

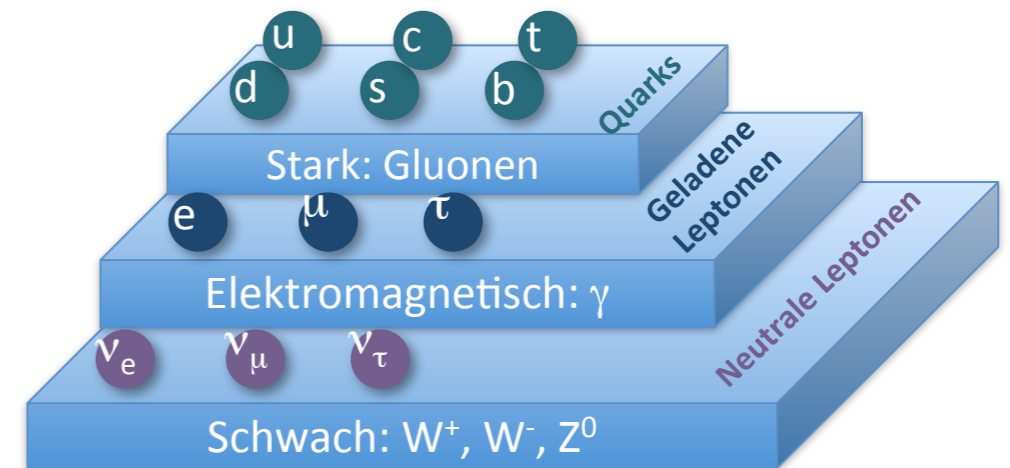
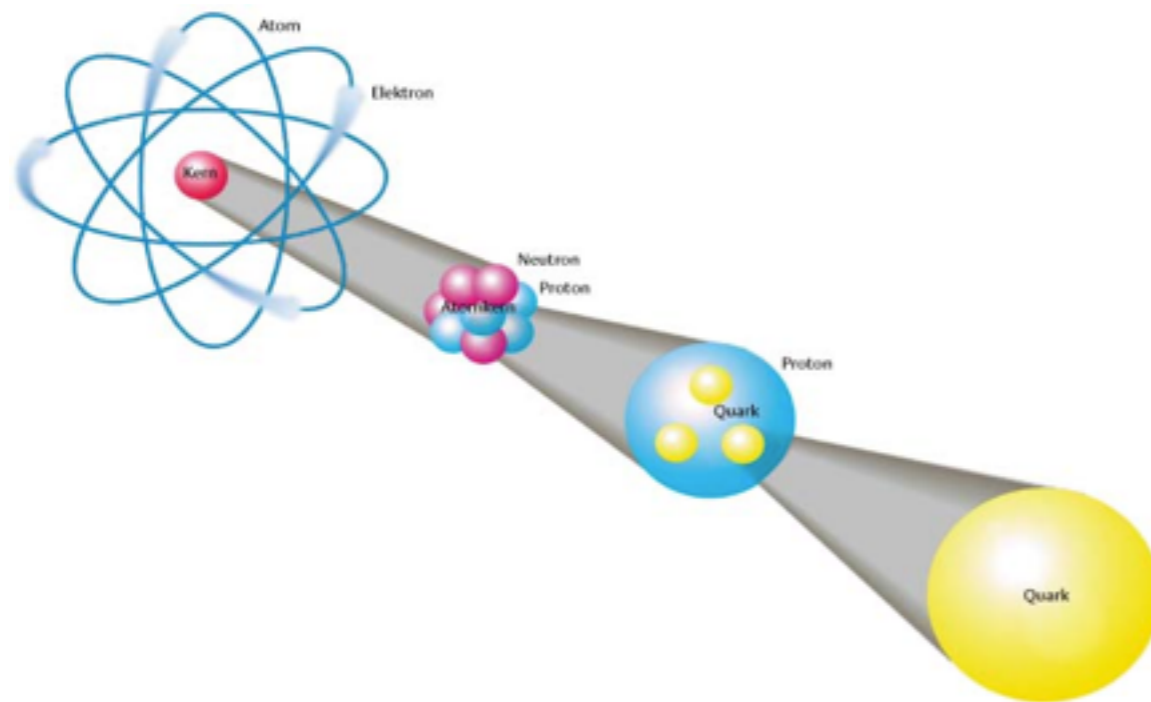


Beschleuniger und Detektoren

european masterclasses 2013

Wozu Teilchenbeschleuniger?

unser Ziel ist die Untersuchung der **Bausteine der Materie** und der **elementaren Wechselwirkungen (Kräfte)**



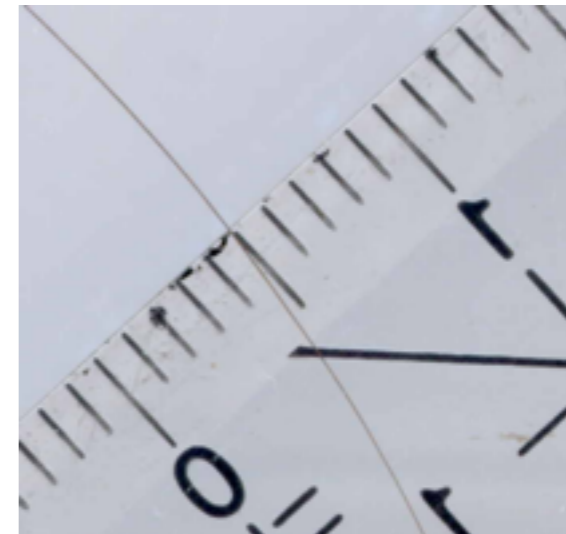
... nur wie?

Beobachtung kleiner Objekte

Auge:

Auflösung $\sim 0.1 \text{ mm}$

10^{-4} m



Lichtmikroskop:

$\sim 0.2 \mu\text{m}$

10^{-7} m



Elektronenmikroskop:

$\sim 1 \text{ nm}$

10^{-9} m

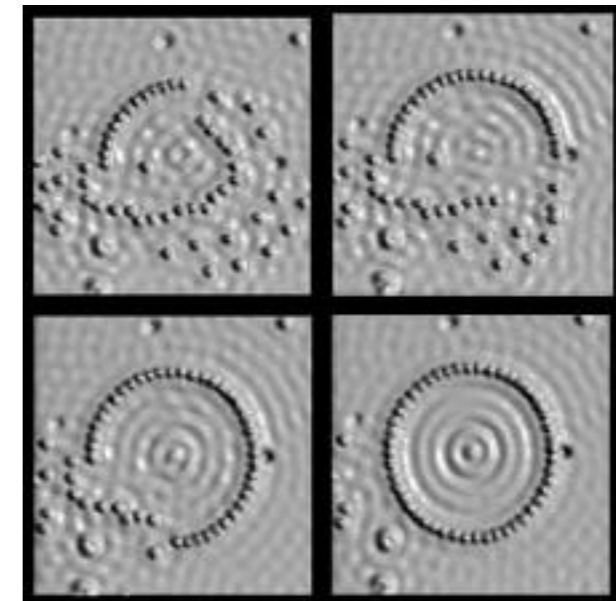


Beobachtung noch kleinerer Objekte

Rastertunnelmikroskop:

~ 0.01 nm (atomare Auflösung!)

10^{-11} m

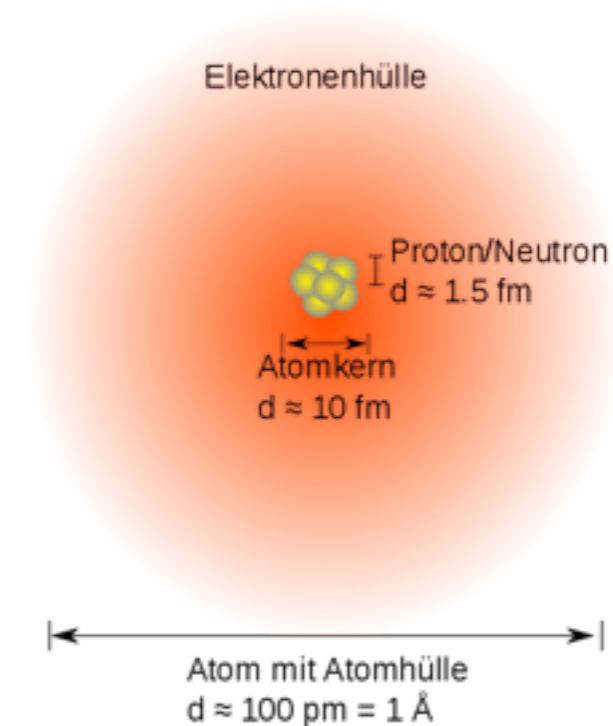


ABER:

der Durchmesser eines Atomkerns

ist $\sim 10^{-15}$ m

... was kann man tun?



Beobachtung kleinster Objekte

Das Auflösungsvermögen hängt von der Wellenlänge der verwendeten Strahlung ab! (vgl. Wasserwellen)

de Broglie:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

je höher die Energie, desto höher der Impuls

--> **kleinere Wellenlängen bei hohen Energien!**

7 TeV Protonen haben eine Wellenlänge von $\sim 10^{-18}$ m



um solche hohen Energien zu erreichen brauchen wir Beschleuniger!



Energien

Teilchenphysiker rechnen in “seltsamen” **Energieeinheiten**

Basiseinheit: 1 eV (Elektronvolt)

1 eV ist die Energie die eine Ladung von 1.602×10^{-19} C (Elektron oder Proton) beim Durchgang einer Potentialdifferenz von 1 Volt erhält

sichtbares Licht:	~ 1 eV
UV- Licht:	~ 10 eV
Röntgenstrahlung:	~ 10 000 eV
γ -Strahlung:	~ 1 000 000 eV
m_{Proton}:	~ 1 000 000 000 eV
$m_{\text{Z-Boson}}$:	~ 100 000 000 000 eV
LHC:	~ 10 000 000 000 000 eV
10 g Schokolade:	~ 1 000 000 000 000 000 000 000 000 eV

Energien

Teilchenphysiker rechnen in “seltsamen” **Energieeinheiten**

Basiseinheit: 1 eV (Elektronvolt)

1 eV ist die Energie die eine Ladung von 1.602×10^{-19} C (Elektron oder Proton) beim Durchgang einer Potentialdifferenz von 1 Volt erhält

sichtbares Licht:	~ 1 eV
UV- Licht:	~ 10 eV
Röntgenstrahlung:	~ 10 000 eV
γ -Strahlung:	~ 1 000 000 eV
m_{Proton}:	~ 1 000 000 000 eV
$m_{\text{Z-Boson}}$:	~ 100 000 000 000 eV
LHC:	~ 10 000 000 000 000 eV
10 g Schokolade:	~ 1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 eV

**kein Scherz,
aber wie kann das sein?**



Prinzip von Teilchenbeschleunigern

In Beschleunigern werden nun **sehr hochenergetische Teilchen aufeinandergeschossen!**

--> es ist möglich, immer kleinere Strukturen & Objekte aufzulösen!

Wenn die Energien gross genug sind, geschehen wundersame Dinge!

--> es **können neue, schwerere Teilchen erzeugt** werden!

Einstein's berühmte Formel:

$$E = mc^2$$

Prinzip von Teilchenbeschleunigern

In Beschleunigern werden nun **sehr hochenergetische Teilchen aufeinandergeschossen!**

--> es ist möglich, immer kleinere Strukturen & Objekte aufzulösen!

Wenn die Energien gross genug sind, geschehen wundersame Dinge!



--> es **können neue, schwerere Teilchen erzeugt** werden!

Einstein's berühmte Formel:

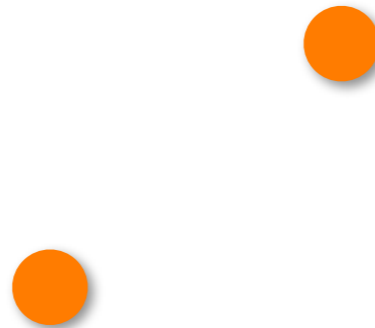
$$E = mc^2$$

Prinzip von Teilchenbeschleunigern

In Beschleunigern werden nun **sehr hochenergetische Teilchen aufeinandergeschossen!**

--> es ist möglich, immer kleinere Strukturen & Objekte aufzulösen!

Wenn die Energien gross genug sind, geschehen wundersame Dinge!



--> es **können neue, schwerere Teilchen erzeugt** werden!

Einstein's berühmte Formel:

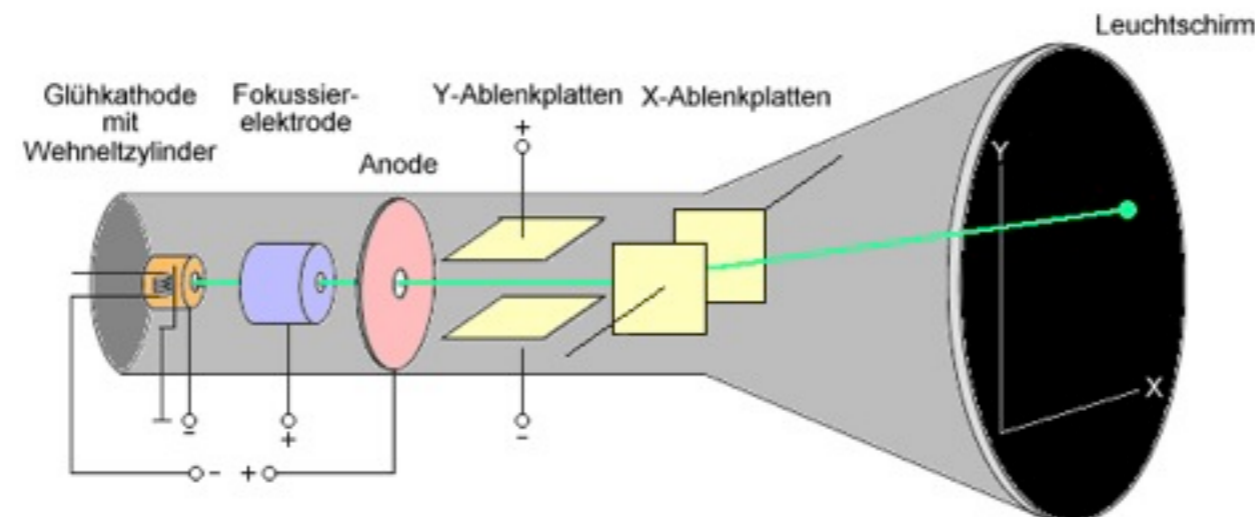
$$E = mc^2$$

Einfacher Teilchenbeschleuniger

Gewöhnlichster Teilchenbeschleuniger:

alte **Fernsehröhre**

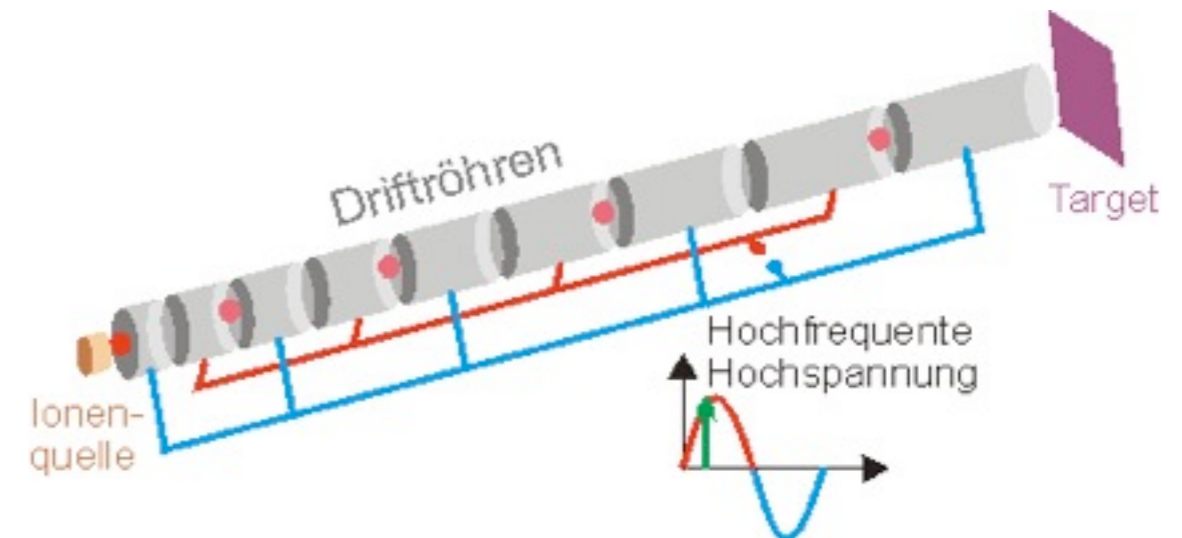
- Erzeugung von **freien Elektronen** in Glühkathode
- **Beschleunigung** durch elektrisches Feld
- Ablenkung durch **magnetisches und/oder elektrisches Feld**



Arten von Beschleunigern

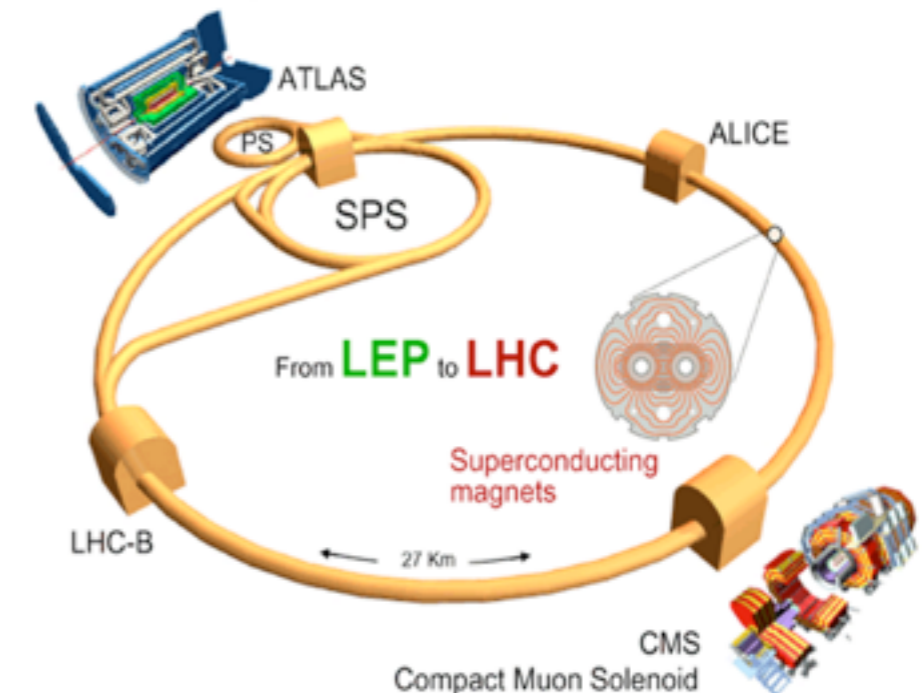
Linearbeschleuniger

- + keine Verluste durch Abstrahlung
 - > **e^+e^- Beschleuniger** gut möglich
- kurze Beschleunigungsstrecken
- “relativ” **kleine Energien**
- Teilchen stehen nur 1x zur Kollision
zur Verfügung



Kreisbeschleuniger

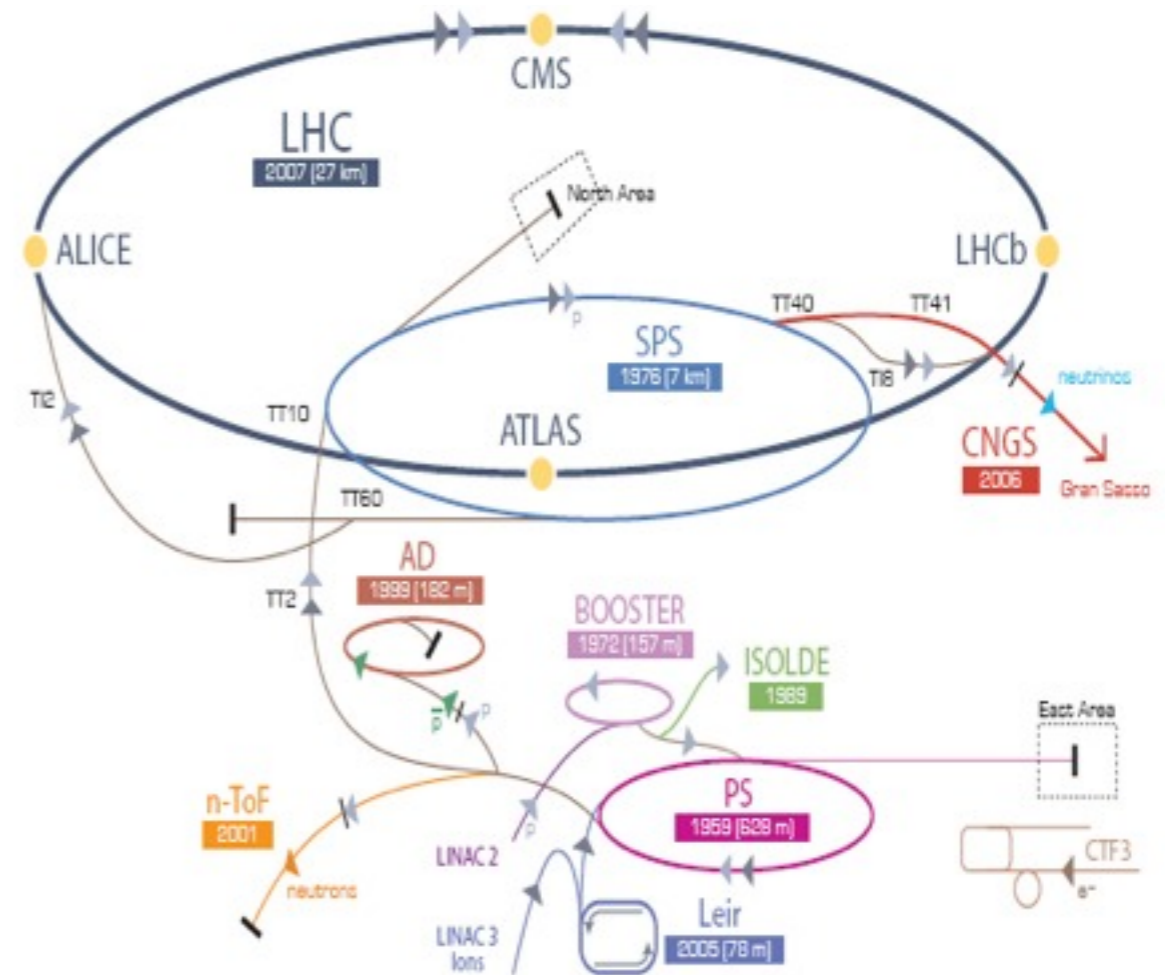
- + Teilchen drehen sich im Kreis
 - > man kann sie **bei jeder Umdrehung**
neu **beschleunigen + kollidieren**
- Abstrahlung bei Umlenkung auf Kreisbahn
 - > **Synchrotronstrahlung**
- viele Komponenten nötig (Magneten)



LHC - Die grösste Maschine der Welt

Kreisbeschleuniger

- > riesiger Beschleunigerring am CERN nahe Genf
- > **Proton-Proton** Kollisionen
- > ca. **27 km langer** Tunnel
- > **~100 m** unter der Erdoberfläche
- > **4 (sehr) grosse Experimente**
mehr dazu später



sehen wir uns anhand des LHC einige Dinge genauer an

Aufbau von Beschleunigern

Was benötigt man zur Beschleunigung von Teilchen?

1) Teilchen

--> z.B. **Protonen** (LHC) oder **Elektronen** (LEP)

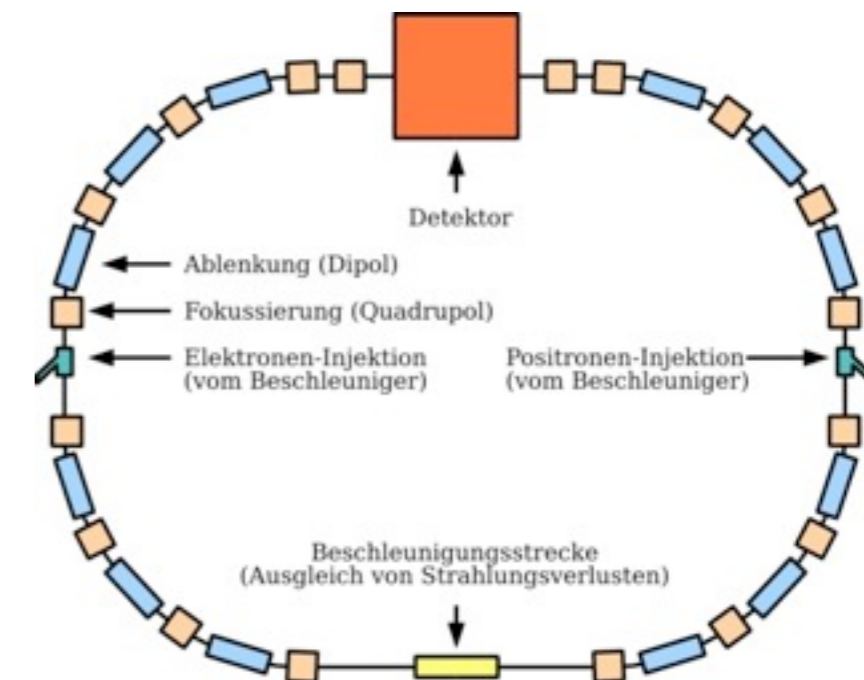
2) Beschleunigungsstrecken

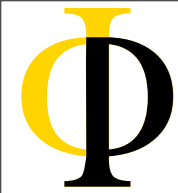
--> geladene Teilchen werden in **elektrischen Feldern** beschleunigt

3) Magneten zum Ablenken bei Kreisbeschleunigern

--> Teilchen müssen abgelenkt werden um auf einer Kreisbahn zu bleiben

So einfach?





Teilchenquellen

Vor allem 2 Quellen wichtig:

Elektronen

--> aus einem Metall herausheizen oder
herausreissen

Protonen

--> Wasserstoffkerne
am CERN gibt es eine Flasche mit Wasserstoff
aus der die Beschleuniger "gefüttert" werden!

Komplizierter wird es mit Positronen und Antiprotonen, diese werden durch z.B.
Kollisionen erzeugt!

Teilchen-”strahlen”

Der **LHC** wird mit **zwei gegenläufigen Strahlen** gefüllt

Jeder Strahl besteht aus bis zu **2808 Teilchenpaketen!**

Jedes dieser Pakete ist mit ca. **10^{11}** (100 Milliarden) **Protonen** gefüllt!

Jedes Paket zirkuliert den Ring ca. **11 000 mal pro Sekunde!**

Alle 25 ns (!) treffen sich 2 Pakete bei den Experimenten!

--> pro “Bunch-crossing” ca. 15-20 einzelne p-p Kollisionen

Die gesamte gespeicherte Energie in den Strahlen ist ca. **1000 MJ!**

≈ kinetische Energie eines TGV (385 t) mit 180 km/h

≈ starker Blitzeinschlag

Teilchen-”strahlen”

Der **LHC** wird mit **zwei gegenläufigen Strahlen** gefüllt

Jeder Strahl besteht aus bis zu **2808 Teilchenpaketen!**

Jedes dieser Pakete ist mit ca. **10^{11}** (100 Milliarden) **Protonen** gefüllt!

Jedes Paket zirkuliert den Ring ca. **11 000 mal pro Sekunde!**

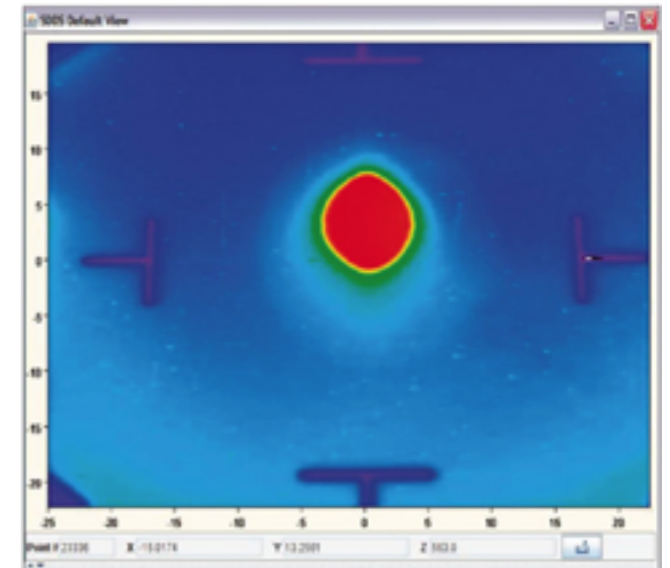
Alle 25 ns (!) treffen sich 2 Pakete bei den Experimenten!

--> pro “Bunch-crossing” ca. 15-20 einzelne p-p Kollisionen

Die gesamte gespeicherte Energie in den Strahlen ist ca. **1000 MJ!**

≈ kinetische Energie eines TGV (385 t) mit 180 km/h

≈ starker Blitzeinschlag



Beschleunigungsstrecken

Geladene Teilchen werden **in elektrischen Feldern beschleunigt**

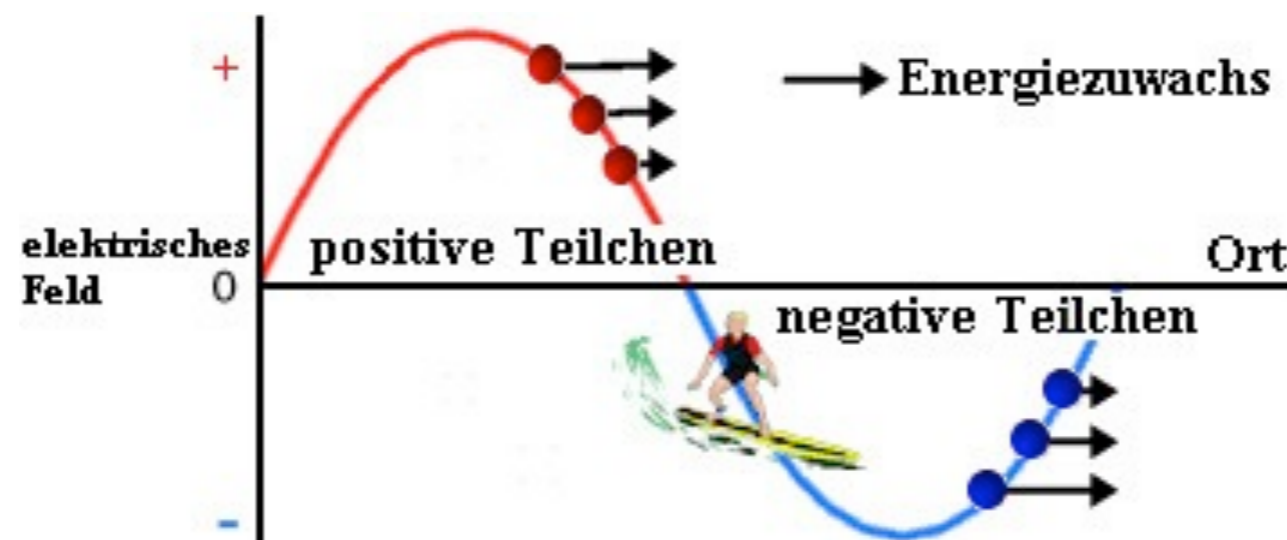
--> **Gleichspannung:**

- Generatoren können bis zu einige **100 kV** erreichen!

--> grössere Energiegewinne durch **Wechselspannung:**

- bis zu **35 MV pro Meter**

- mehrere Platten, sodass die Teilchen
immer in eine Richtung beschleunigt
werden



Beschleunigungsstrecken

Geladene Teilchen werden **in elektrischen Feldern beschleunigt**

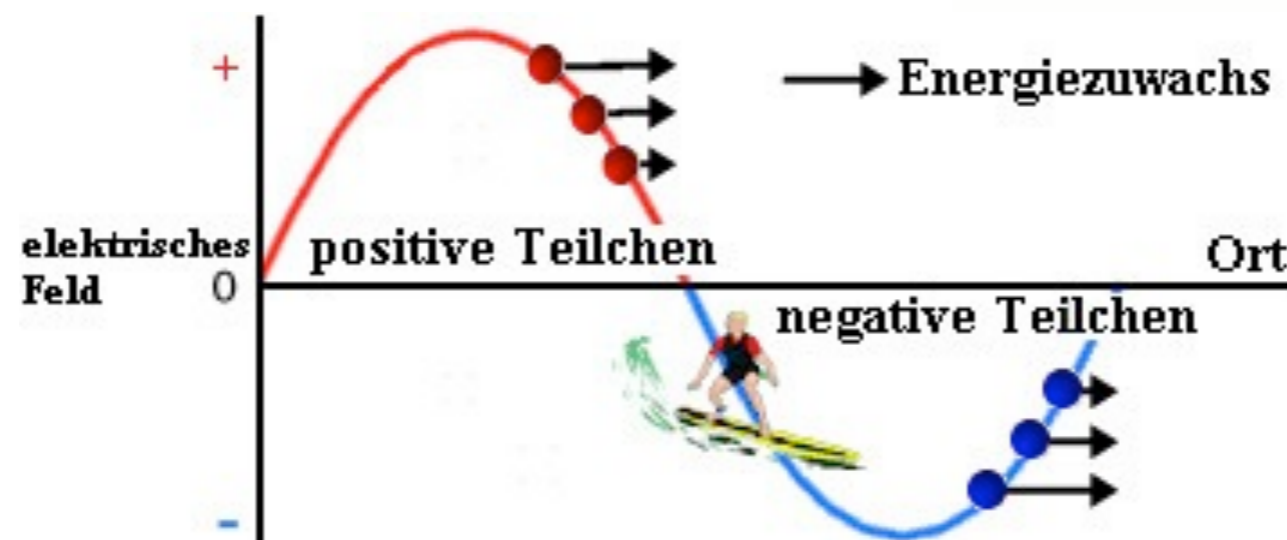
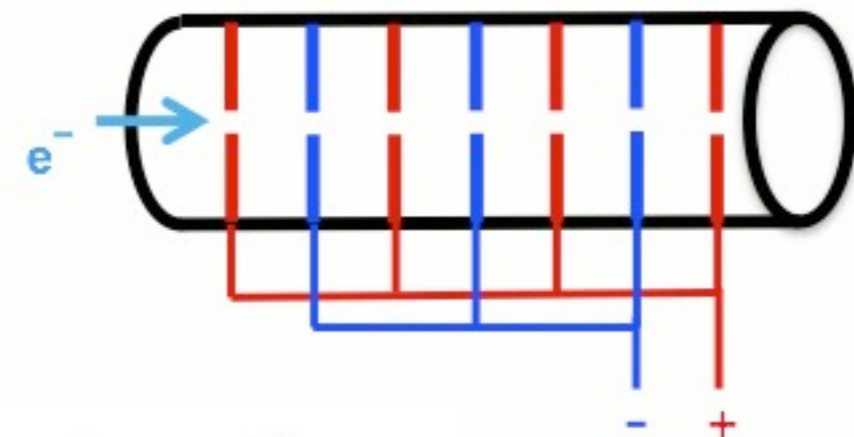
--> **Gleichspannung:**

- Generatoren können bis zu einige **100 kV** erreichen!

--> grössere Energiegewinne durch **Wechselspannung:**

- bis zu **35 MV pro Meter**

- mehrere Platten, sodass die Teilchen
immer in eine Richtung beschleunigt
werden



Synchrotronstrahlung

Wenn geladene Teilchen auf eine Kreisbahn “gezwungen” werden, strahlen sie **Synchrotronstrahlung** ab

--> diese Verluste sind **proportional zu m^{-4}** !

--> **je kleiner die Masse, um so grösser die Abstrahlung**

Der Verlust durch Synchrotronstrahlung ist **10^{13} (!) mal geringer für Protonen als für Elektronen** - bei selber Energie der Teilchen

--> deshalb **Protonen** und nicht Elektronen **im LHC**

Dieses Problem gibt es bei linearen Beschleuniger nicht!

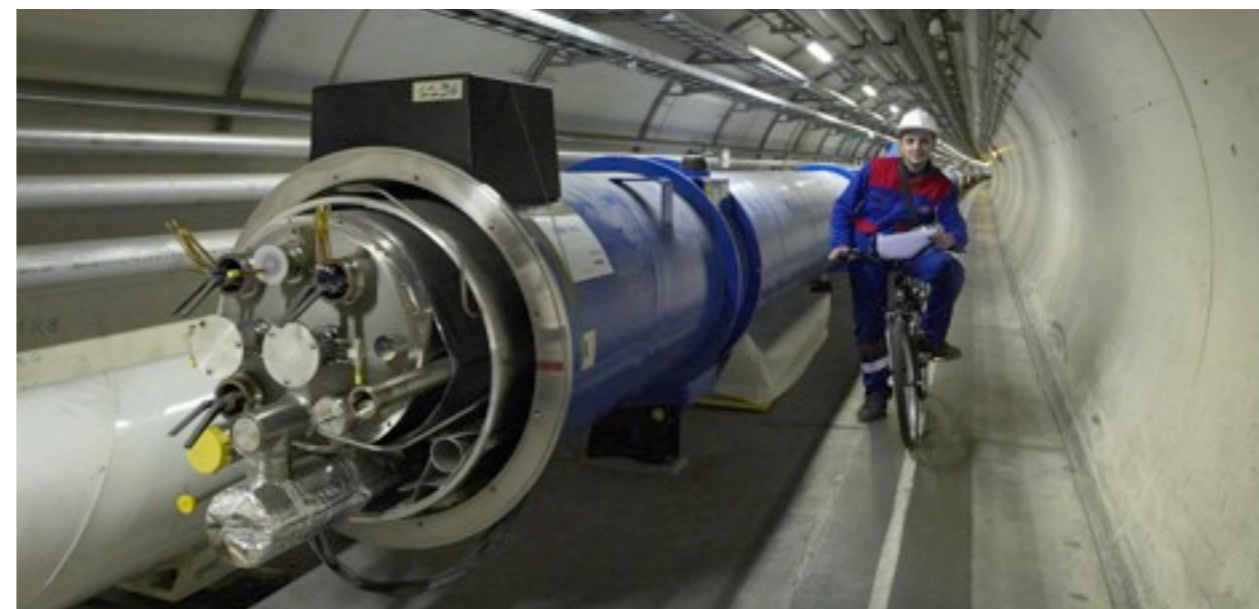
Ablenkmagneten

Ablenkmagneten: klingt einfach, ist es aber nicht!

Die Magneten des LHC:

- **15 m** lang
- **30 t** schwer
- **supraleitend** (~100 t flüssiges Helium bei $T = 1.9 \text{ K}$)
--> **-271.25 °C** !
- Magnetfeld bis zu **8.33 T**
- **11 GJ (!!)** gespeicherte Energie

und es gibt 1232 Stück davon!!



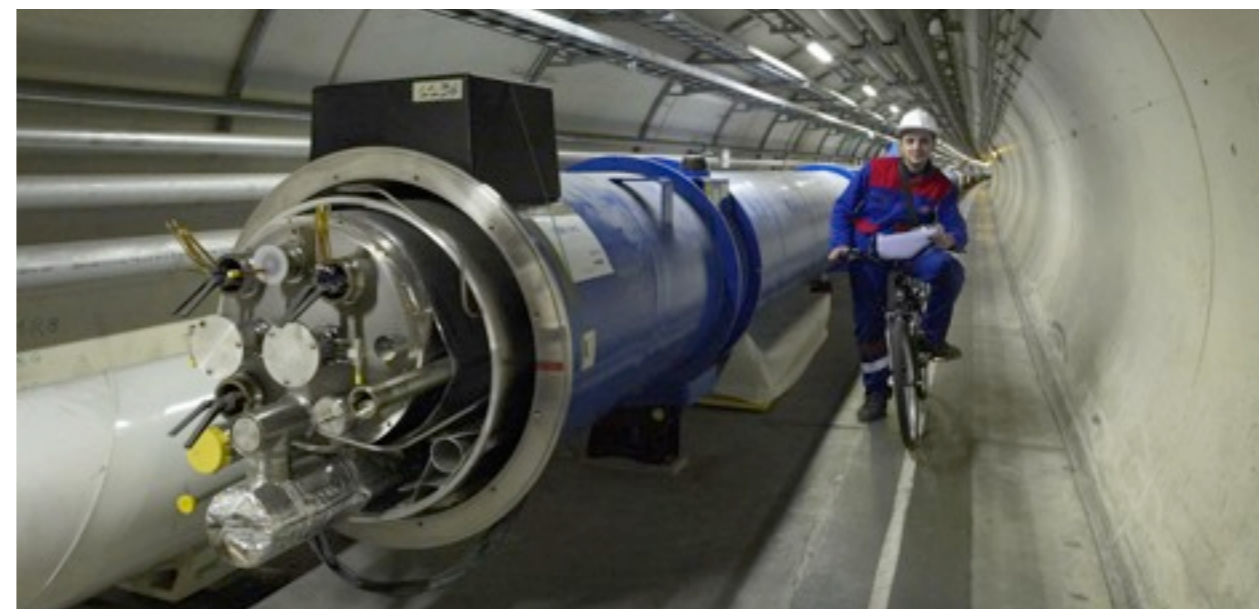
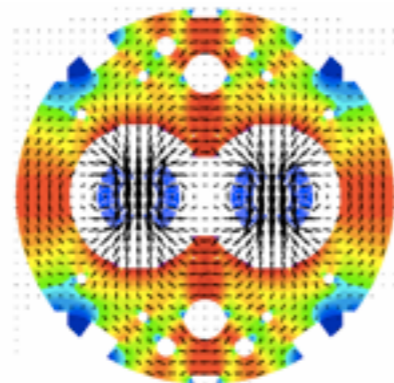
Ablenkmagneten

Ablenkmagneten: klingt einfach, ist es aber nicht!

Die Magneten des LHC:

- **15 m** lang
- **30 t** schwer
- **supraleitend** (~100 t flüssiges Helium bei $T = 1.9 \text{ K}$)
--> **-271.25 °C** !
- Magnetfeld bis zu **8.33 T**
- **11 GJ (!!)** gespeicherte Energie

und es gibt **1232 Stück** davon!!



Betrieb

Erster Betrieb **10. September 2008!**

Grosser Tag für die Teilchenphysik...



...Liveübertragung BBC etc.

“Zwischenfall” 9 Tage später

Ursache:

ein kleiner elektrischer Widerstand ($\sim 200 \text{ n}\Omega$)

Wirkung:

--> Hitzeentwicklung durch riesigen Strom

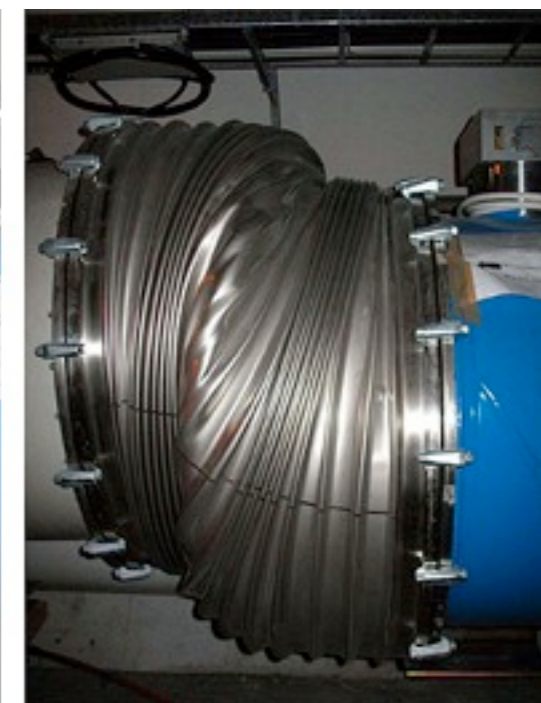
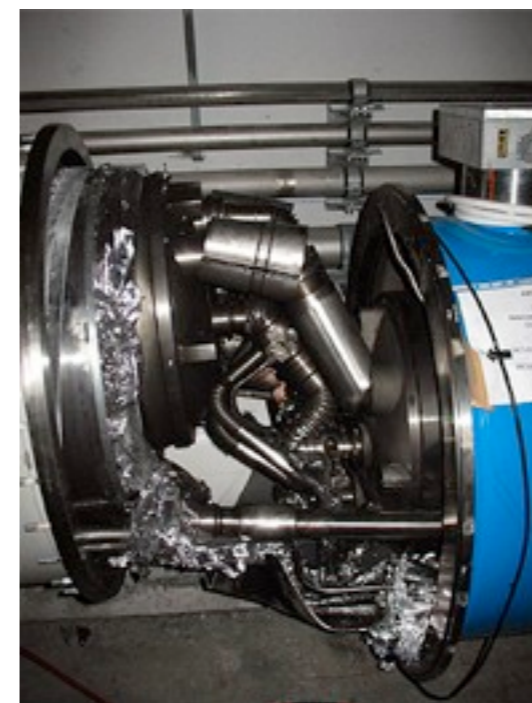
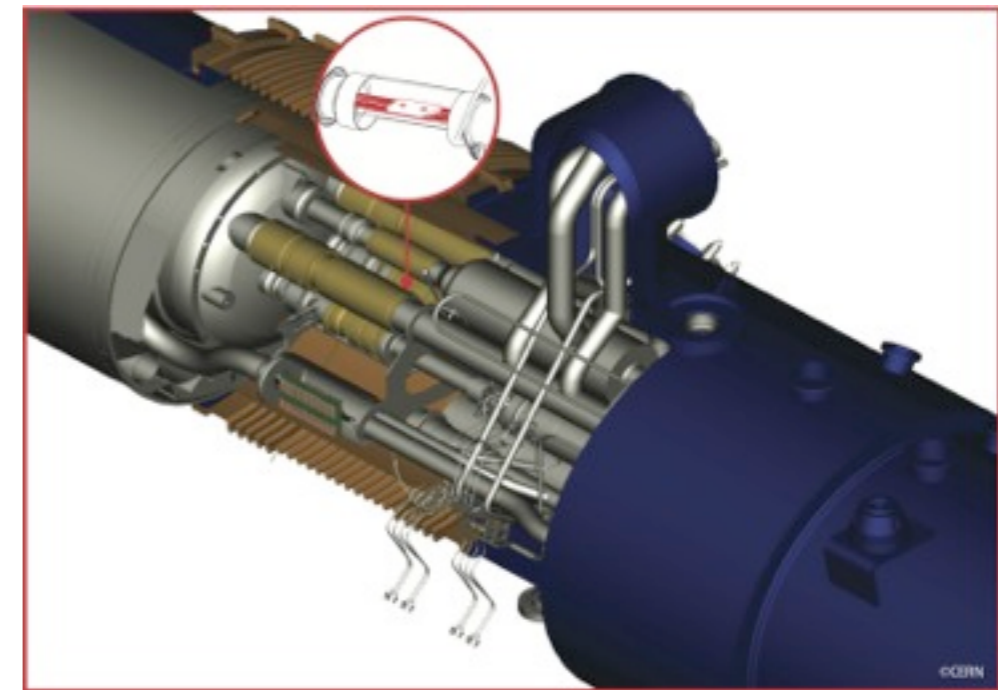
--> Verdampfen des flüssigen Heliums

--> Expansion (**Faktor 750!!**)

--> mechanische Schäden

Neustart erst ca. ein Jahr später - 2009

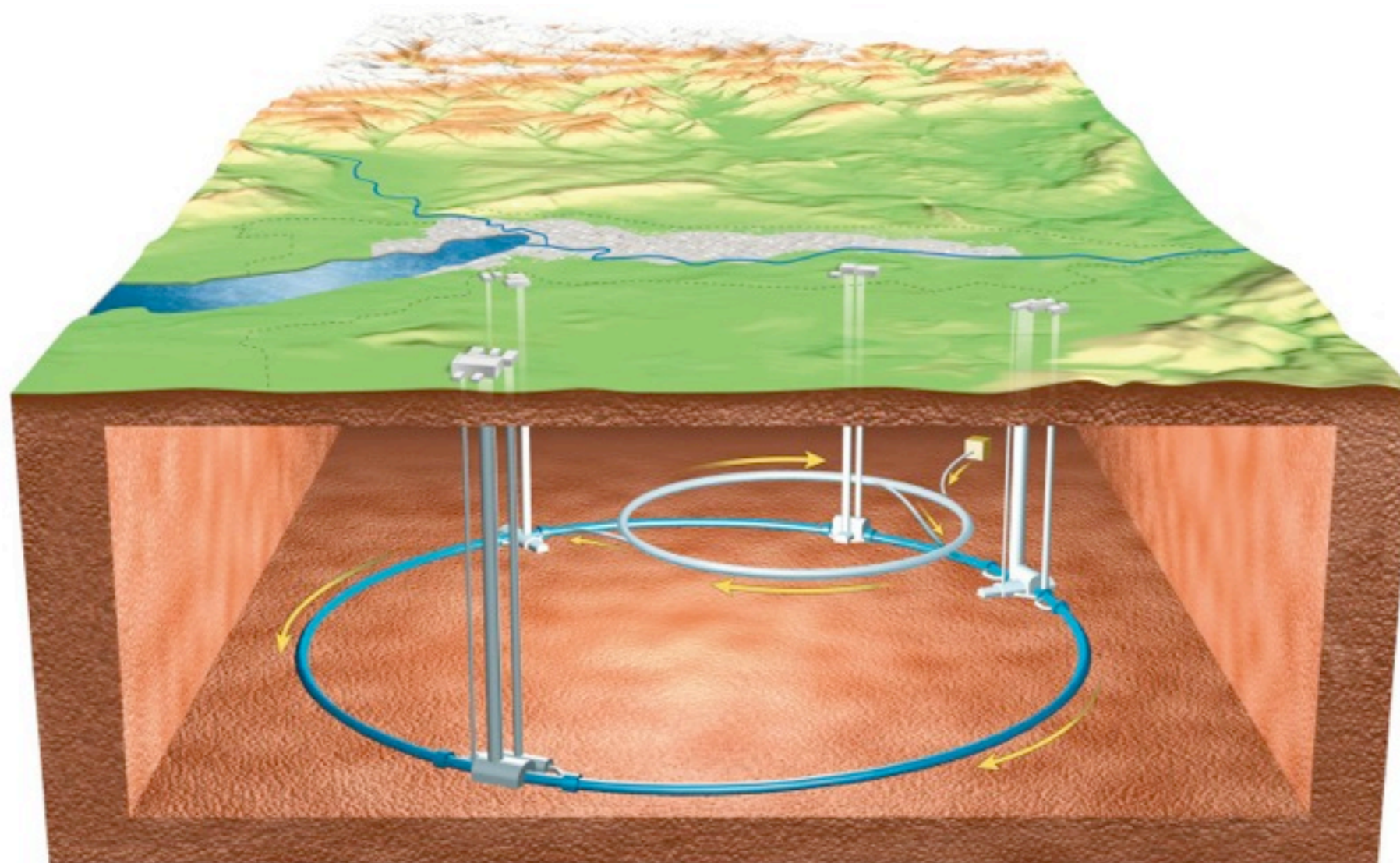
**seither jedoch relativ Problemfrei für
cirka 3 Jahre gelaufen!**



Detektoren

Um die vielen Teilchenkollisionen aufzuzeichnen brauchen wir riesige Detektoren

Am LHC gibt es derer 4 (+2 kleine)

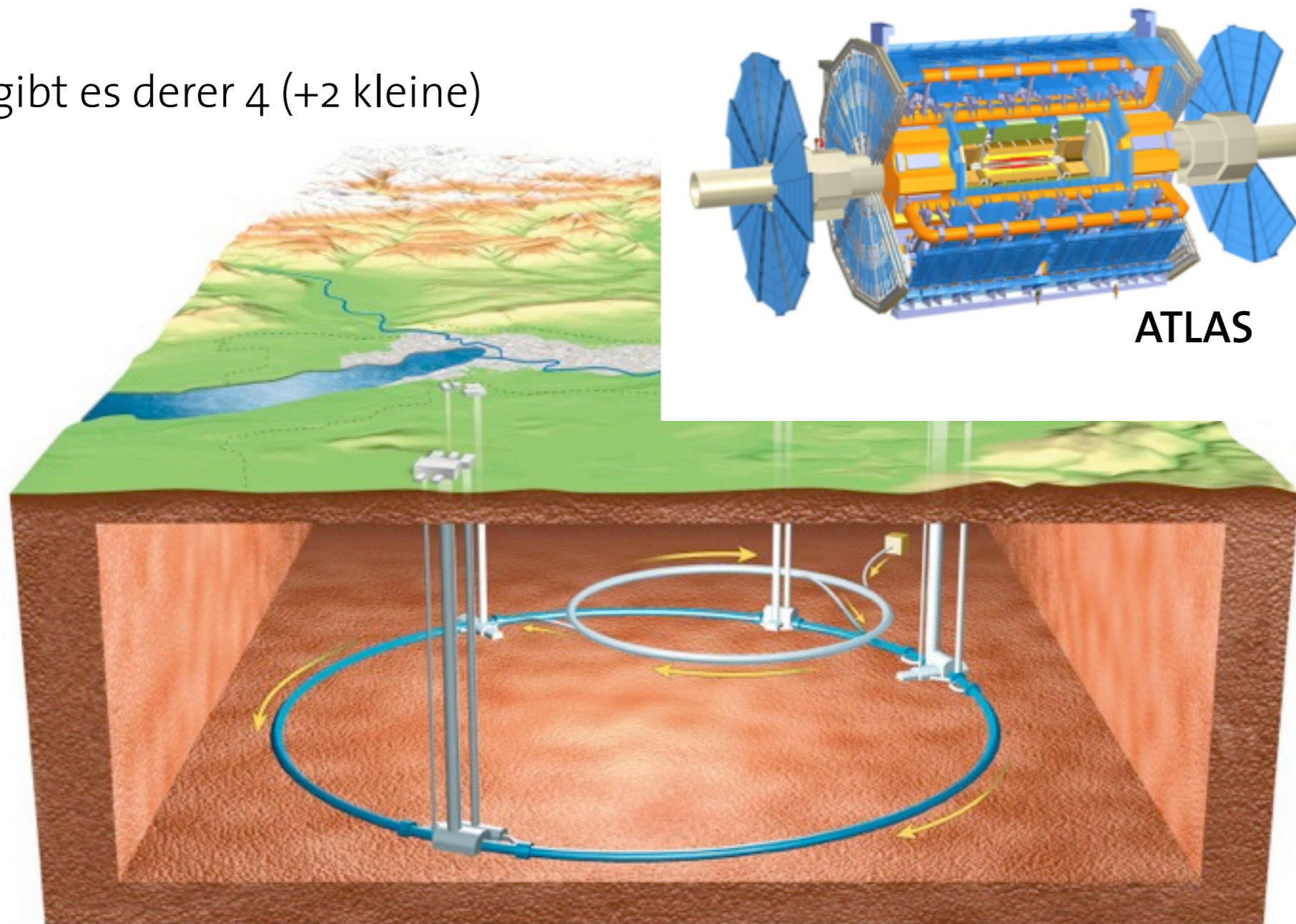


Detektoren

Um die vielen Teilchenkollisionen aufzuzeichnen

Detektoren

Am LHC gibt es derzeit 4 (+2 kleine)

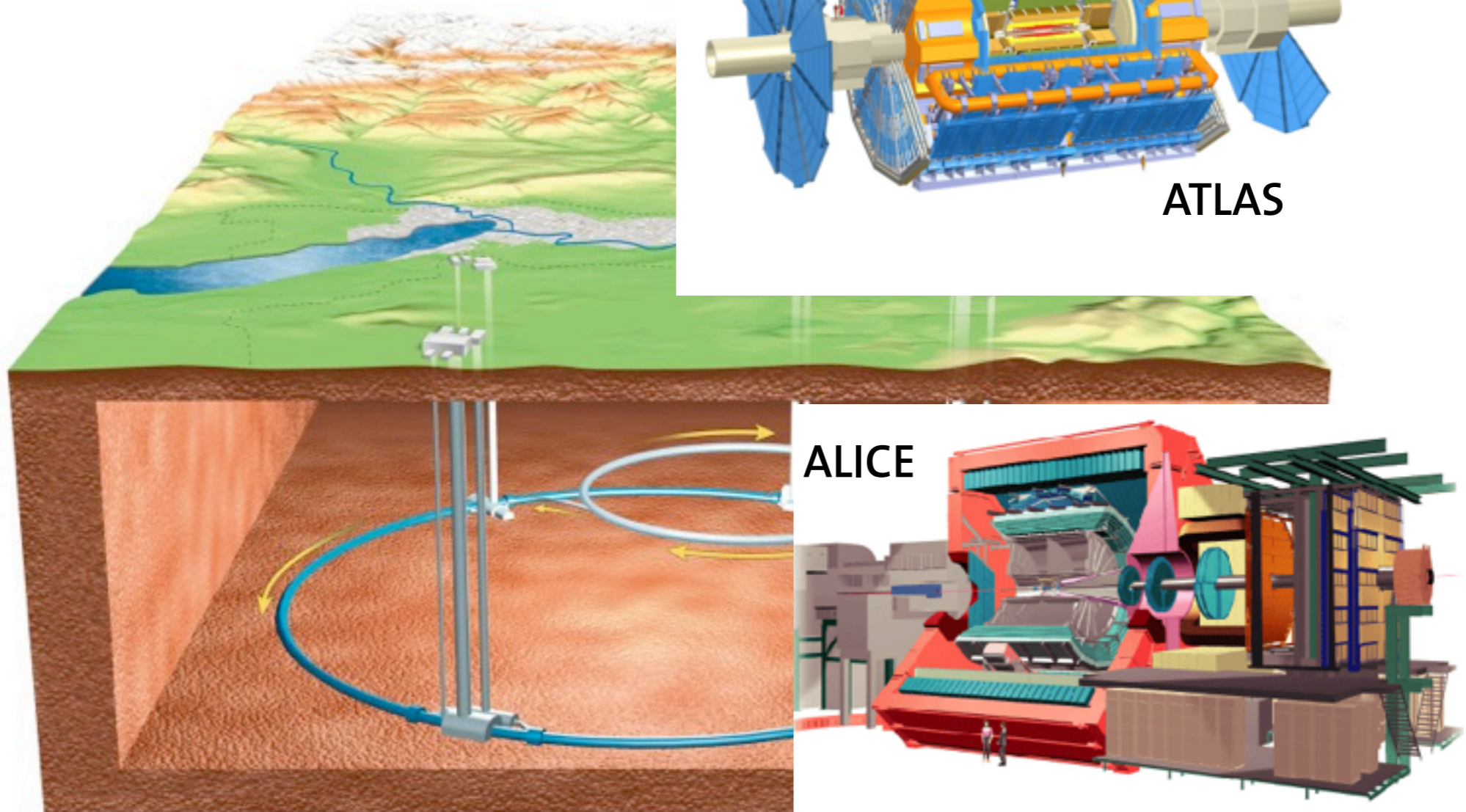


Detektoren

Um die vielen Teilchenkollisionen aufzuzeichnen

Detektoren

Am LHC gibt es derzeit 4 (+2 kleine)

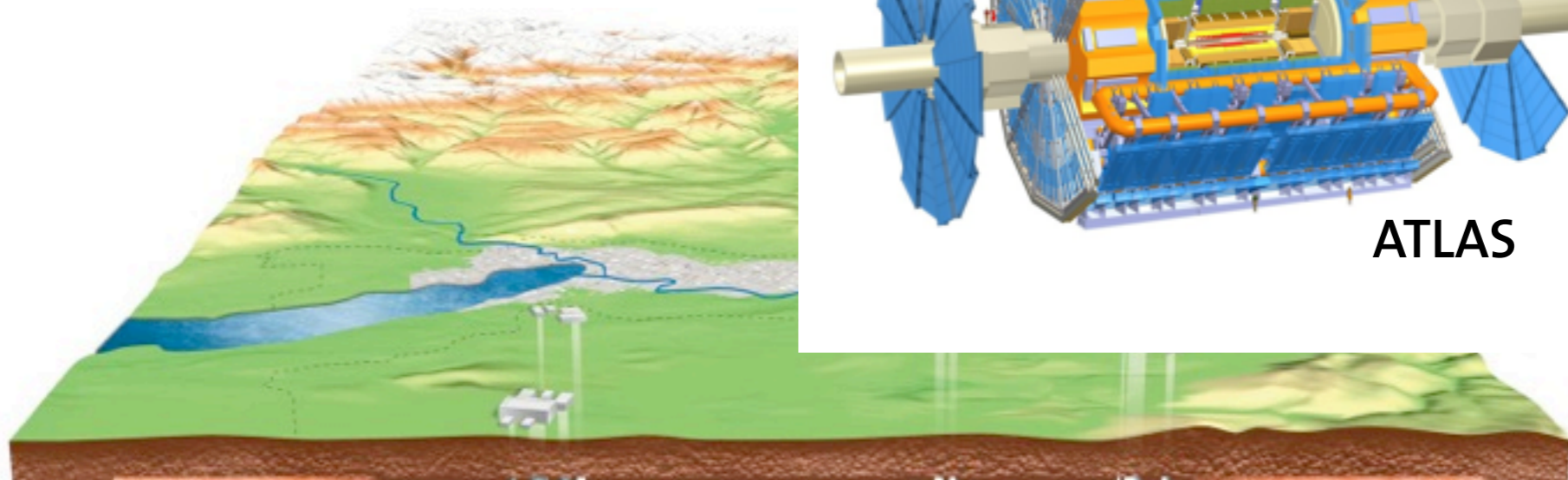


Detektoren

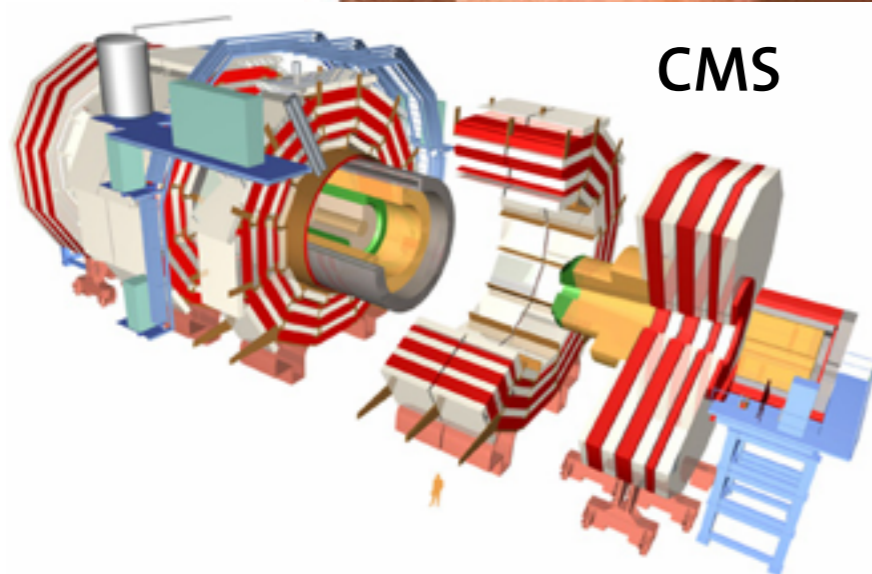
Um die vielen Teilchenkollisionen aufzuzeichnen

Detektoren

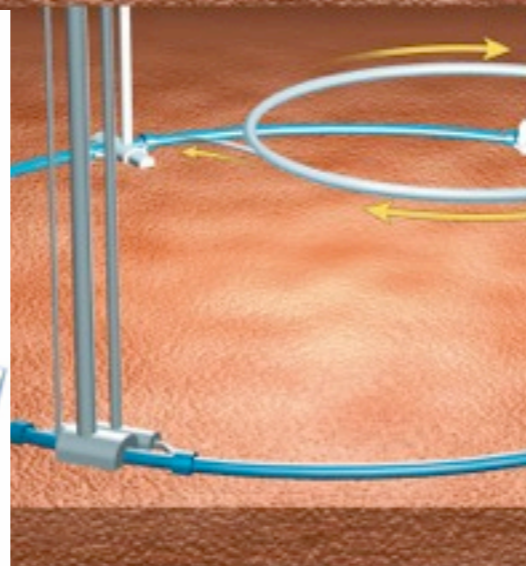
Am LHC gibt es derzeit 4 (+2 kleine)



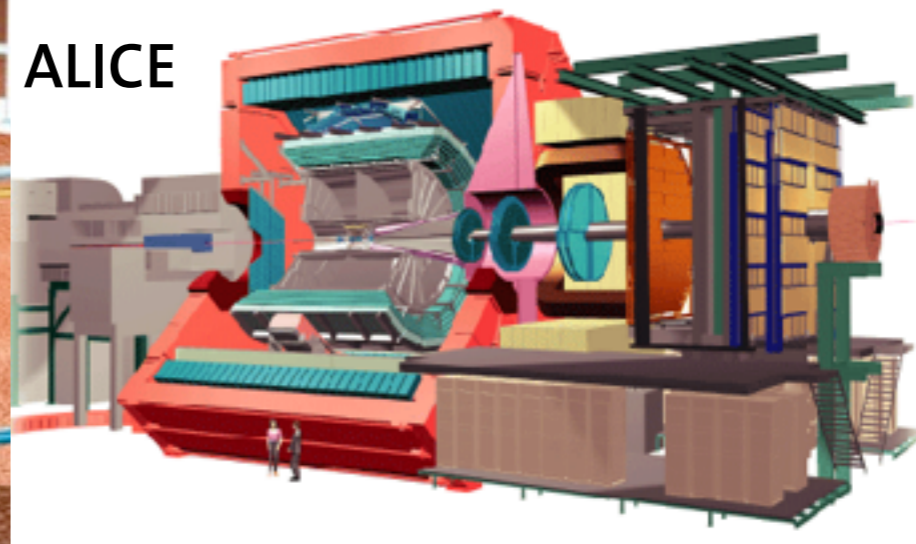
ATLAS



CMS



ALICE

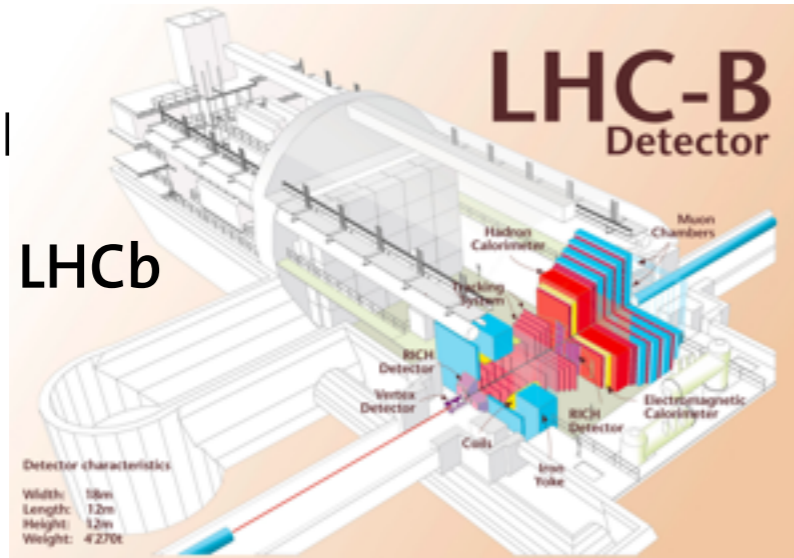


Detektoren

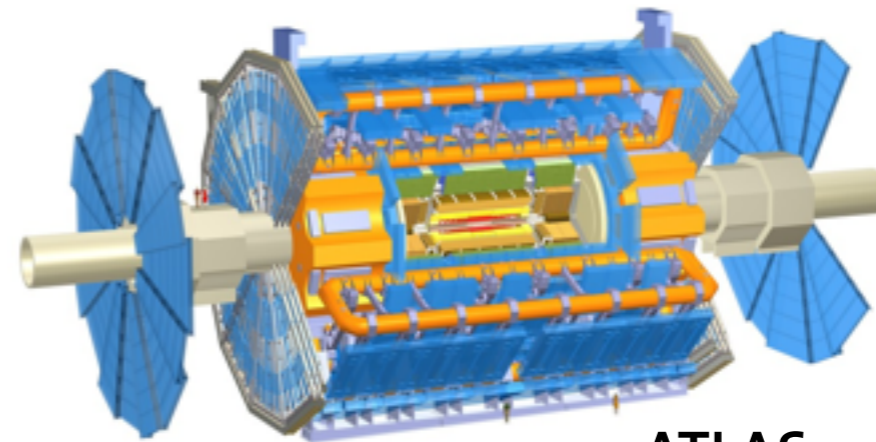
Um die vielen Teilchenkollisionen aufzuzeic

oren

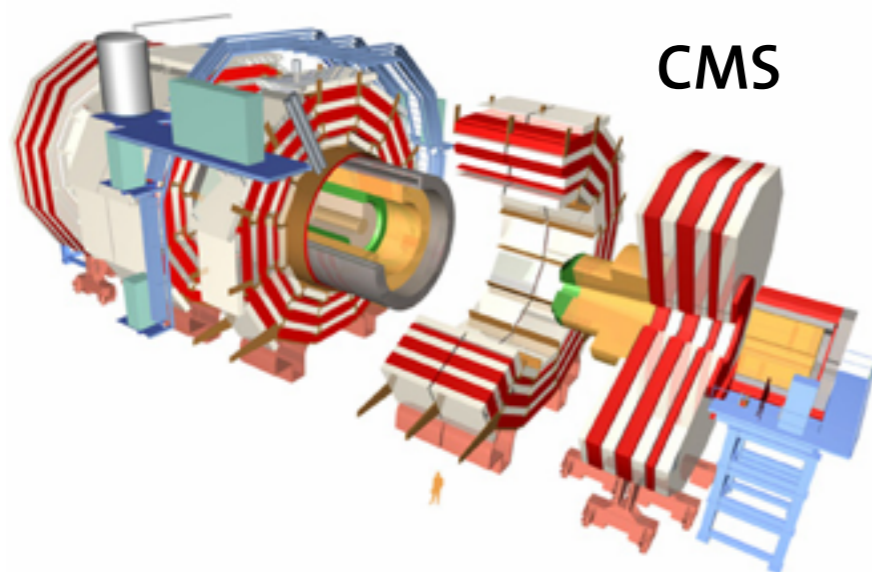
Am LHC



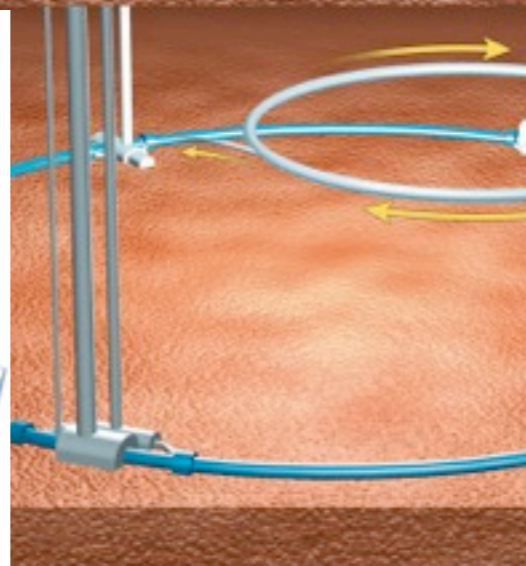
LHCb



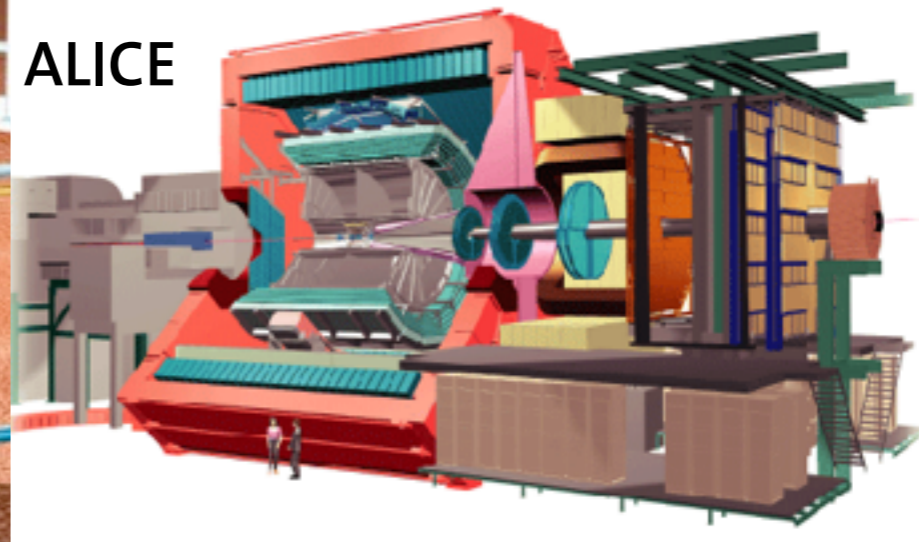
ATLAS



CMS



ALICE



Messungen

Um auf alle Eigenschaften eines Teilchens rückschliessen zu können, muss man folgende Grössen kennen:

Impuls (Vektorielle Grösse)

Energie

Daraus kann man auf die **Masse**, den **Typ**, die **Ladung** und die **Geschwindigkeit** schliessen!

Aufbau eines Teilchendetektors

Mit sehr wenigen Ausnahmen, haben grosse Teilchenexperimente immer denselben zwiebelförmigen Aufbau (von innen nach aussen):

- **Pixel- & Streifendetektor** zur Spurenvermessung
- verschiedene **Kalorimeter** zur Energiemessung
- **Muonenkammern** zur präzisen Vermessung von Muonen
- irgendwo dazwischen oder aussen: **starke Magnete(n)** zur Ablenkung geladener Teilchen

Aufbau eines Teilchendetektors

Mit sehr wenigen Ausnahmen, haben grosse Teilchenexperimente immer denselben zwiebelförmigen Aufbau (von innen nach aussen):

- **Pixel- & Streifendetektor** zur Spurenvermessung ← *Ort & Impulsinformation*
- verschiedene **Kalorimeter** zur Energiemessung
- **Muonenkammern** zur präzisen Vermessung von Muonen
- irgendwo dazwischen oder aussen: **starke Magnete(n)** zur Ablenkung geladener Teilchen

Aufbau eines Teilchendetektors

Mit sehr wenigen Ausnahmen, haben grosse Teilchenexperimente immer denselben zwiebelförmigen Aufbau (von innen nach aussen):

- **Pixel- & Streifendetektor** zur Spurenvermessung ← *Ort & Impulsinformation*
- verschiedene **Kalorimeter** zur Energiemessung *Energie*
- **Muonenkammern** zur präzisen Vermessung von Muonen
- irgendwo dazwischen oder aussen: **starke Magnete(n)** zur Ablenkung geladener Teilchen

Aufbau eines Teilchendetektors

Mit sehr wenigen Ausnahmen, haben grosse Teilchenexperimente immer denselben zwiebelförmigen Aufbau (von innen nach aussen):

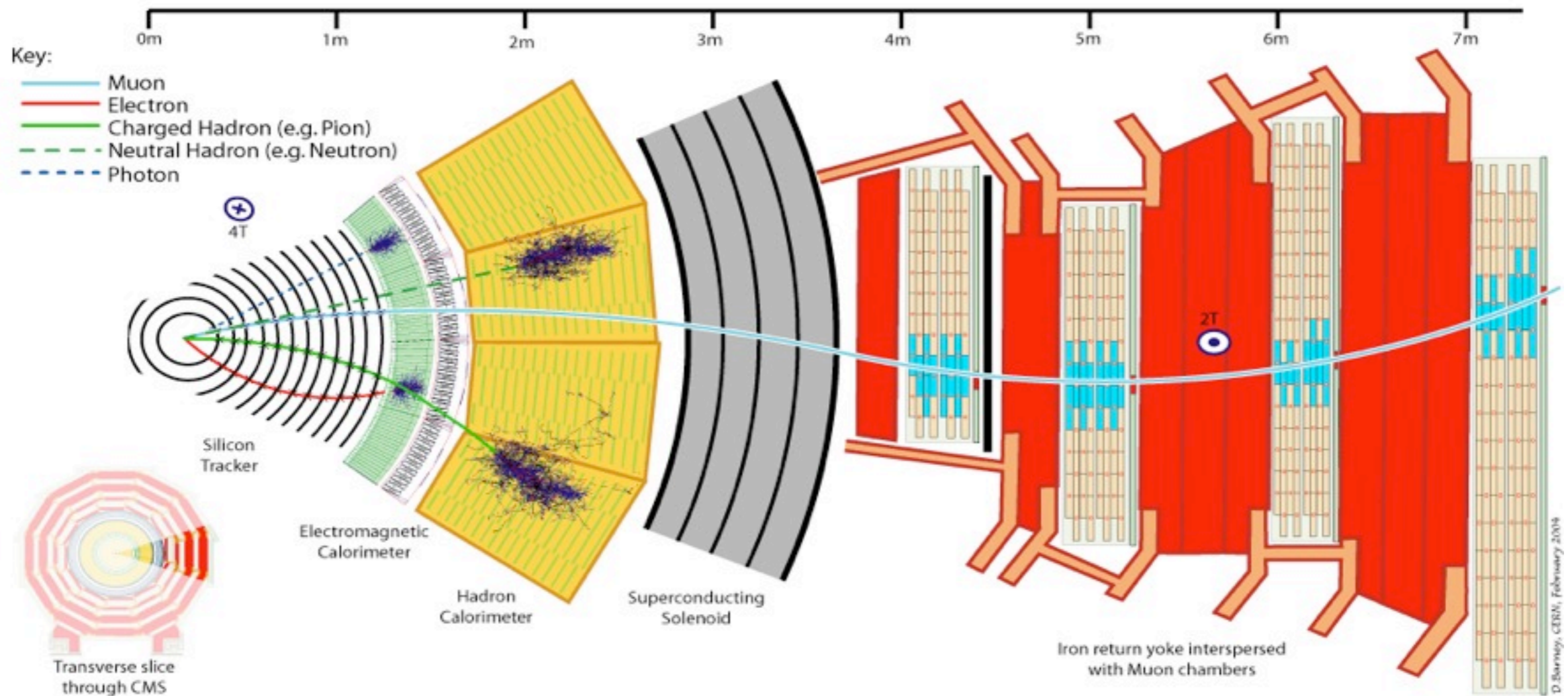
- **Pixel- & Streifendetektor** zur Spurenvermessung ← *Ort & Impulsinformation*
- verschiedene **Kalorimeter** zur Energiemessung ← *Energie*
- **Muonenkammern** zur präzisen Vermessung von Muonen
- irgendwo dazwischen oder aussen: **starke Magnete(n)** zur Ablenkung geladener Teilchen

Aufbau eines Teilchendetektors

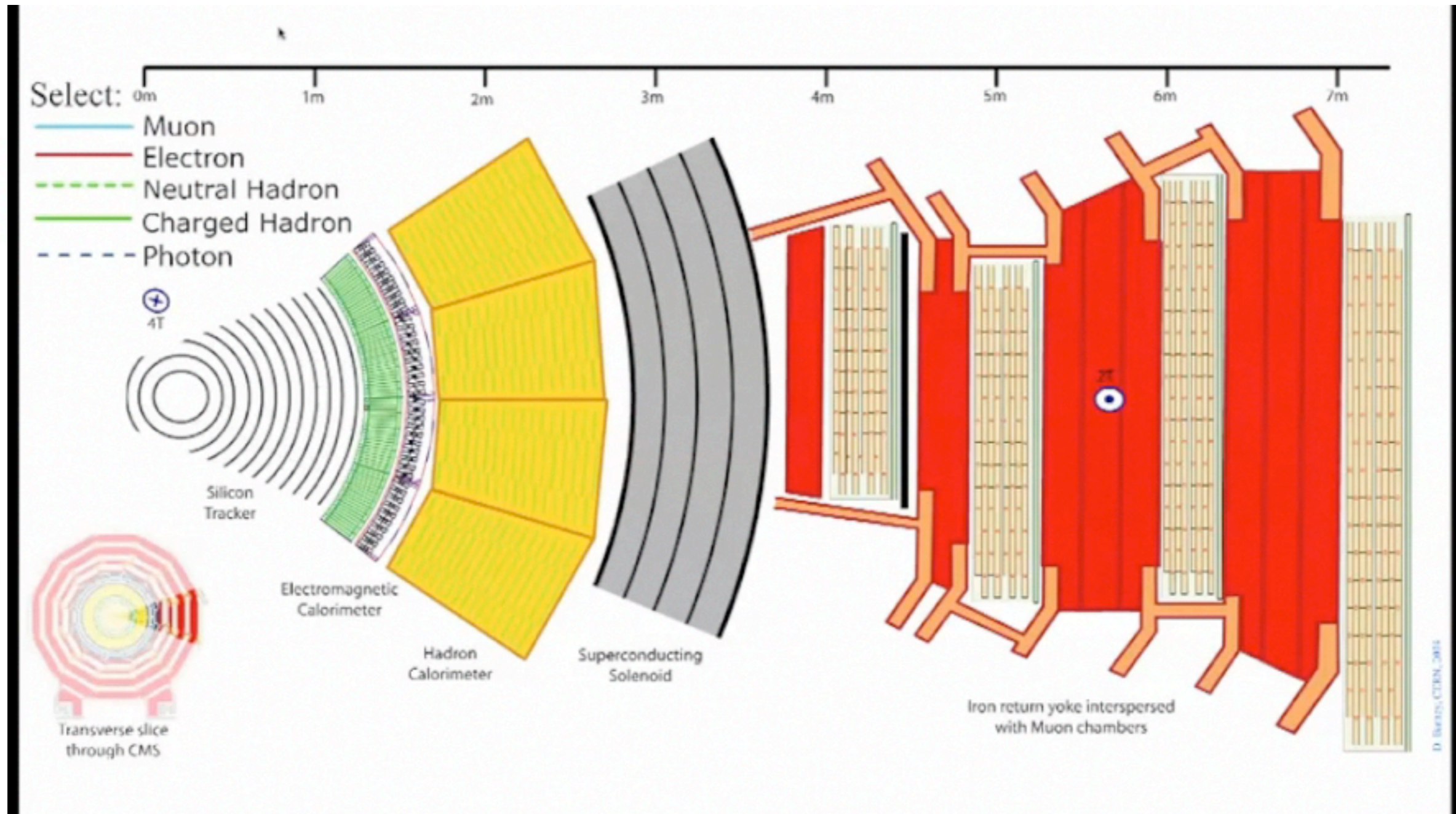
Mit sehr wenigen Ausnahmen, haben grosse Teilchenexperimente immer denselben zwiebelförmigen Aufbau (von innen nach aussen):

- **Pixel- & Streifendetektor** zur Spurenvermessung ← *Ort & Impulsinformation*
- verschiedene **Kalorimeter** zur Energiemessung ← *Energie*
- **Muonenkammern** zur präzisen Vermessung von Muonen ← *Ort & Impulsinformation*
- irgendwo dazwischen oder aussen: **starke Magnete(n)** zur Ablenkung geladener Teilchen

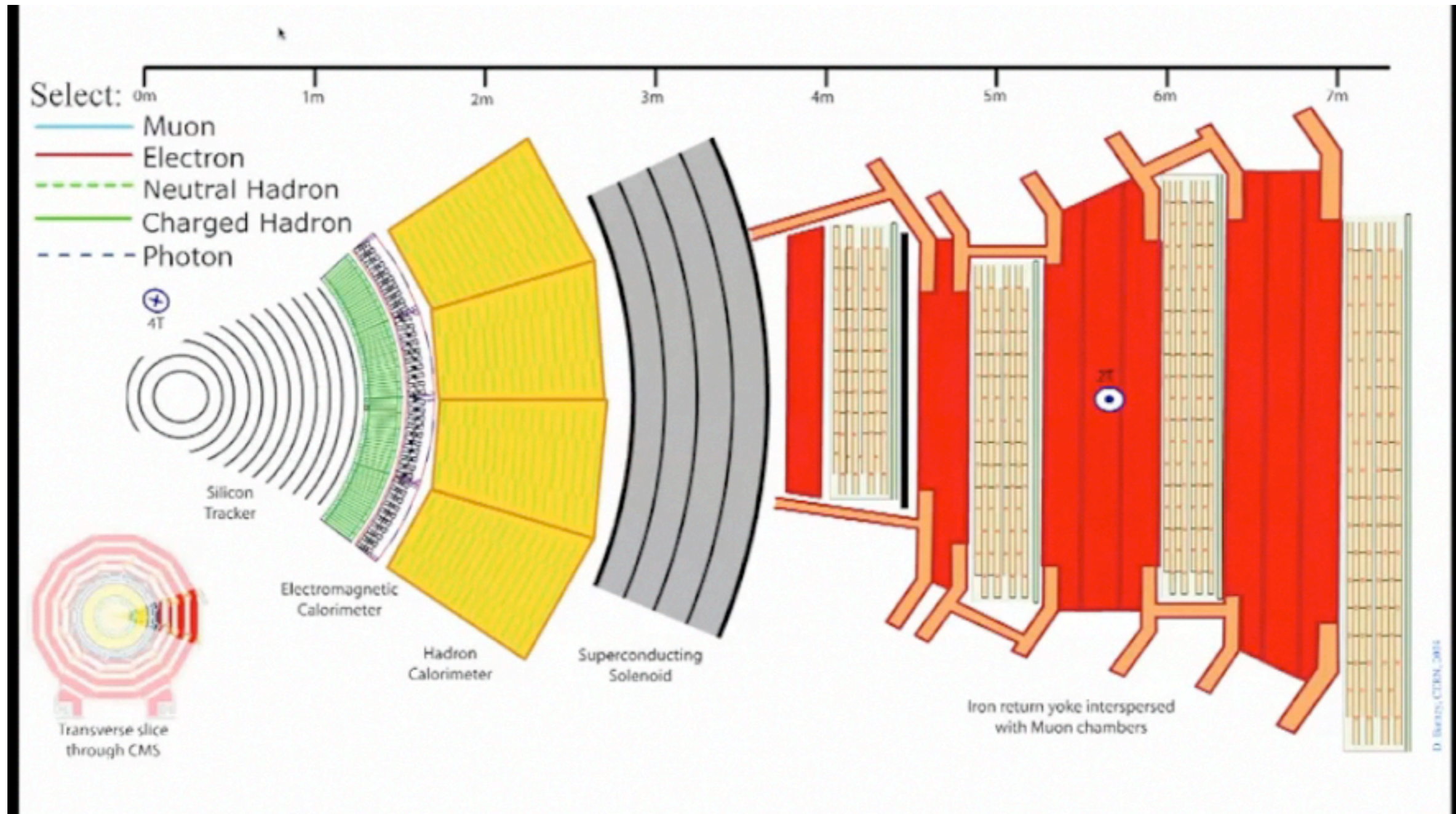
Schematischer Aufbau - CMS



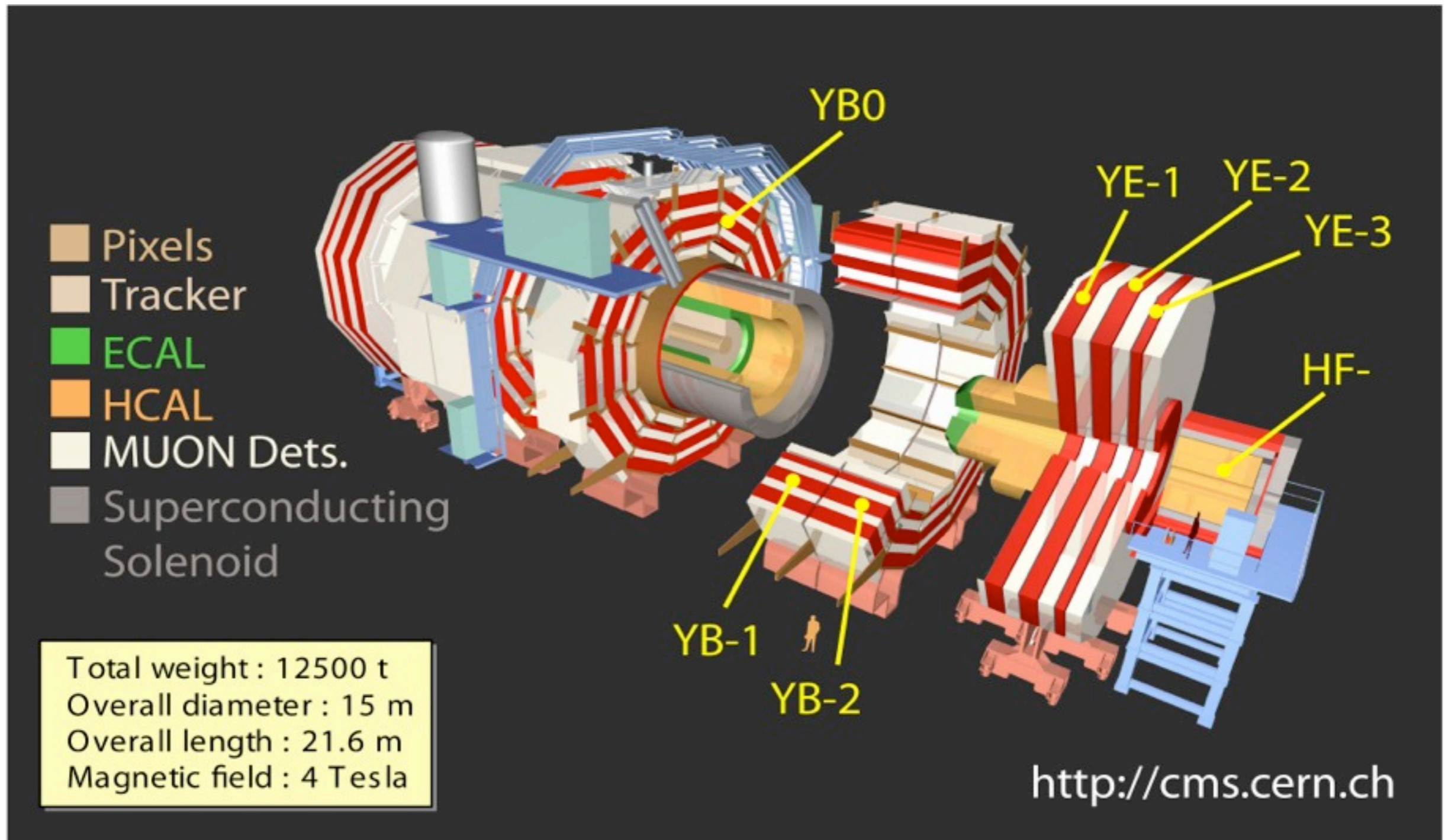
Schematischer Aufbau - CMS



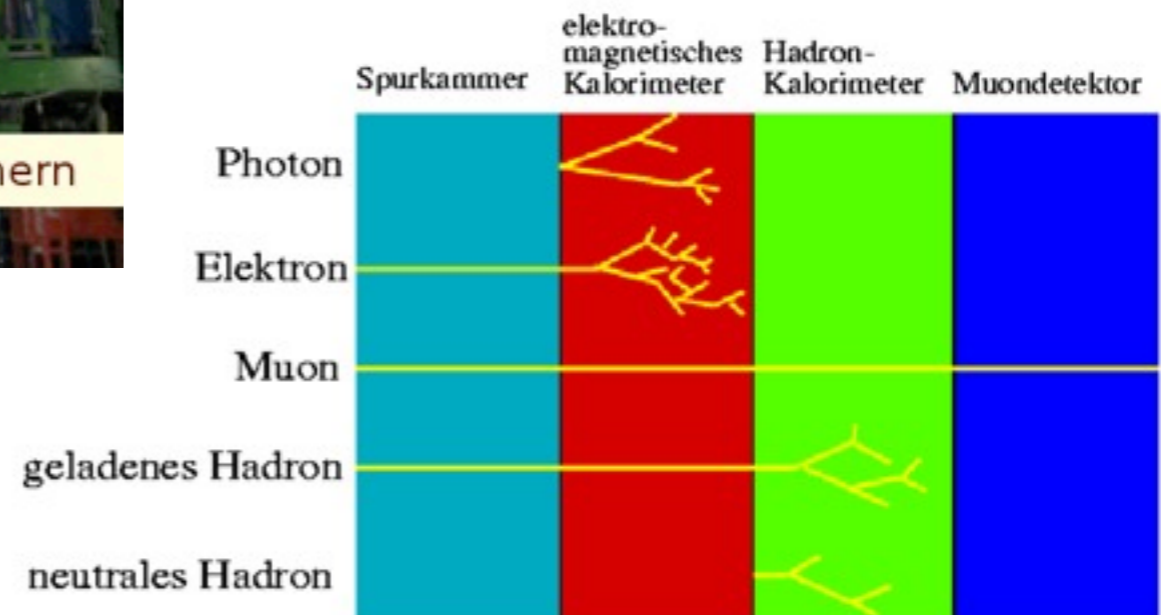
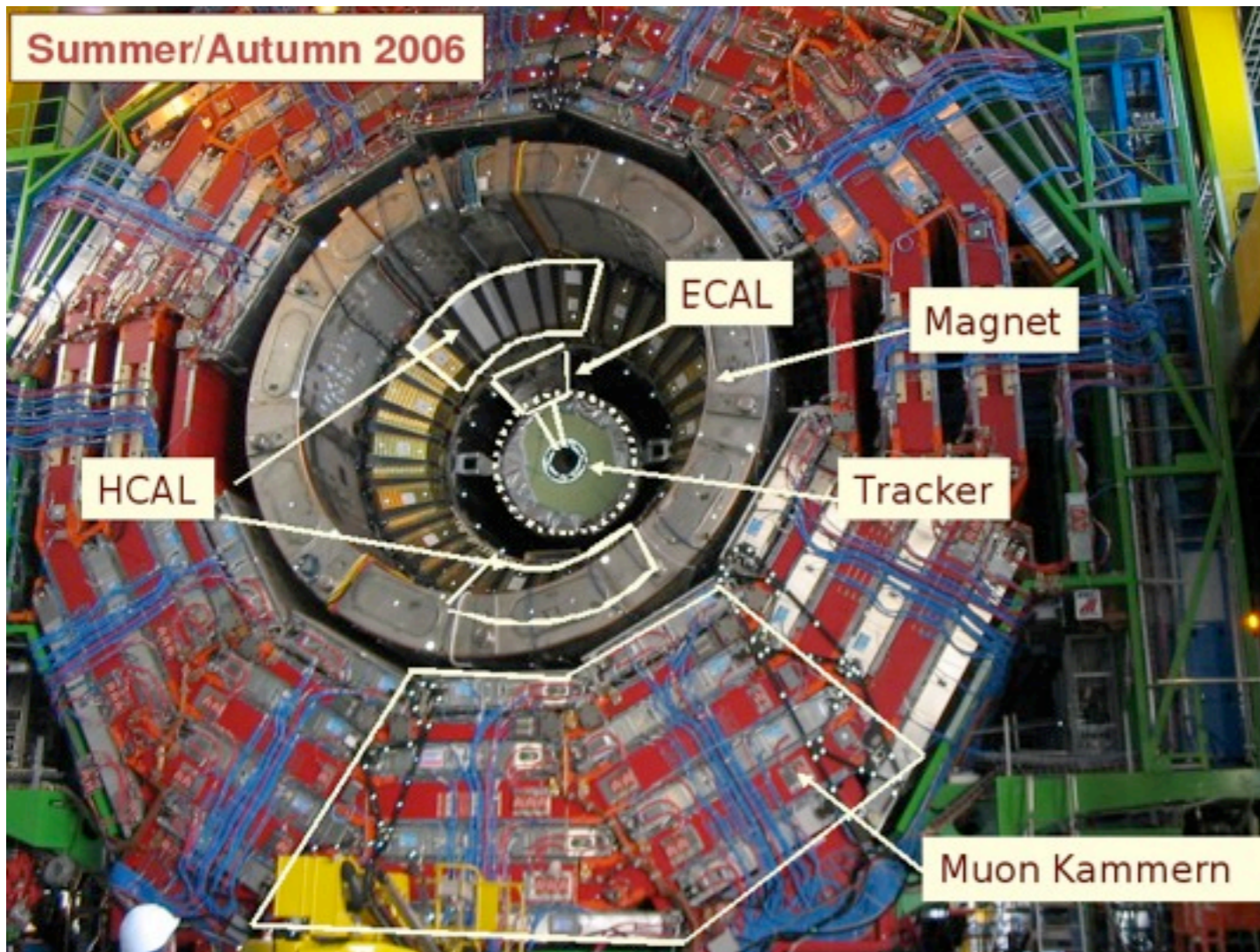
Schematischer Aufbau - CMS



Schematischer Aufbau - CMS



Schematischer Aufbau - CMS



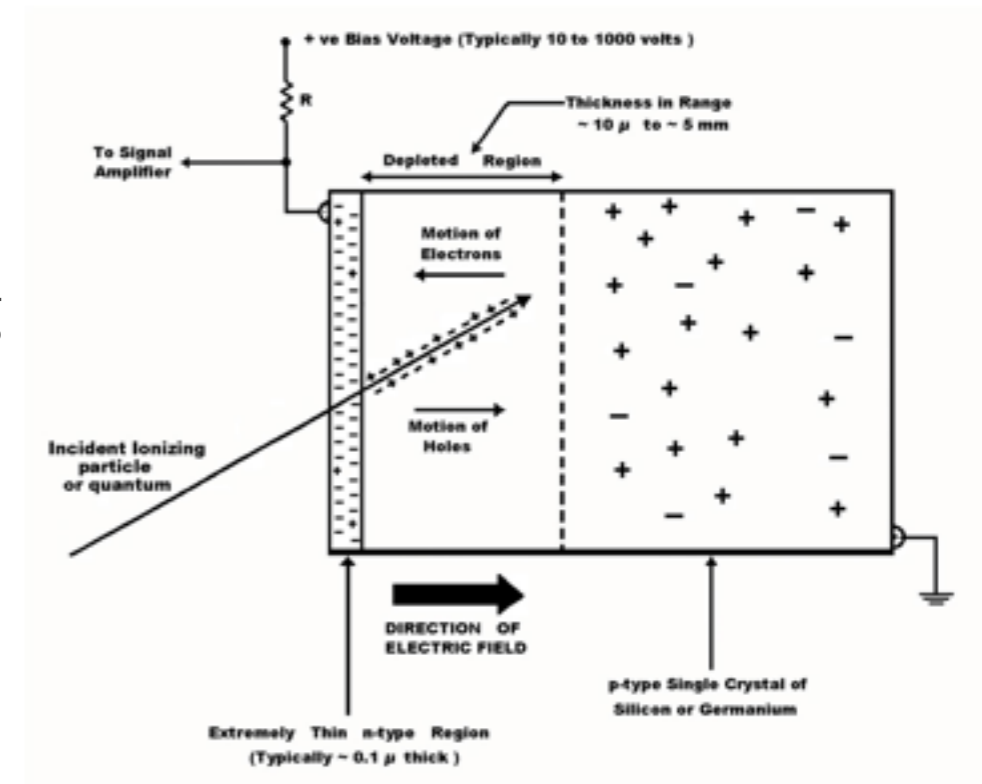
Spurendetektor - Prinzip

geladene Teilchen ionisieren Materie beim Durchfliegen

--> Ionisation: “trennen” von Elektronen und Atomkernen

Halbleiter (Silizium) eignen sich hervorragend zur Messung dieser Ladungen

--> p-n dotierte Siliziumschicht in Sperrichtung



Funktionsprinzip sehr **ähnlich** dem **einer Digitalkamera**, aber...

Spurendetektor - Pixel

CMS Pixel Detektor hat:

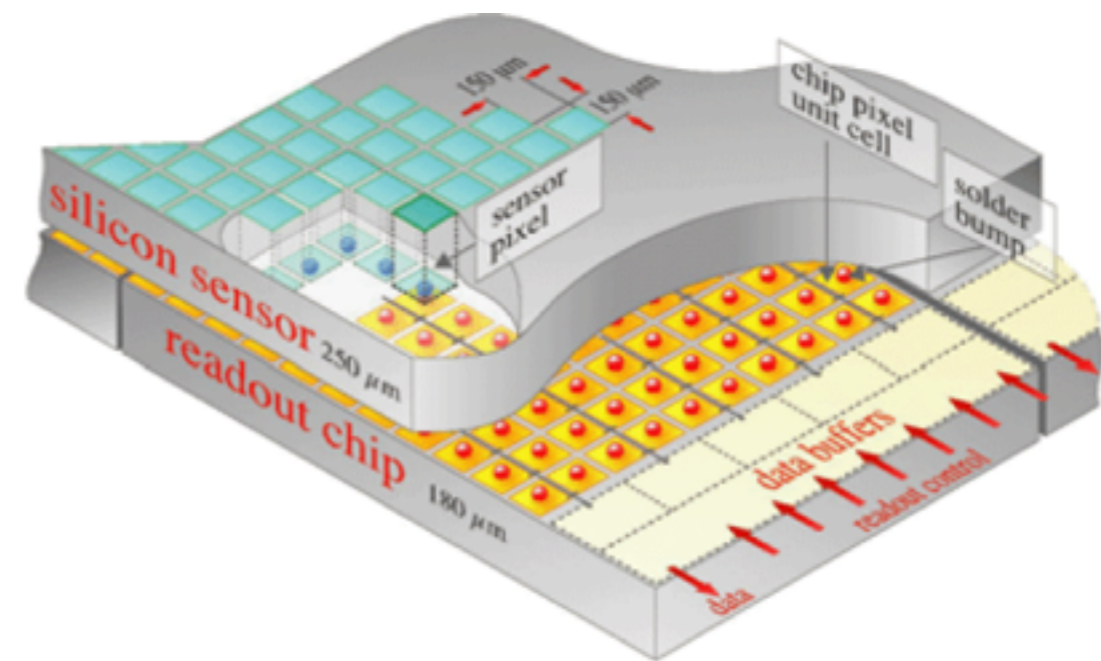
--> **3 Lagen** bei 4.3, 7.2, 11 cm Abstand vom Strahl

--> **~1 m² aktive Fläche**

--> Pixelgrösse von **100 x 150 μm^2**

--> ca. **66 Millionen einzelne Pixel!**

--> kann **alle 25 ns** ausgelesen werden!



--> entspricht einer **66 Megapixel Kamera** mit der man **40 Millionen Bilder pro Sekunde** machen kann!!

Spurendetektor - Streifen

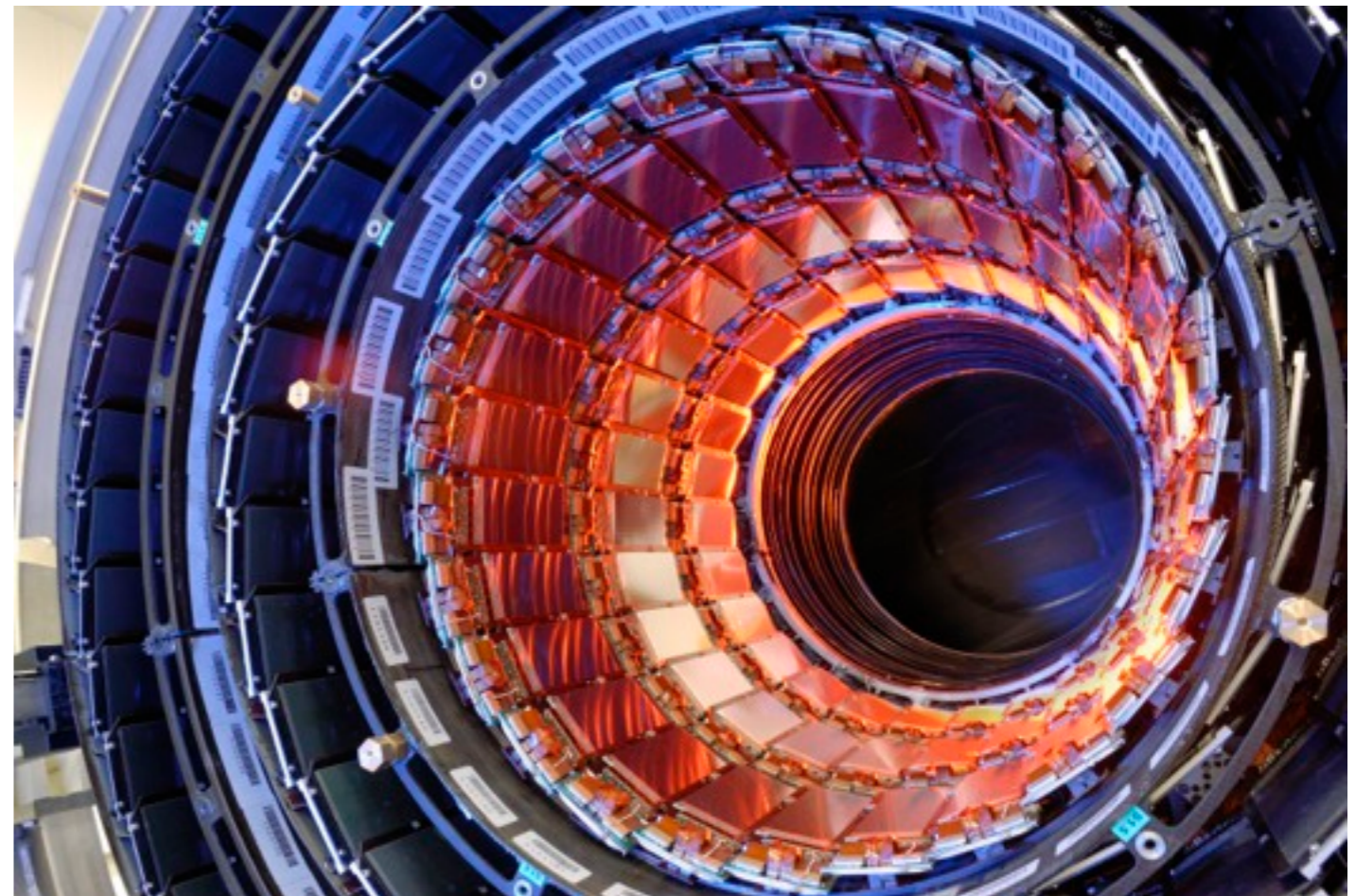
Um Auslesekanäle zu sparen, sind die nächsten ~ 10 Lagen keine Pixel, sondern sogenannte Siliziumstreifendetektoren

--> selbes physikalisches Prinzip

--> lange, schmale Streifen

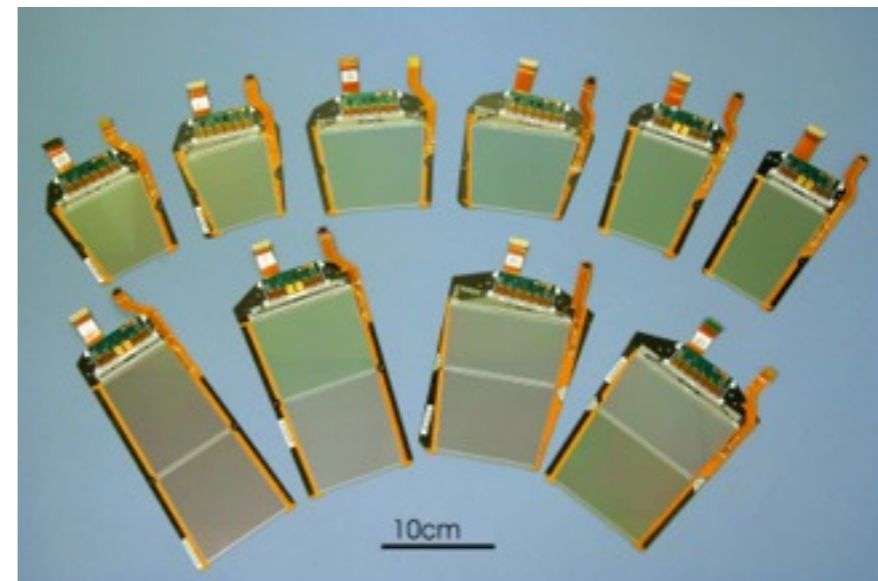
--> $80 \mu\text{m}$ breit

--> $\sim 200 \text{ m}^2$ aktive Fläche
ca. 1 Tennisfeld

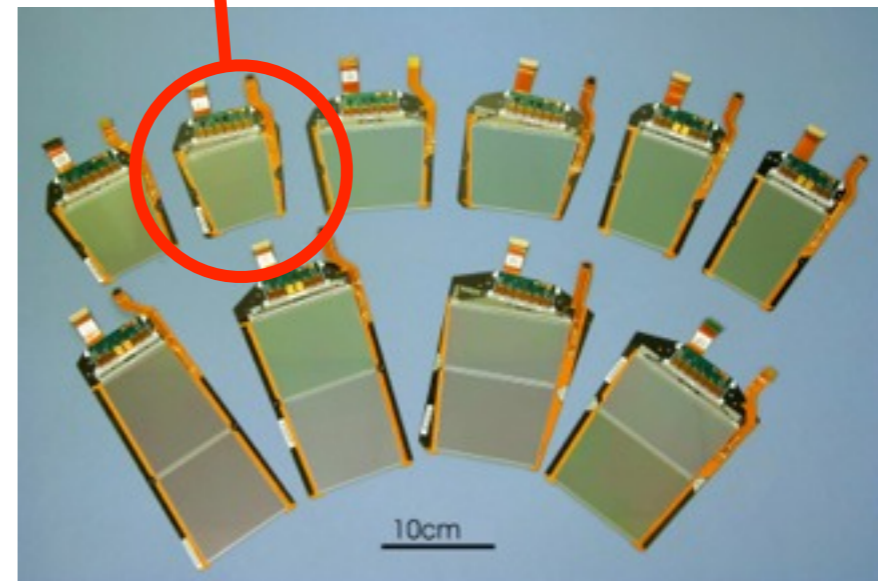


Nachteil dieser Detektoren: neutrale Teilchen können nicht gemessen werden!

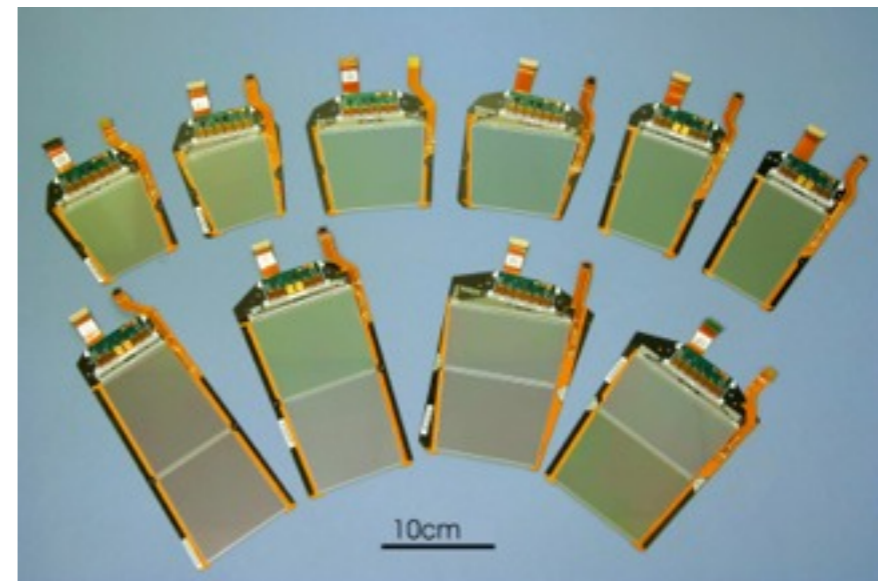
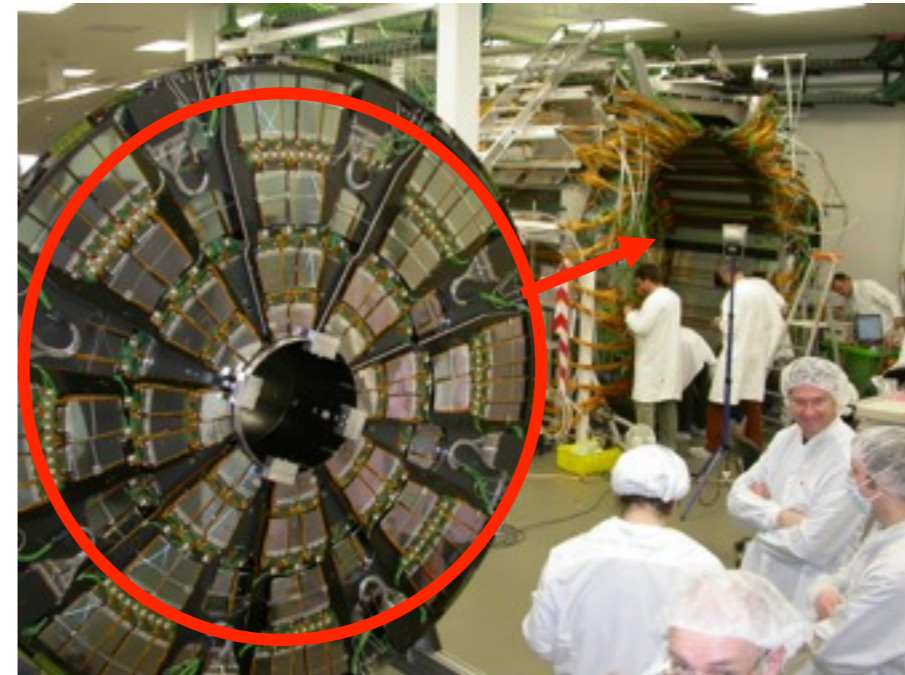
Spurendetektor - Streifen



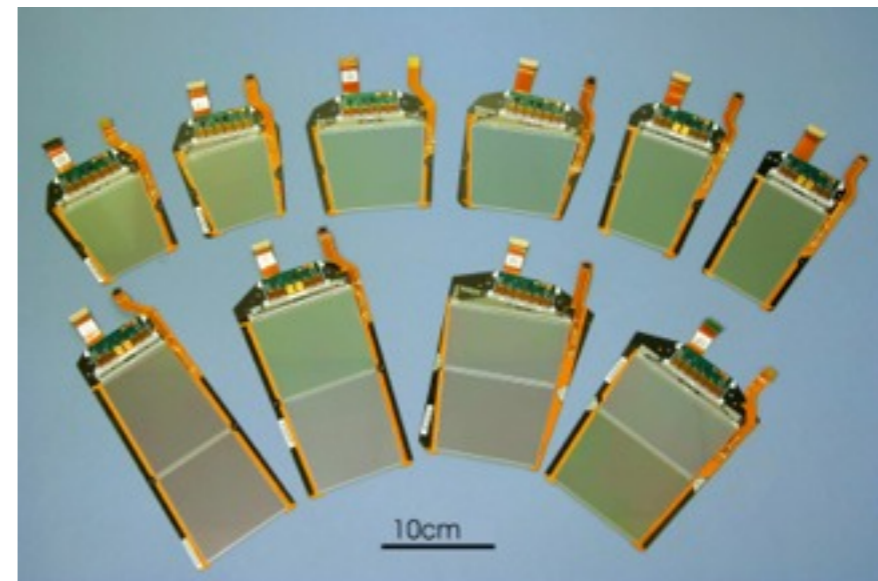
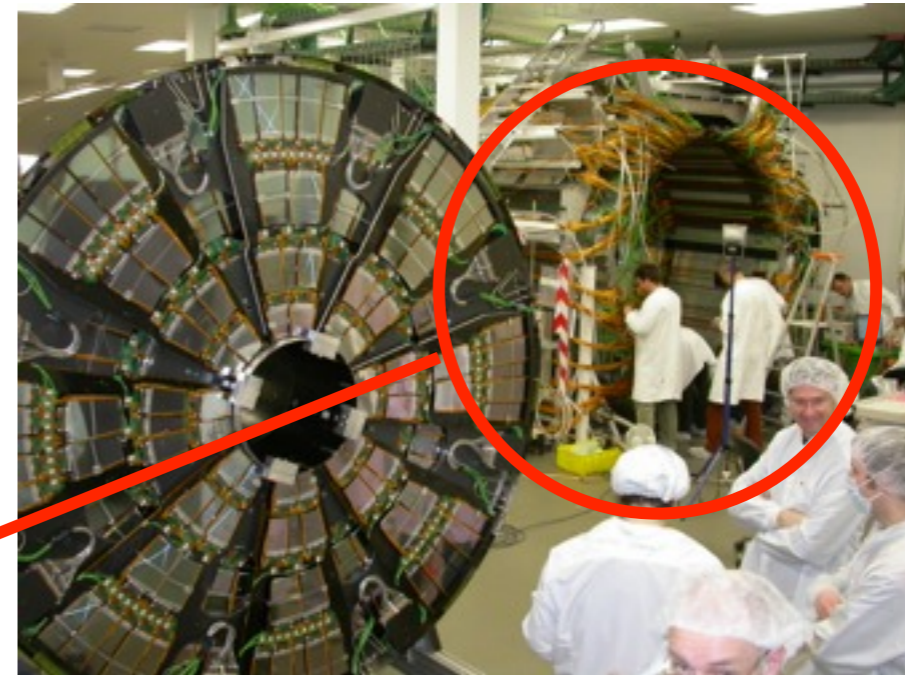
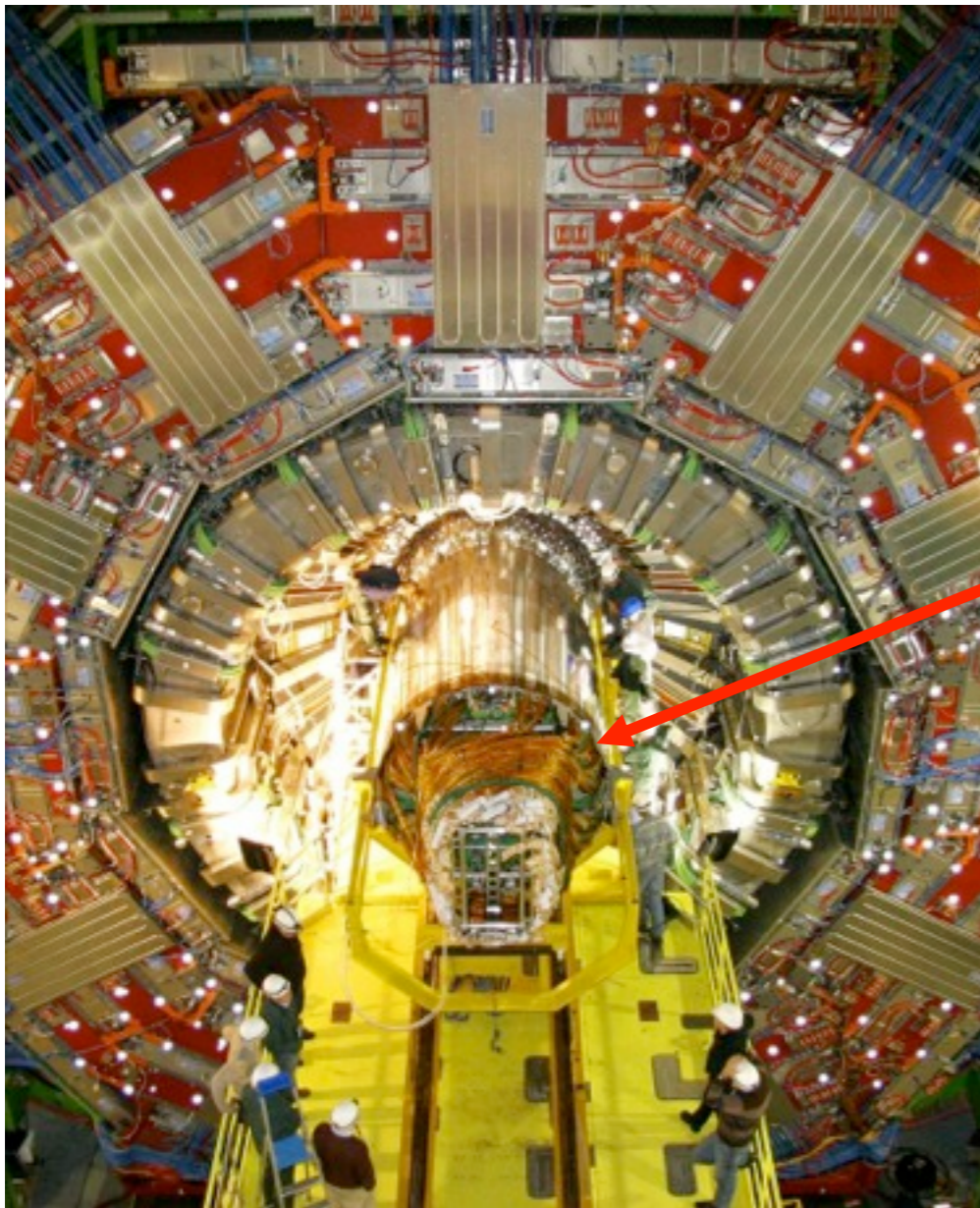
Spurendetektor - Streifen



Spurendetektor - Streifen



Spurendetektor - Streifen



Kalorimeter - Elektromagnetisch

Kalorimeter messen die Energie der Teilchen.

2 verschiedene Typen:

--> **elektromagnetisch**

--> **hadronisch**

Das **elektromagnetische Kalorimeter** misst grossteils nur die Energie von **Photonen & Elektronen (Positronen)**

In CMS macht das ein sogenannter **Szintillatorkristall**:

--> der Kristall **emittiert Licht** wenn Teilchen hindurchfliegen

--> die Menge des **Lichts** is **proportional** zur deponierten **Energie**

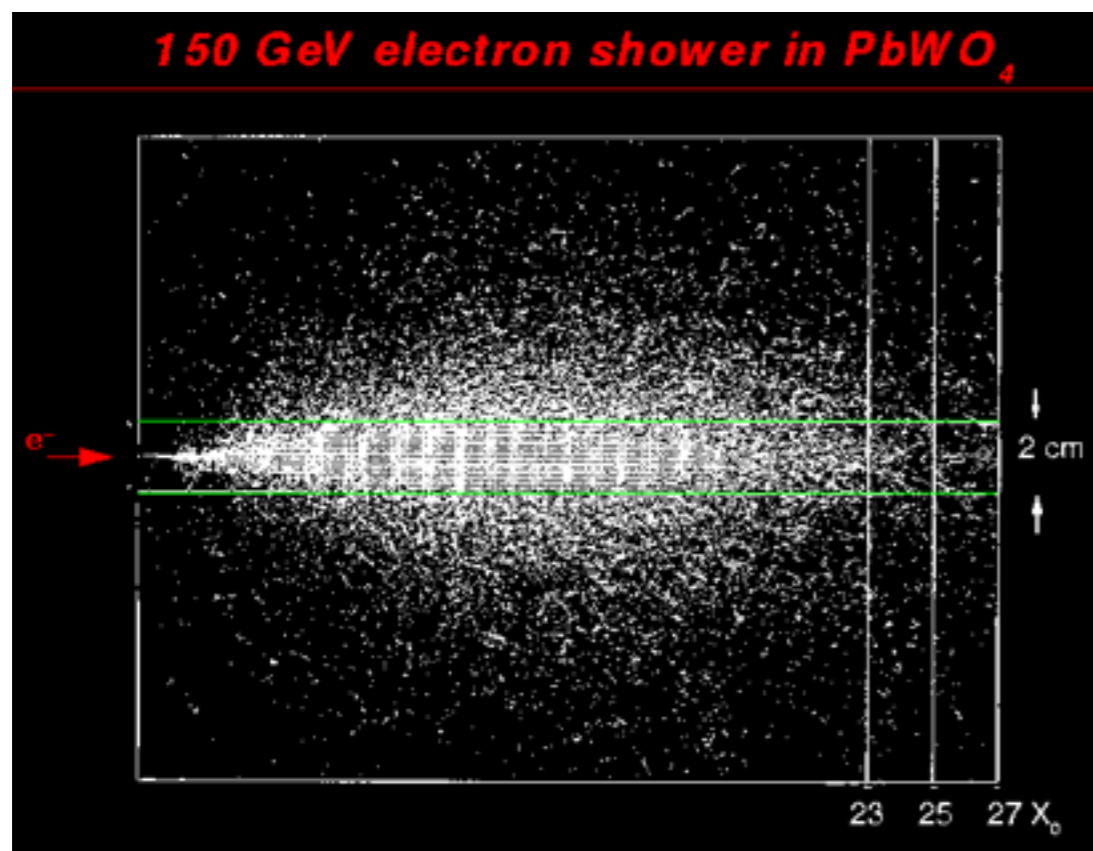
--> wenn man die Teilchen **vollständig abbremst**, kann man auf die gesamte Energie rückschliessen

Kalorimeter - Elektromagnetisch

Kristall:

Bleiwolframat (PbWO_4)

Dichte: $\sim 9000 \text{ kg m}^{-3}$



Kalorimeter - Hadronisch

Hadronen (Teilchen aus Quarks) interagieren auch durch die starke Wechselwirkung
werden im EM Kalorimeter nicht gestoppt

--> es muss etwas **schwereres** her!

--> im HCAL werden u. a. **Protonen, Neutronen,
Pionen, Kaonen** "absorbiert"



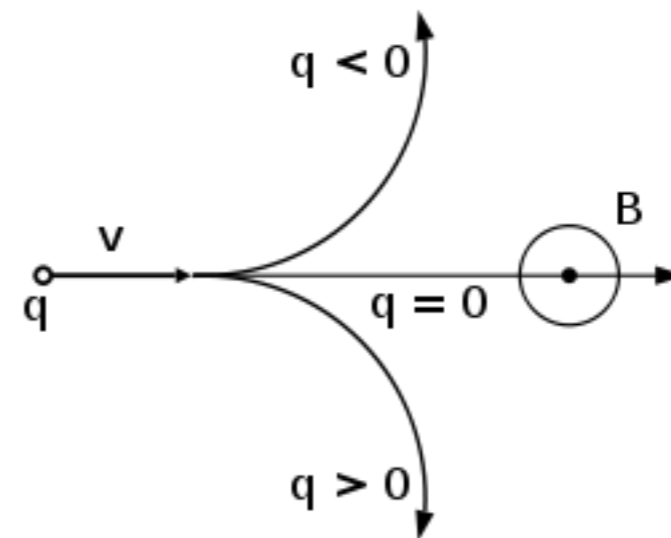
In CMS: ca. 10 **5 cm Messing** - **3 cm Szintillator** Schichten

Supraleitender Magnet

Zur Bestimmung von Impuls und Ladung von geladenen Teilchen, sind alle bisher genannten Detektoren innerhalb eines supraleitenden Magneten untergebracht

Physikalische Grundlage ist die Lorentzkraft:

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$



Aus der Krümmung einer Teilchenspur lässt sich der Impuls bestimmen:

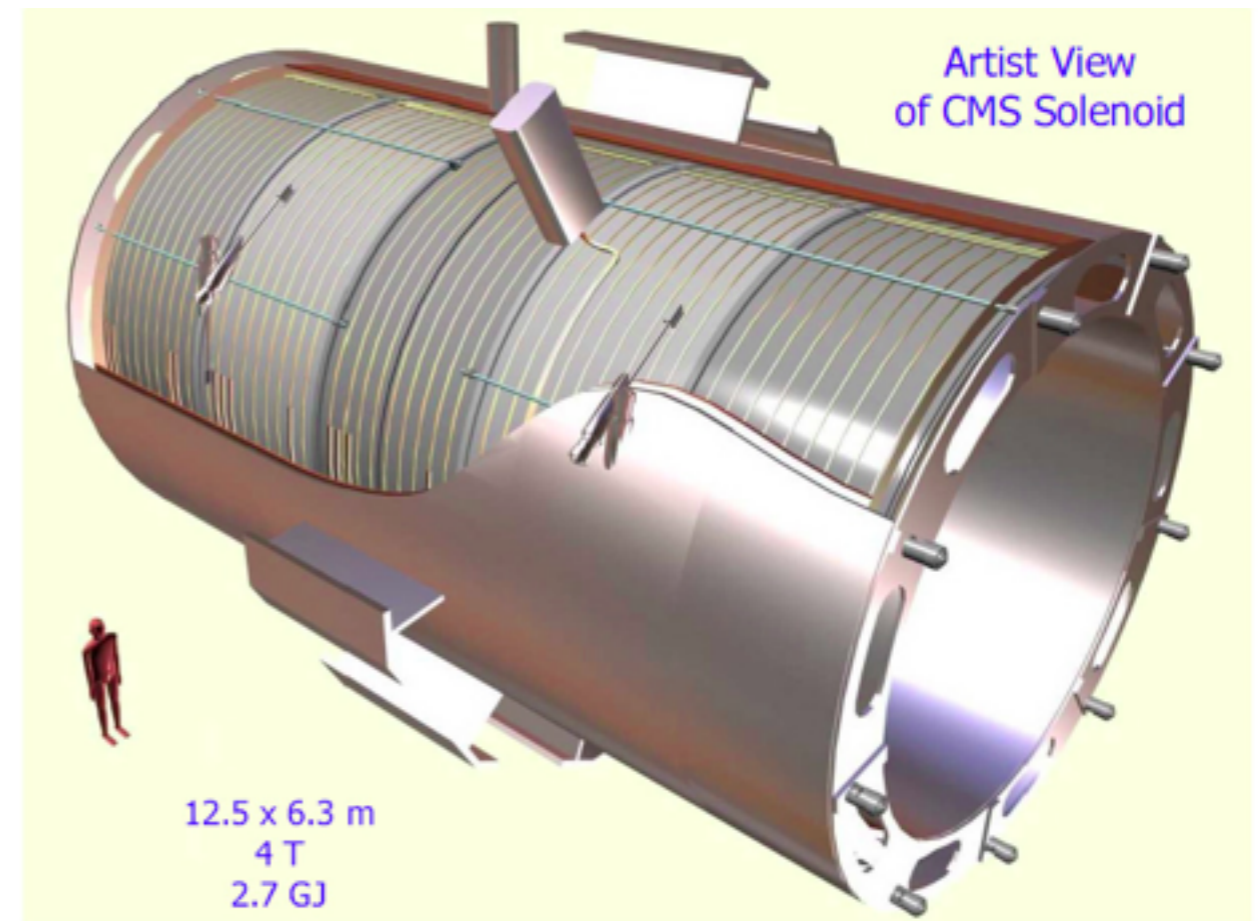
$$r \propto p/qB$$

Supraleitender Magnet

Zur Bestimmung von Impuls und Ladung von geladenen Teilchen, sind alle bisher genannten Detektoren innerhalb eines supraleitenden Magneten untergebracht

Das CMS Solenoid hat:

- > **~6 m Durchmesser!**
- > **3.8 T Magnetfeld** ($\sim 10^5 B_E$)
- > **19 000 Ampere**
- > **2500 MJ** gespeicherte Energie



Der CMS Magnet ist somit der energiereichste Magnet der Welt!

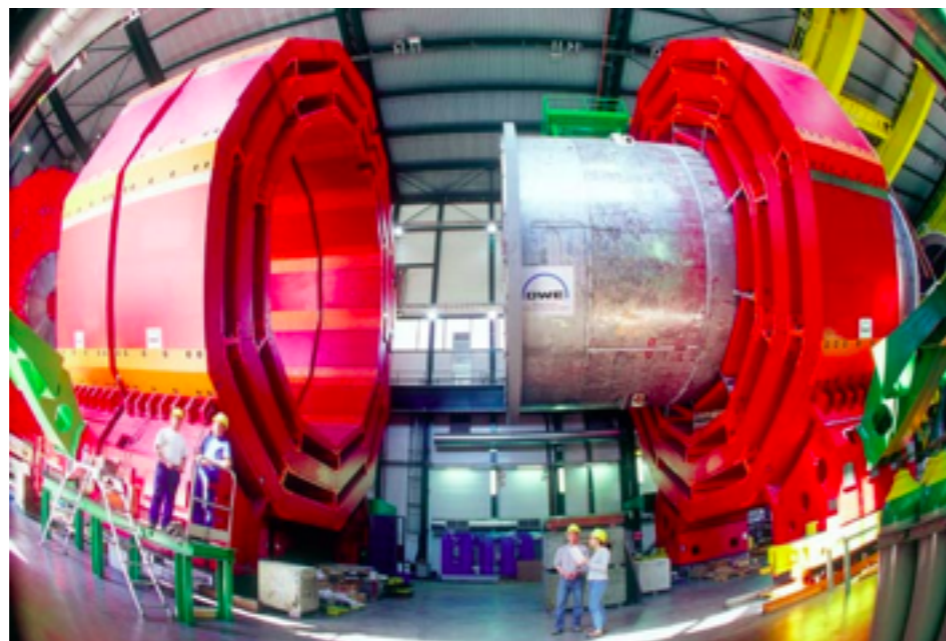
Rückführjoch

Um das Magnetfeld in Form zu halten, gibt es in CMS ein riesiges **Rückführjoch aus massivem Stahl!**

--> schwerster Teil des Detektors

--> ca. **10 000 t**

--> alleine etwa so schwer wie der **Eiffelturm!**



Muonkammern

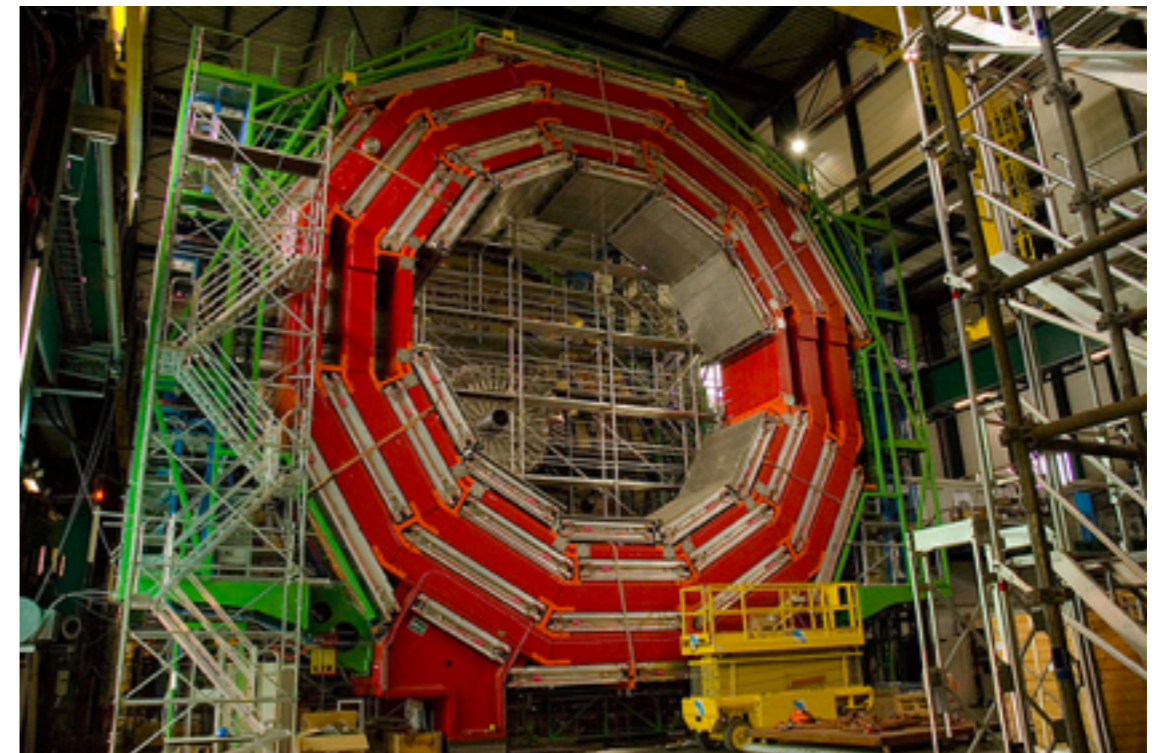
Muonen sind die schweren Brüder der Elektronen und interagieren nur sehr schwach mit Materie!

--> nach dem Magneten die letzten messbaren Teilchen (idealerweise)

--> werden präzise in Muonkammern gemessen

--> innerhalb des Rückführjochs

--> 3 verschiedene Arten von Kammern



Neutrinos

Neutrinos interagieren noch sehr viel weniger mit Materie

--> im Detektor nicht nachweisbar!

--> was tun? Man macht sich die **Impulserhaltung** zu Nutze!

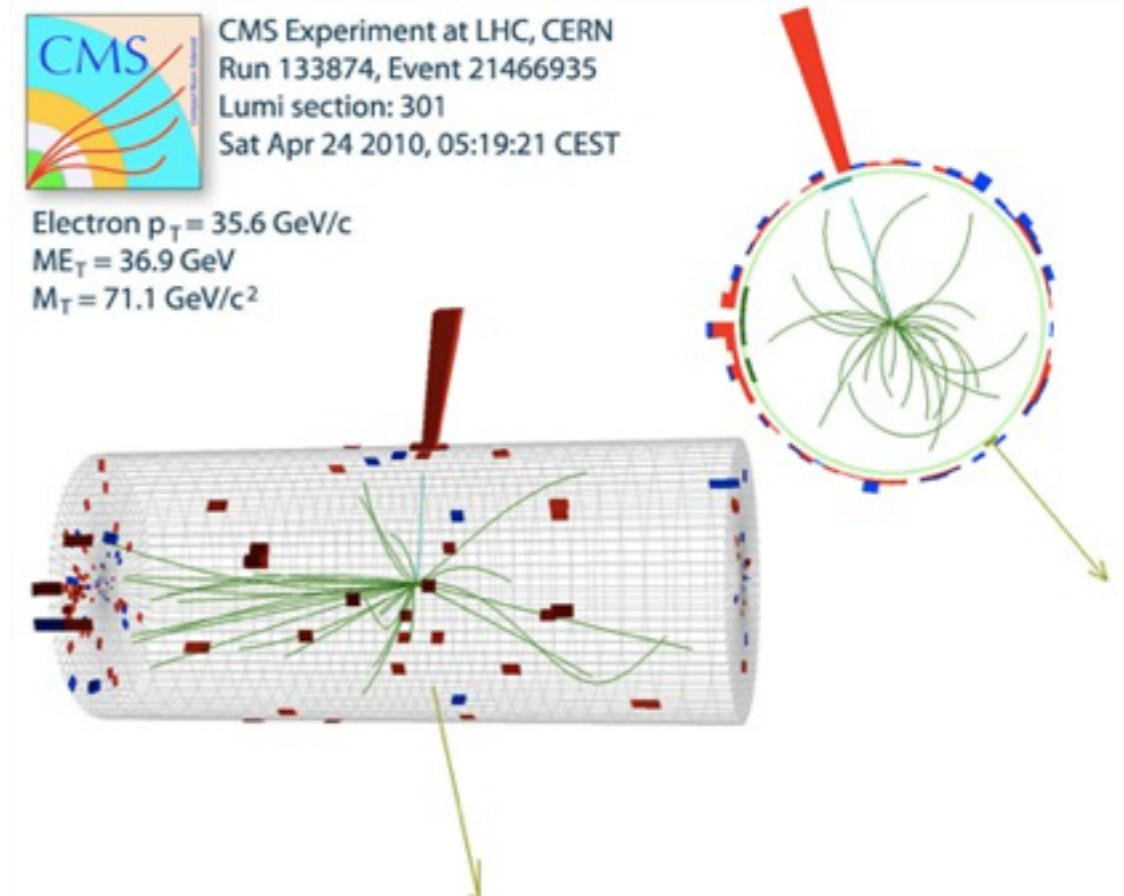
In der Ebene normal zur Strahlrichtung
ist der Anfangsimpuls gleich null!

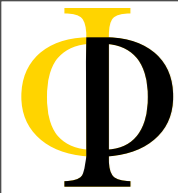
Das bedeutet, dass der Impuls nach der
Kollision auch gleich null sein muss!!

--> durch dieses Prinzip kann man

1) Neutrinos indirekt nachweisen

2) neuartige Teilchen entdecken, die den Detektor verlassen!!





Auslese - Trigger

40 Millionen Kollisionen pro Sekunde sind auch für die besten & grössten Computer zu viel!

--> man muss sich die **interessanten Kollisionen** herauspicken

--> ausgefeilte **Hardware und Software Algorithmen**

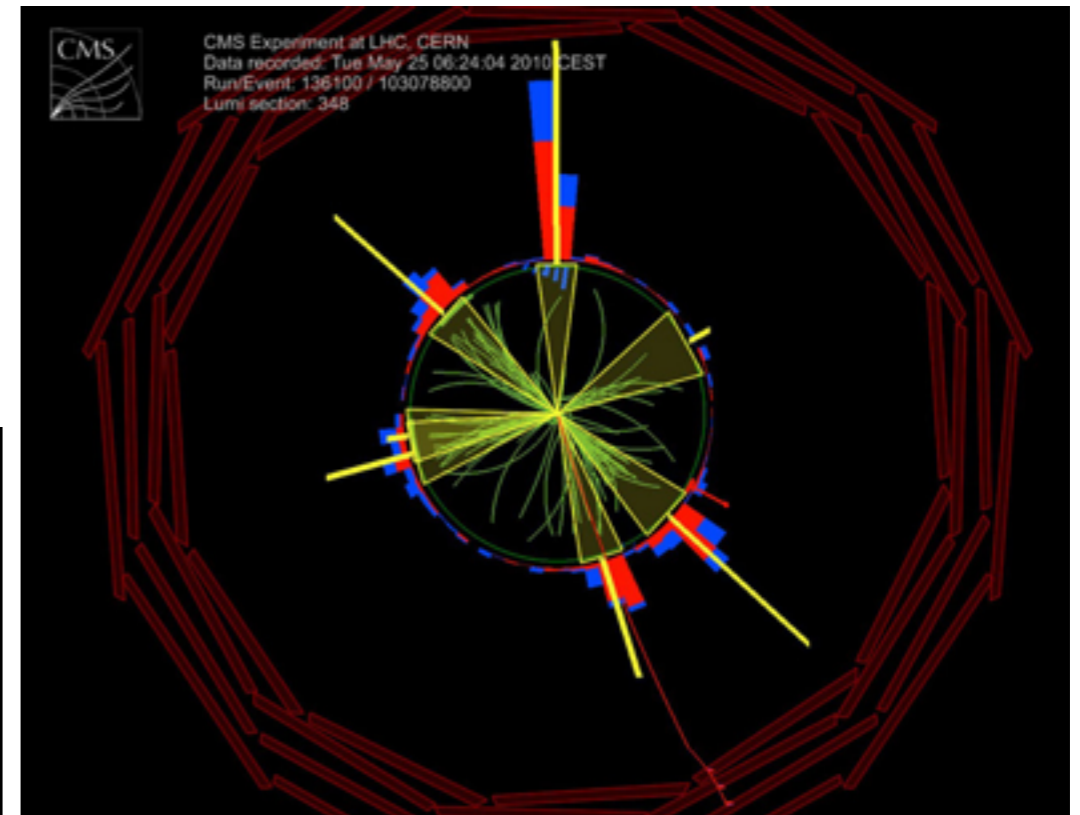
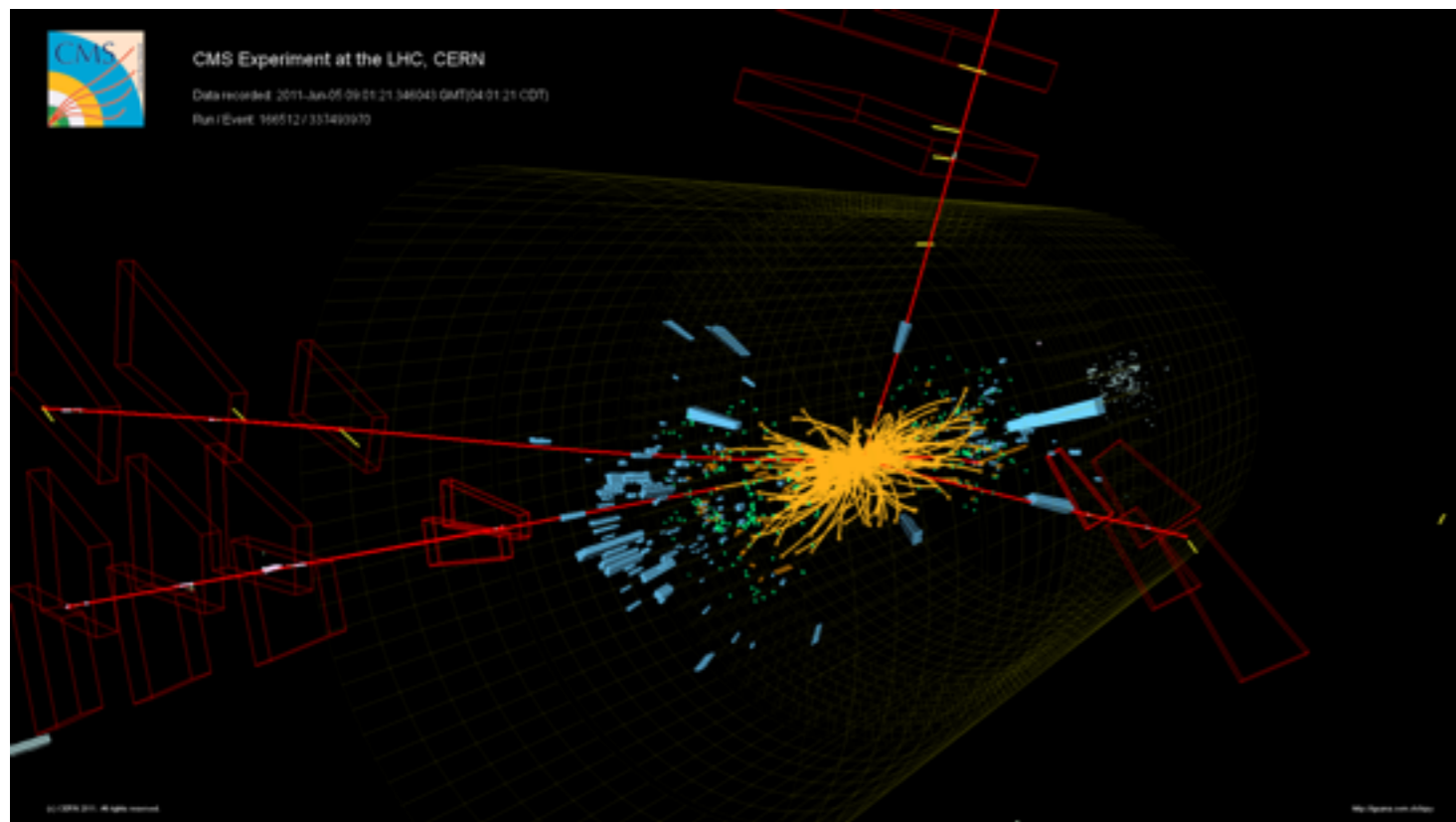
--> am Ende werden **“nur” ca. 500 - 1000 Kollisionen pro Sekunde gespeichert**

--> **bei ca. 1-2 MB pro “Event” macht das trotzdem ca. 1 GB pro Sekunde!**

Auslese - Rekonstruktion

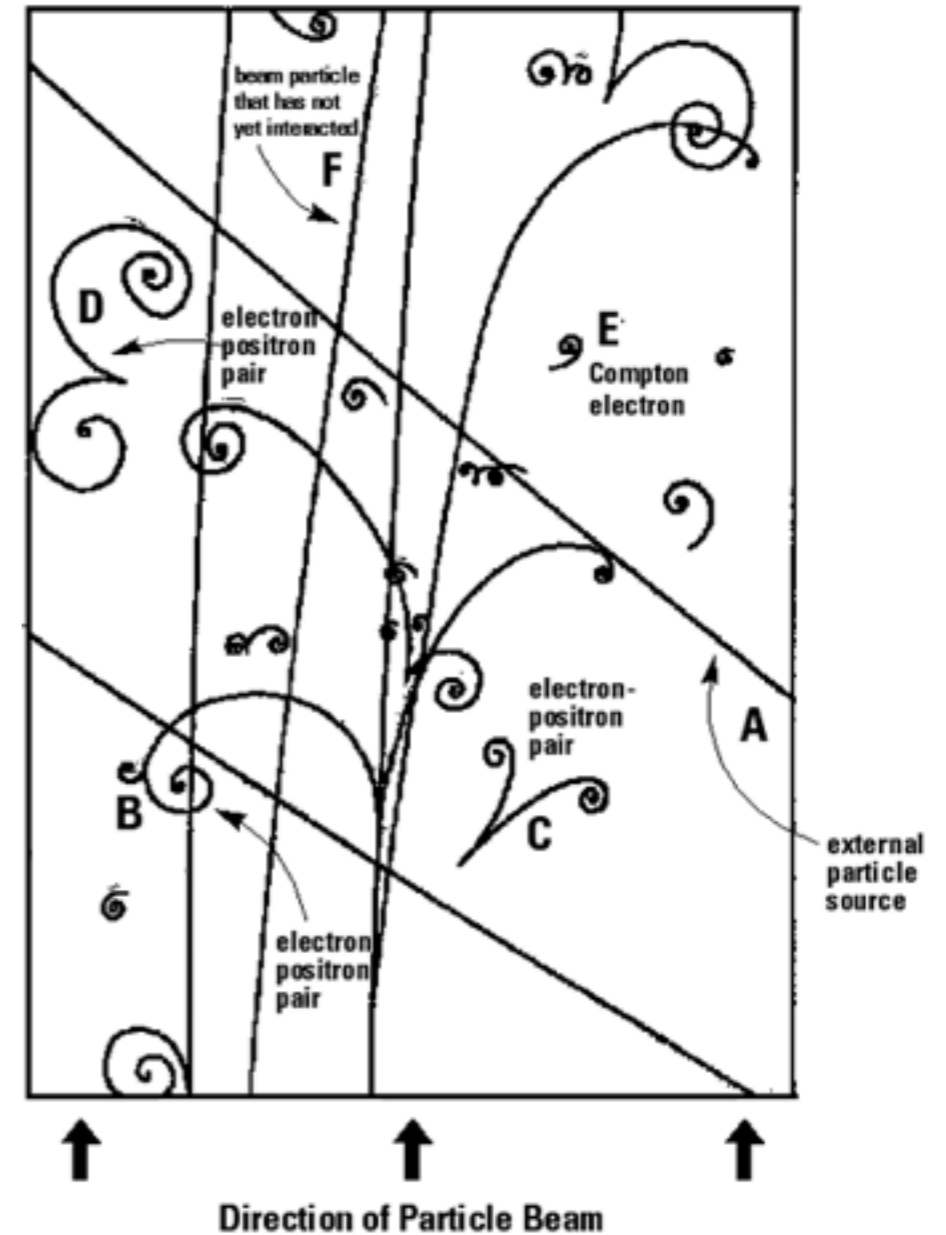
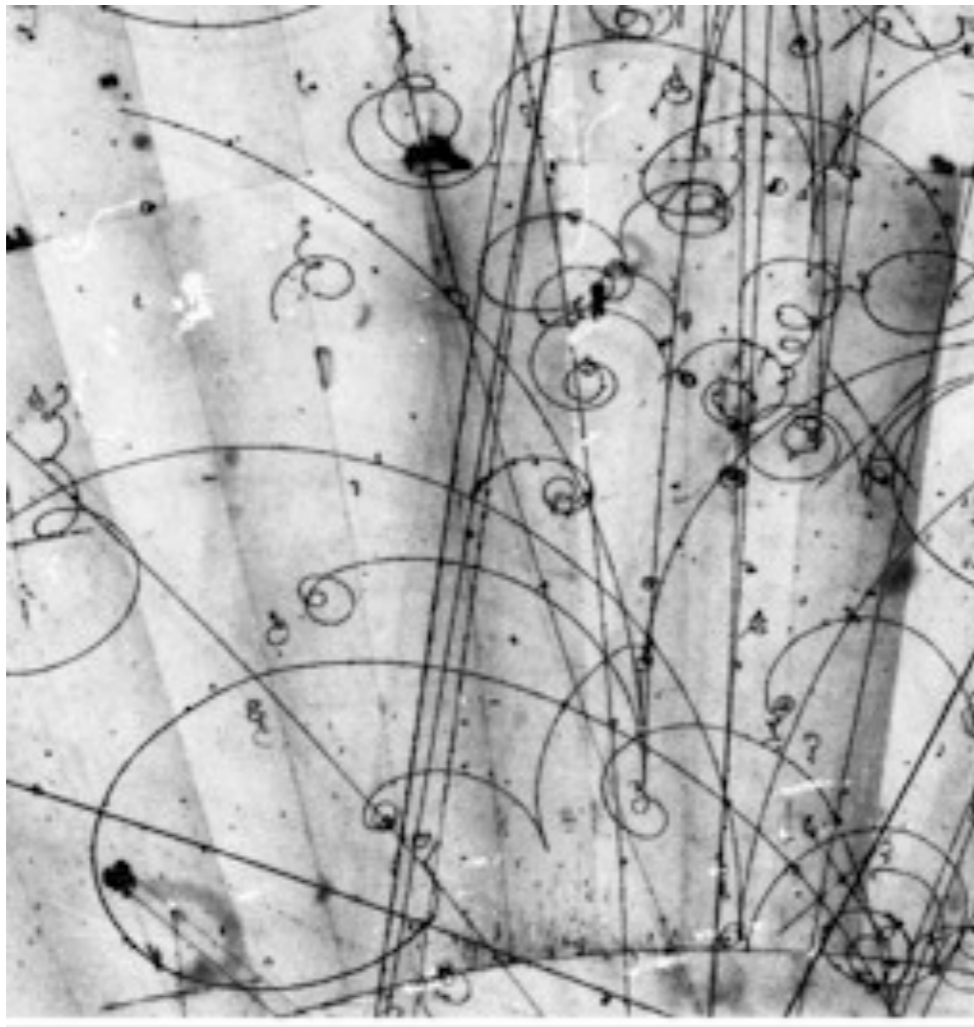
Wenn ein Event den Trigger passiert hat, wird es in einer grossen Computerfarm
komplett rekonstruiert

- > sehr komplizierte Software
- > aber hübsche Bilder ;)



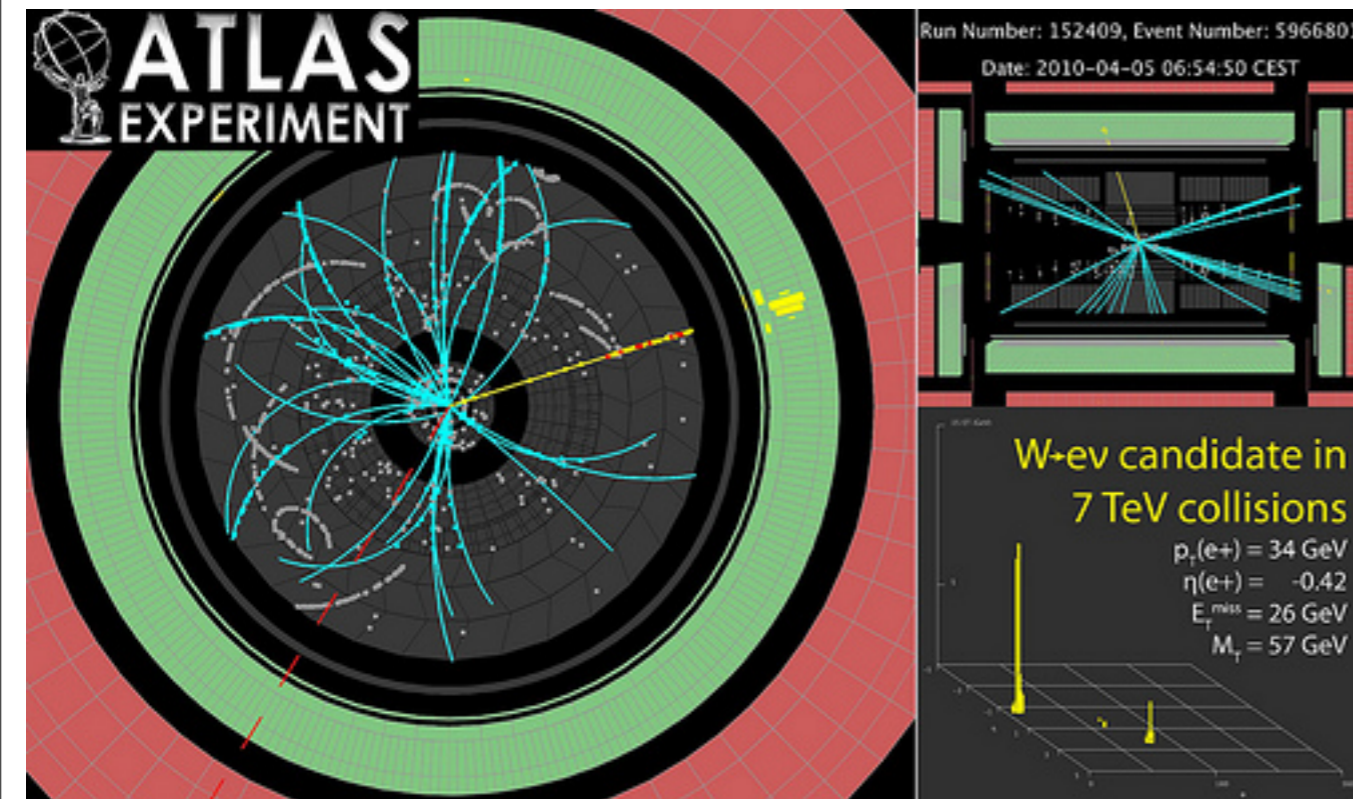
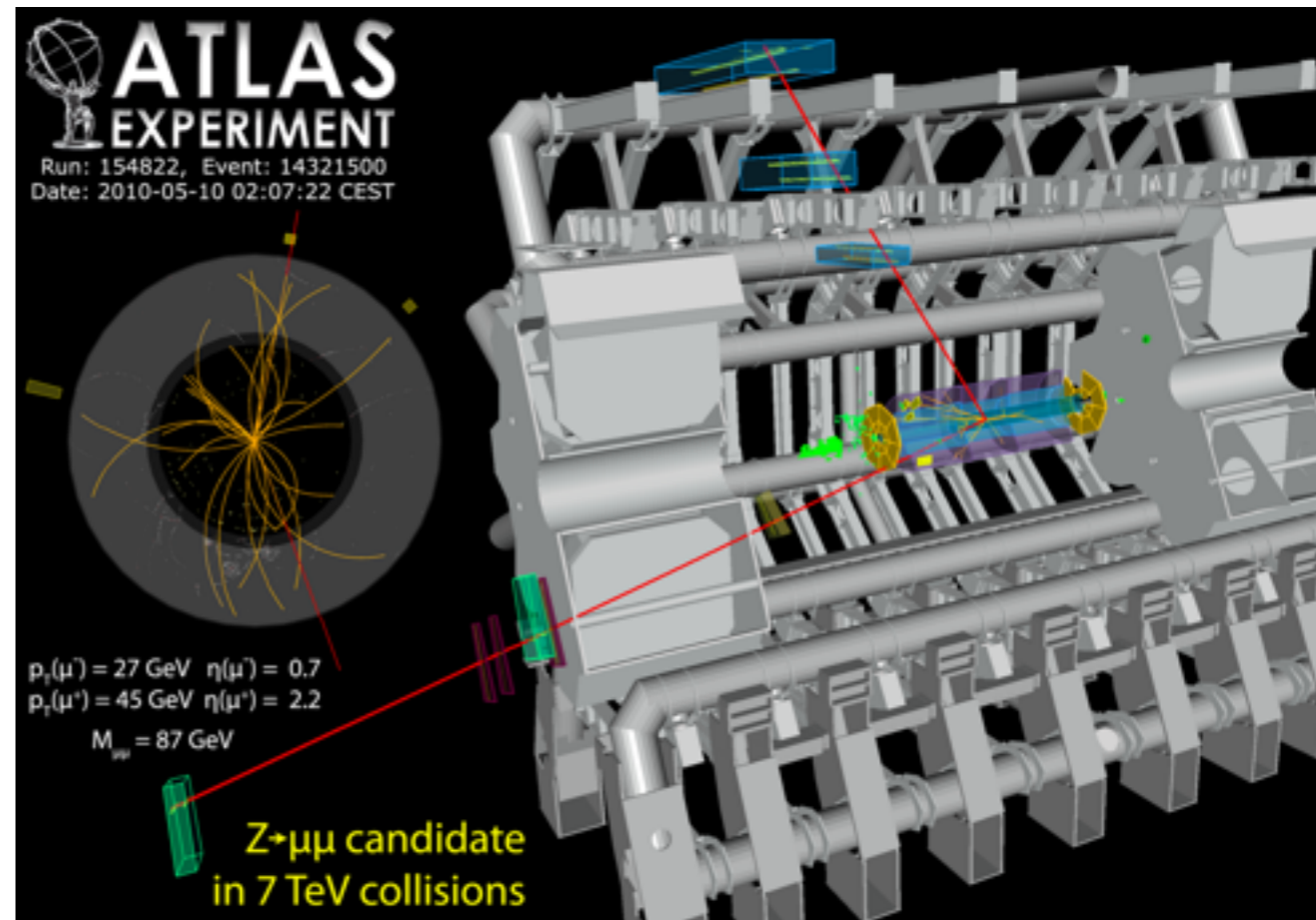
Auslese - Rekonstruktion

Früher: Photos von Nebelkammern:



ATLAS

ATLAS hat auch schöne Bilder



Analyse

Mit **500** aufgezeichneten Kollisionen pro Sekunde und ca. **100 Tage** pro Jahr und ca. **10 std** Operation pro Tag sind das ca. **2 Mrd Kollisionen pro Jahr!**

- die 4 grossen Experimente am LHC haben bisher ca. **75 PB (!)** an **Daten** generiert!

- unmöglich alle “bei Hand” anzuschauen!

- stattdessen verwenden wir massgeschneiderte **Analyseprogramme**

```
282 void SSDAnalysis::FillAnalysisTree(){
283   fCounter.fill(fCutnames[0]);
284   bool TChiSlepSnu(false);
285   if (!fIsData){
286     fMsugraCount->Fill(fTR->M0, fTR->M12);
287     if (fTR->process > 0 && fTR->process < 11) fProcessCount[fTR->process-1]->Fill(fTR->M0, fTR->M12);
288     for (int i = 0; i < fTR->NGenLeptons; i++) {
289       if ( abs(fTR->GenLeptonID[i]) == 12 || abs(fTR->GenLeptonID[i]) == 14 || abs(fTR->GenLeptonID[i]) == 16) continue;
290       if ( abs(fTR->GenLeptonMID[i]) == 1000024 ) TChiSlepSnu = true;
291     }
292     TChiSlepSnu ? fTChiSlepSnuCount->Fill(fTR->MassGlu, fTR->MassLSP) : fTChiSlepSlepCount->Fill(fTR->MassGlu, fTR->MassLSP);
293   }
294   // initial event selection: good event trigger, good primary vertex...
295   if( !IsGoodEvent() ) return;
296   fCounter.fill(fCutnames[1]);
297   ResetTree();
298
299   // Trigger selection
300   // if(fIsData && FillTriggers(fHLTPaths) == false) return;
301   FillTriggers();
302   fCounter.fill(fCutnames[2]);
303
304   // Do object selections
305   vector<int> selectedMuInd = MuonSelection(      &UserAnalysisBase::IsLooseMu);
306   vector<int> selectedElInd = ElectronSelection( &UserAnalysisBase::IsLooseEl);
307   vector<int> selectedJetInd = PFJetSelection(20., 2.5, &UserAnalysisBase::IsGoodBasicPFJet);
308   fTngmus = std::min( (int)selectedMuInd.size(), fMaxNmus );
309   fTngels = std::min( (int)selectedElInd.size(), fMaxNeles);
310   fTngjets = std::min( (int)selectedJetInd.size(), fMaxNjets);
311
312   // Require at least one loose lepton
313   if( (fTngmus + fTngels) < 1 ) return;
314   fCounter.fill(fCutnames[3]);
315
316   // Event and run info
317   fTRunNumber = fTR->Run;
318   fTEventNumber = fTR->Event;
319   fTLumiSection = fTR->LumiSection;
320
321   if(!fIsData) {
322     fTm0 = fTR->M0;
323     fTm12 = fTR->M12;
324     fTprocess = fTR->process;
325     fTmGlu = fTR->MassGlu;
326     fTmLSP = fTR->MassLSP;
327     TChiSlepSnu ? fTisTChiSlepSnu = 1 : fTisTChiSlepSnu = 0;
328   }
329   else {
330     fTm0 = -1;
331     fTm12 = -1;
332     fTprocess = -1;
333     fTmGlu = -1;
334     fTmLSP = -1;
335     fTisTChiSlepSnu = -1;
336   }
}
```

Analyse - das GRID

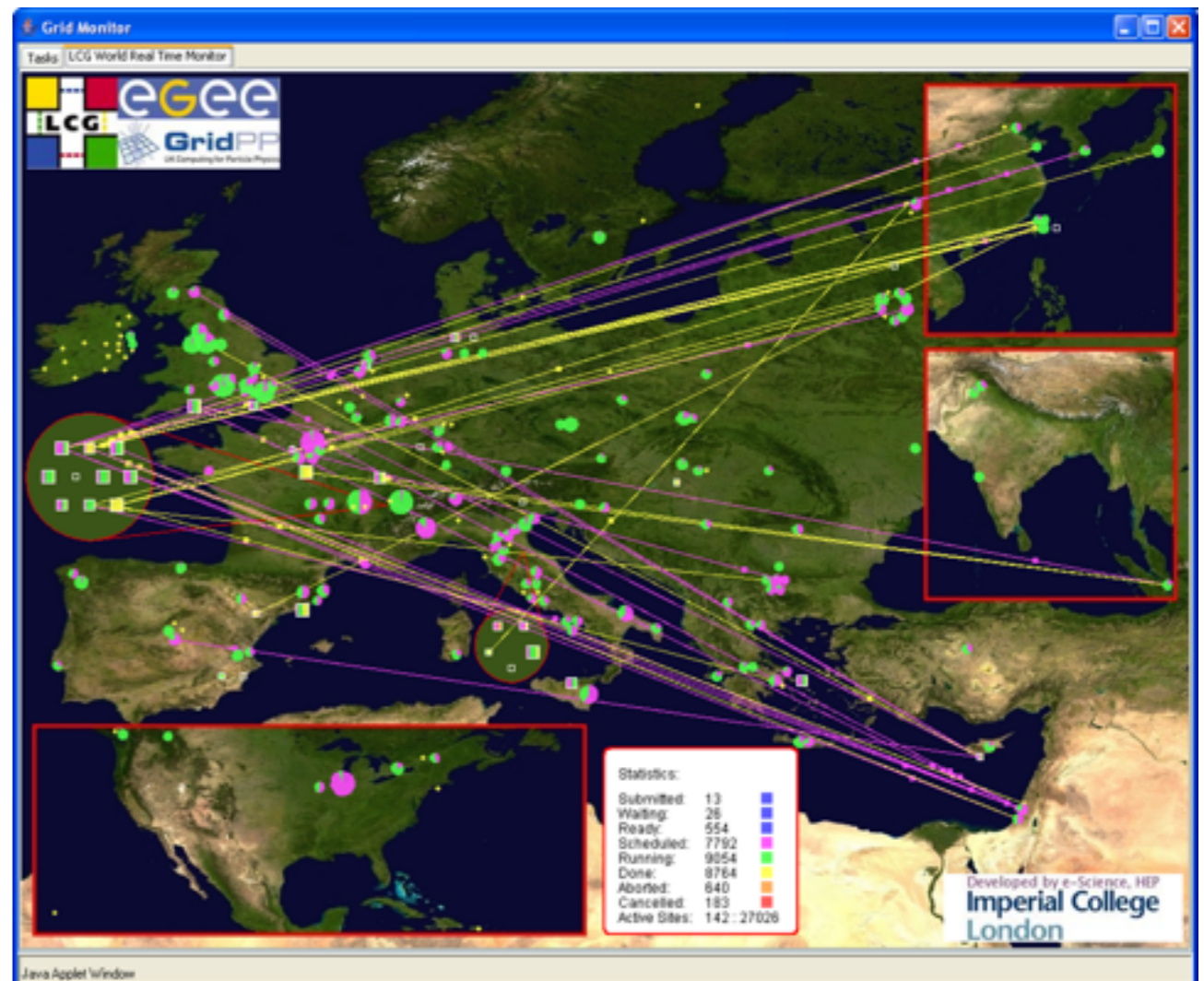
Statt alle Daten zu jedem Physiker zu bringen der sie braucht, bringen wir den Physiker zu “zentral” gespeicherten Datensätzen

- dafür wurde das **LCG - LHC Computing Grid** entwickelt

- Datensätze weltweit gespeichert

- wenn ein Physiker einen Datensatz analysieren will, sendet das System seinen “Job” an die richtige Stelle

- nur das Ergebnis wird zurück-gesendet



Spin-offs

Am CERN werden immer wieder **neue Dinge entwickelt** - auch fuer die Allgemeinheit

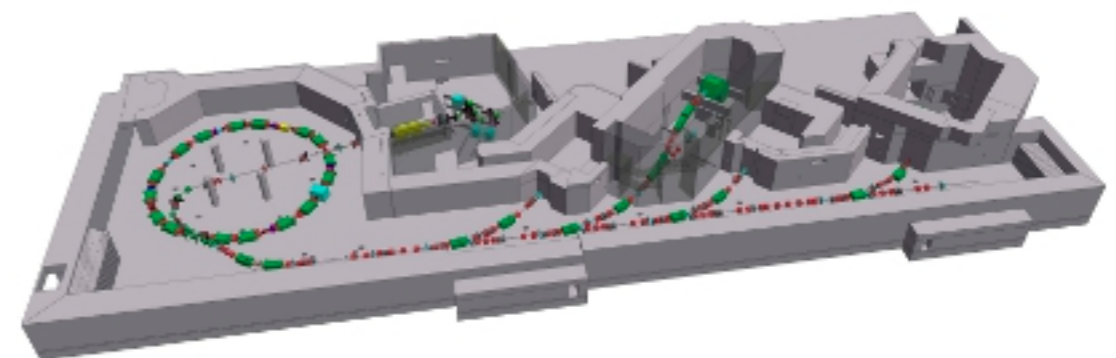
- das **WWW** wurde von Tim Berners-Lee & co. 1990 am CERN erfunden

- einer der ersten **Touchscreens** wurde am CERN in den 1970er erfunden

-viel Forschung für die **Krebsbehandlung mit Teilchenstrahlen** und Detektoren (PET, Magneten)

- distributed computing - **GRID**

- immenser **Wissensgewinn** für die Menschheit



FRAGEN?