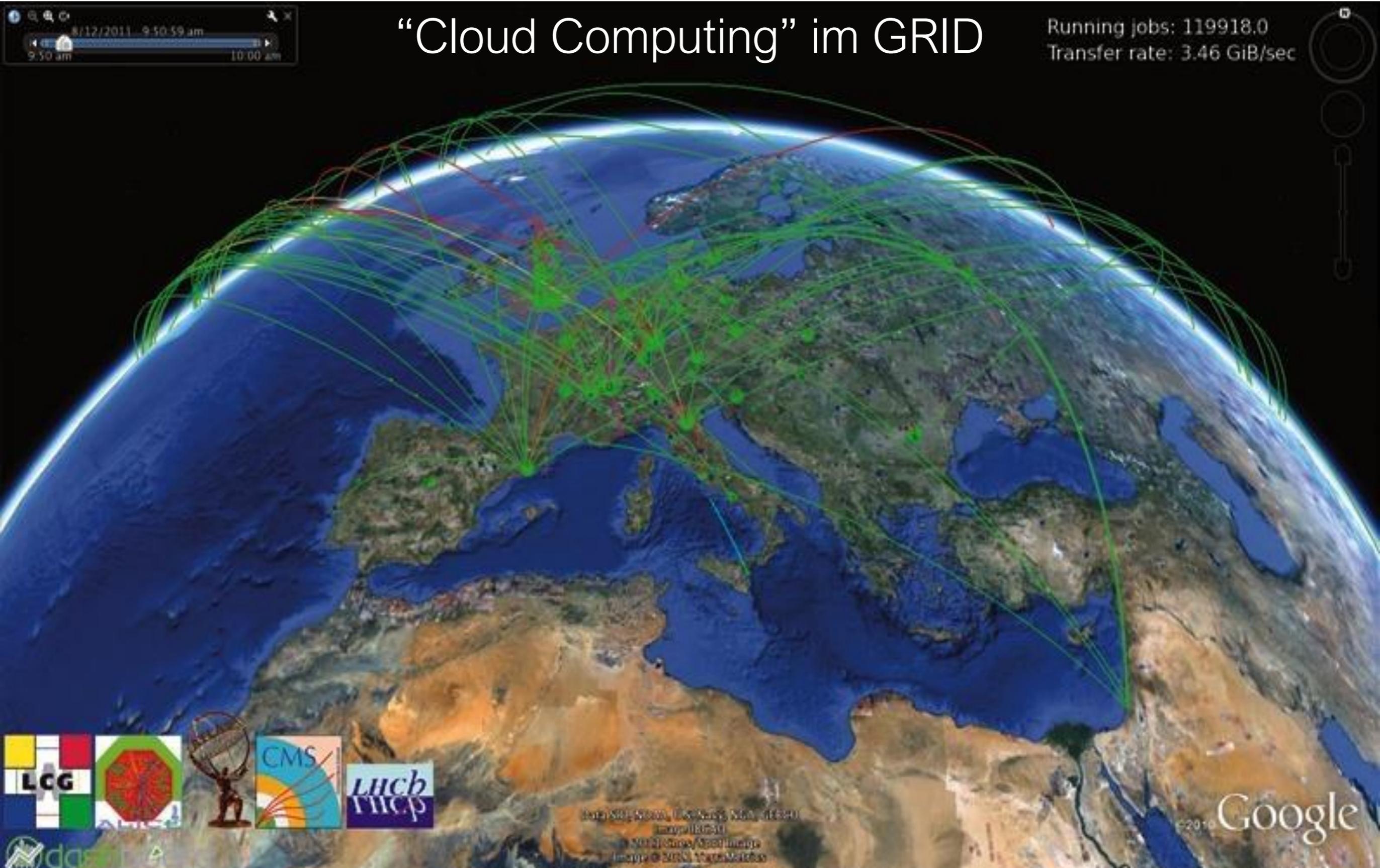
- ▶ 90 Petabyte (90 Millionen GB) Daten pro Jahr
- ▶ 100.000 Prozessoren
- ▶ Cern hat ein extrem rechenstarkes Computergrid
- ▶ Vernetzt 200 Computerzentren überall auf der Welt



# DIE DATEN KÖNNEN VON ÜBERALL AUF DER WELT ANALYSIERT WERDEN!

## “Cloud Computing” im GRID

Running jobs: 119918.0  
Transfer rate: 3.46 GiB/sec





FRAGEN?

