

# LHC, ATLAS & TDAC

Alexander Lory

Bacheloreinführungskurs

20.04.2020



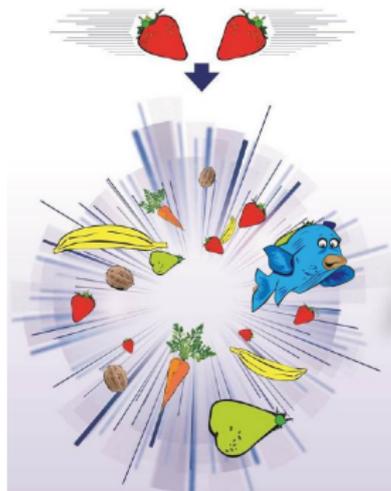
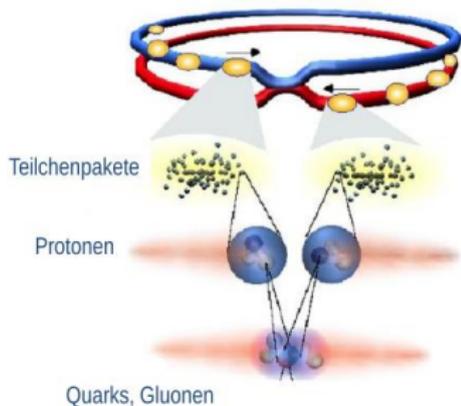
### Der Large Hadron Collider - LHC

- Beschleunigt Protonen auf (bis zu) 7 TeV
- 27 km langer Tunnel bis zu 100 m unter der Erde
- Einer der kältesten Orte des Universums
- Kosten: 3 Milliarden Euro  
(Appollo-Missionen: 200 Milliarden)



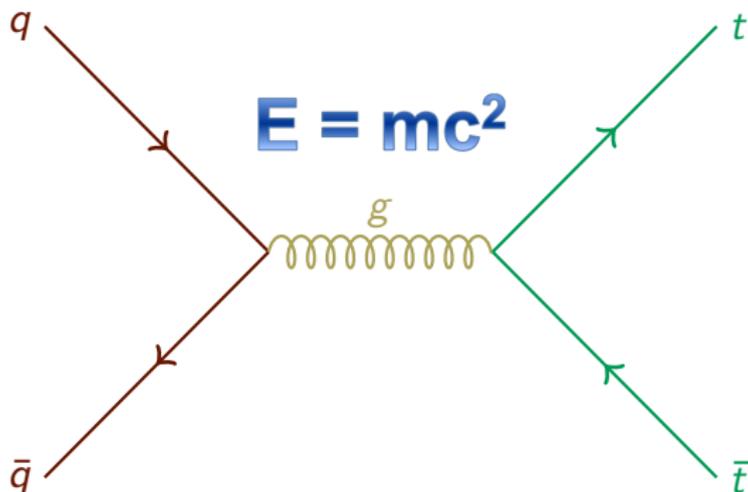
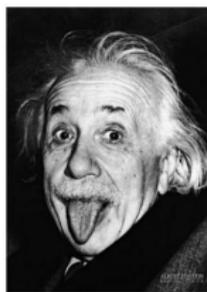
## Teilchenkollisionen

- Protonen in Paketen beschleunigt und zum Kollidieren gebracht
- Ca. 600 Millionen Kollisionen pro Sekunde
- Erzeugung **völlig neuer Teilchen**
- Kollisionen zwischen Quarks/Gluonen.  
Nur ein (unbekannter) Anteil der Energie der Protonen steht in der Kollision zur Verfügung  
Das Bezugssystem der Kollision ist nicht das Labor



Wie wird die zusätzliche Masse erzeugt?

- **Masse is eine Form von Energie!**
- Gemäß  $E = mc^2$  und Energieerhaltung gilt:  
Je mehr Energie in einer Kollision steckt, desto schwerer können die entstehenden Teilchen sein!
- Und wir möchten sehr schwere Teilchen erzeugen...

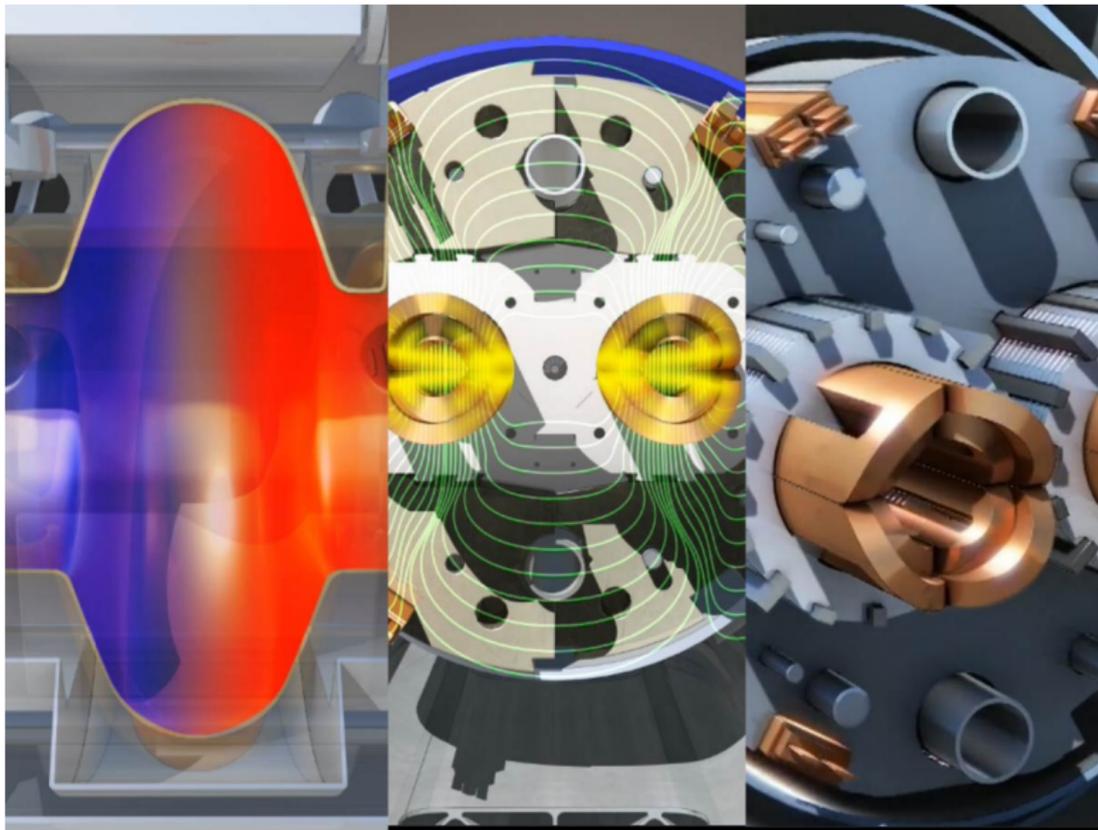


# Ein Ringbeschleuniger benötigt drei prinzipielle Komponenten

Beschleunigungskavitäten

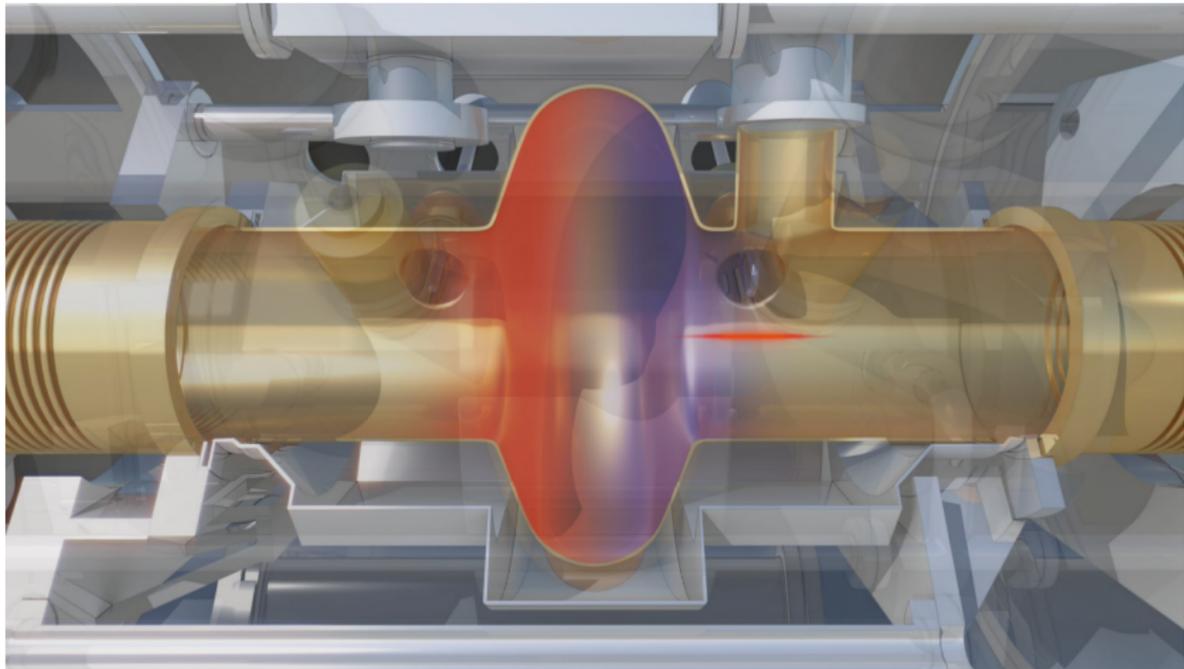
Ablenkmagnete

Fokussiermagnete



## Hohlraumresonatoren: RF-Cavity

- Bildung einer stehender Welle durch Resonanz im Hohlraum
- 8 Kavitäten pro Strahl, Betrieb bei 400 MHz



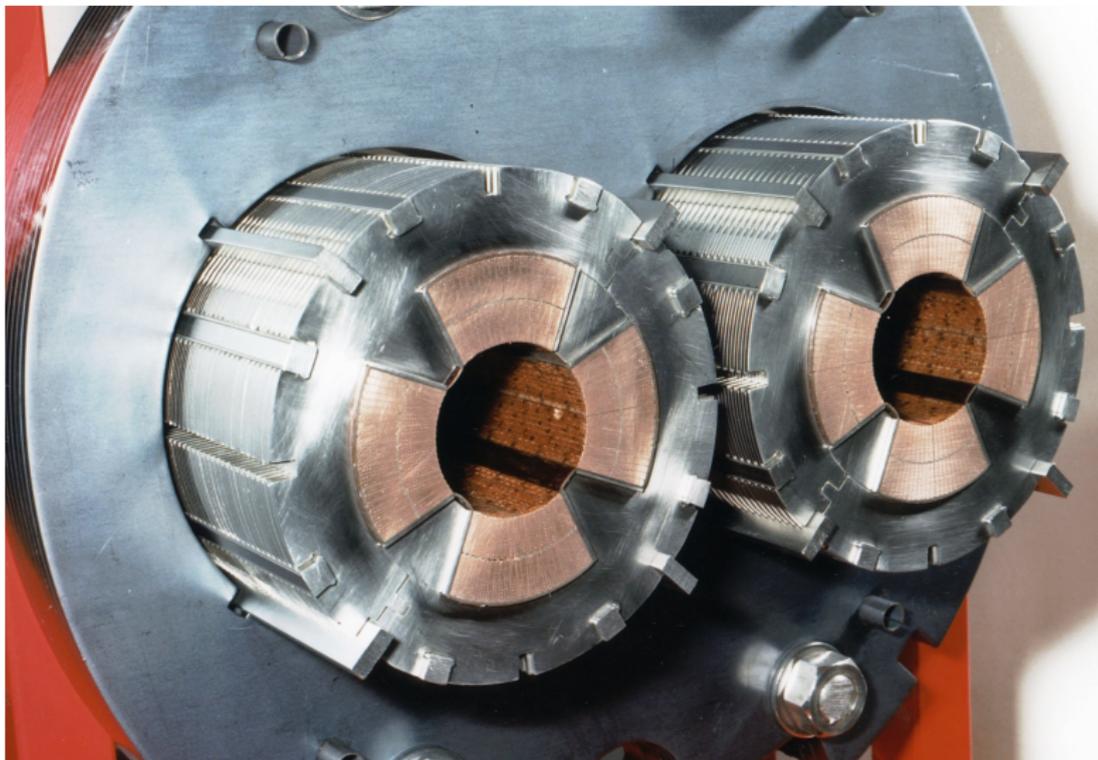
## Dipolmagnete zur Ablenkung

- 14.3 m lang
- 35 Tonnen
- 8.3 Tesla
- 1232 Stück



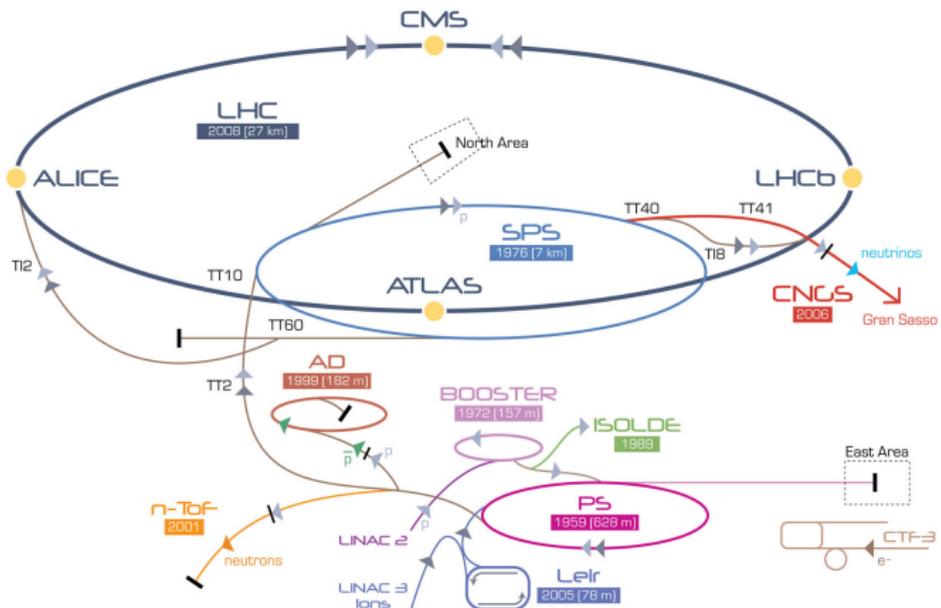
## Quadrupolmagnete zur Fokussierung

- 3.2 m lang
- 392 Stück



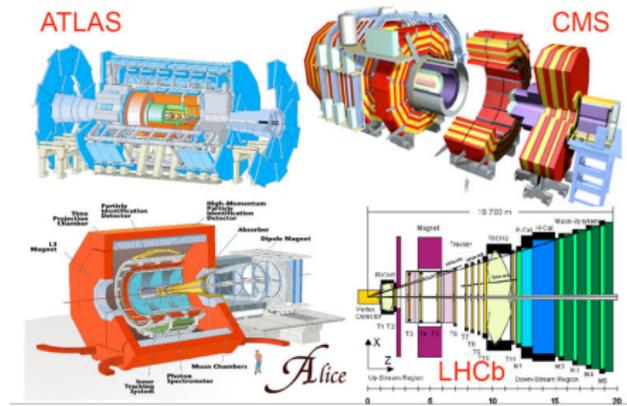
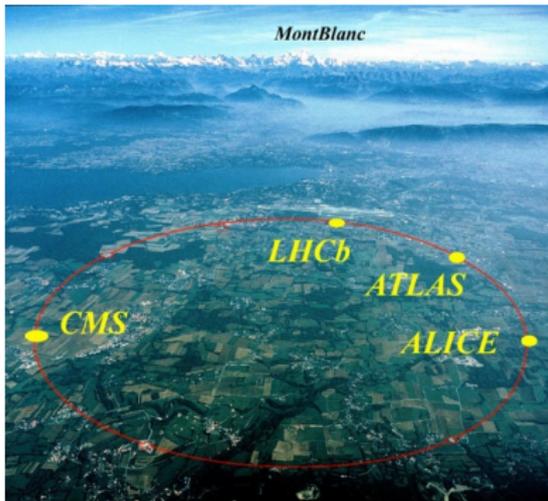
## Vorbeschleuniger

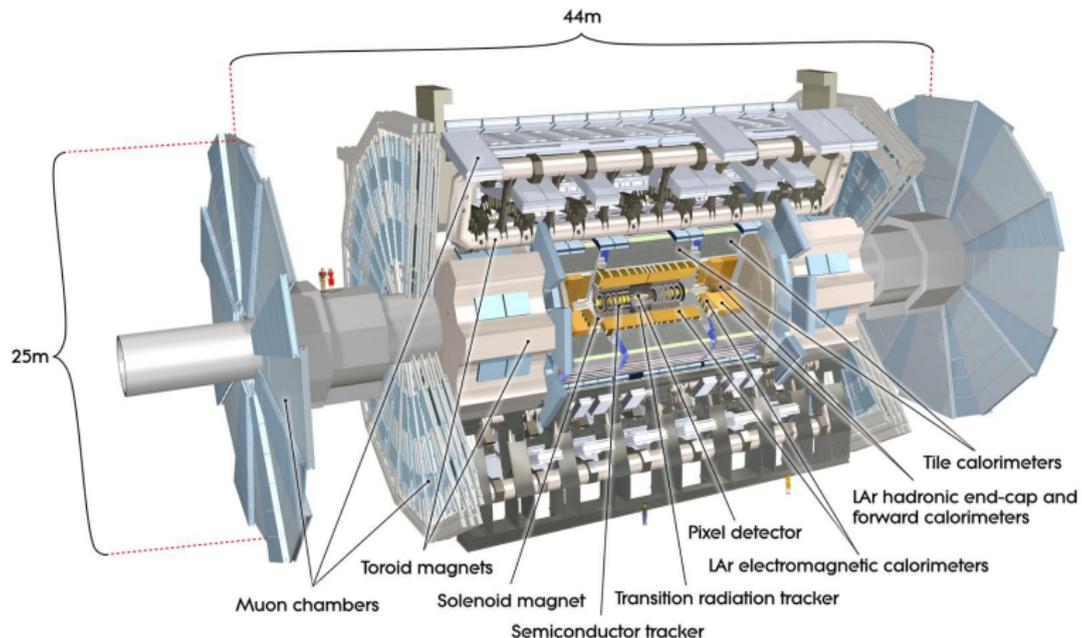
- Linac2
- Booster
- Proton-Synchrotron (PS)
- Super-Proton-Synchrotron (SPS)



## Die vier (großen) Experimente am LHC

- ALICE: spezialisiert auf Blei-Blei Kollisionen
- ATLAS: Standardmodell und neue Entdeckungen
- CMS: Standardmodell und neue Entdeckungen
- LHCb: interessiert an bottom-Quarks



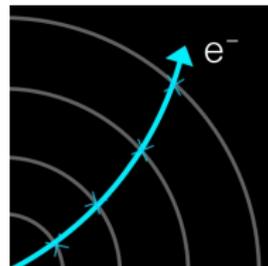
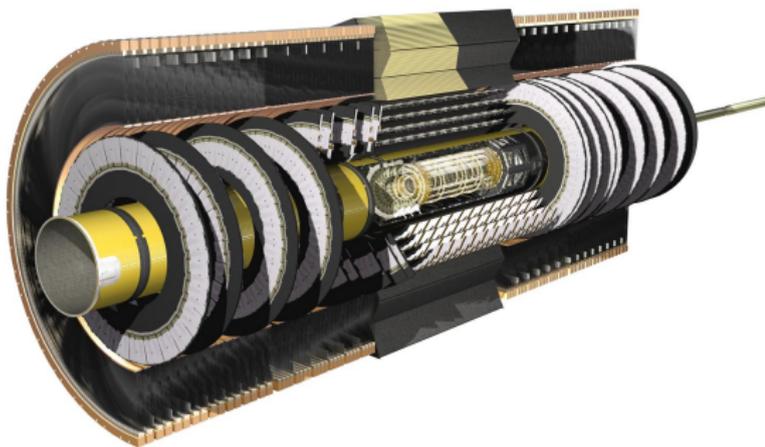


### ATLAS besteht aus drei Teilen

- 1) der Spurkammer
- 2) dem Kalorimeter
- 3) den Muonkammern

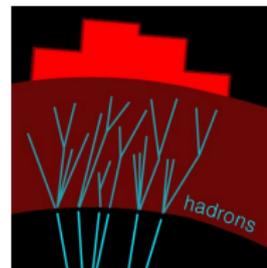
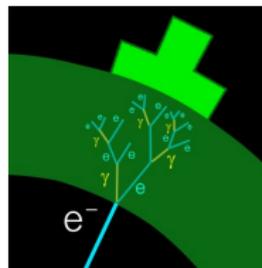
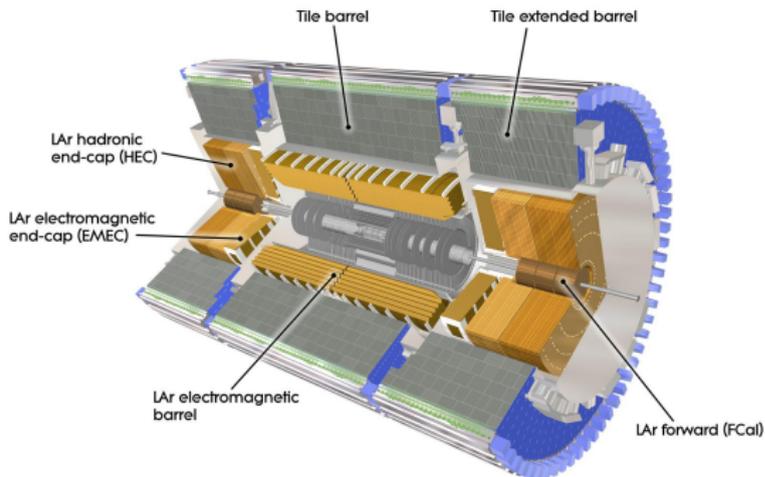
## Der Innere Detektor (Spurkammer)

- Mehrere Schichten von Siliziumdetektoren
  - Vermessen die Spuren von geladenen Teilchen in einem Magnetfeld
- ⇒ Bestimmung der Teilchenimpulse (Lorentzkraft)



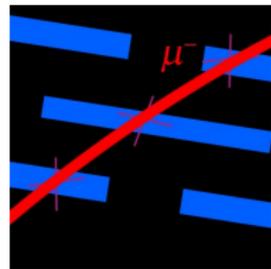
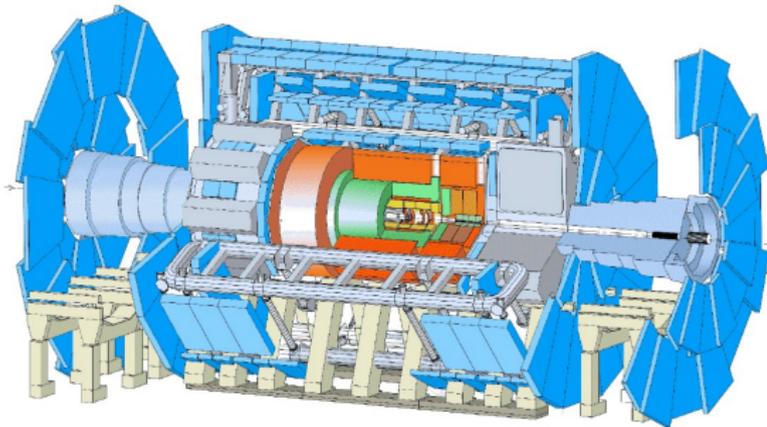
## Das Kalorimeter

- Misst die Energie von Teilchen an Hand des entstehenden Teilchenschauers
- Besteht aus zwei Teilen:
  - 1) Das elektromagnetische Kalorimeter
  - 2) Das hadronische Kalorimeter

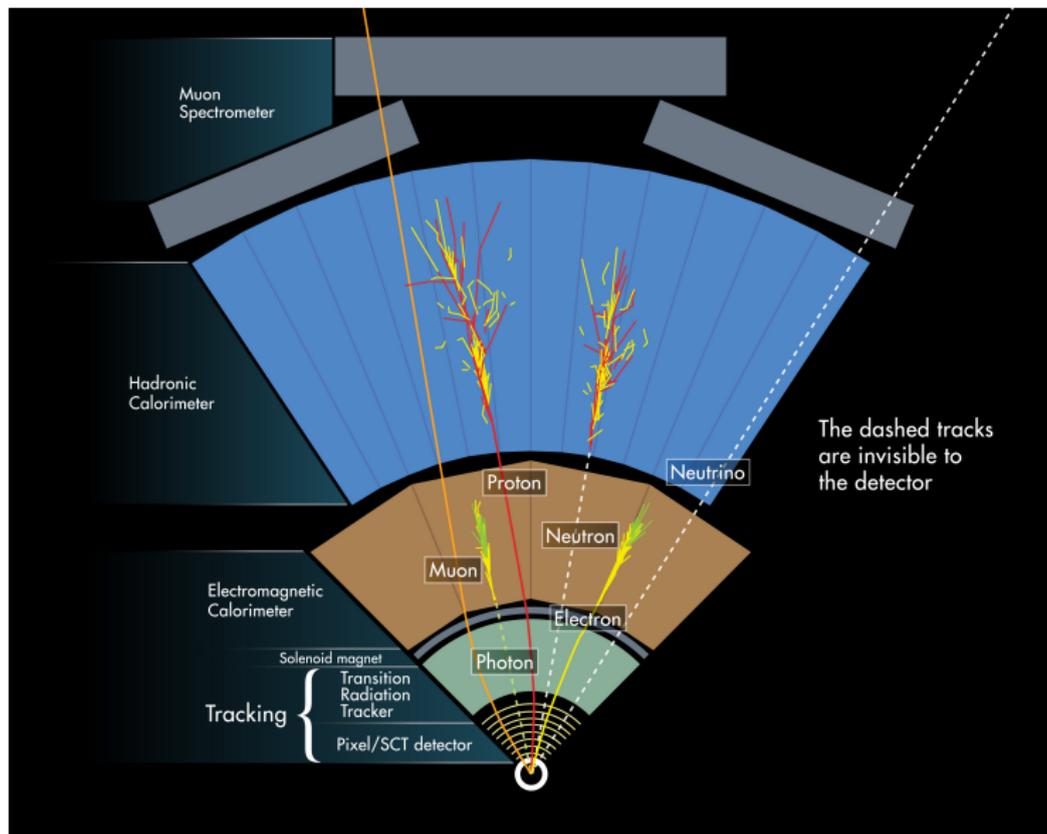


## Die Muonkammern

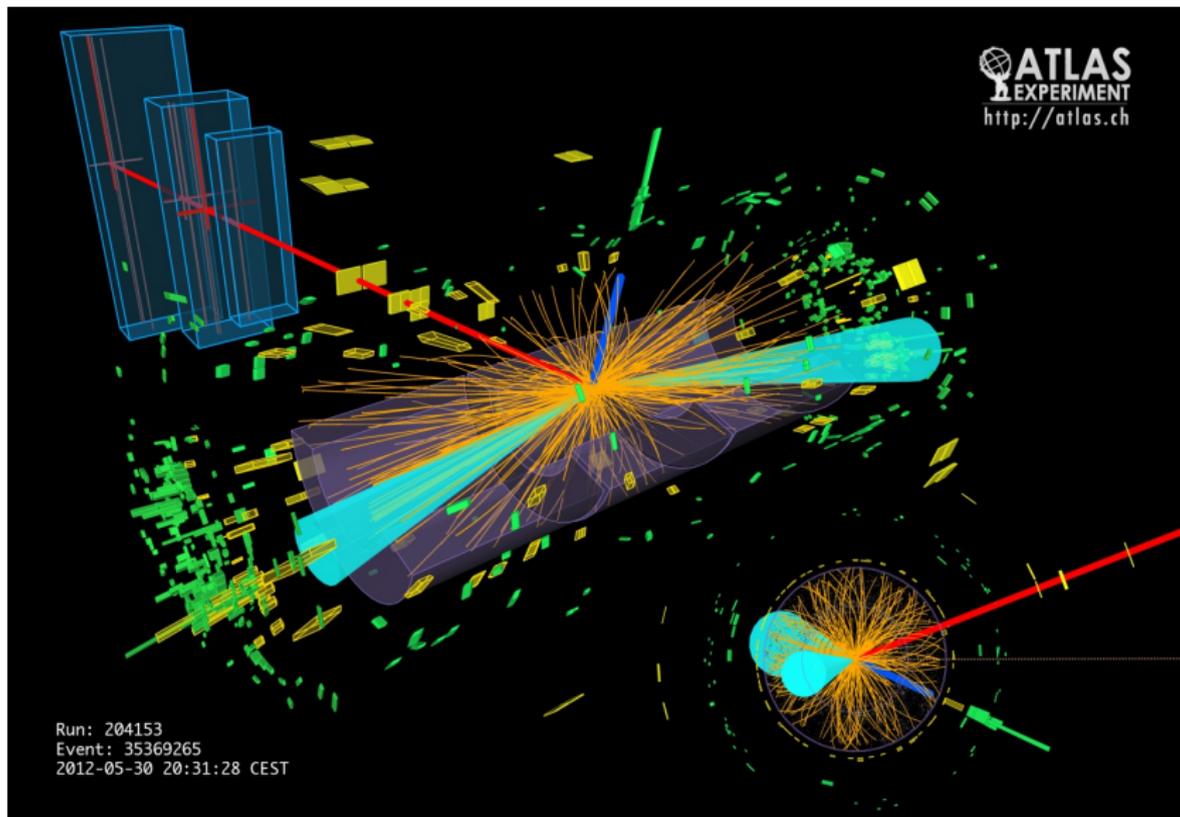
- Muonen sind schwer im Kalorimeter zu messen  
⇒ Eigene Detektorkomponente
- Impulse und Energien werden hier bestimmt
- (Auch) innerhalb eines Magnetfelds

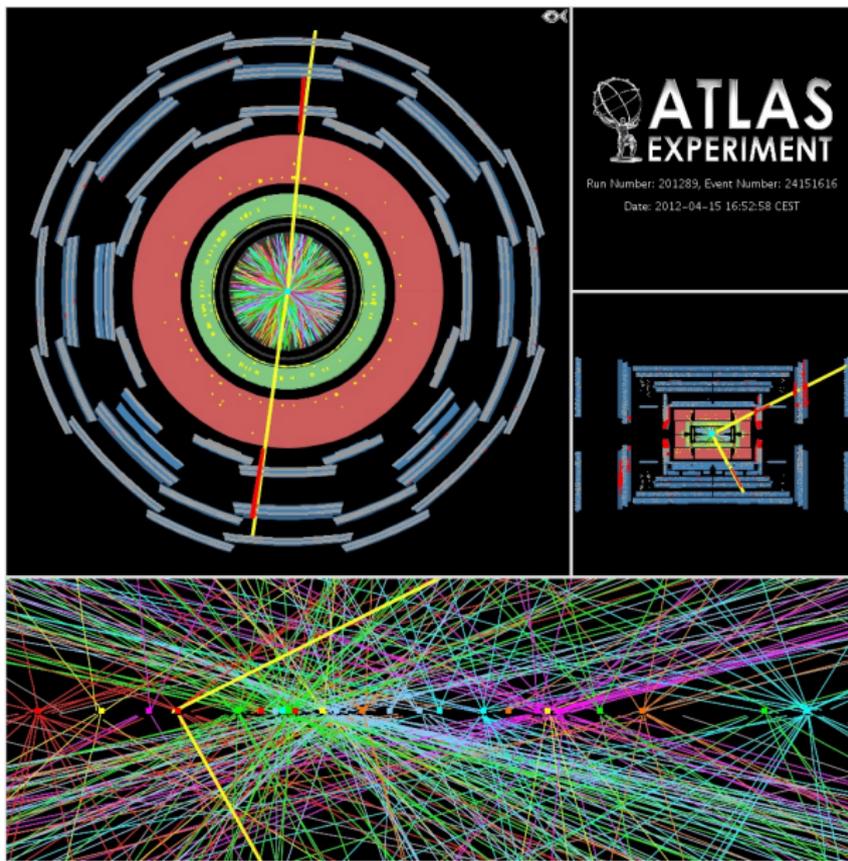


Wie sehen also verschiedene Teilchen im Detektor aus?



OK, wie sieht dann eine Proton-Proton Kollision aus?





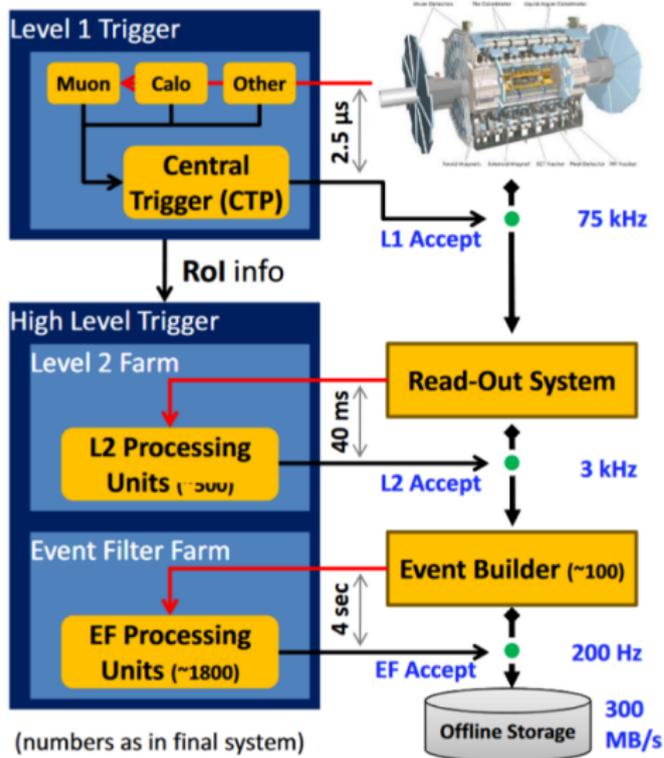
Es passieren mehrere Kollisionen gleichzeitig: "pile-up"

## Wieviele Daten werden am LHC produziert? Vergleich:

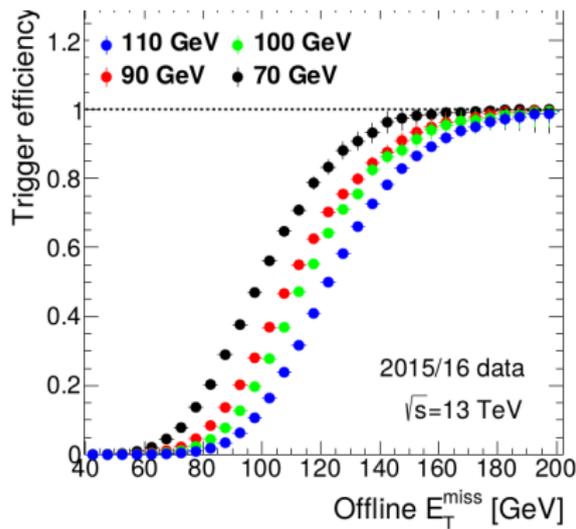
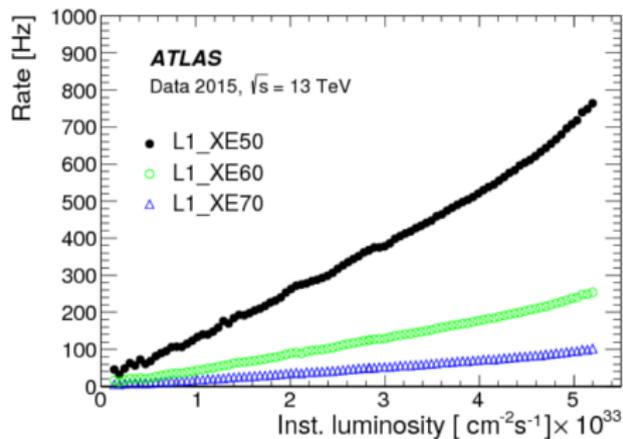
- Jährlich auf Facebook hochgeladen: **183 PB** (2013)
- Jährlich gesendete geschäftsemails: **2986 PB** (2013)
- ATLAS: 40 Mio. Ereignisse/Sekunde, 1.5 MB/Ereignis → 60 PB/Sekunde !?

## Daten reduzieren

- Viel Speicherplatz und CPU benötigt
- Alle Daten zu speichern und voll zu prozessieren können wir uns nicht leisten.
- Behalten nur wohlmöglich interessante Daten



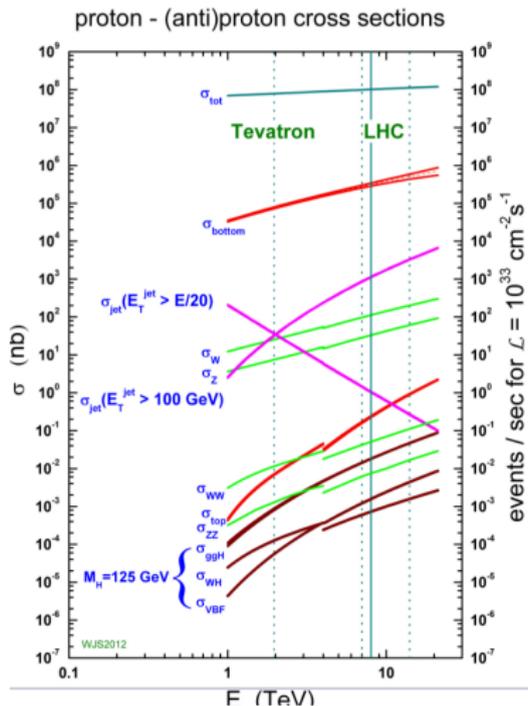
- Mehrstufiges Trigger-System
- Interaktionsrate:  $\approx 1 \text{ GHz}$
- BC Rate: **40 MHz**
- **Level 1 Trigger:**
  - Hardware-basiert
  - Lange Totzeit (Vermeidung von Überlappung der Auslesefenster)
- **HLT (High Level Trigger):**
  - Software
  - Teilweise Ereignis-Rekonstruktion
- Online-Reduktion: **99.9995%!**



- Rate abhängig von Trigger-Schwelle
- Kompensation durch Erhöhen der Schwelle oder Skalierung des Triggers
- Trigger sind für angegebene Schwelle nicht voll effizient

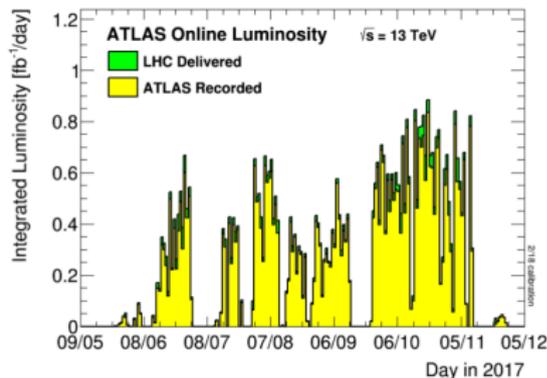
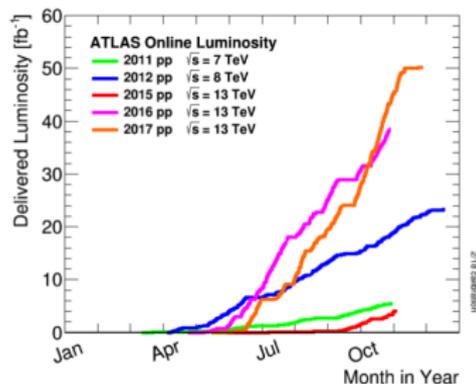
## Wirkungsquerschnitt (Cross-section)

- Misst die Wahrscheinlichkeit für ein bestimmten Prozess
- Einheit: barn ( $10^{-28} \text{ m}^2$ )
- Wirkungsquerschnitt  $\times$  Luminosität = #Events/Sekunde



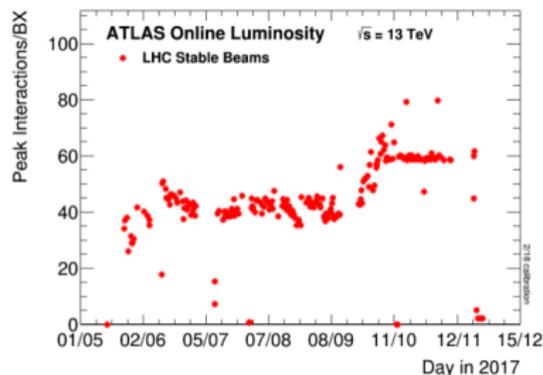
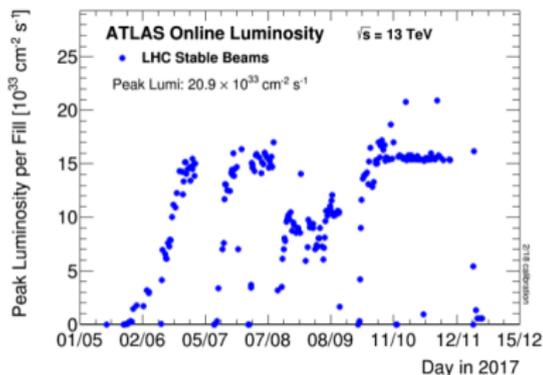
## Luminosität

- Misst die Wahrscheinlichkeit für ein bestimmten Prozess
- Einheit: barn ( $10^{-28} \text{ m}^2$ )
- Wirkungsquerschnitt  $\times$  Luminosität = #Events/Sekunde



- Luminosität  $\mathcal{L} = \frac{1}{\sigma} \frac{dN}{dt}$
- Aufgezeichnete Datenmenge kann in integrierter Luminosität angegeben werden

$$L_{\text{int}} = \int \mathcal{L} dt \quad , \quad \mathcal{L} = \frac{N_1 N_2 f N_b}{4\pi\sigma_x\sigma_y}$$



- Hohe Luminosität bedeutet oftmals eine hohe Anzahl simultaner Interaktionen

⇒ Pileup

- LHC Design-Luminosität:  
 $1.2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

