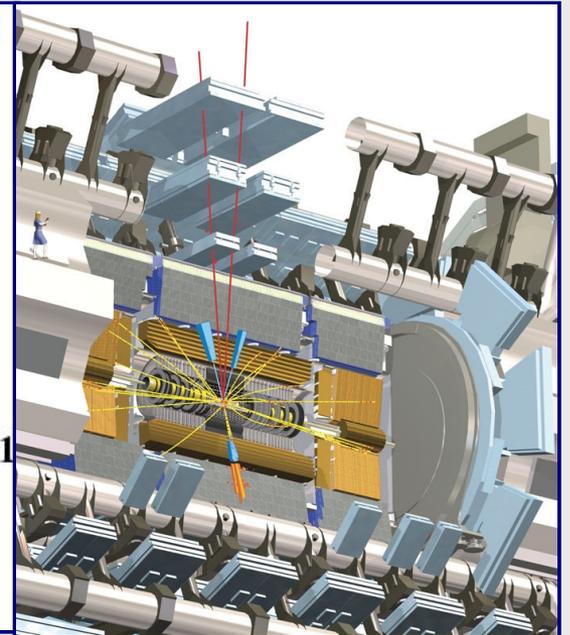
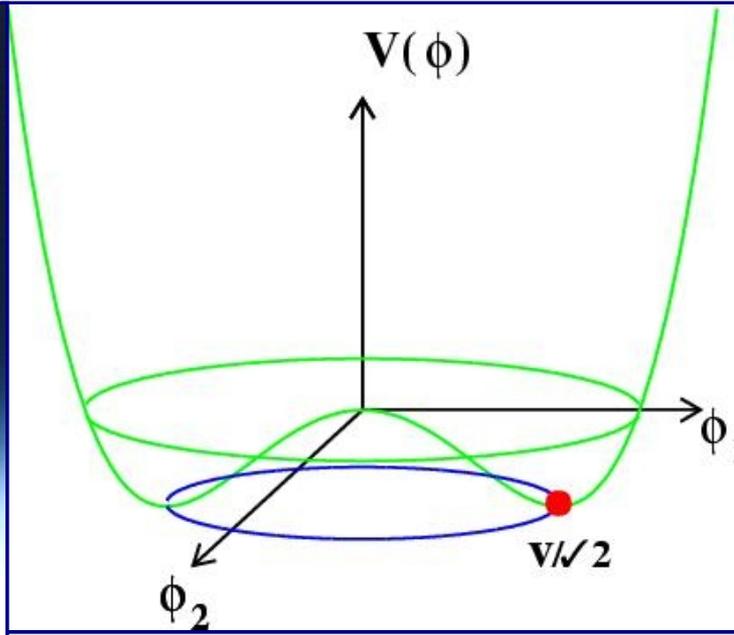


# Die Weltmaschine

-

## Die Jagd nach dem Higgs-Teilchen am LHC

Claus Grupen



Universität Siegen

# Der Begriff der Masse in der Physik

$$F = m a$$

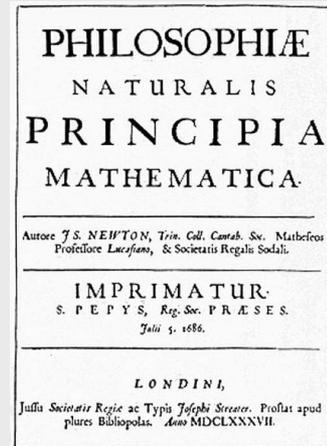
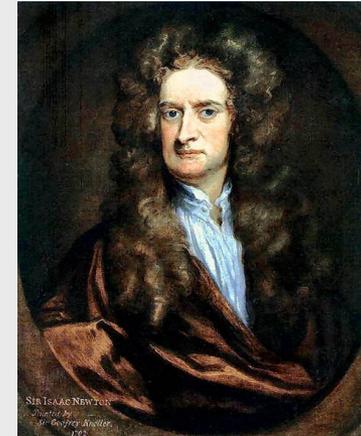
„Trägheit“

Newtons 2. Axiom

$$F = m \frac{G_N M}{R^2}$$

„Schwere“

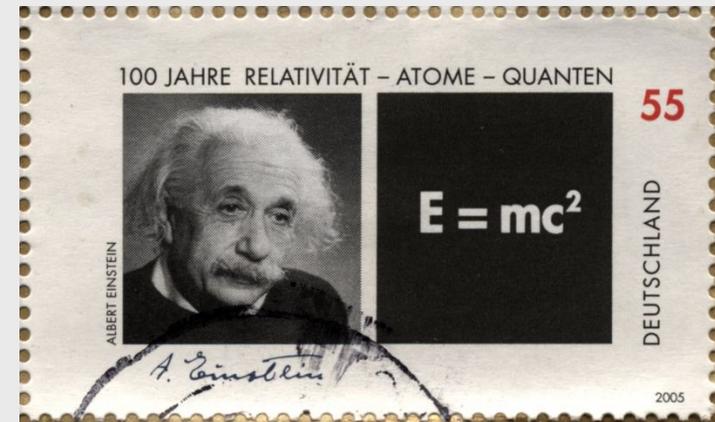
Newtons Gravitationsgesetz



$$m = E/c^2$$

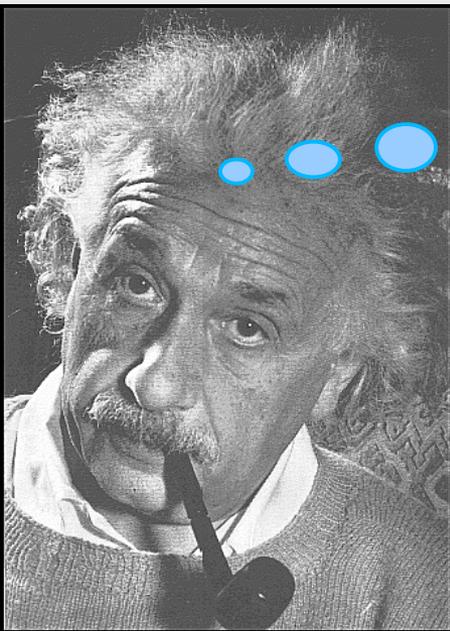
Einsteins „berühmte“ Gl.

(für Partikel in Ruhe)



... aber was macht nun eigentlich Masse?

# $E=mc^2$ und die Einheit des Elektronvolt

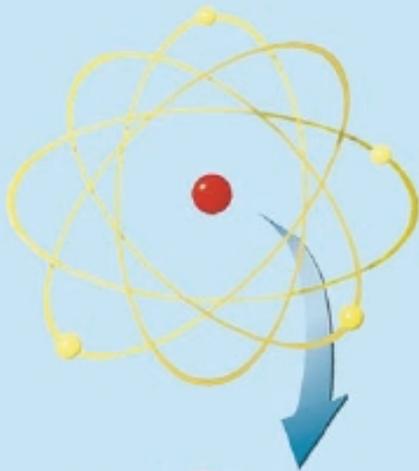


$$E = mc^2$$



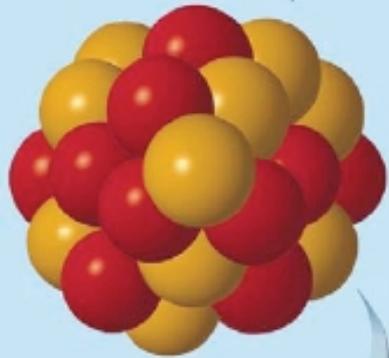
Zuwachs der Energie des Protons

1	GeV	Masse des Protons
52	GeV	Masse eines Eisenatoms
0.5	MeV	Masse des Elektrons
0.025	eV	Temperatur in diesem Raum
$2.3 \times 10^{-13}$	eV	heutige Temperatur des Universum



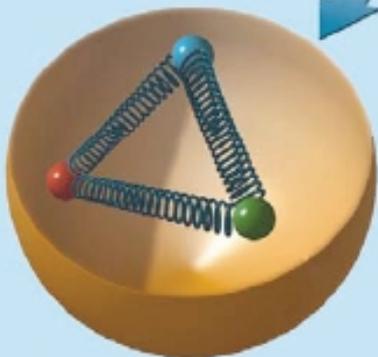
$10^{-10}$  m  
Atom

1/10.000



$10^{-14}$  m  
Atomkern

1/10



$10^{-15}$  m  
Proton

1/1.000

„up“ „up“  
down“

Wasserstoffatom:

$$\text{Masse} = m_p + m_e - E_{\text{bind.}} =$$

$$938000000 + 511000 - 13.4 \text{ eV}$$

Heliumkern:

$$\text{Masse} = 2m_p + 2m_n - E_{\text{bind.}} =$$

$$2 \times 938 \text{ MeV} + 2 \times 939 \text{ MeV} - 28 \text{ MeV}$$

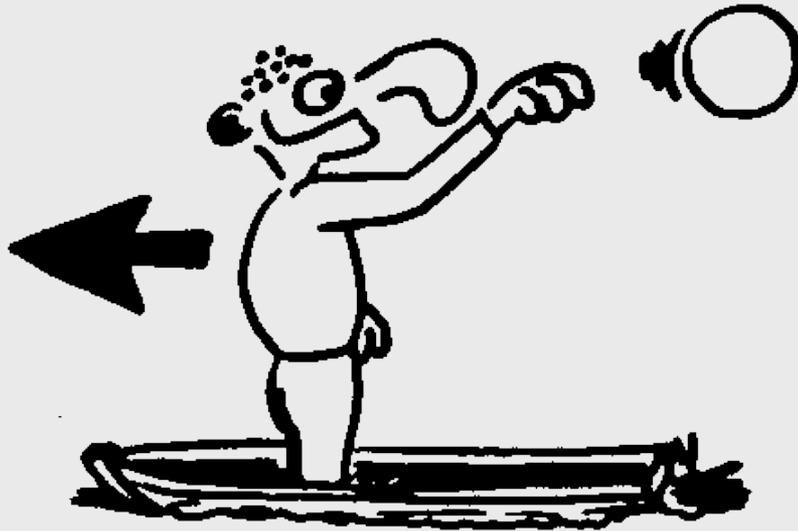
Nukleon (Proton/Neutron):

$$\text{Masse} = 3 m_q - E_{\text{bind.}} = ?$$

so einfach ist es diesmal nicht!

$$M_q = 5 \text{ bis } 10 \text{ MeV}$$

# Prinzip von Kraftwirkungen



Kräfte = Austausch von Botenteilchen

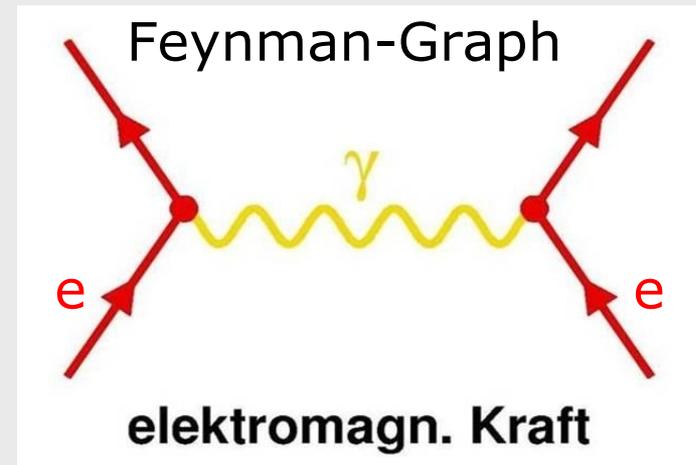
z.B. Elektromagnetismus:

zwei Elektronen tauschen  
ständig Photonen aus.

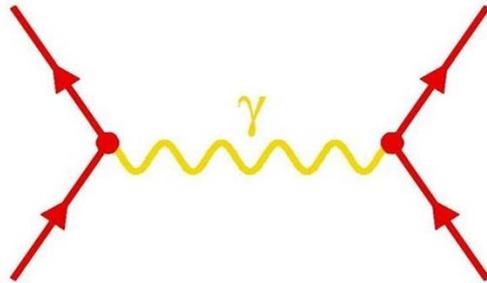
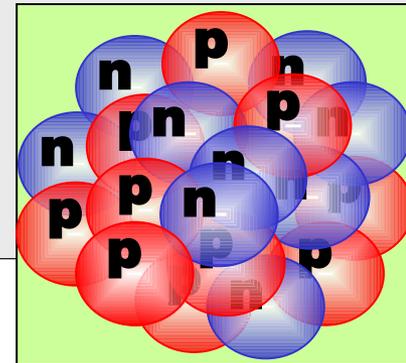
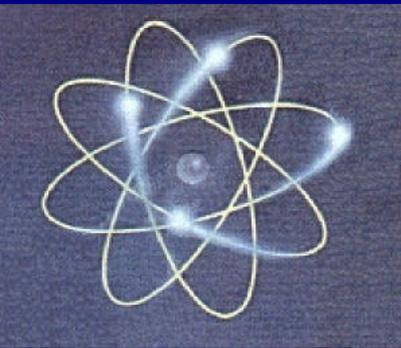
Stärke hängt von Ladung der  
Materieteilchen (hier  $e$ )

u. Masse des Boten (hier  $0$ ) ab

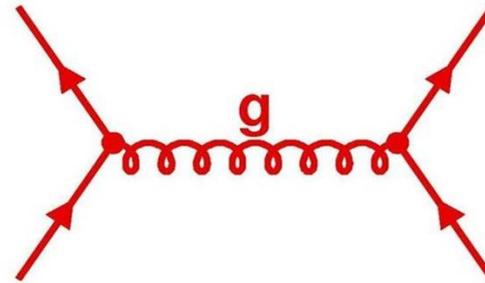
Zeit ↑



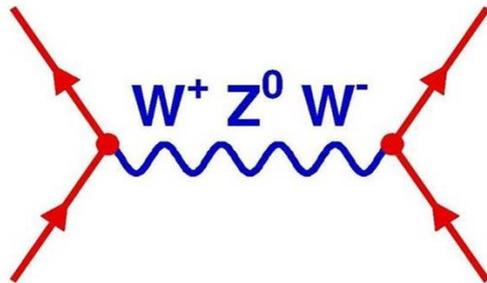
# Die 4 Kräfte und ihre Botenteilchen



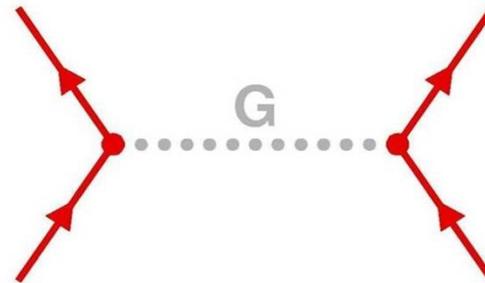
elektromagn. Kraft



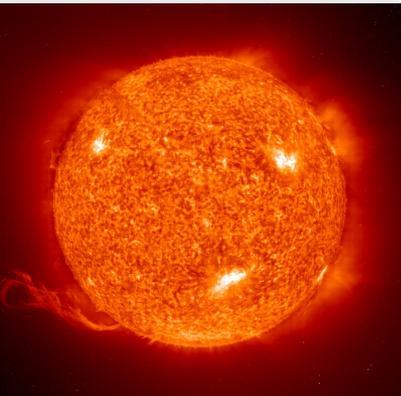
starke Kraft



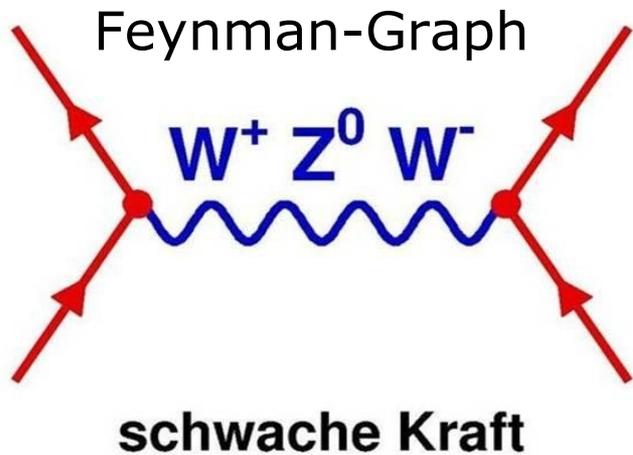
schwache Kraft



Gravitation



# Die schwache Kraft



Austausch von W und Z Teilchen.

schwache Ladung etwas grösser als el.-mag.

aber Masse von W, Z etwa  $85 \times M_{\text{Proton}}$

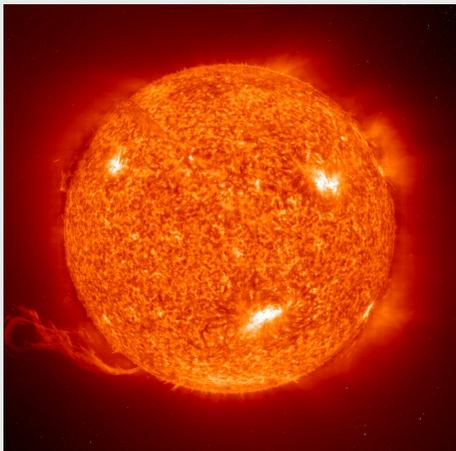
→ endliche Reichweite ca 0.0025 fm

→ Stärke  $1/10000$  x elektromagnetische Kraft

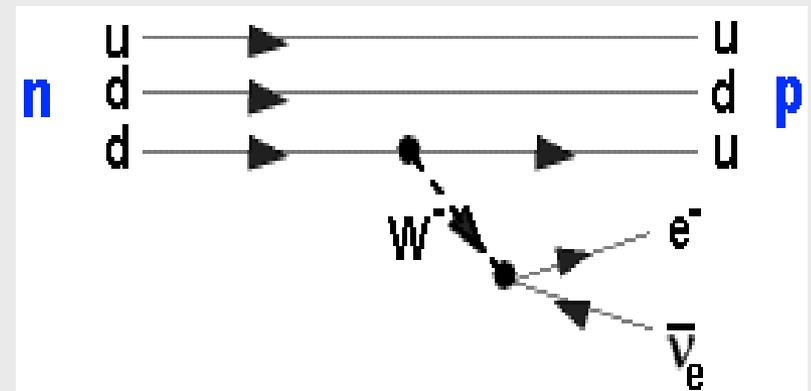
-> Makroskopisch nicht beobachtbar, außer

Brennen der Sonne

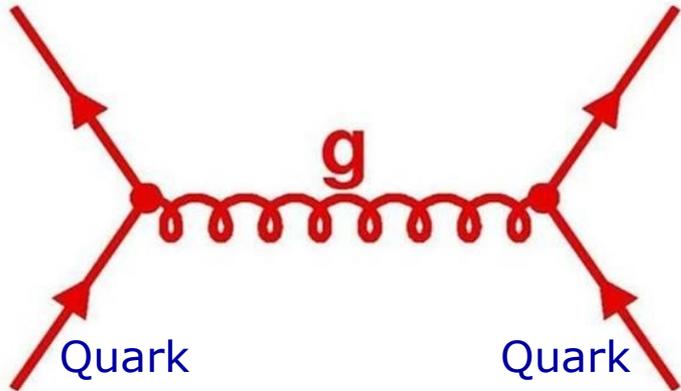
$p+p \rightarrow D+e+\nu$



Radioaktive Umwandlung („Zerfall“) des Neutron

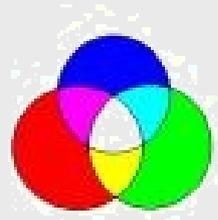


# Die starke Kraft: „Quantenchromodynamik“



**starke Kraft**

Botenteilchen = 8 Gluonen (glue = Leim)



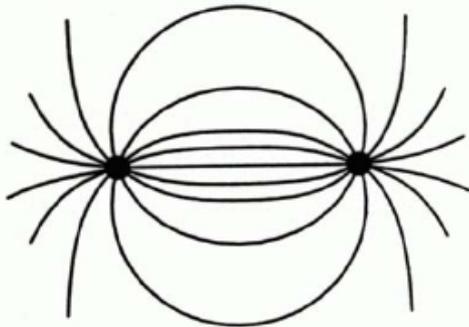
3 Ladungen: **rot**, **grün**, **blau**

Quarks sind eingesperrt, es gibt nur farbneutrale Objekte

Feldlinienverlauf

Elektromagnetismus

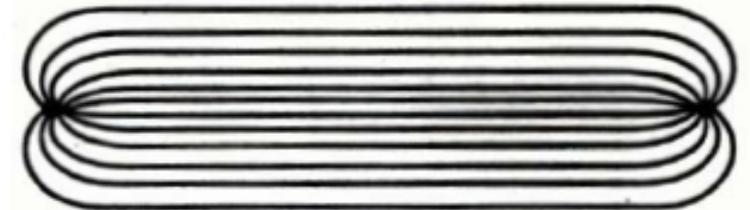
QED



Photon trägt keine Ladung

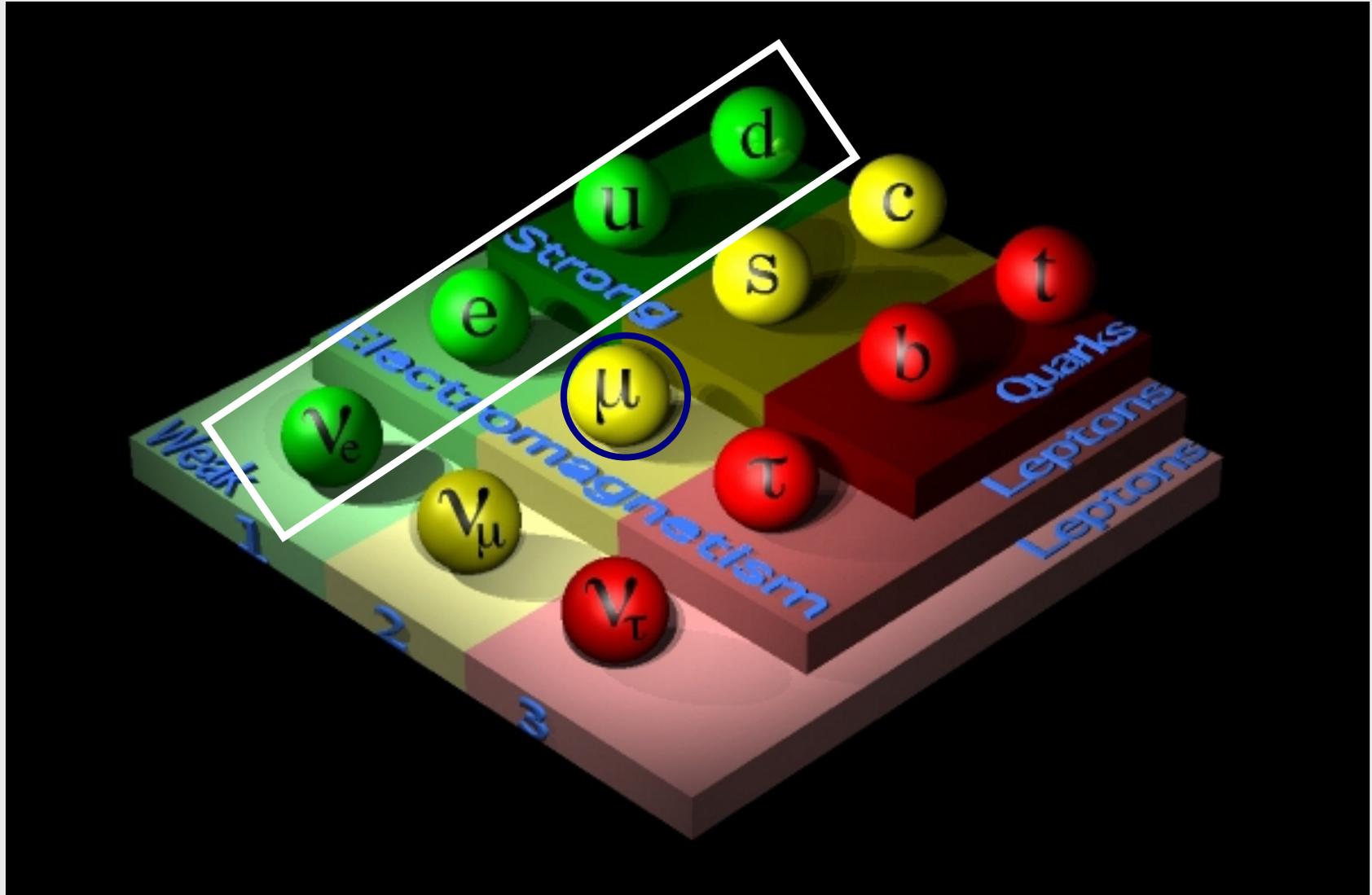
Starke Kraft

QCD



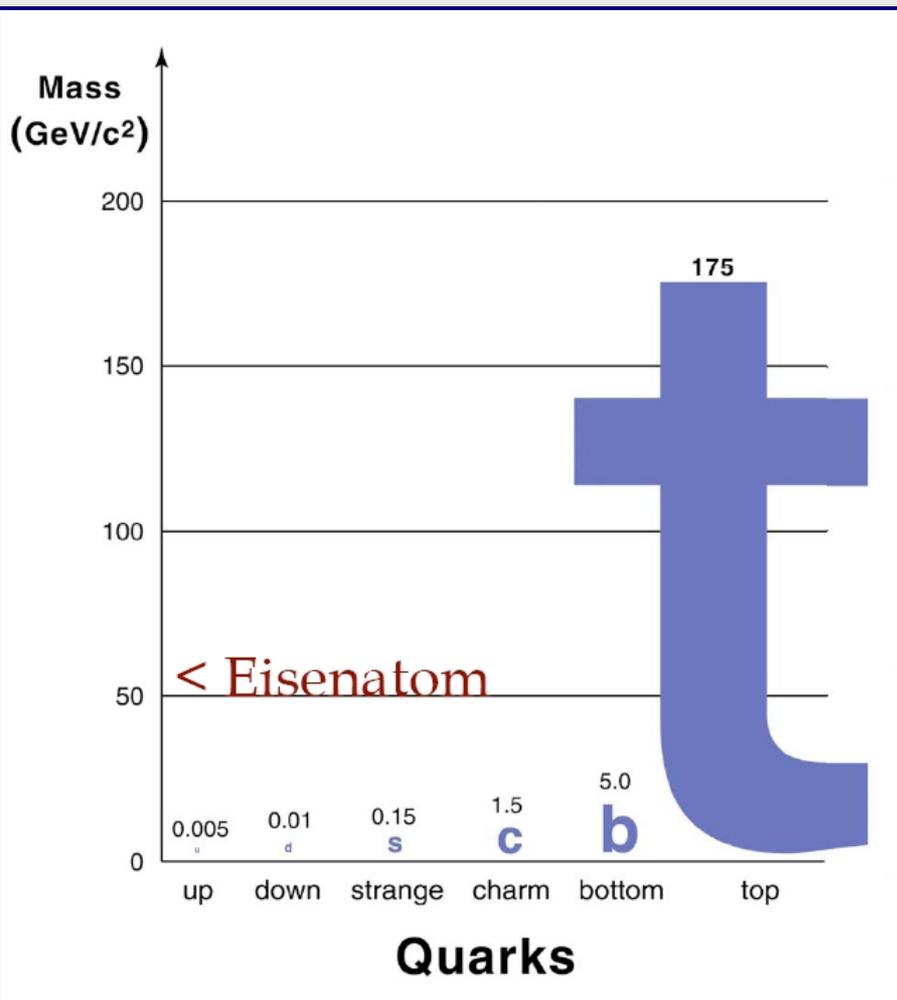
Gluonen sind farbgeladen

# Das vollständige Set der Bausteinteilchen



Das 4er Set der „1.Baustein-Generation“ wiederholt sich genau 2 Mal

# Elementare Teilchen haben unterschiedliche Massen? Warum?



Experiment:

alle Teilchen bis auf Gluonen und Photonen besitzen eine Masse

Theorie bis 1964:

alle Teilchen müssen masselos sein, sonst bricht das Modell zusammen und keine Vorhersagen sind möglich

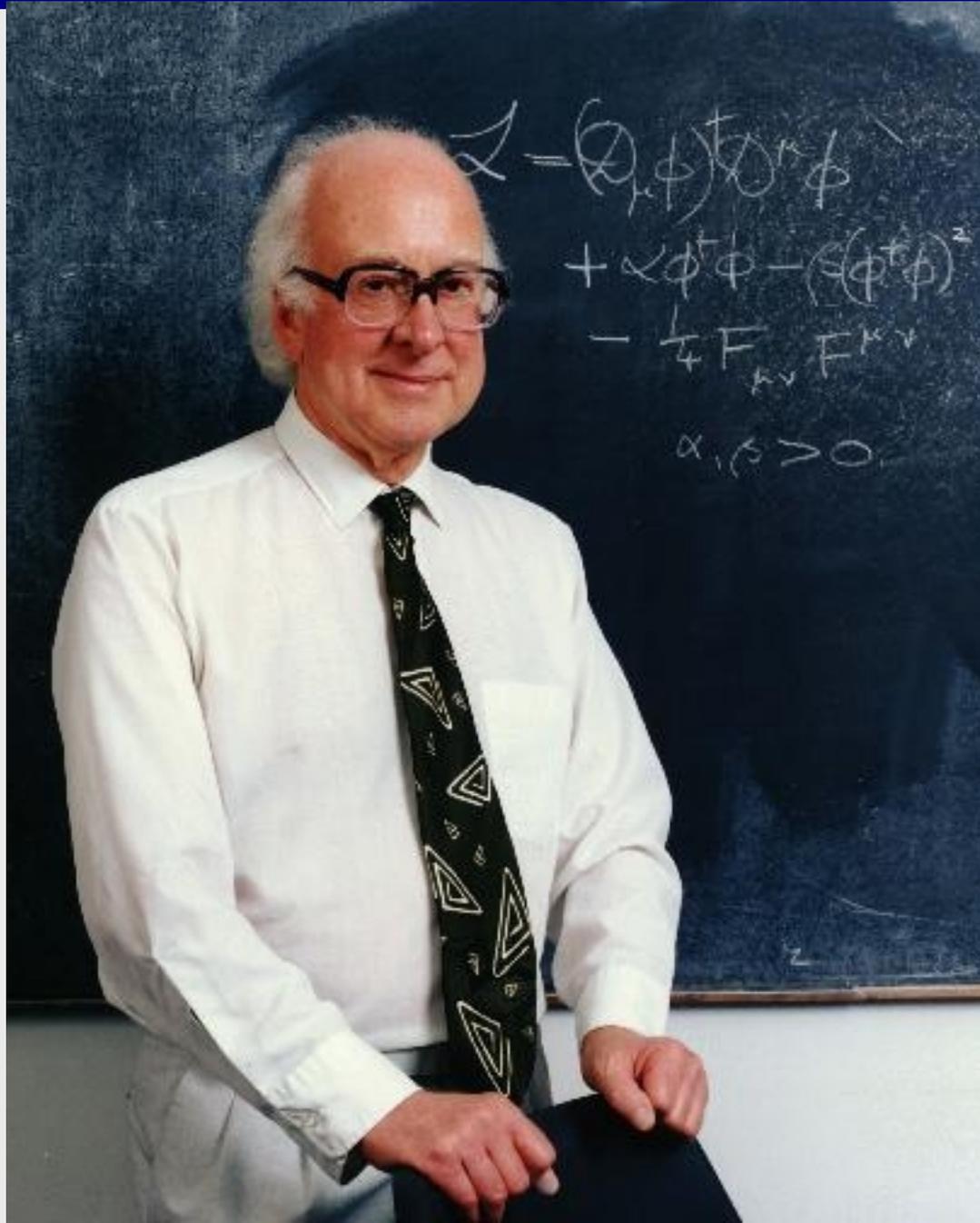
Die Massen der elementaren Teilchen sind sehr unterschiedlich!

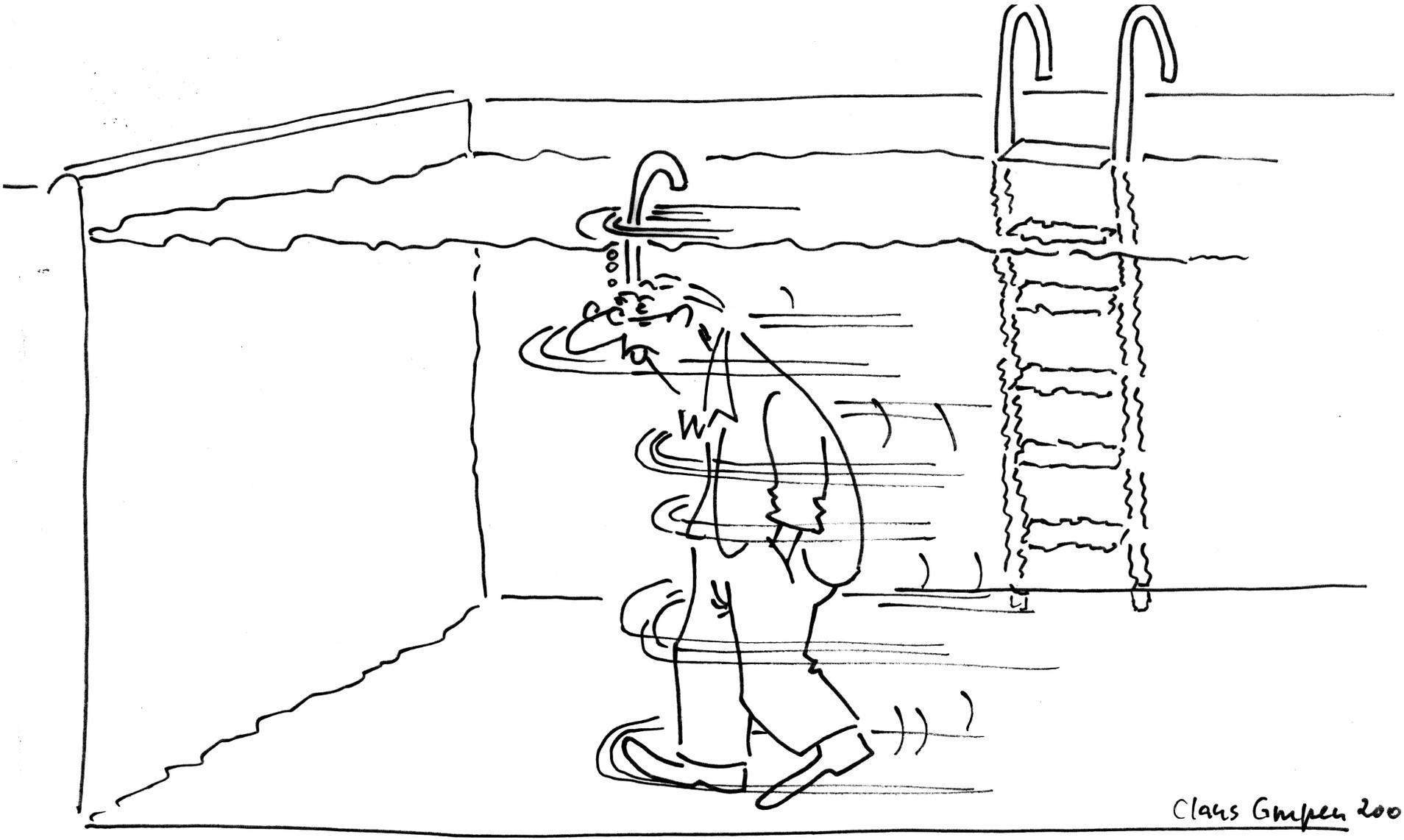
z.B. u-Quark 0.005 GeV

t-Quark 175 GeV

Was erzeugt diese Massen?

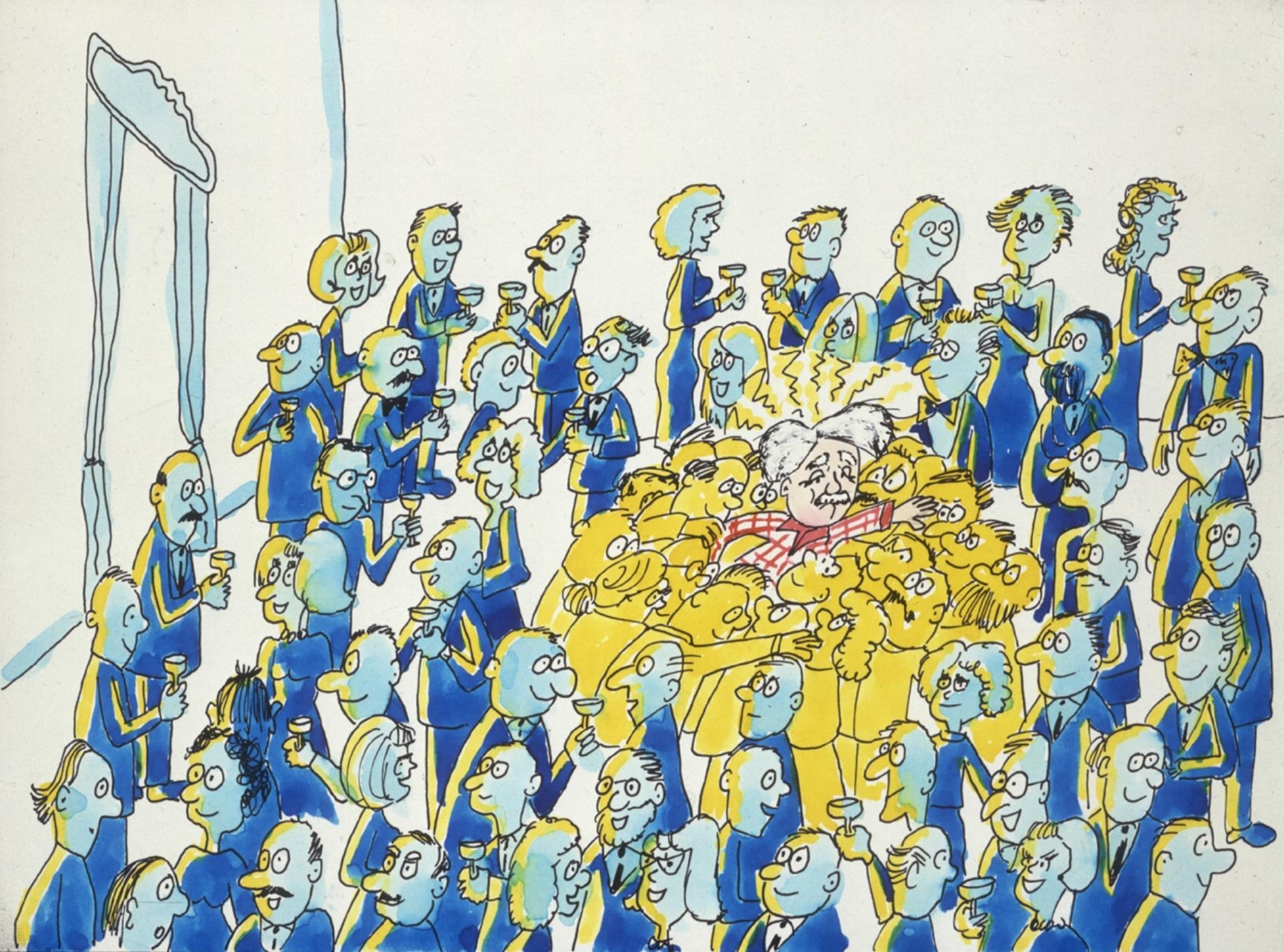
# Teilchenmassen und ihre Bedeutung





# Der Higgs-Mechanismus

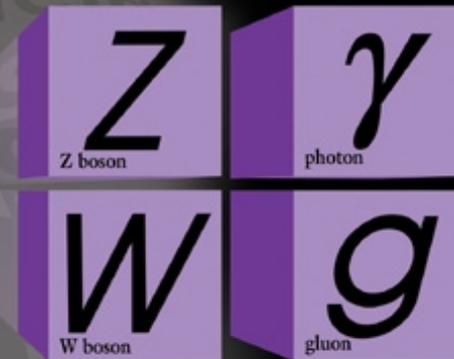




# Quarks



# Forces



# Leptons

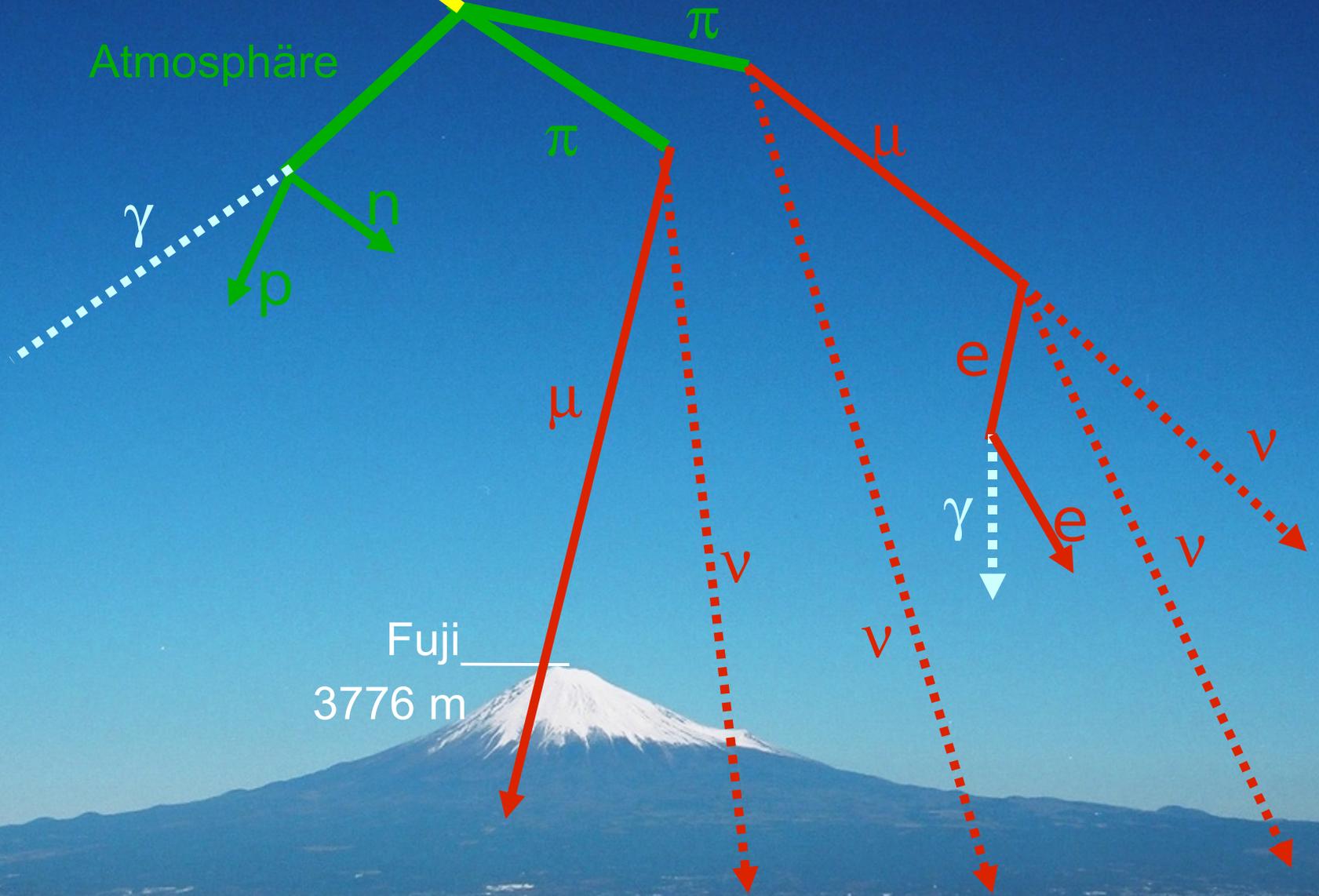


"Quarks, Neutrinos, Leptonen. Alles diese verdammten Teilchen, die man nicht sehen kann. Das hat mich an die Flasche gebracht. Aber nun kann ich sie sehen!"

$p, He, \dots$

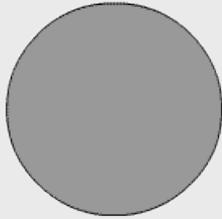
primäres Teilchen trifft auf  
Atmosphäre: 15 – 30 km Höhe

Atmosphäre



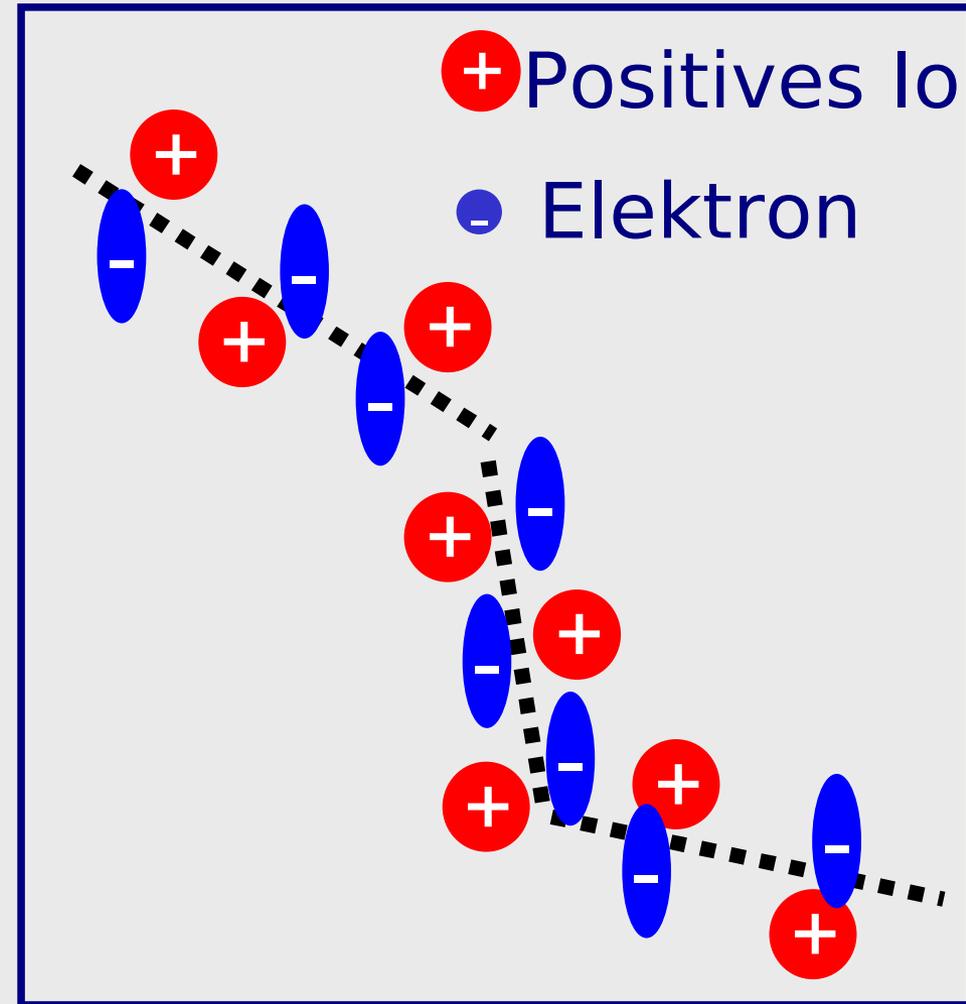
Fuji  
3776 m

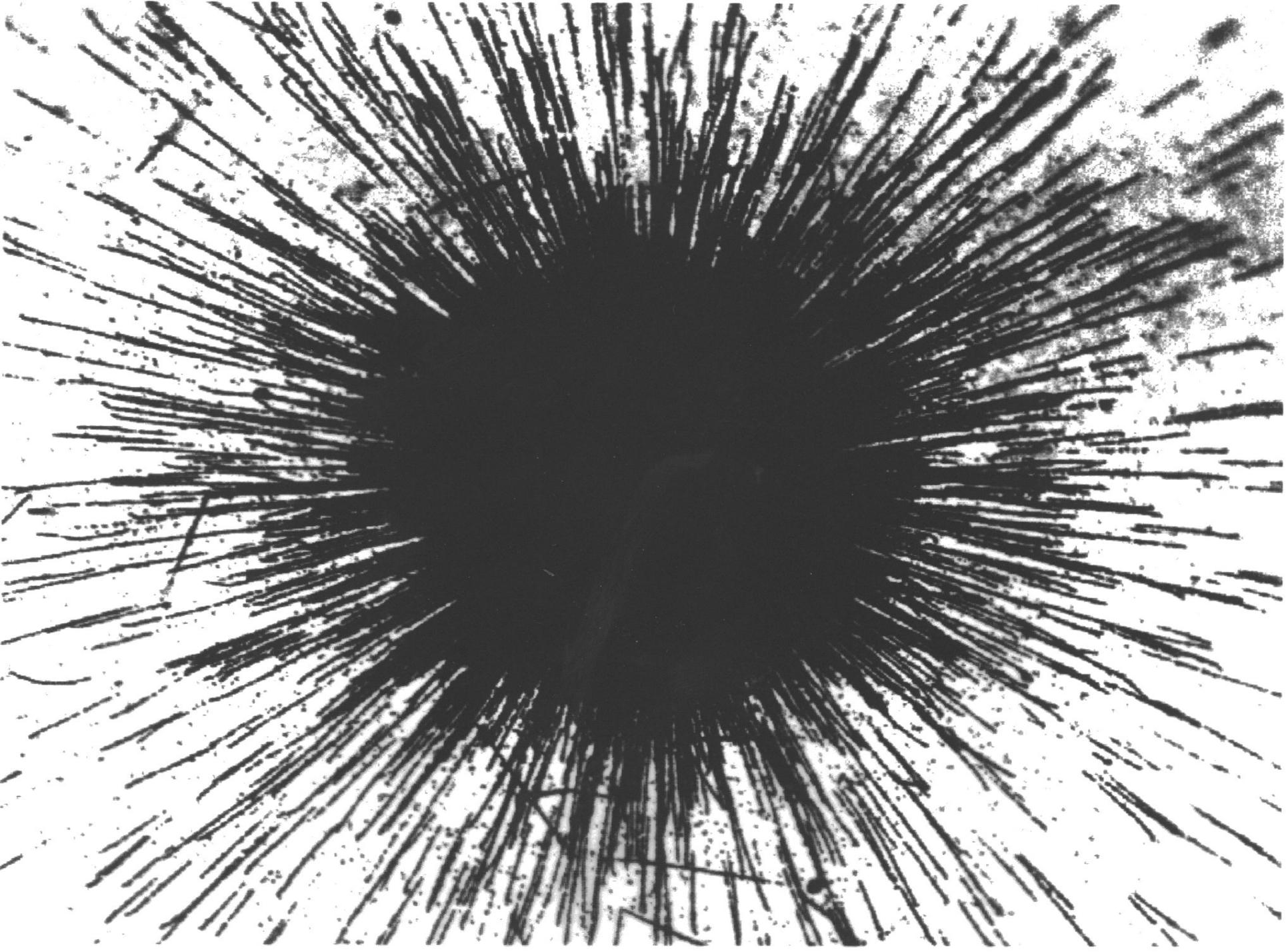
## Stossionisation



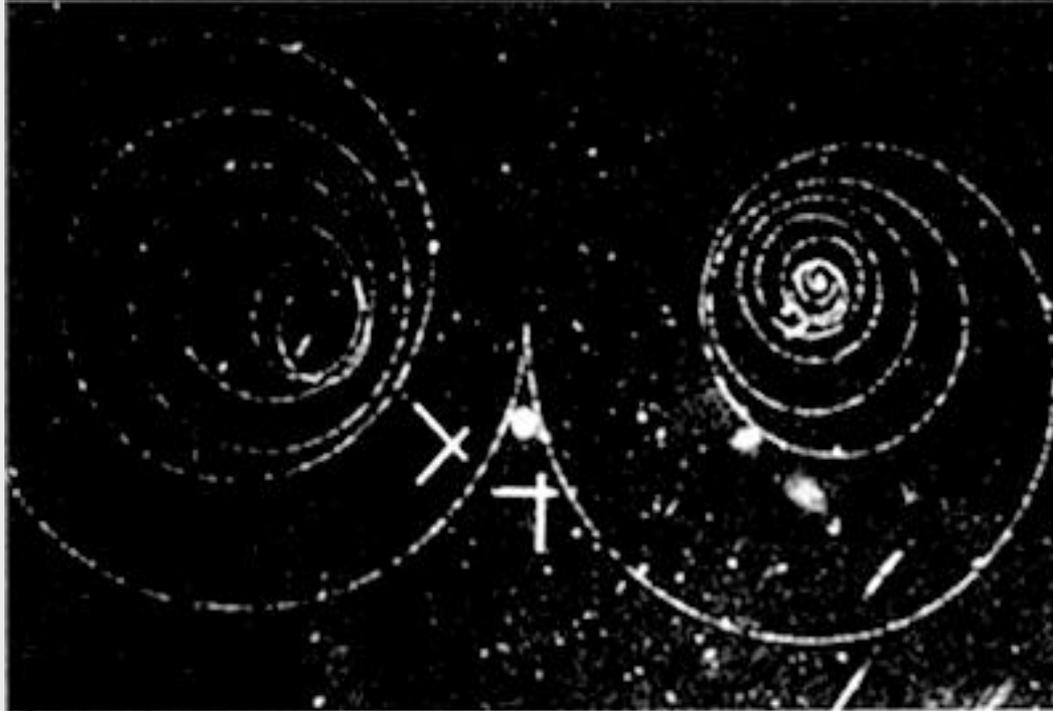
Elektron + Atom  $\rightarrow$  roshnychenko 2004

Elektron + Elektron + **positives Ion**





*Konversion eines Photons in ein Elektron-Positron Paar*



... erinnern an:

# ***Kondensstreifen beim Flugzeug***

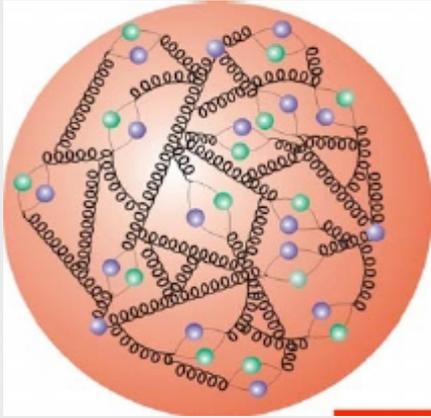


Rußpartikel aus  
Triebwerken

Kondensierter  
Wasserdampf

# Higgs Produktion am Large Hadron Collider

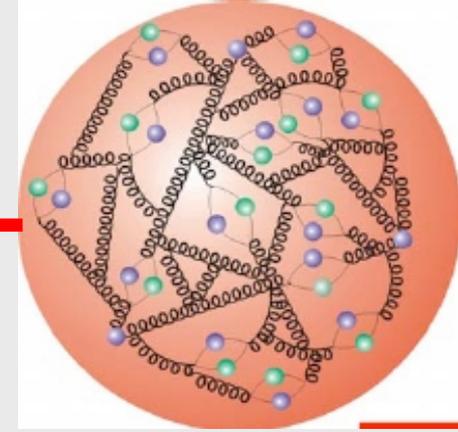
Proton



$$E = mc^2$$

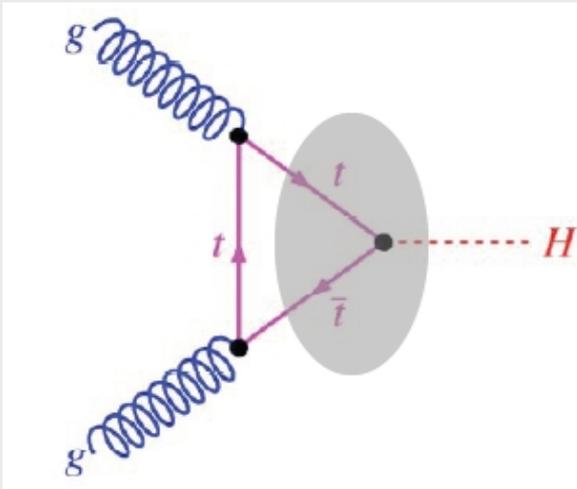


Proton



Welche Energie für die Protonstrahlen?

Higgs-Masse im Bereich 100 GeV (Exp.) bis 1000 GeV (Theorie)



Aber: Gluonen u. Quarks im Proton kollidieren.

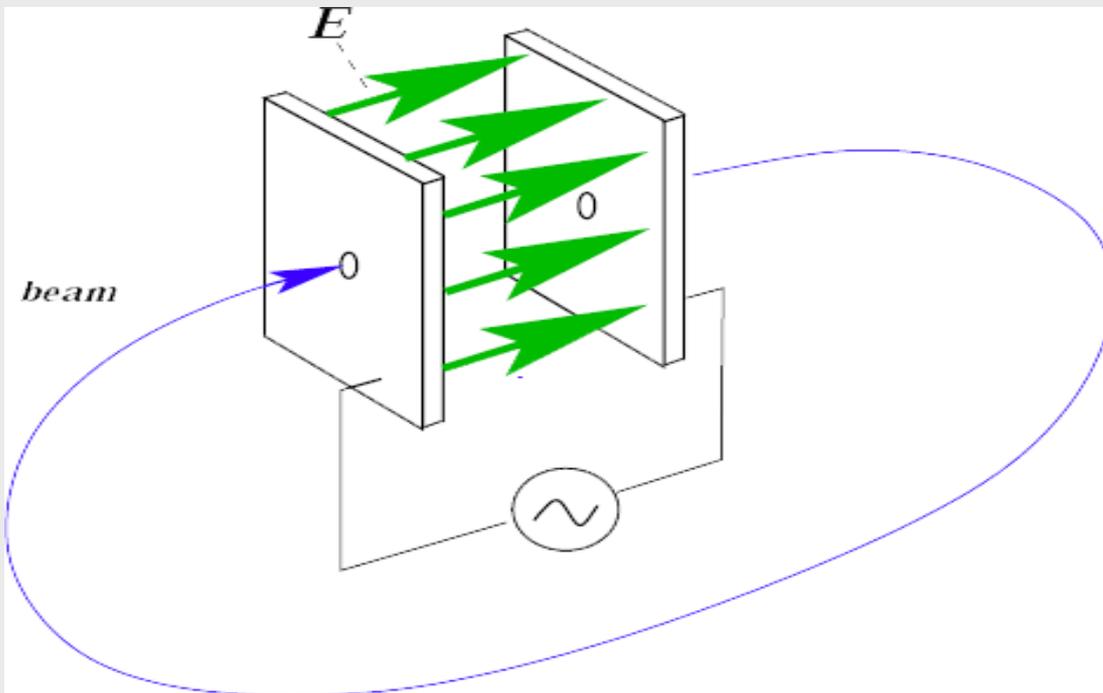
Diese tragen im Mittel je  $\sim 1/3$  der Energie

$$E_{\text{Strahl}} = 500 \text{ GeV} * 6 \sim 3000 \text{ GeV}$$

Bei LHC werden Protonen mit 7TeV kollidieren!

# Wie beschleunigt man ein Teilchen?

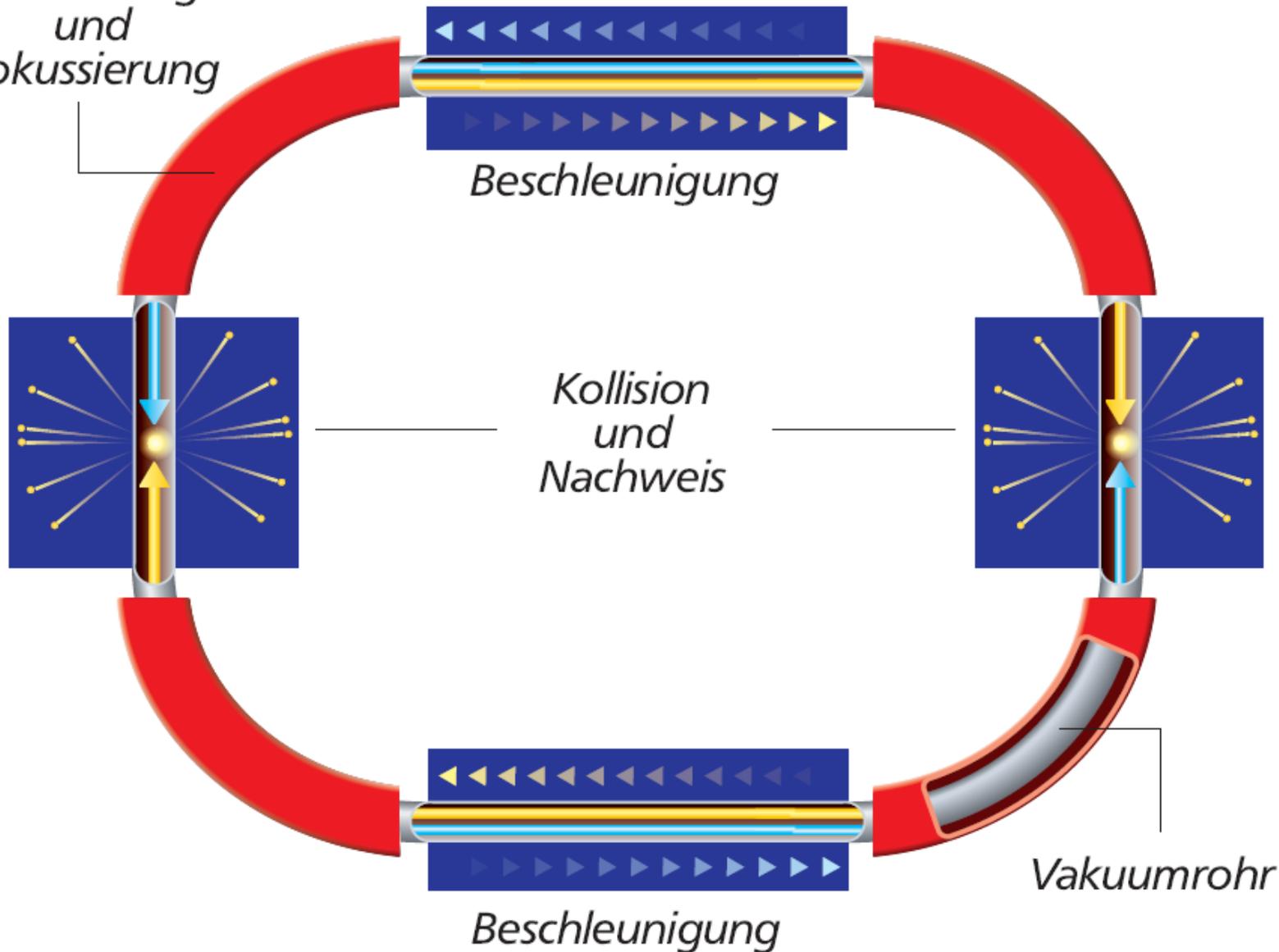
mit einem elektrischen Feld!  $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$



Heutige Beschleuniger:  
Elektromagnetische  
Wechselfelder  
(10 Millionen V/m)

# Prinzip eines Ringbeschleunigers

Ablenkung  
und  
Fokussierung



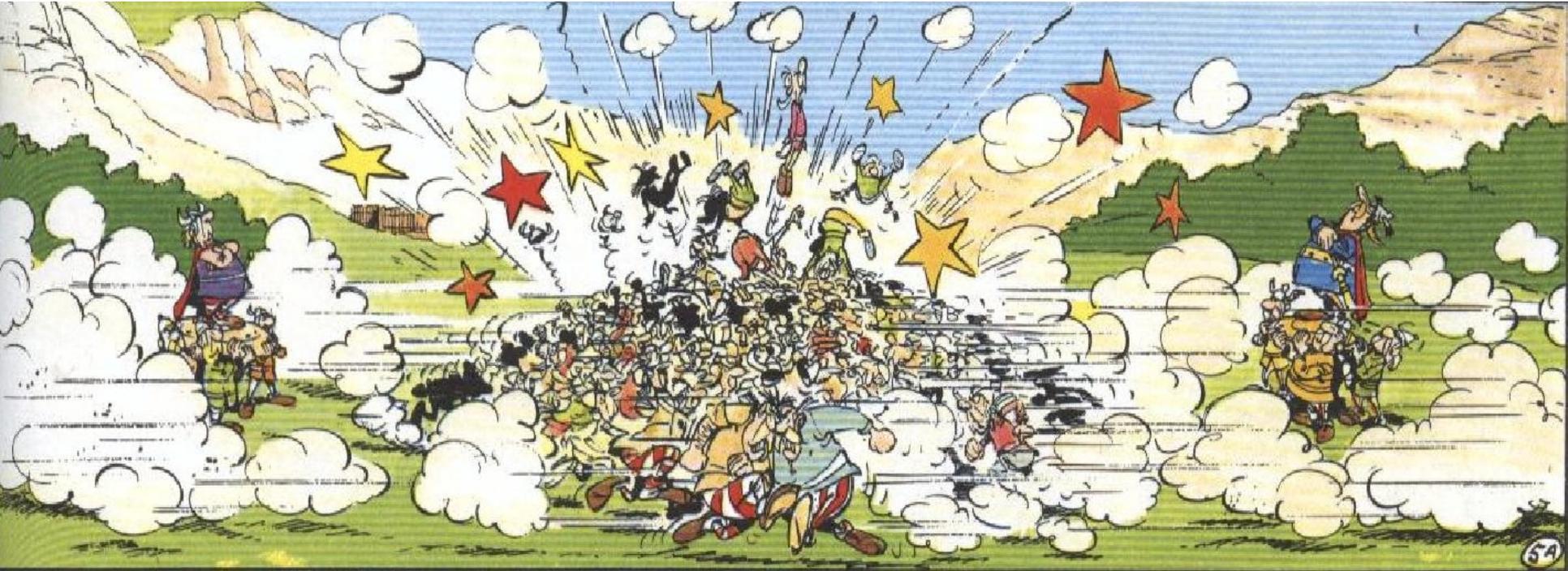
# Wie lenkt man ein Teilchen ab?



1232 Supraleitende Magnete (15m, 35t) bei 1.9 Kelvin  
7000l flüssiges Helium (grösste Kühlanlage der Welt)

# Die zweite Kenngrösse: Luminosität L

Wahrscheinlichkeit für Higgs in einem Proton-Proton-Stoss sehr klein!

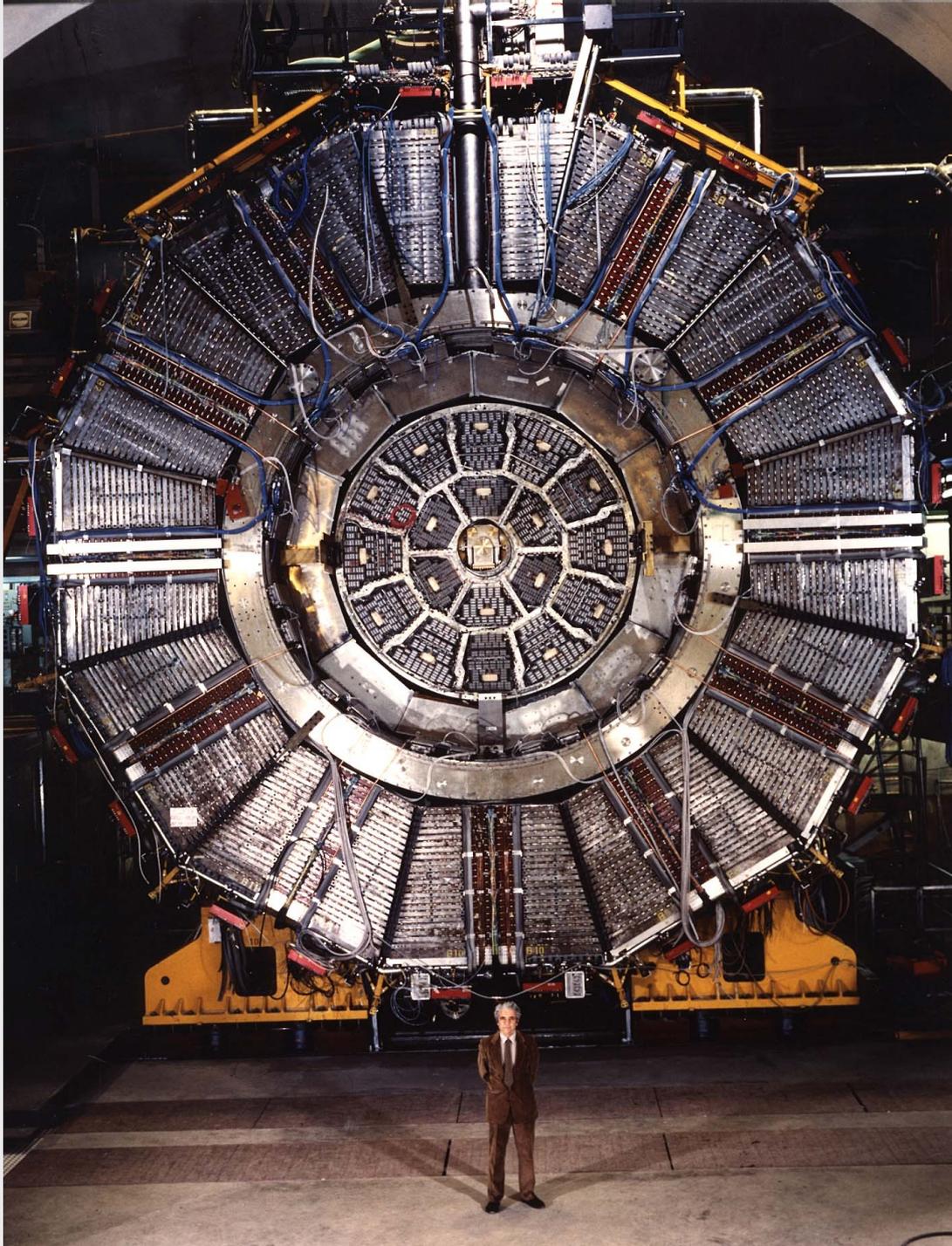


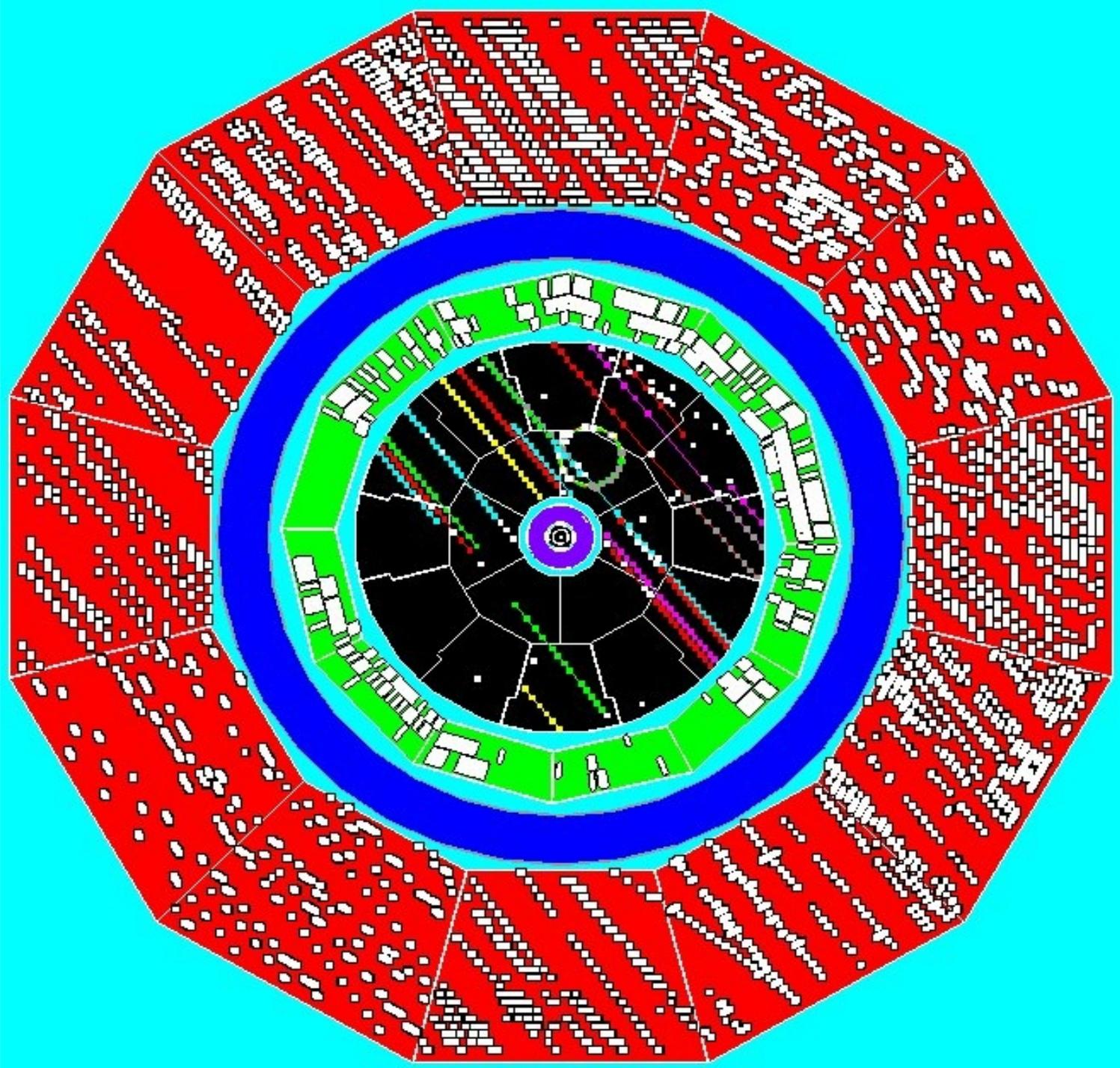
N: 100 000 000 000 Protonen pro Paket

A: Strahlquerschnitt  $16\mu \text{ m} \times 16\mu \text{ m}$

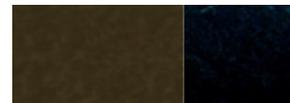
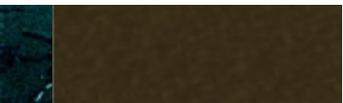
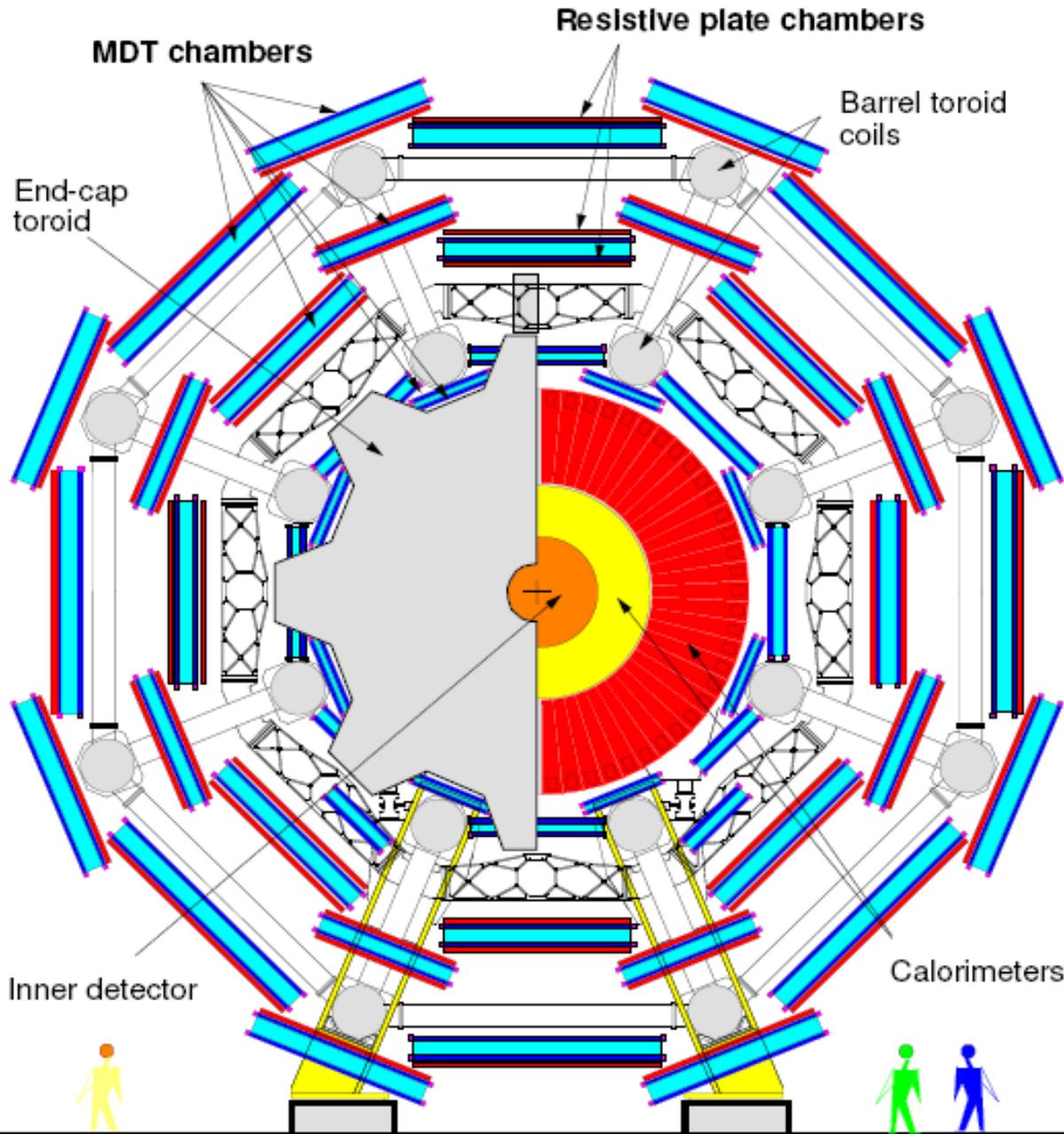
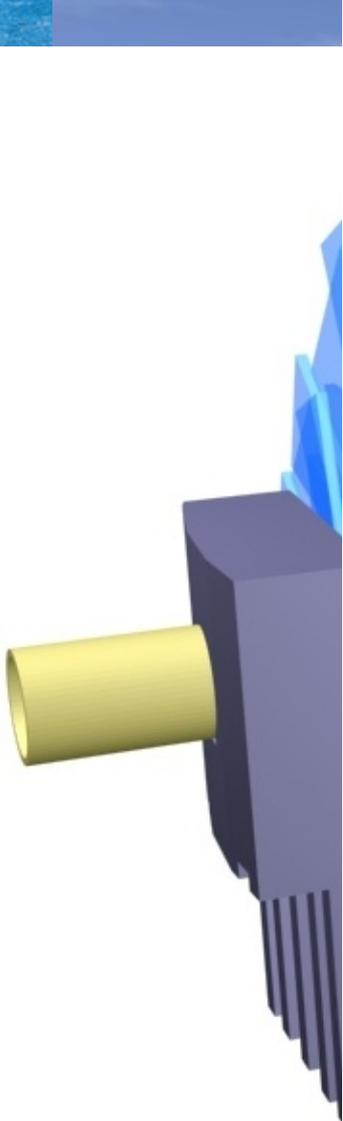
f: alle 25 Nanosekunden  $\rightarrow$  40 000 000 mal pro Sekunde

$\rightarrow$  das Ergebnis: ca. 1 Higgs-Teilchen pro Stunde

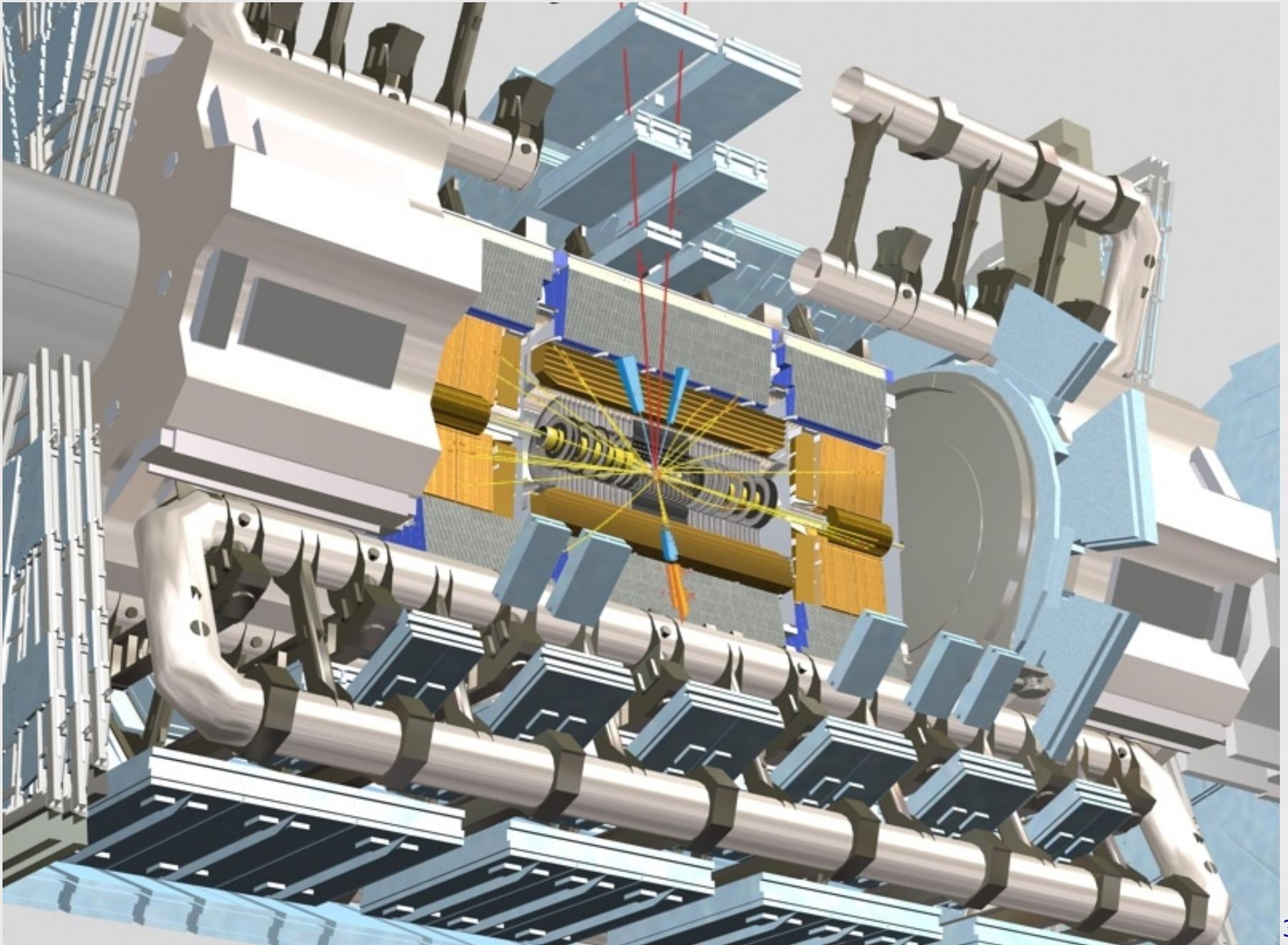




# Das ATLAS Experiment



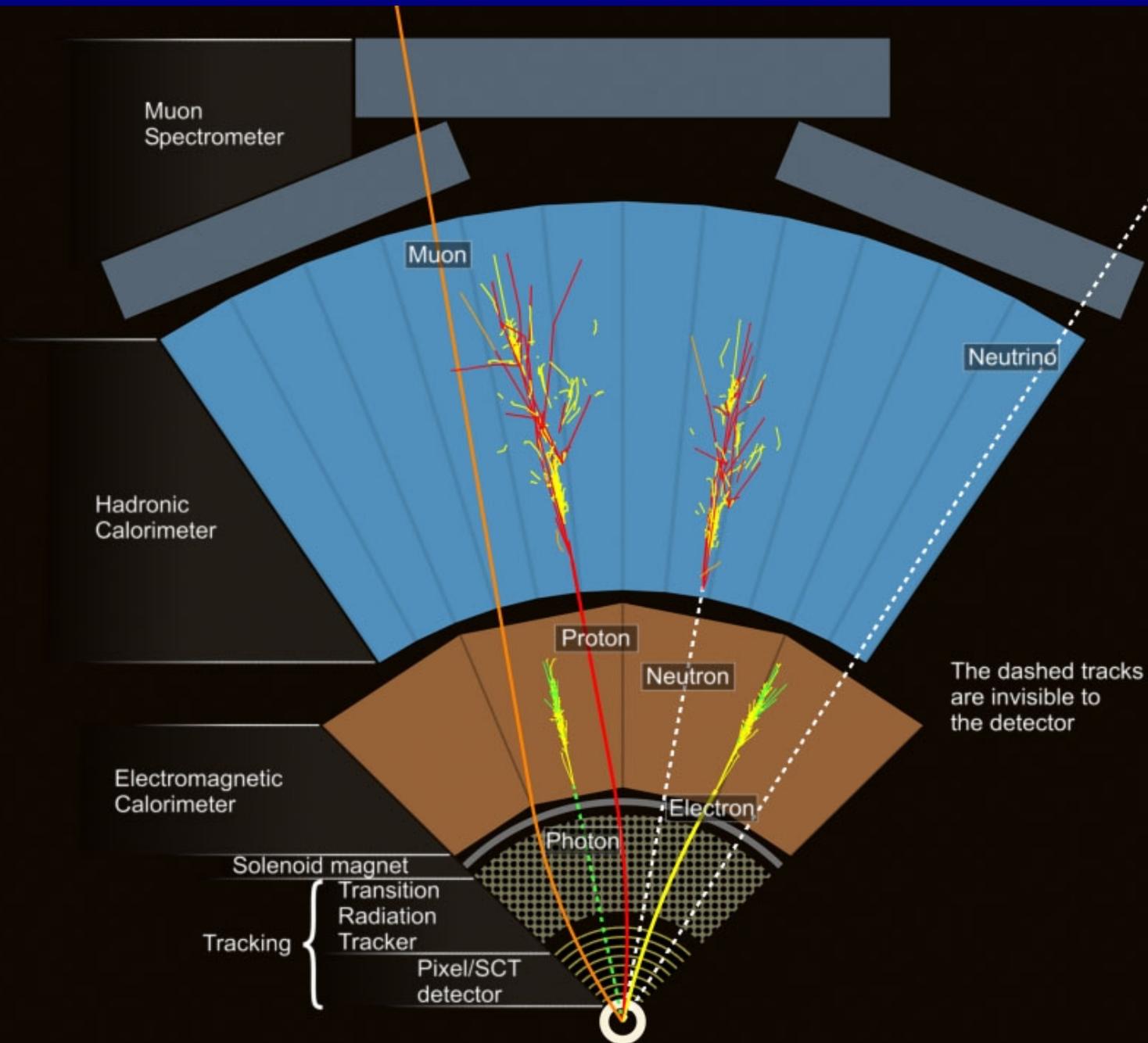
# Ein Higgs-Ereignis im ATLAS-Detektor



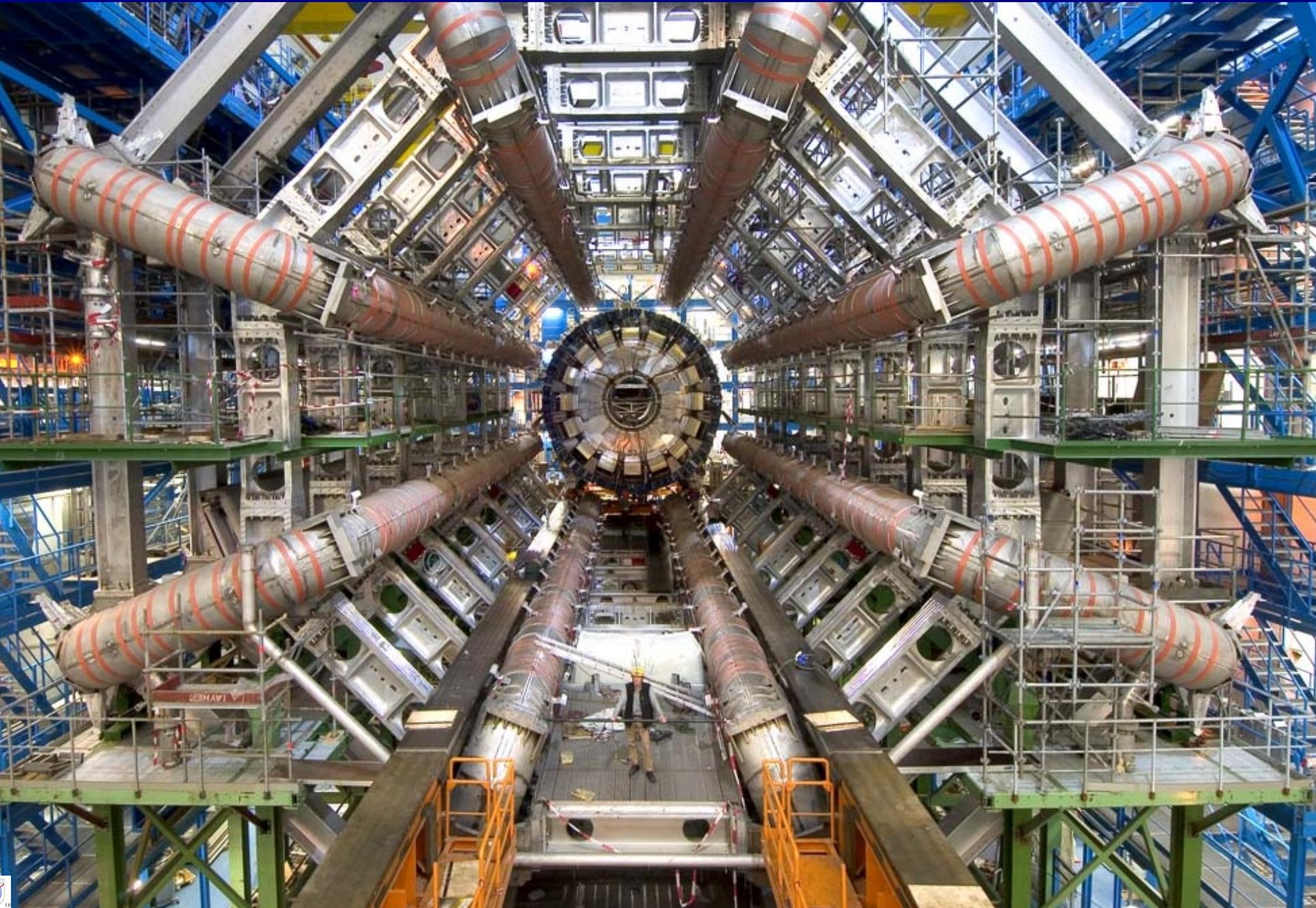
# Die Higgs-Nadel im Daten-Heuhaufen



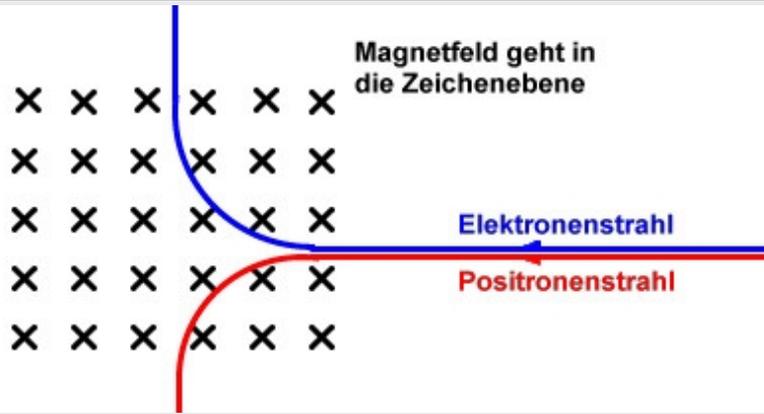
# Teilchenidentifikation mit ATLAS



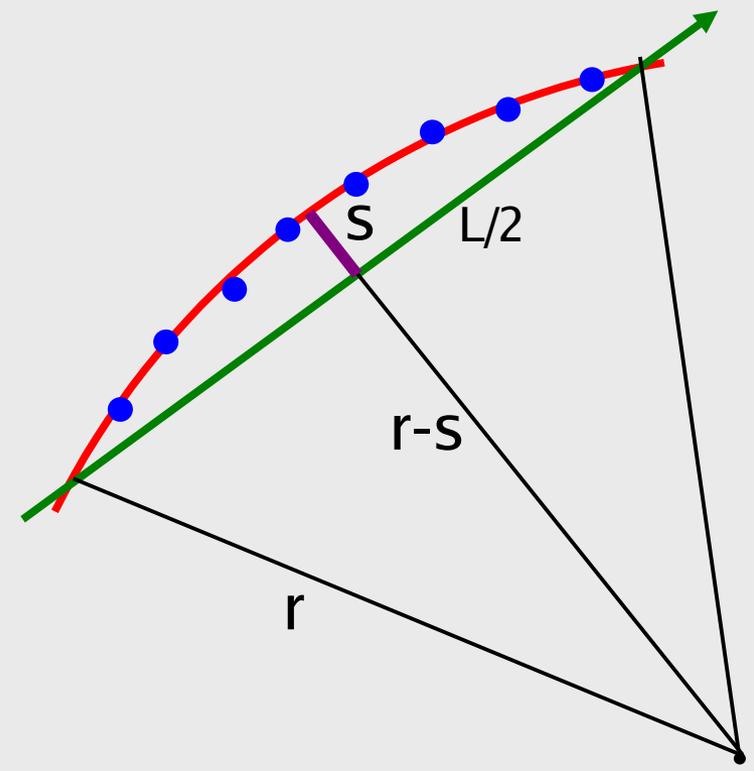
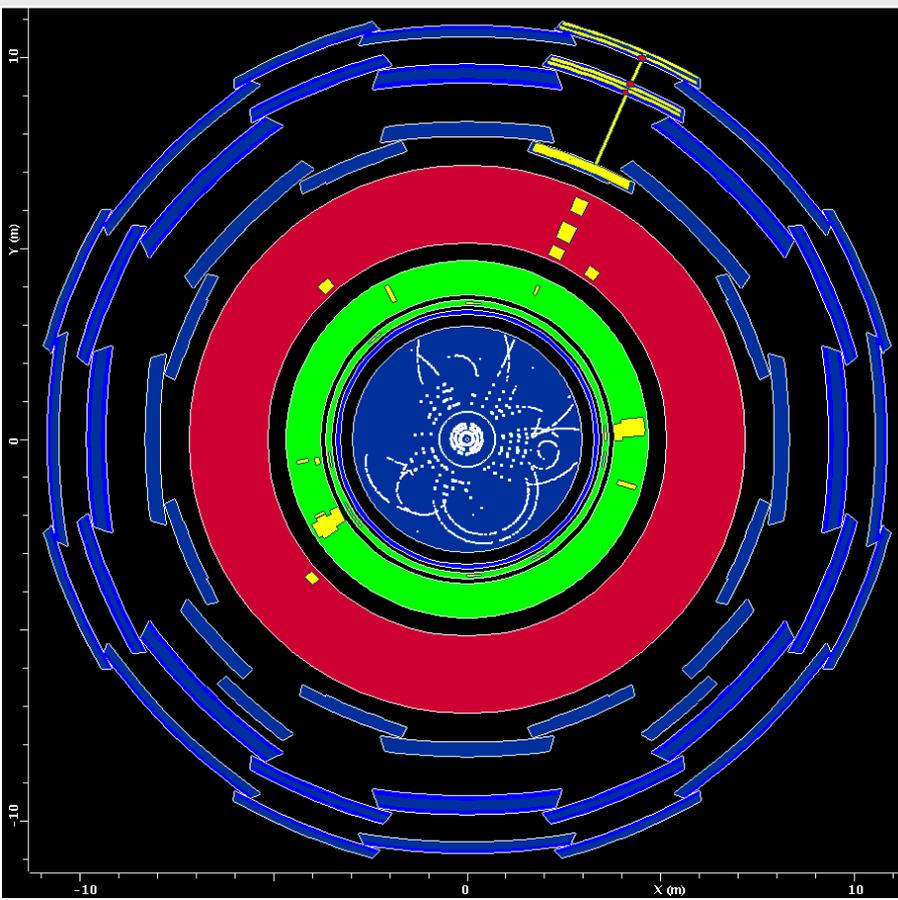
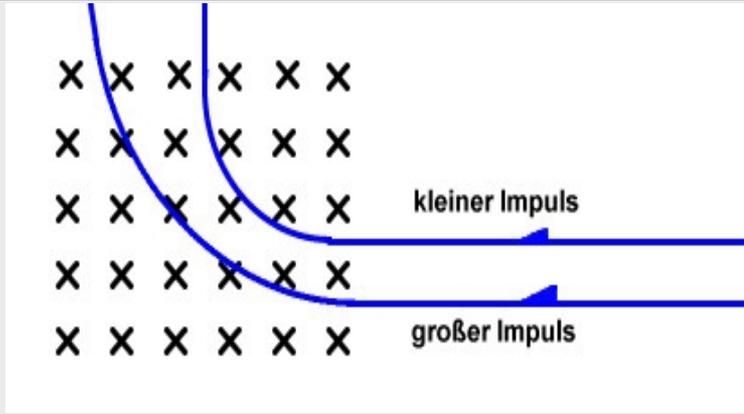
# ATLAS: A Toroidal Lhc Apparatus



# Impulsmessung von Teilchen

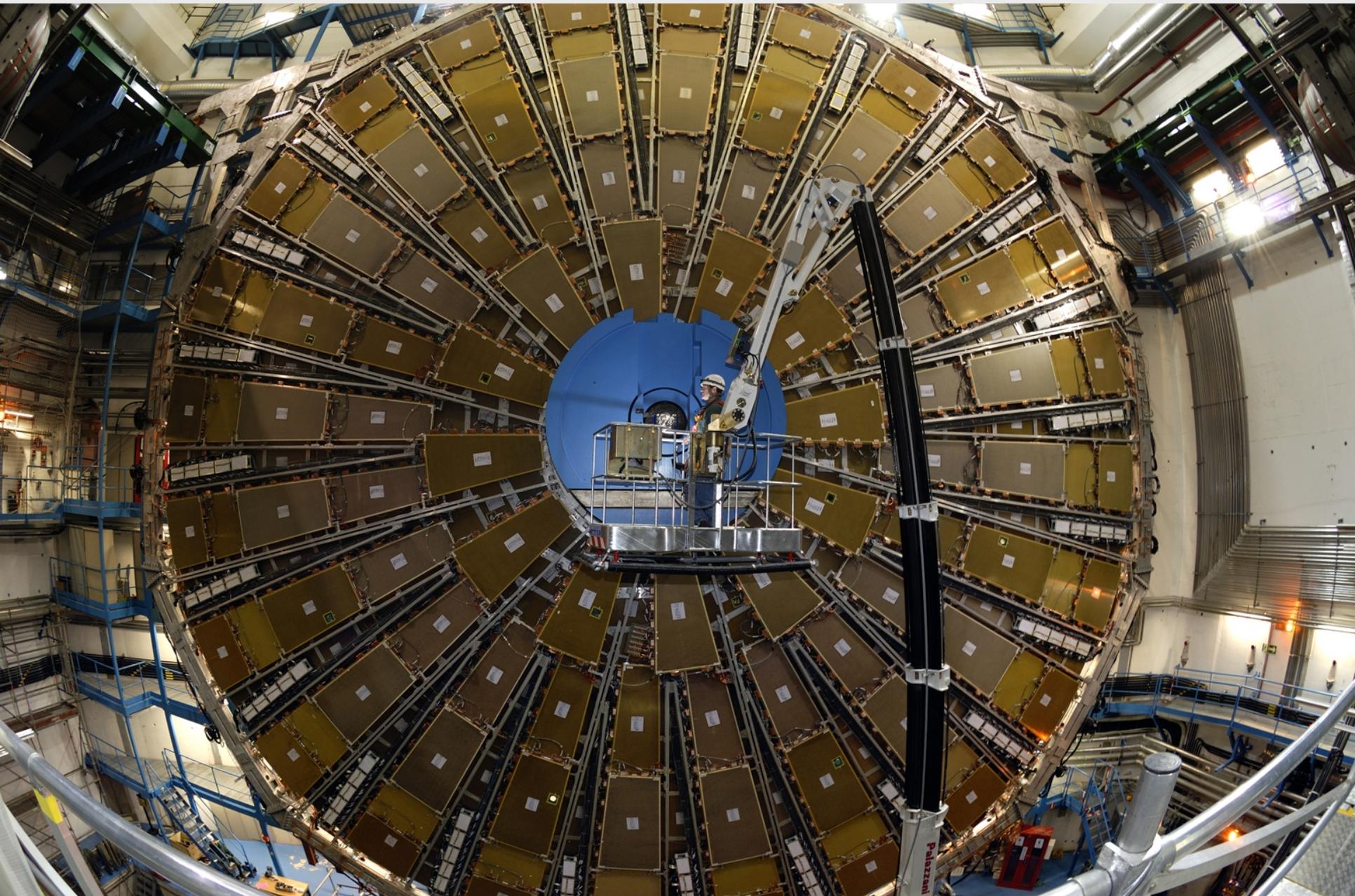


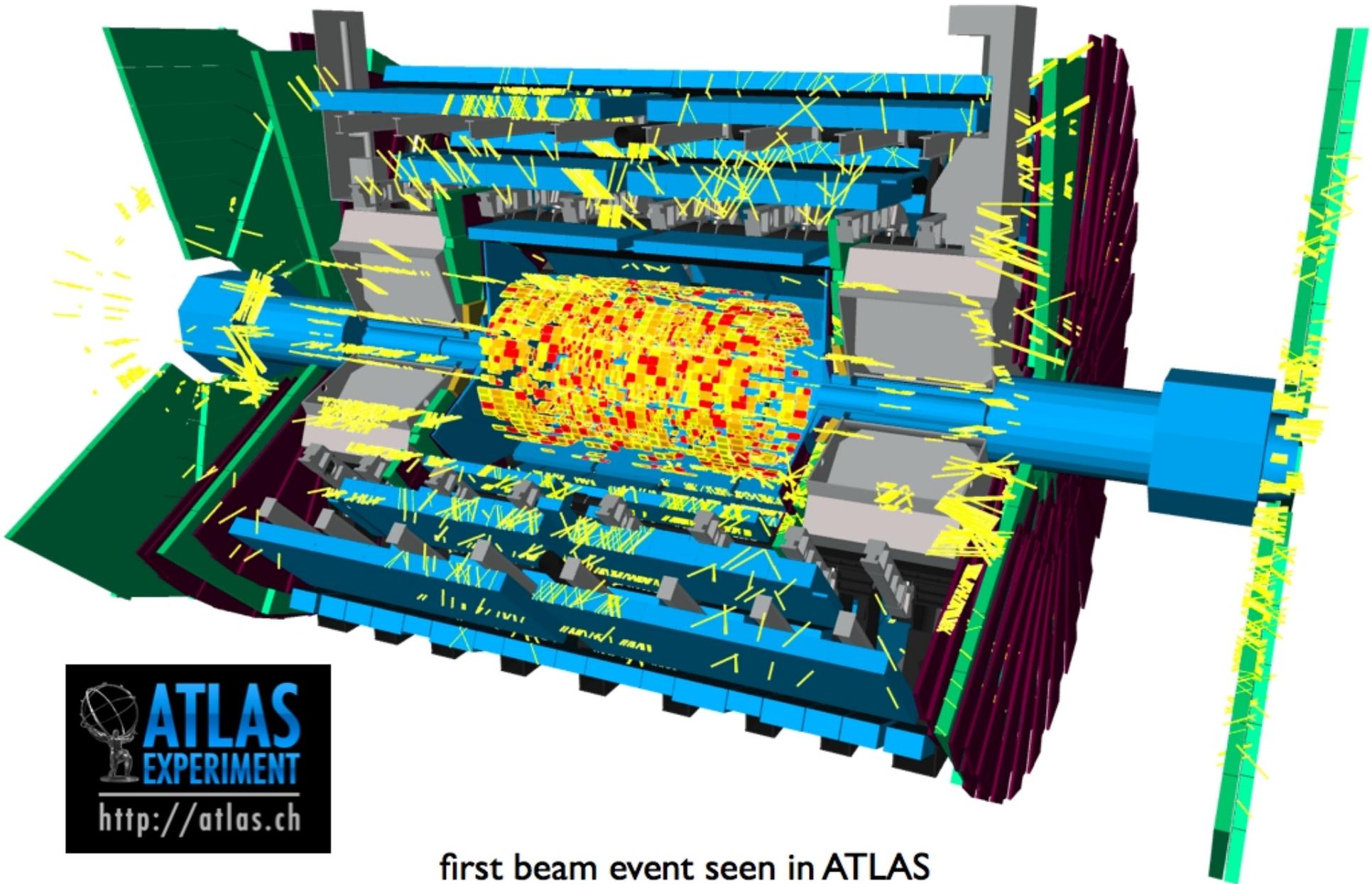
$$\frac{mv^2}{\rho} = qvB$$



$$P(\text{GeV}) = 0.3 \rho (\text{Meter}) B(\text{Tesla})$$

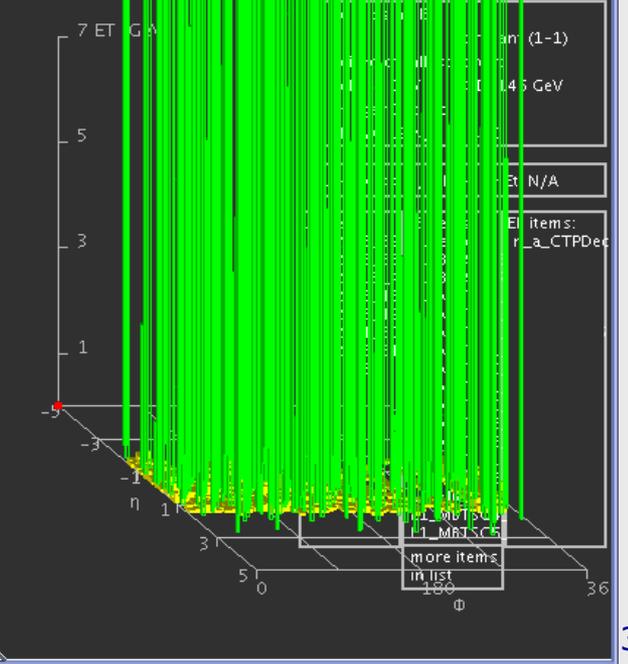
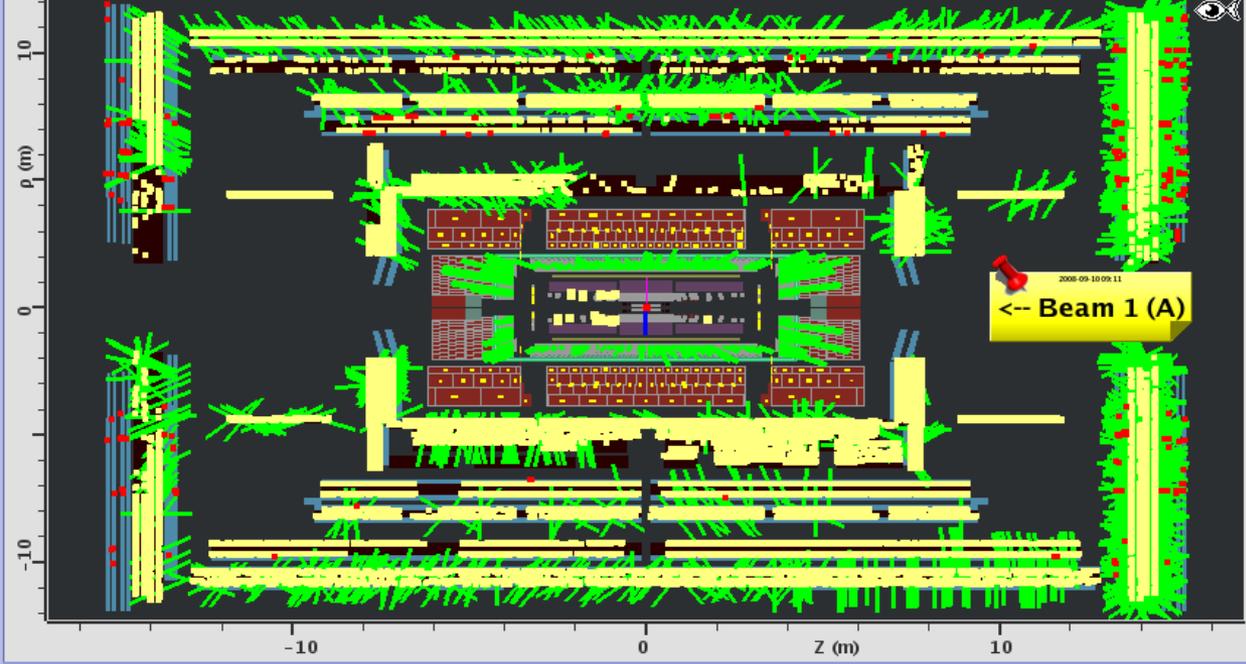
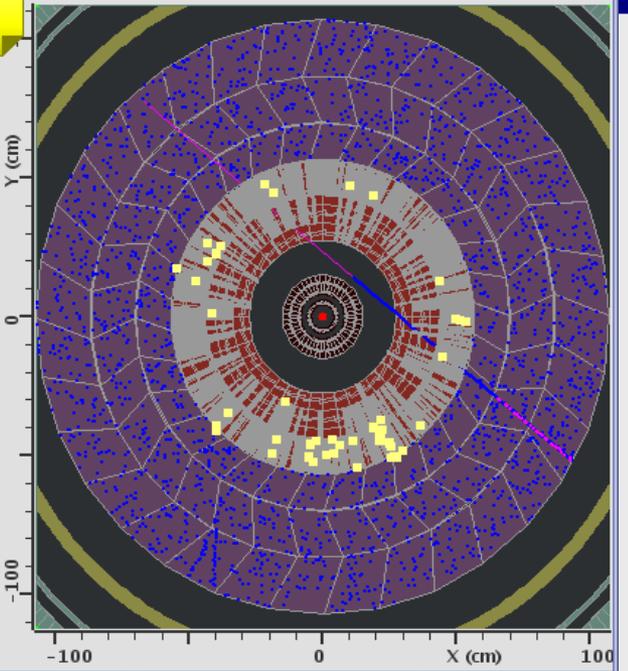
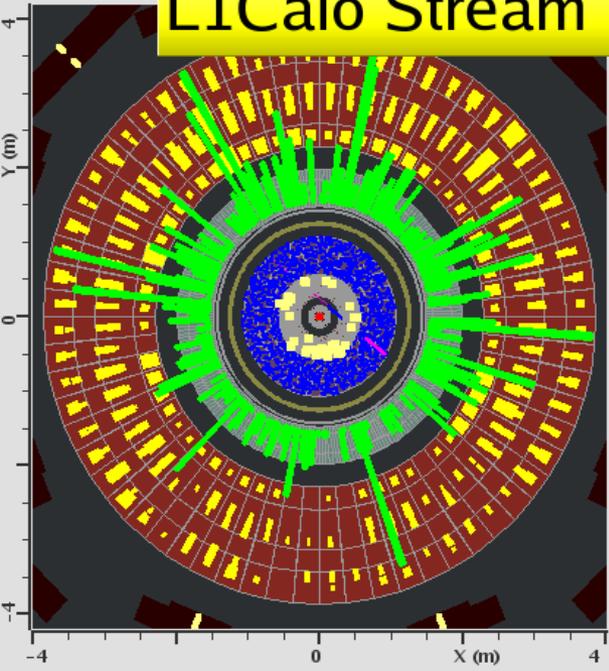
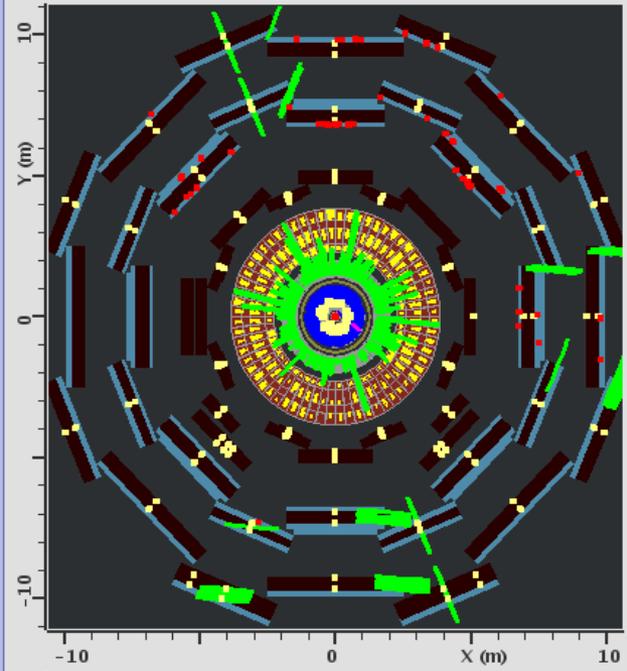
# Das Myonspektrometer von ATLAS



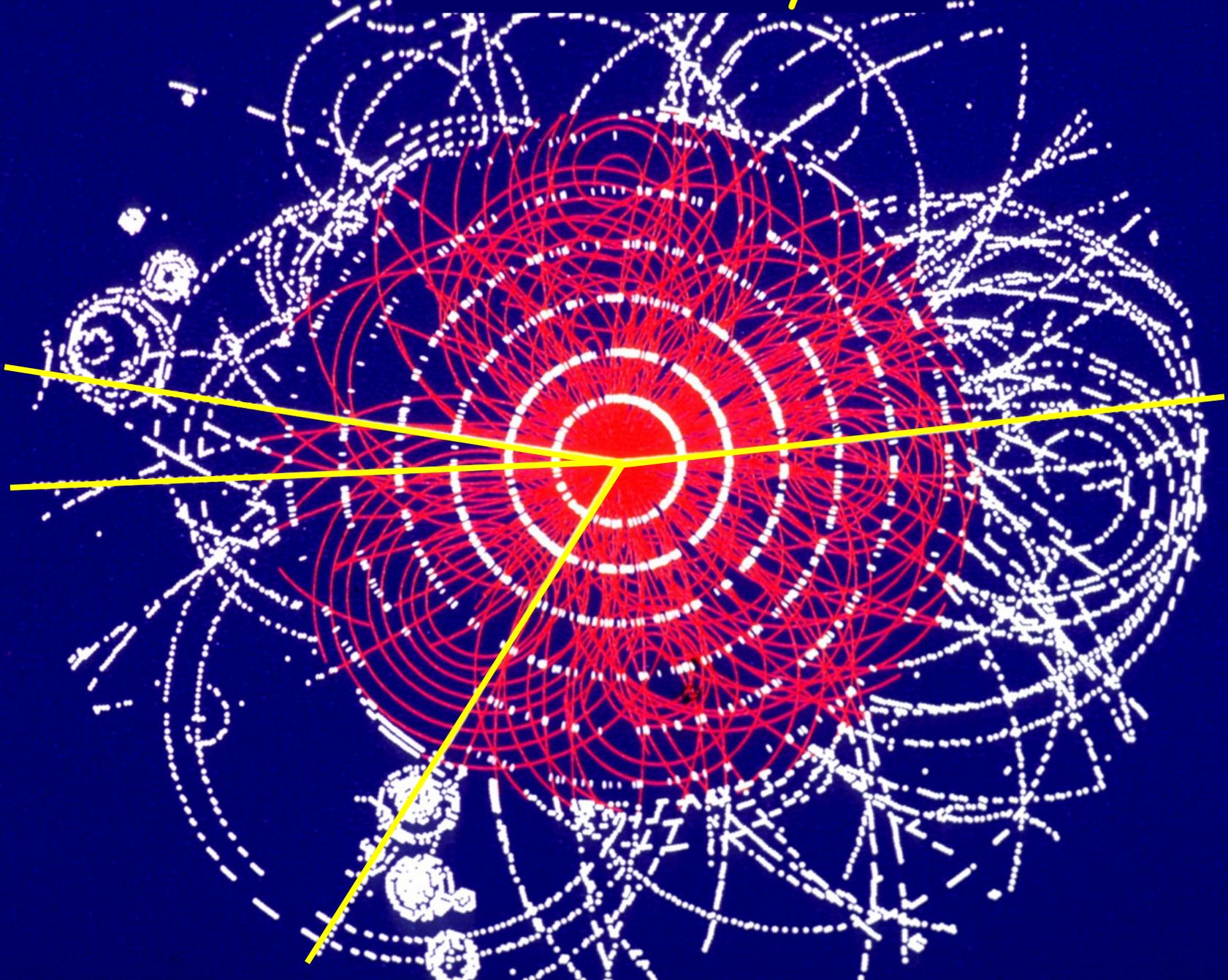


first beam event seen in ATLAS

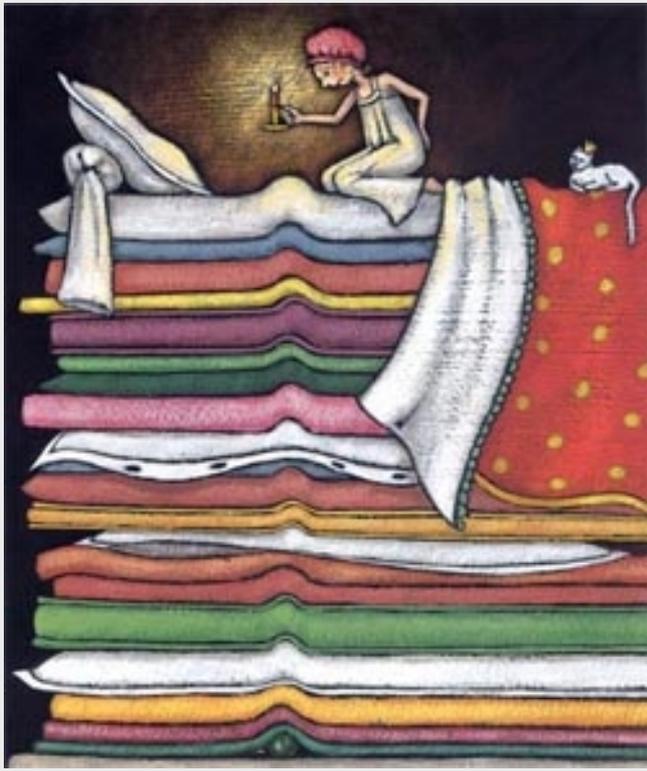
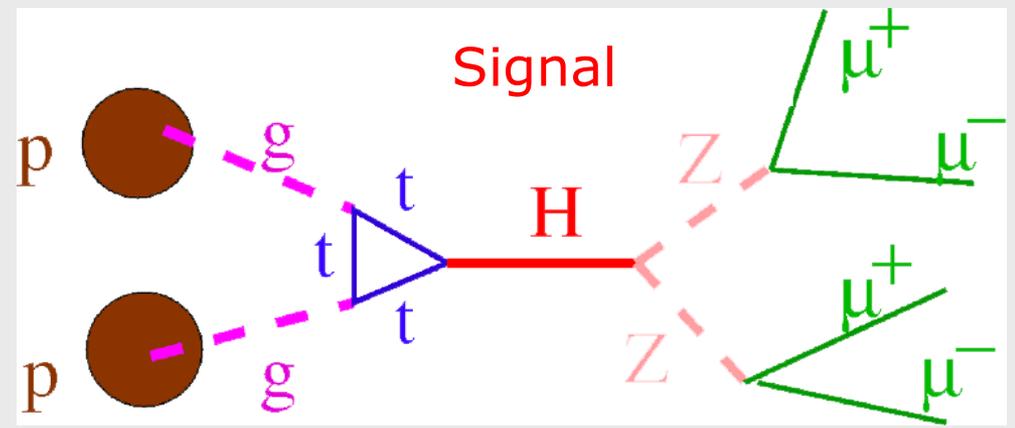
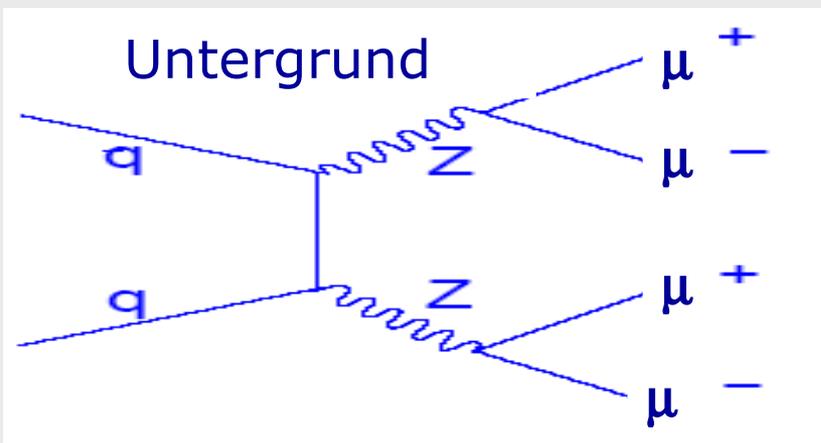
# L1Calo Stream



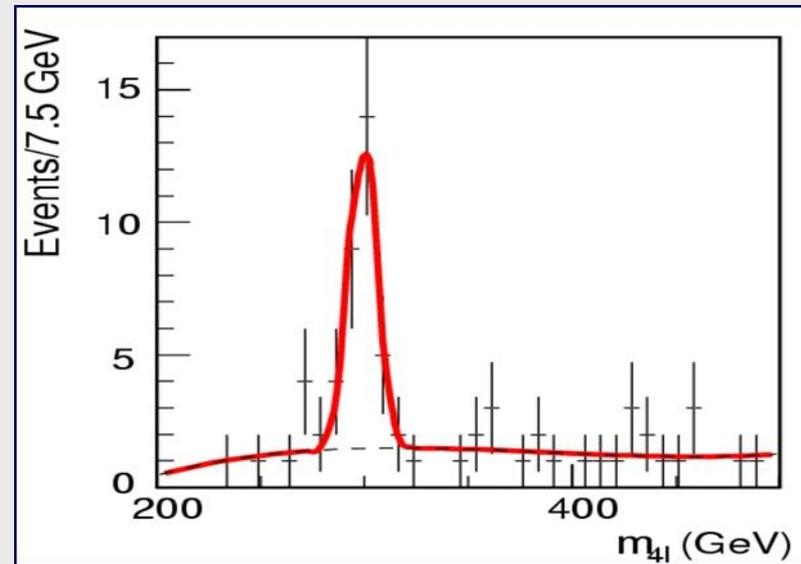
$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4 \text{ Myonen}$



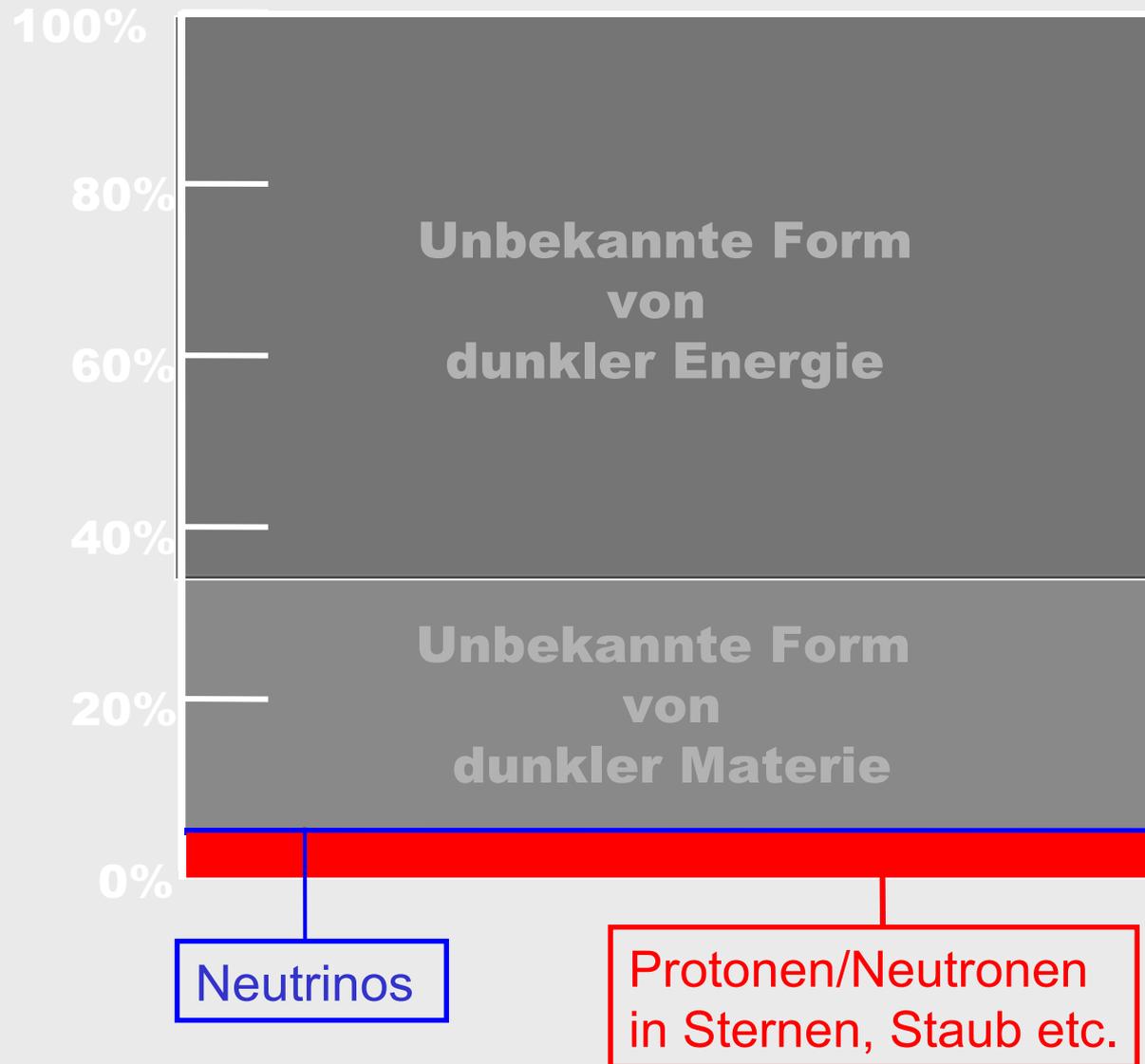
# Bestimmung der Masse des Higgs-Teilchens



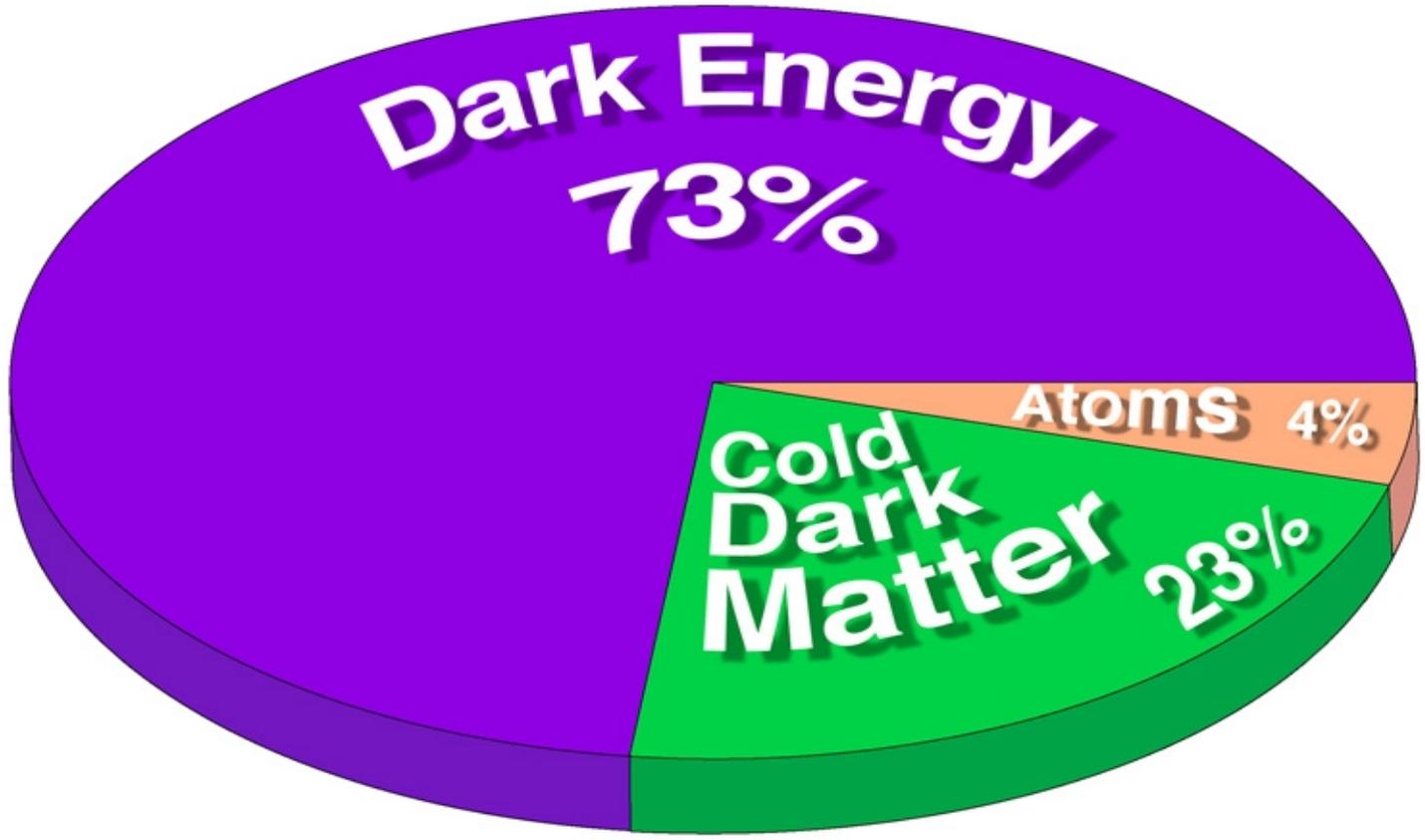
erwartetes Higgs-Signal nach einem Jahr Messzeit von ATLAS



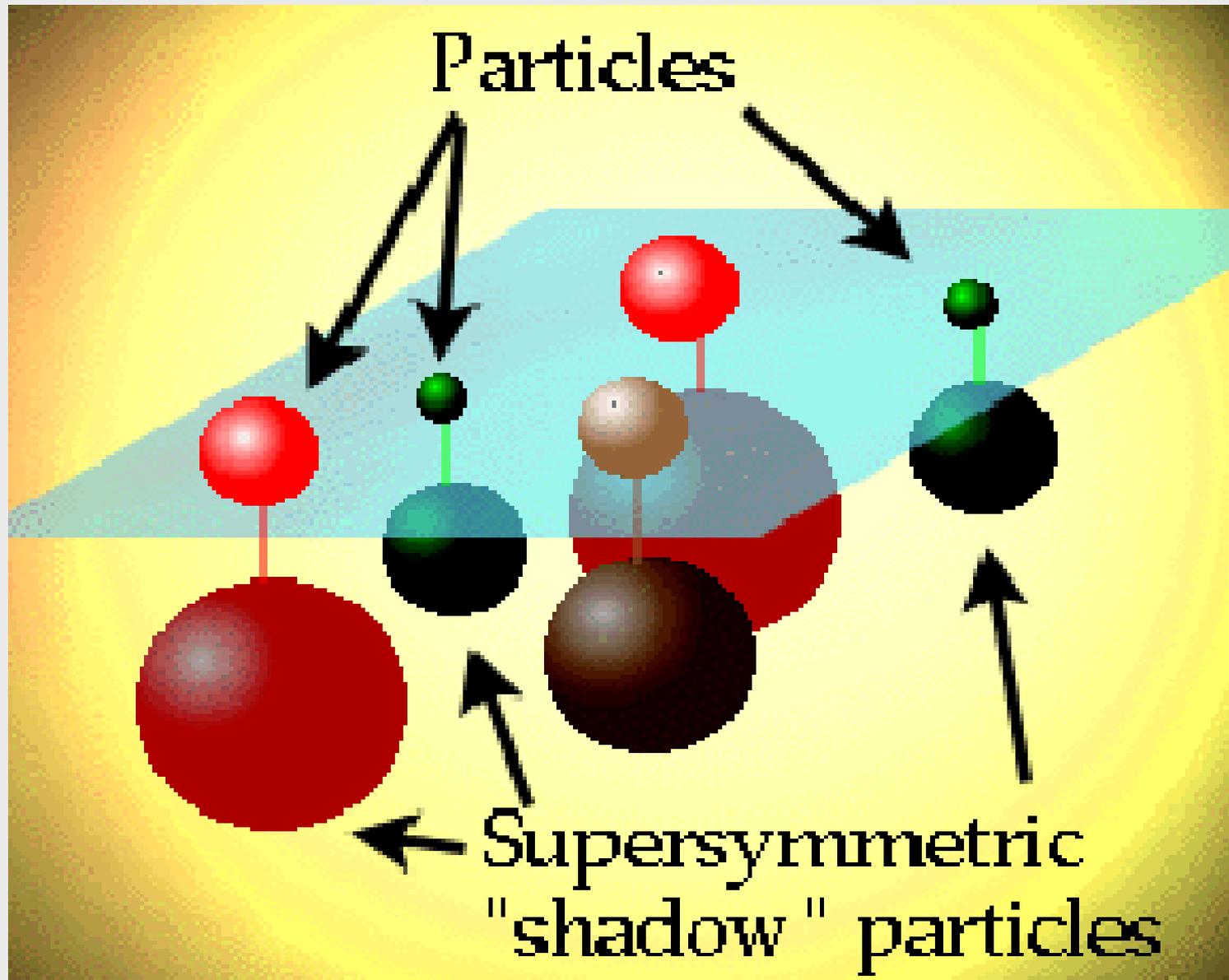
# Higgs-Teilchen entdeckt, Teilchenphysik am Ende?



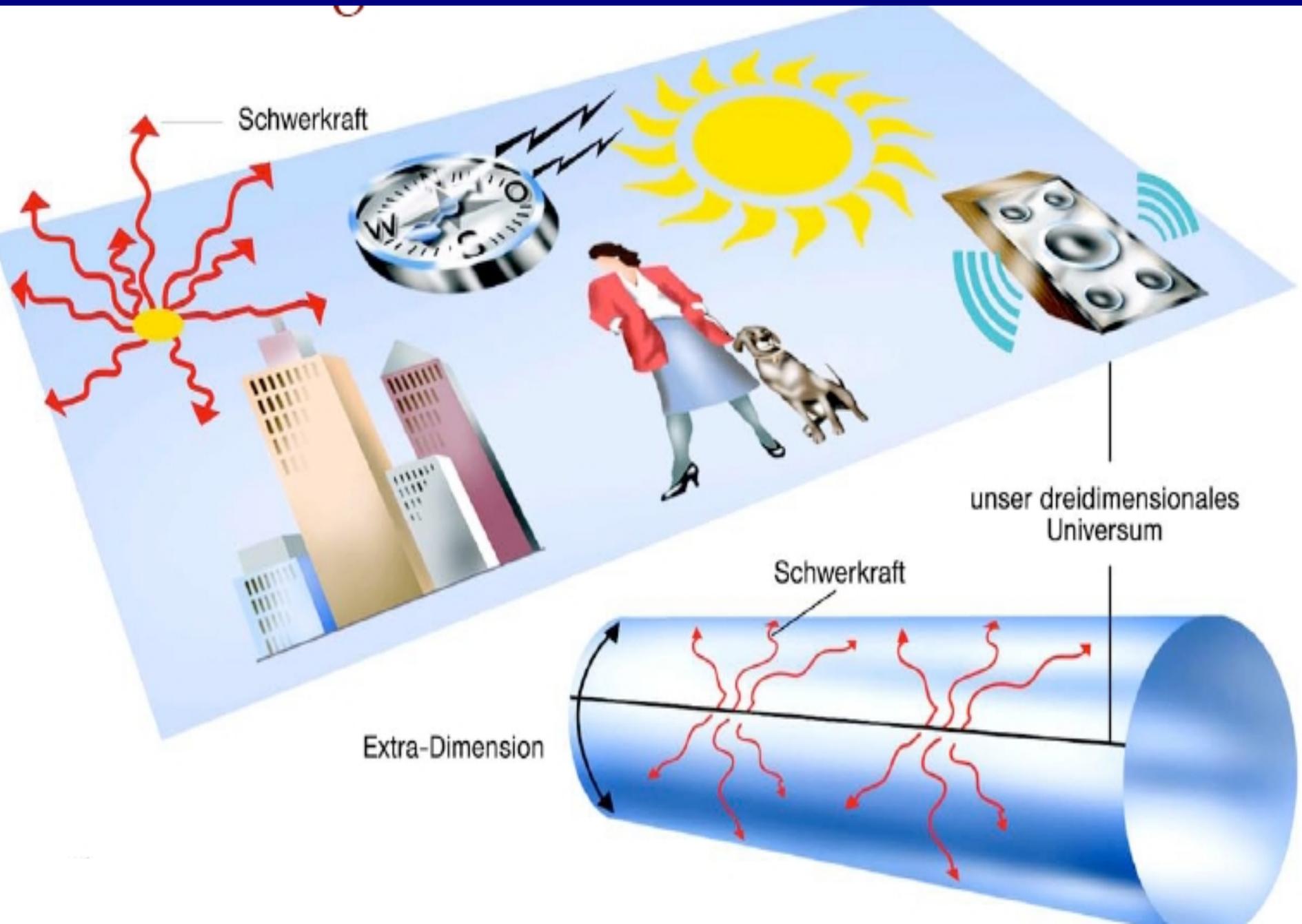
# Higgs-Teilchen entdeckt, Teilchenphysik am Ende?



# Higgs-Teilchen entdeckt, Teilchenphysik am Ende?



# Neue Raumdimensionen?



# “Chandra-Aufnahme” eines Schwarzen Loches



# Mini Black Holes???

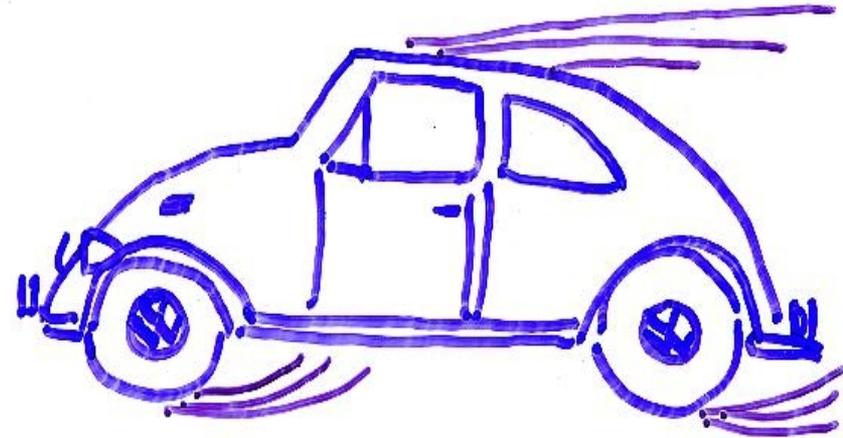
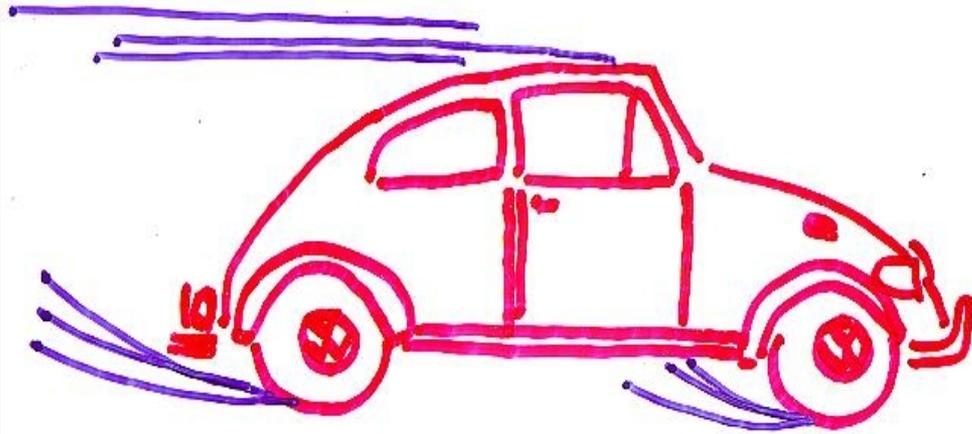
Koennen am LHC kleine Schwarze Loecher entstehen, die unseren Planeten langsam einschluerfen?

Die Theoretiker sagen: es koennte sein, dass Schwarze Loecher entstehen, aber sie zerfallen sofort wieder.

Nun muss man den Theoretikern nicht unbedingt glauben.

Aber: in der kosmischen Strahlung kommen Energien vor, die viel hoeher als am LHC sind. Es wuerden also andauernd Schwarze Loecher entstehen! Also duerften wir gar nicht mehr existieren, wenn sie gefaehrlich waeren!

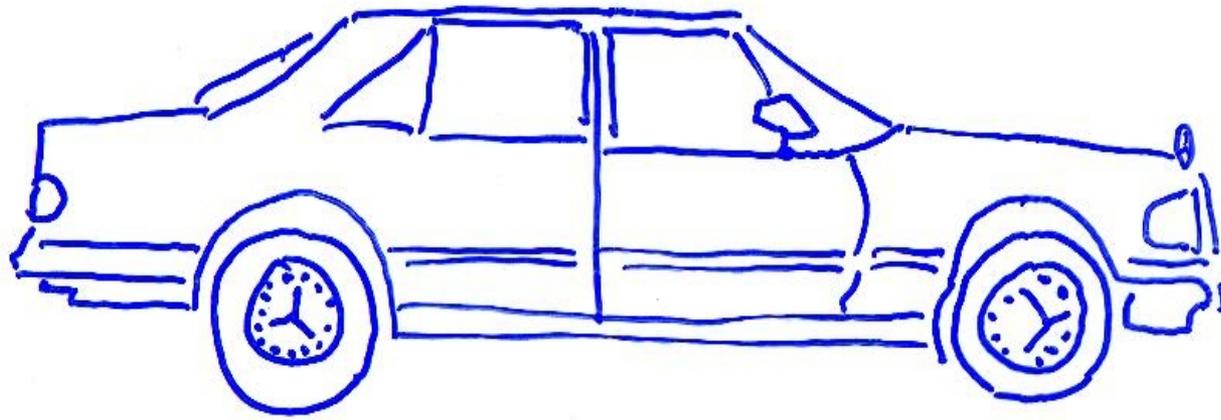
# Mini Black Holes???



# Mini Black Holes???



# Mini Black Holes???



# An Stelle eines Schlusswortes ...



Was wir wissen, ist ein Tropfen; was wir nicht wissen, ein Ozean.

Isaac Newton 1643 - 1727