

# Die Welt der kleinsten Teilchen

Woraus ist die Welt, woraus sind wir selbst gemacht?

Was ist da drin?

## Gedanken der griechischen Philosophen:

**Demokrit** (460-371 v.Ch.) u.a.:

Materie besteht aus unteilbaren,

kleinen **Bausteine** = atomos (ατομοσ) = **unteilbar**

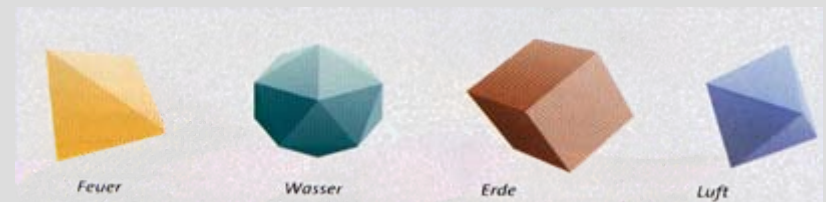
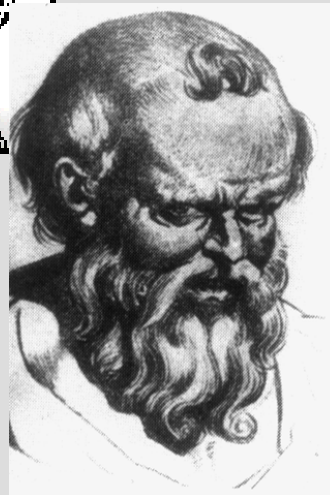
Aber auch:

**Aristoteles** u.a.:

Der Raum ist

**kontinuierlich**

mit Materie ausgefüllt



Elementares mit **Symmetrien** (Platon u.a.)

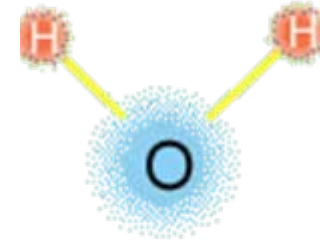
„Das ich erkenne ..

**„Dass ich erkenne,  
was die Welt, im Innersten  
zusammenhält“**

# Die Materie ist „körnig“, aus Bausteinen aufgebaut

## Empirische Hinweise auf atomare Struktur

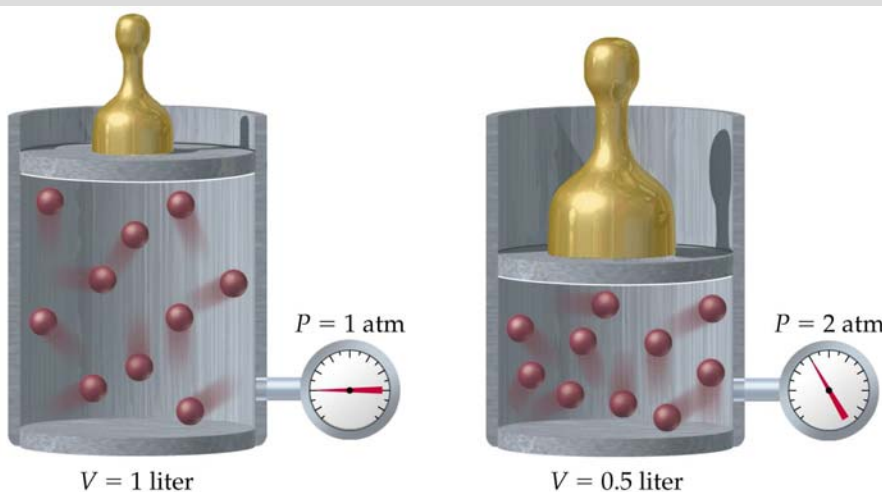
der Materie erst im 19. Jahrhundert:



1) Elemente verbinden sich in immer gleichen Gewichtsverhältnissen:

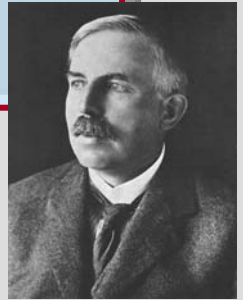
16g Sauerstoff + 2 g Wasserstoff = 18 g Wasser  
2 : 16 weil  $\text{Masse(O)} = 16 \times \text{Masse(H)}$

2) Druck und Temperatur in Gasen erklärbar durch bewegte Teilchen

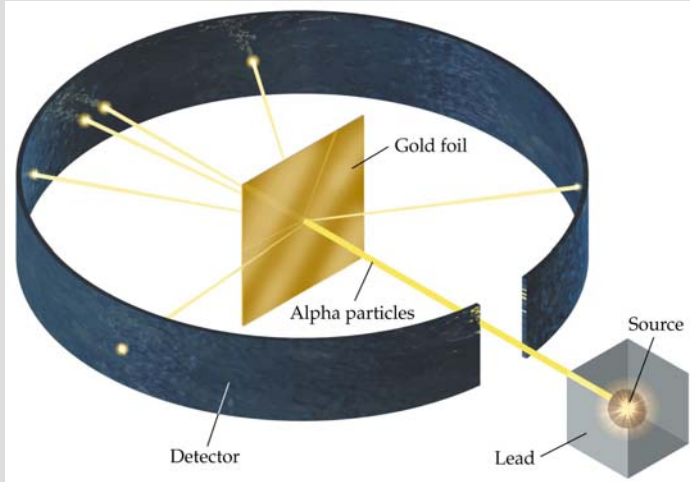


Schlussfolgerungen sind  
indirekt.  
Kann man Teilchen sichtbar  
machen?

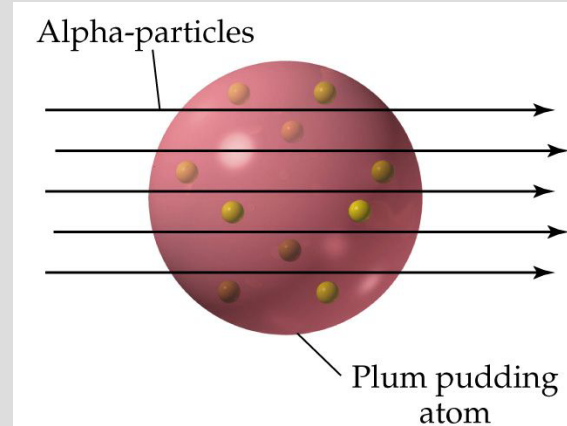
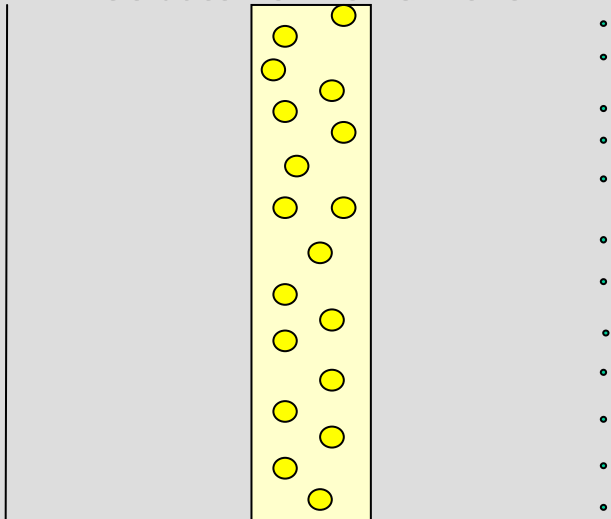
# Wie kann man kleine Teilchen „sehen“ ?



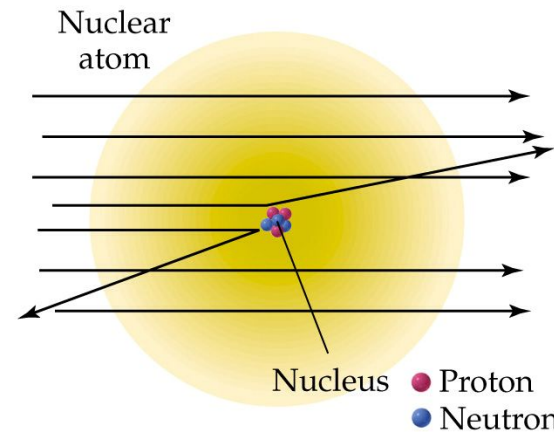
E.Rutherford misst die Struktur der Atome durch Streuversuche



**Goldatome in einer Folie**



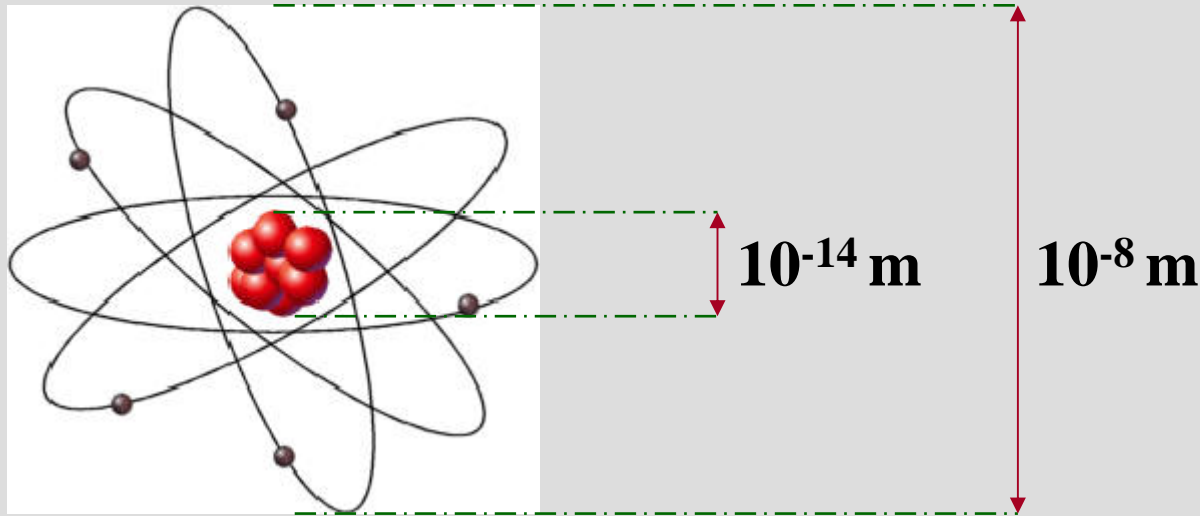
**a) Rutherfords Erwartung**



**b) Rutherfords Ergebnis**

[Rutherford Applet](#)

# Rutherford's Atommodell:

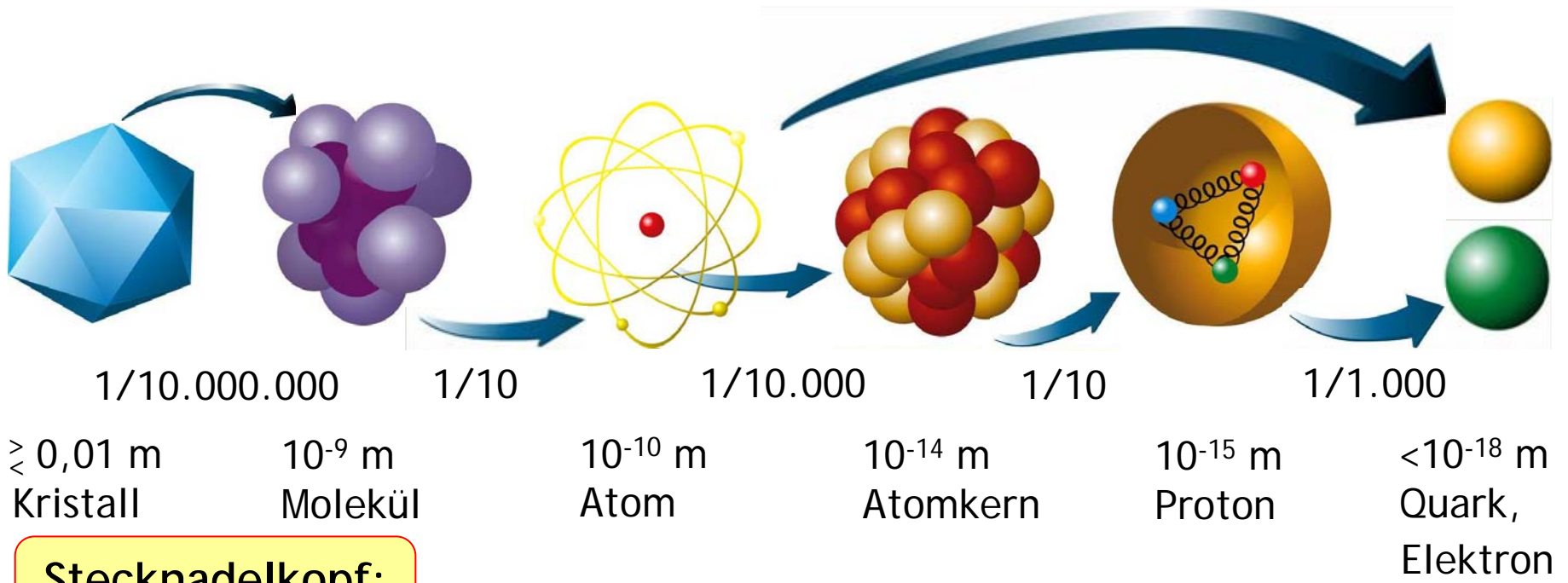


**Kern : Atom = 1 : 10 000  $\Rightarrow$  das Atom ist leer !**

Und das **Atom ist nicht unteilbar** – es besteht aus **Elektronen** und dem **Kern**

und voraus bestehen die...?

# Der Aufbau der Materie aus kleinsten Teilchen



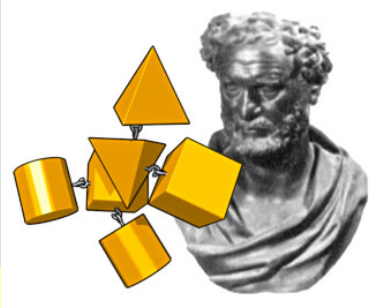
**Stecknadelkopf:**  
 $10^{-3} \text{ m} = 0,001 \text{ m}$

**Elektron, Quark:**  
 $<10^{-18} \text{ m} = 0,00000000000000000001 \text{ m}$

punktförmig?

[mal10](#)

# Die Struktur der Materie:



Materie ist aus **Bausteinen** aufgebaut,  
Vielfalt der Natur durch **Zusammensetzen** von Elementarem

Die kleinsten Teilchen sind winzig  
oder haben **keine Ausdehnung**,

**der Raum ist leer**

Warum wirkt Materie – z.B. ein Tisch – dann massiv?

Teilchen üben **Kräfte** untereinander aus!

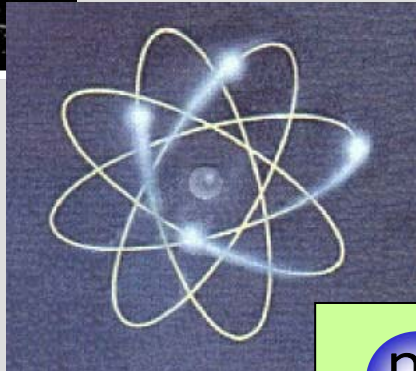
**Frage!**

Was sind die **Kräfte**,  
die die Welt im Innersten zusammenhalten?

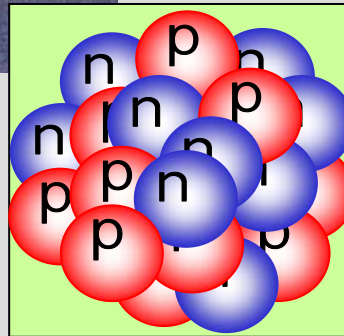
# Die fundamentalen Kräfte in der Natur



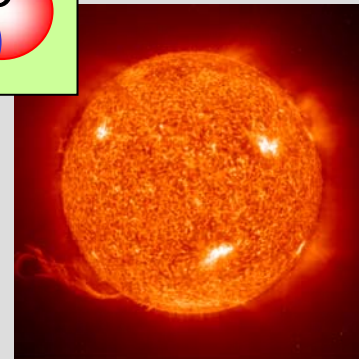
Schwerkraft



el.-mag.Kraft



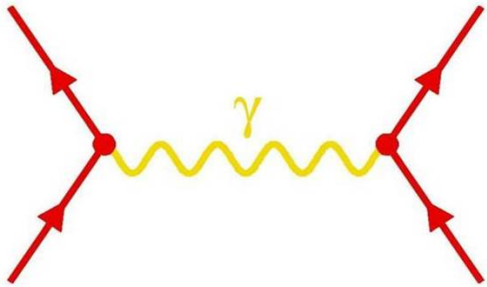
starke Kraft



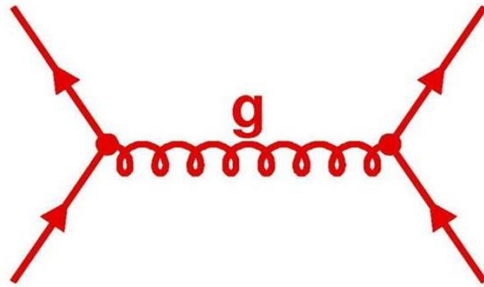
schwache Kraft



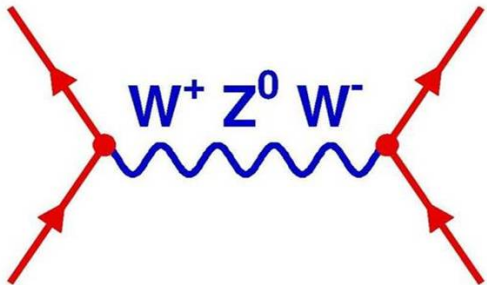
# Teilchen als Kraftvermittler



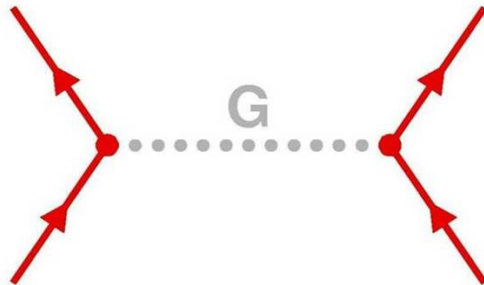
elektromagn. Kraft



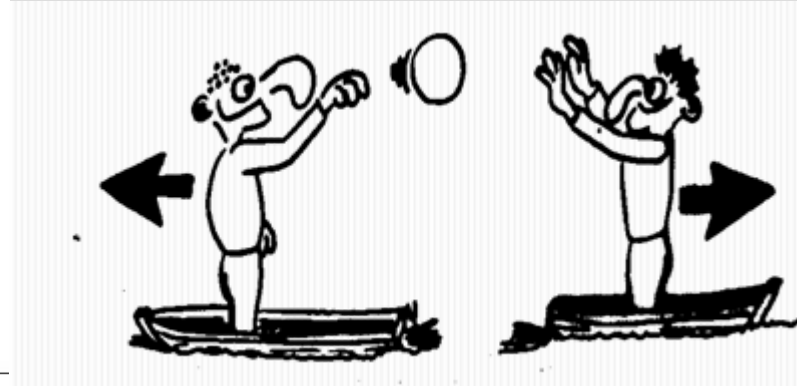
starke Kraft



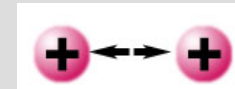
schwache Kraft



Gravitation



Abstoßend



Anziehend



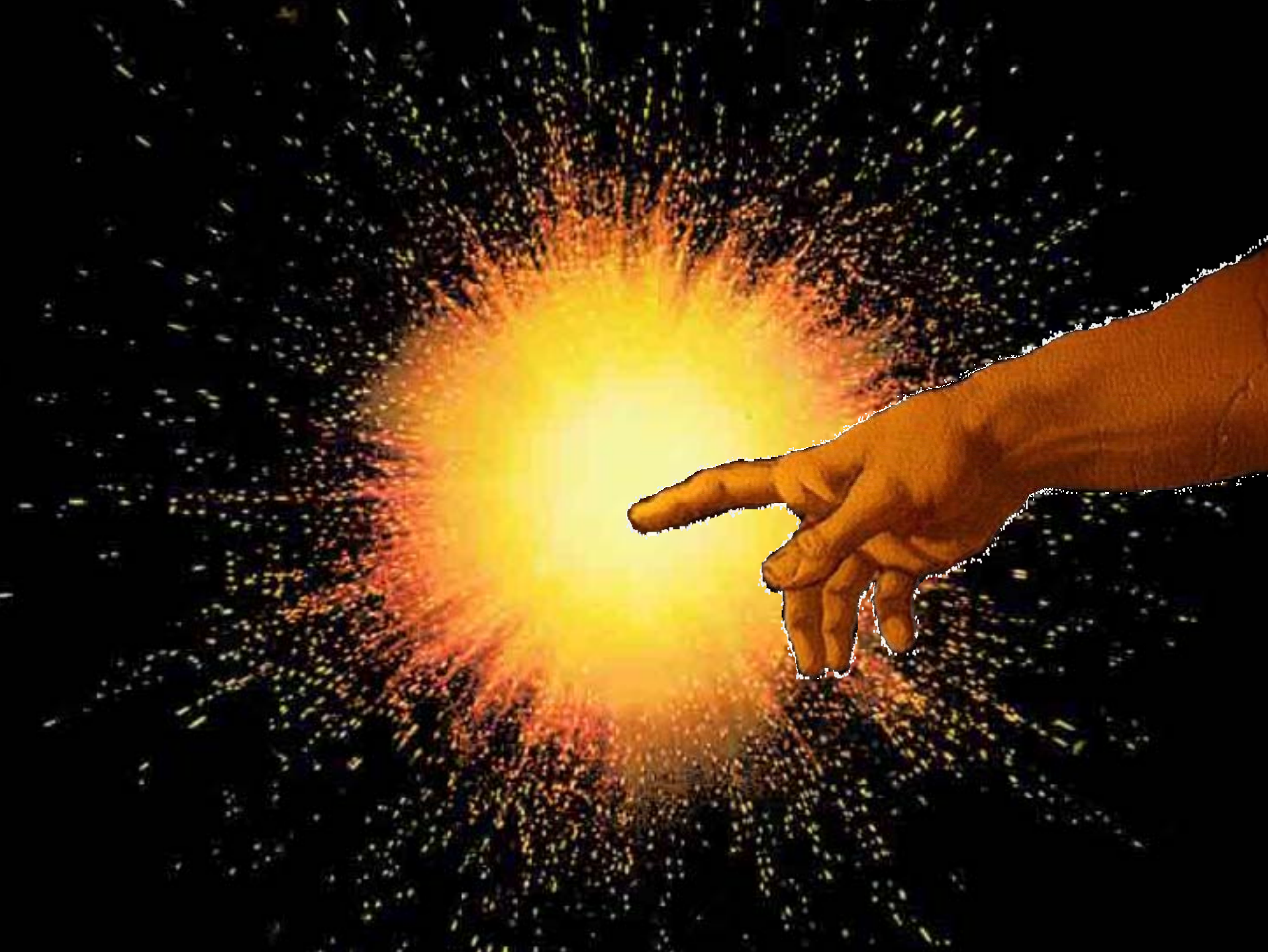
**Austauschteilchen sind die Quanten der Kraftfelder**

# Experimente

**Welche Teilchen ?**

**Welche Kräfte ?**

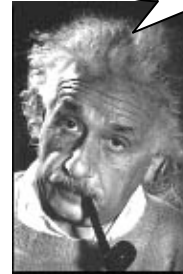
**... Antworten durch Analyse hochenergetischer Teilchenkollisionen:**



# Warum hohe Energien?

Energie = Kraft  $\times$  Weg

Energie = Masse  $\times c^2$



$$E=mc^2$$

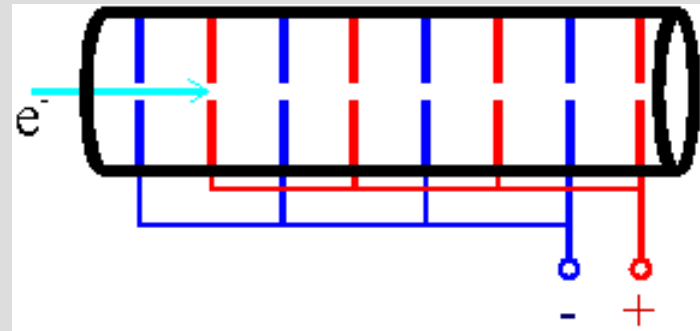


1 Elektronenvolt = Energie eines Elektrons nach Durchlaufen einer Spannung 1 Volt

**Energie:**

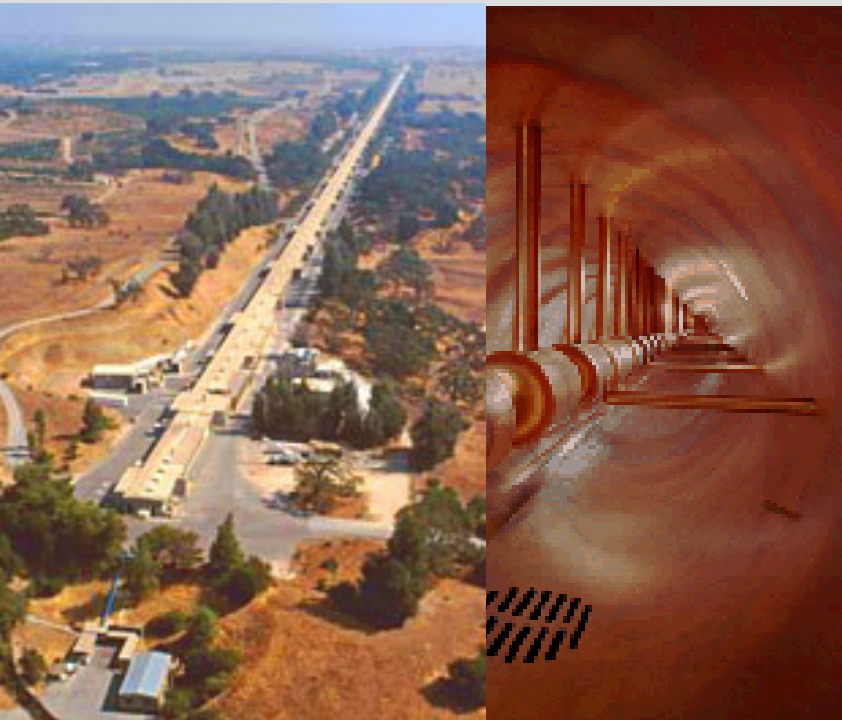
- Abtasten von Strukturen
- Aufbrechen von Strukturen
- Erzeugung von neuer Materie:  $E=mc^2$

# Beschleuniger

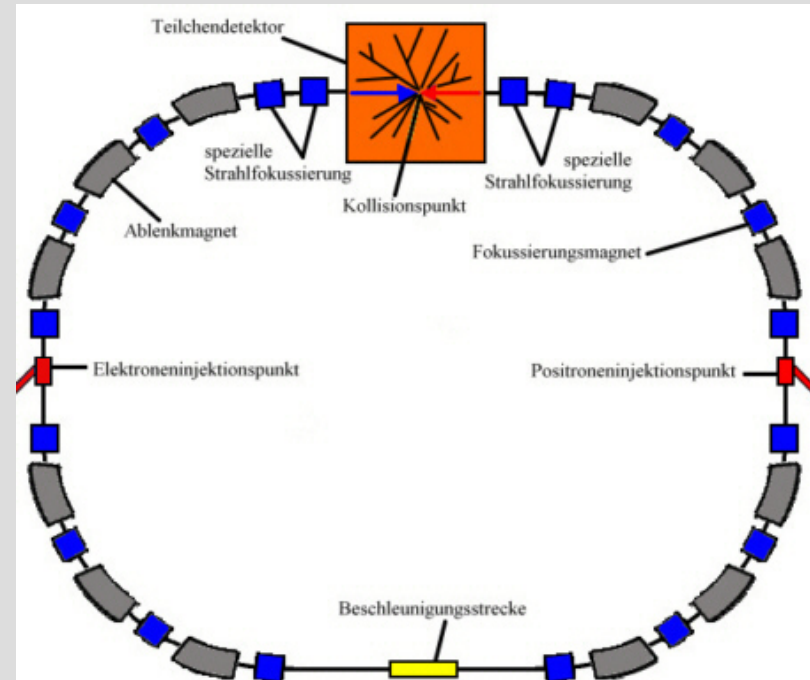


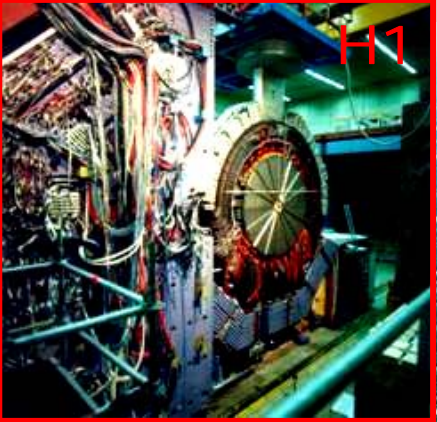
[Simulation](#)

## Linearbeschleuniger



## Speicherring:





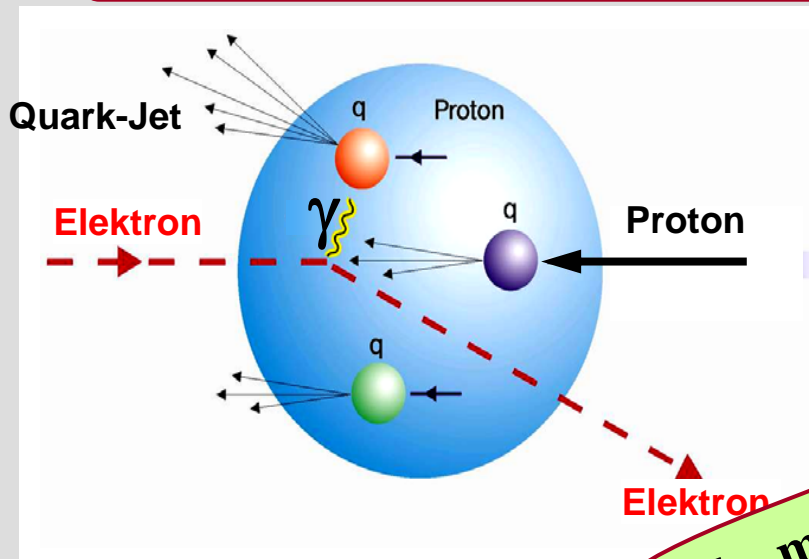
Protonen 920 GeV



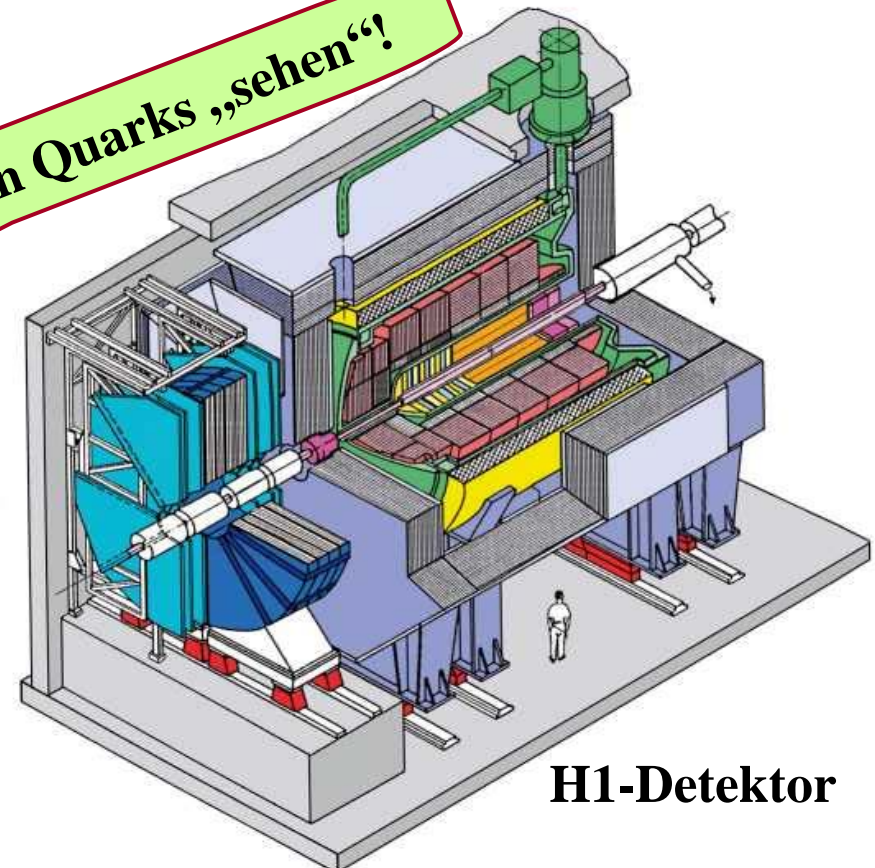
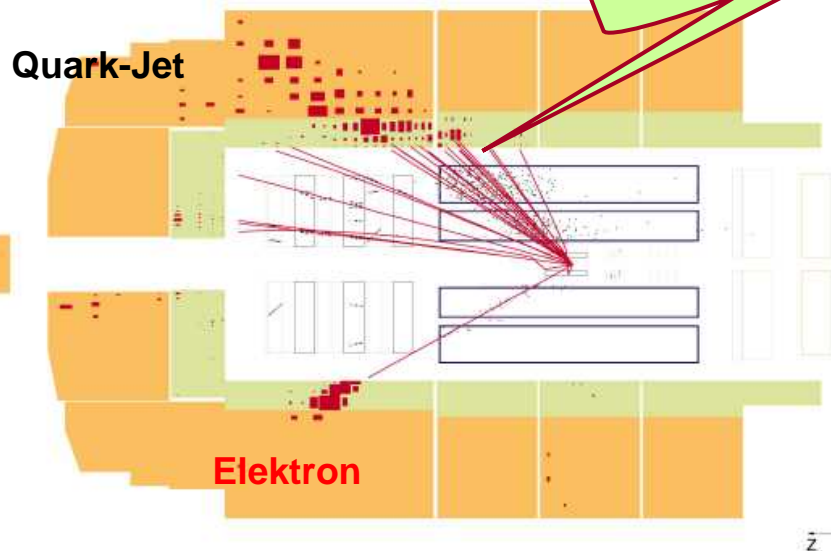
Elektronen 27.6 GeV

PETRA

# Wie sieht man Quarks? Quarks im Proton



Ja, man kann Quarks „sehen“!



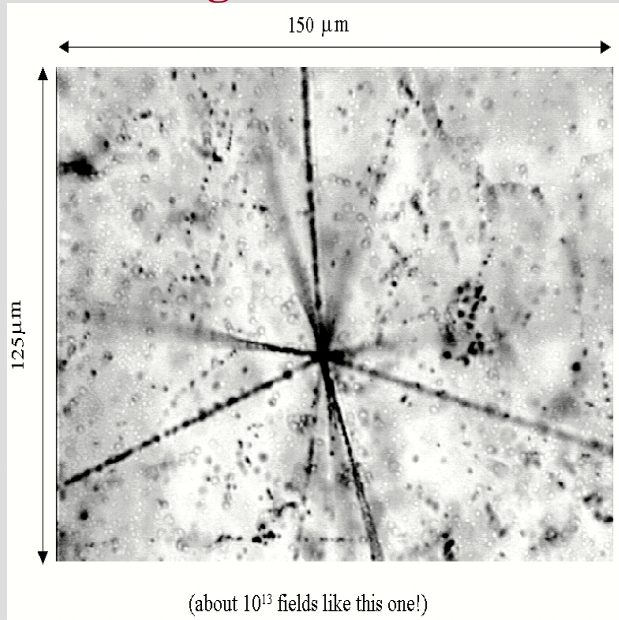
# Teilchendetektoren

Prinzip: Nachweis von WW der Teilchen mit Materie:

z.B. Ionisationsspuren sichtbar machen:

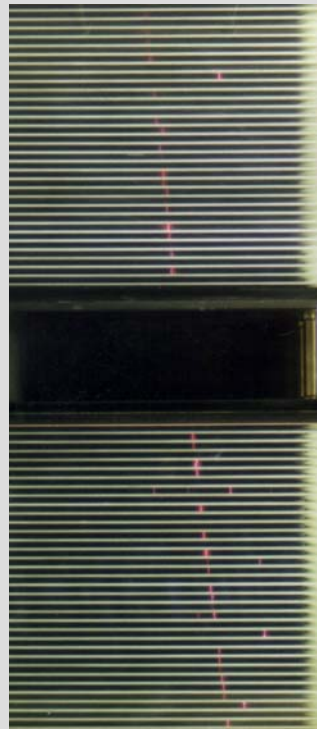


## Schwärzung einer Photoemulsion

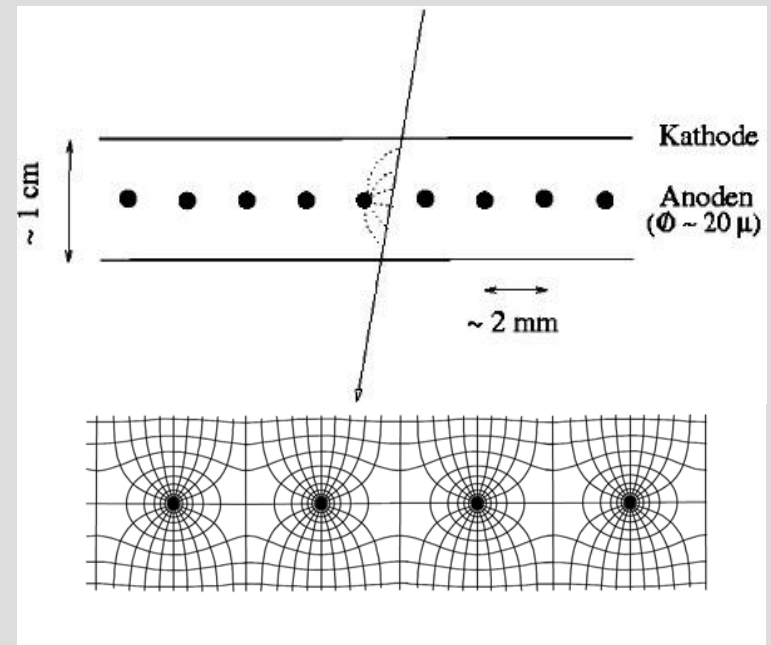


Ortsgenauigkeit  $\sim 1 \mu\text{m}$   
(der ungeschlagene Rekord)

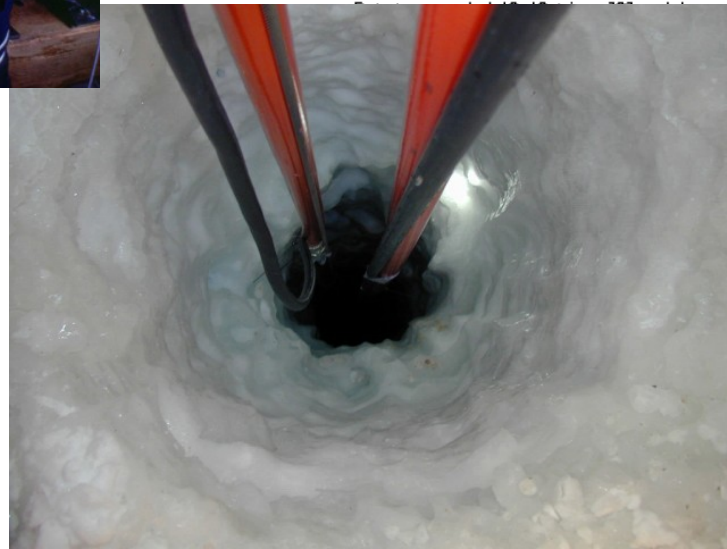
## Funkenkammer



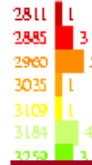
## Vieldrahtproportionalkammer







Color displays: LE



Primary Channels

# AMANDA / IceCube

Vortrag: „Neutrinojagd am Südpol“ um 23 Uhr



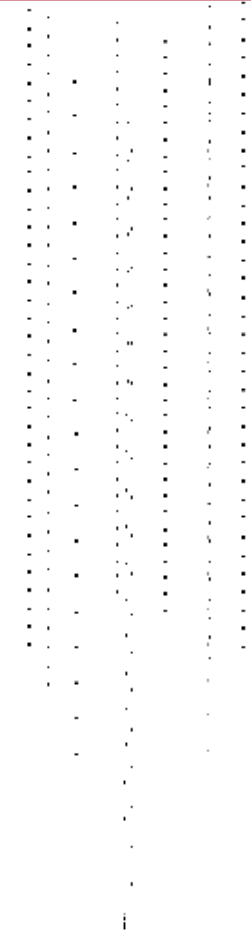
Size displays: ADC



Size scaling: Lin

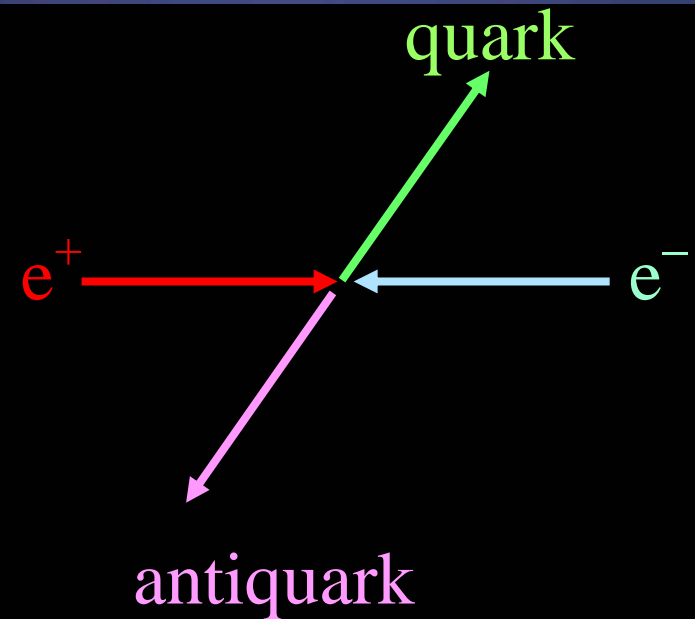
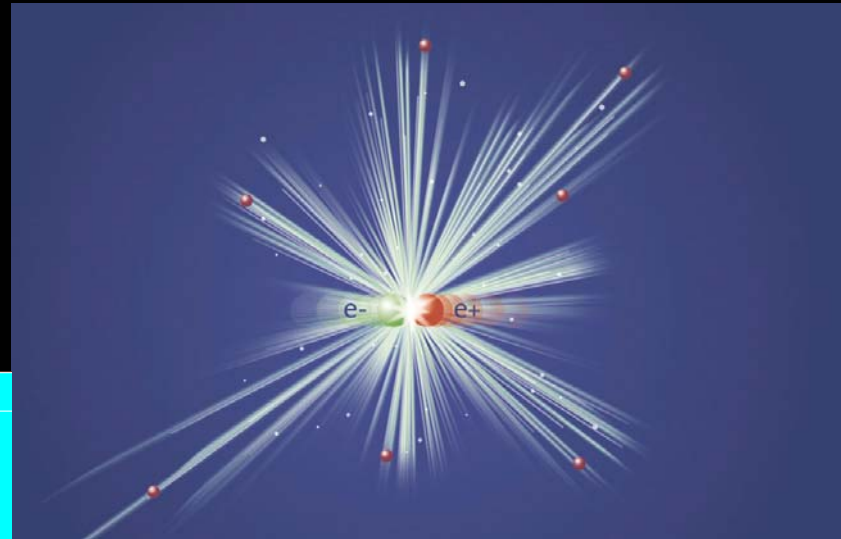
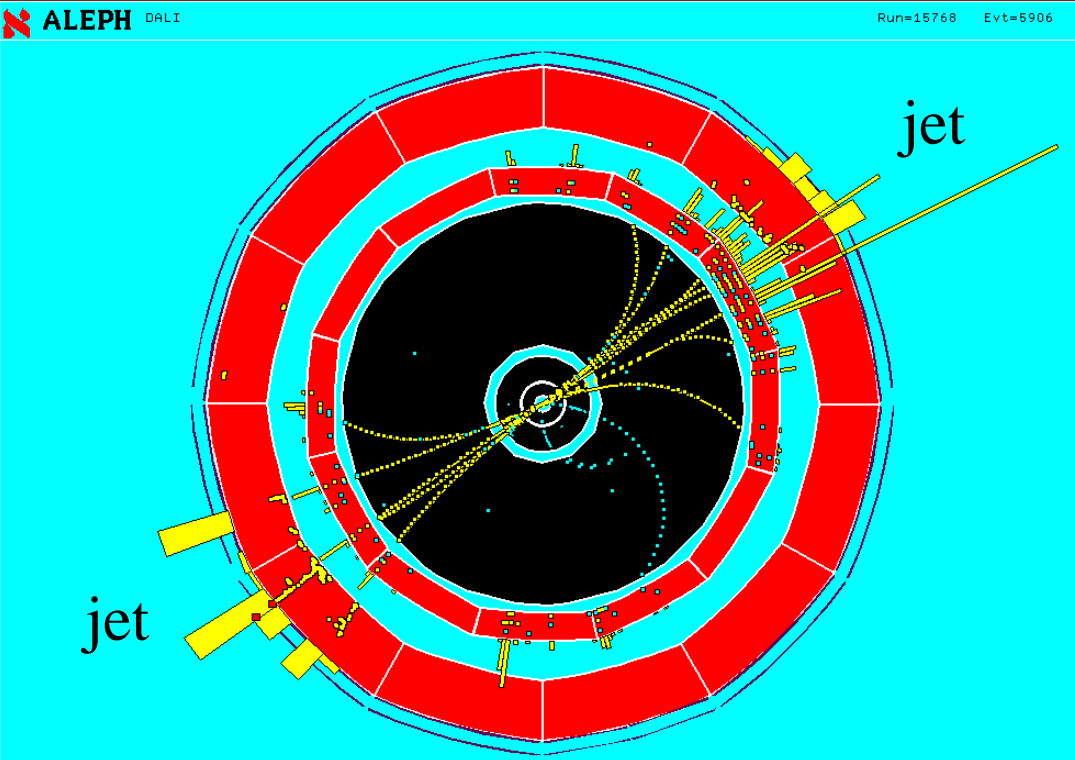


No external geometry file is opened.

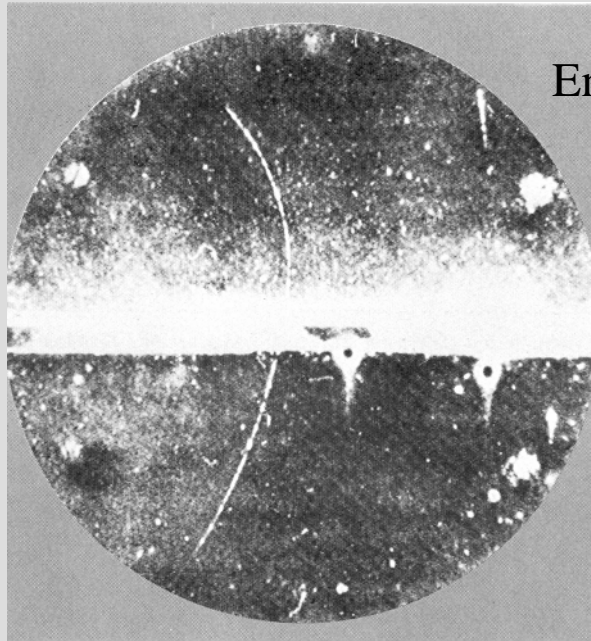


Hochenergetische Teilchen machen Licht, z.B. im Südpoleis

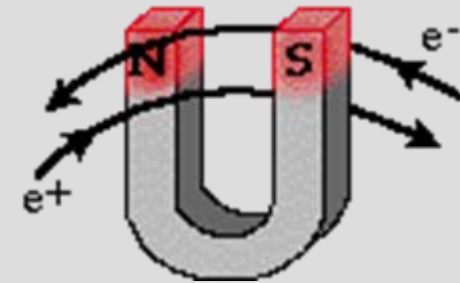
# Erzeugung von Quarks und Antiquarks aus Energie



# Materie und Antimaterie



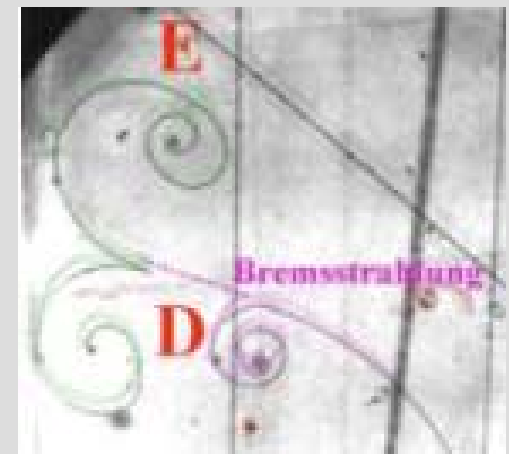
Entdeckung des Positrons = Antielektron



## Symmetrie der Materie und Antimaterie:

Teilchen mit gleicher Masse, aber umgekehrte Ladungen

Teilchen-Antiteilchen entstehen als Paar aus Energie und vernichten sich als Paar



# Systematik in der Welt der Teilchen

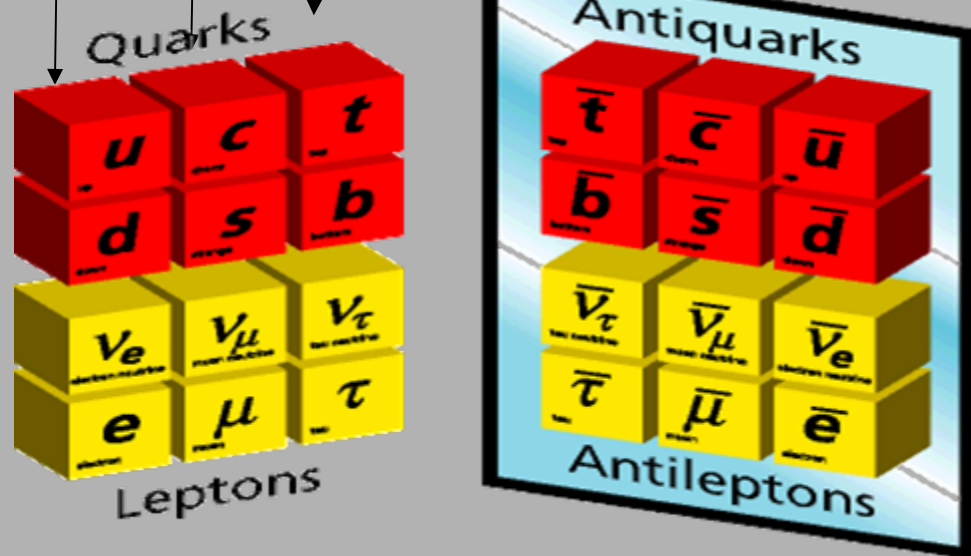
Systematik  $\Leftrightarrow$  Symmetrien

Periodic Table of the Elements

\* Lanthanide Series  
+ Actinide Series

Warum 3?

3 Familien von Quarks und Leptonen



+ Kraftteilchen  $\gamma$ ,  $W^\pm$ ,  $Z^0$ , 8 Gluonen, Graviton

Brauchen nur 1.Familie für die Atome:  
Proton= $uud$ , Neutron= $udd$ , Elektron  
!?

Ist das alles?

# HIGGS-Teilchen

Die Teilchen in den 3 Familien unterscheiden sich nur in ihrer Masse.

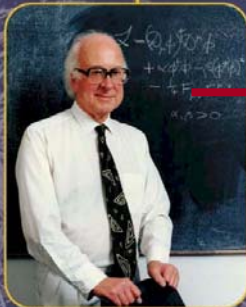
Schöne Symmetrie, wenn alle Teilchen keine Masse hätten.  
Warum haben die Teilchen Masse?

Antwort der Theoretiker: **Higgs-Teilchen** „gibt“ allen Teilchen Masse

Wie kann man das verstehen????

## WHAT IS MASS?

Massless particles travel at the speed of light. Particles with mass are slowed down. But why? According to the best theory so far particles with mass interact with a Higgs field that fills space. If the Higgs field were switched off then everything would be massless.



Peter Higgs

In the demonstration a non-magnetic 'slug' represents a massless particle. It moves at the same speed through both the one-dimensional universes - the tubes. The magnetic slug represents a massive particle, which is slowed down when passing through the universe with the Higgs field switched on.

Masse  $\Leftrightarrow$  Trägheit

Der britische Wissenschaftsminister wollte das auch verstehen, bevor er das Geld für den „Large Hadron Collider“ locker macht .....

# Wie die HIGGS-Teilchen träge machen



Party: Gäste erwarten  
Angela ...



Angela kommt –  
Wellenbewegung in Richtung Tür



Gäste suchen die Nähe  
von Angela

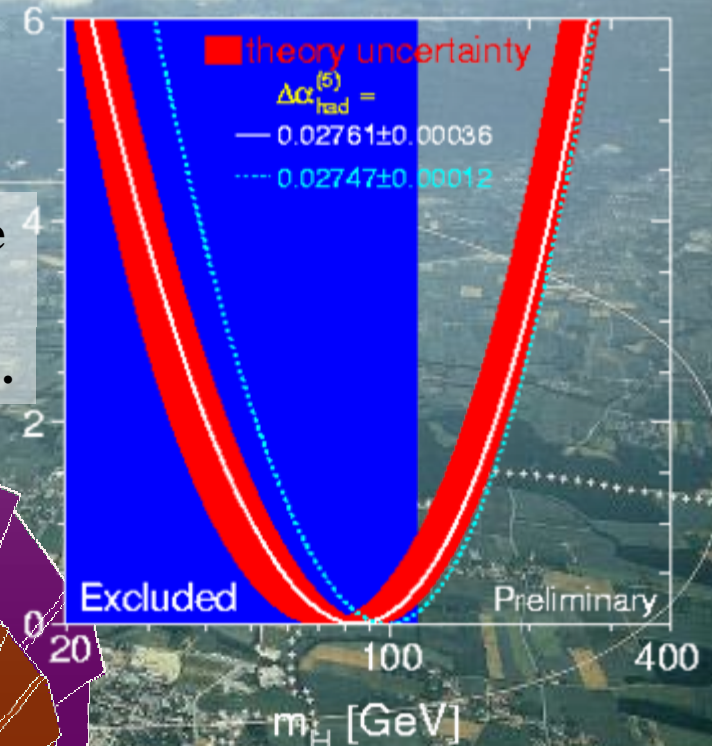
**Gäste = Higgs-Feld**  
**Angela = massives Teilchen**

**Angela wird unbeweglich –  
bekommt Masse**

# Large Hadron Collider im CERN/Genf

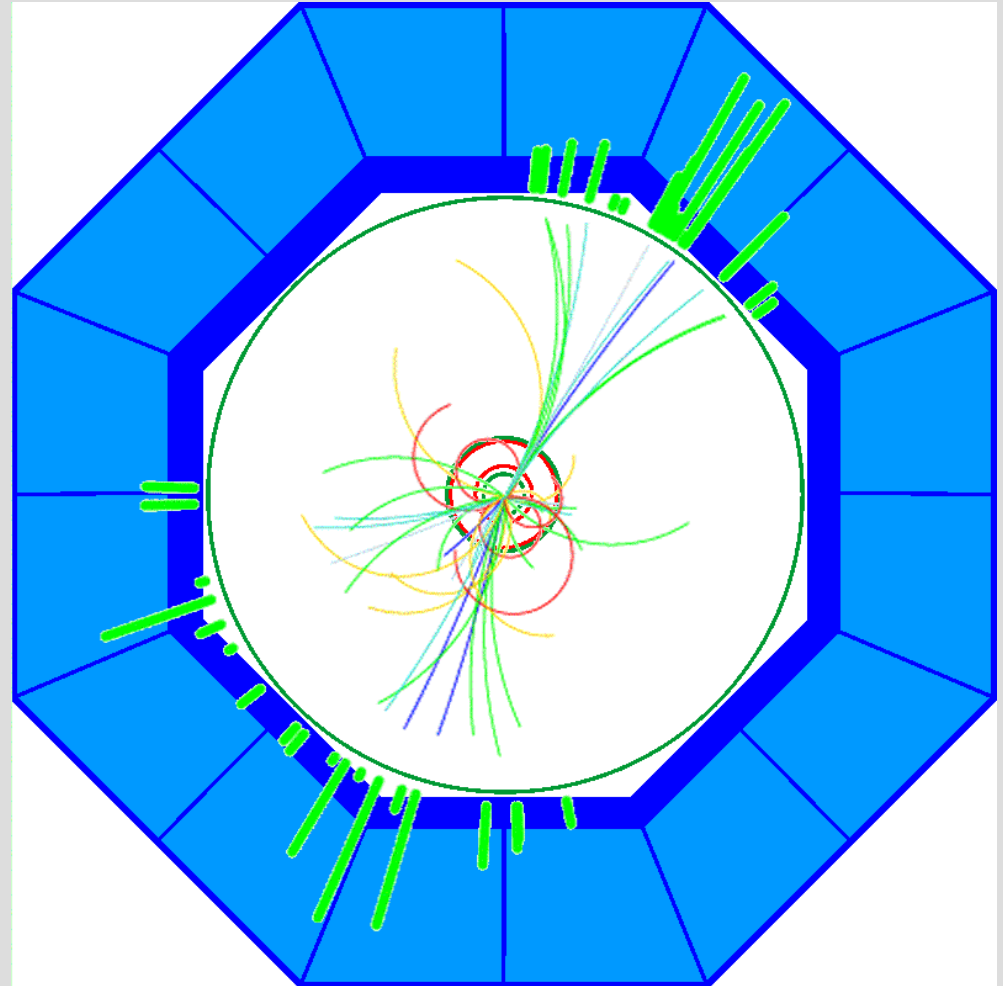
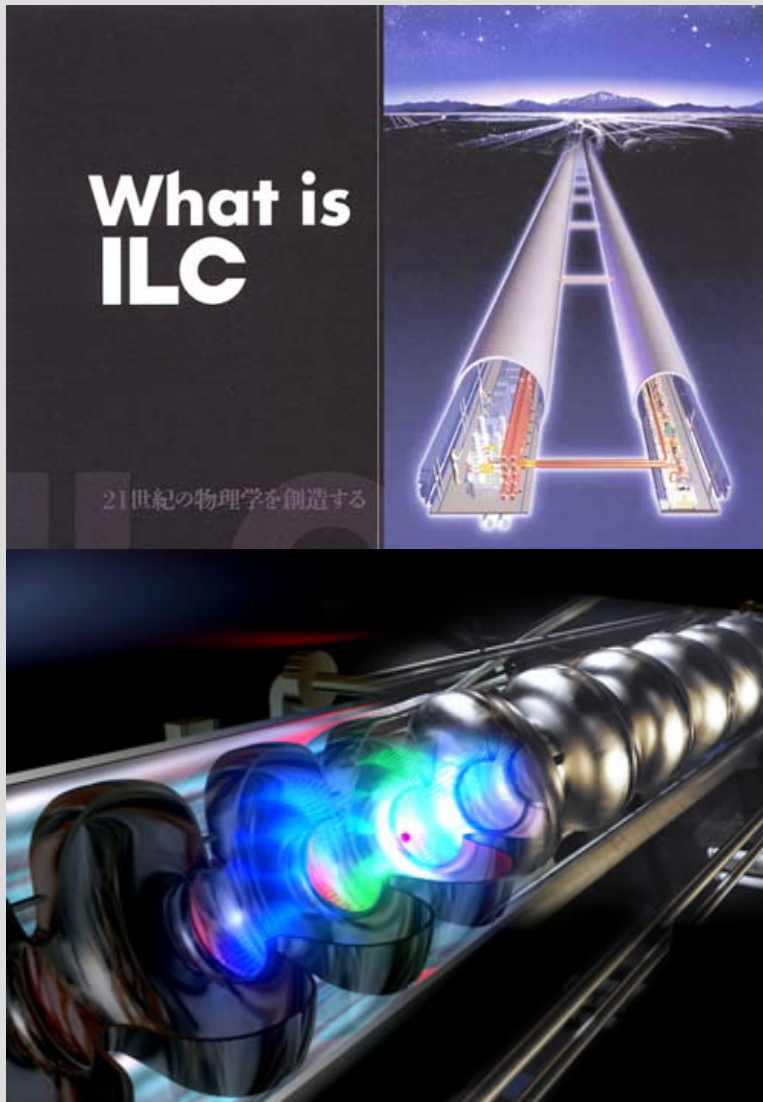
Suche nach

- dem Higgs-Teilchen
- nach Supersymmetrie (→ Dunkle Materie?)
- Extra-Dimensionen ...



ATLAS detector

# Präzisionsmessung der Higgs-Eigenschaften: International Linear Collider





# Offene Fragen

**Das Standardmodell der Teilchen und Kräfte wurde mit höchster Präzision immer wieder bestätigt. Trotzdem wissen wir, dass es nicht alle Fragen beantworten kann.**

**Zunächst:** Das **Higgs-Teilchen** muss noch gefunden werden

**.. und dann:** Warum gibt es **3 Familien**?

Warum ist die Ladung des **Protons** = -Ladung des **Elektrons**?

Was ist die „**Dunkle Materie**“ und die „**Dunkle Energie**“ im Kosmos?

**das Vakuum ist nicht Nichts!!!**

Warum gibt es unterschiedliche Kräfte, gibt es die **Urkraft**?

Warum, warum, warum .....

FOCUS

die Formel Gottes

# Die Vereinigung der Kräfte

Big Bang

$10^{19}$  GeV

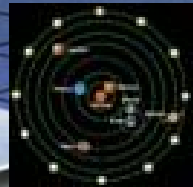
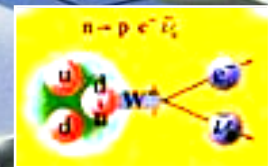
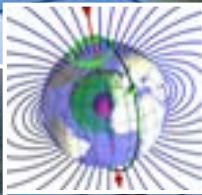
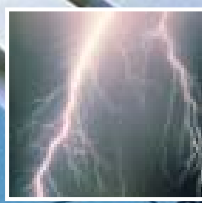
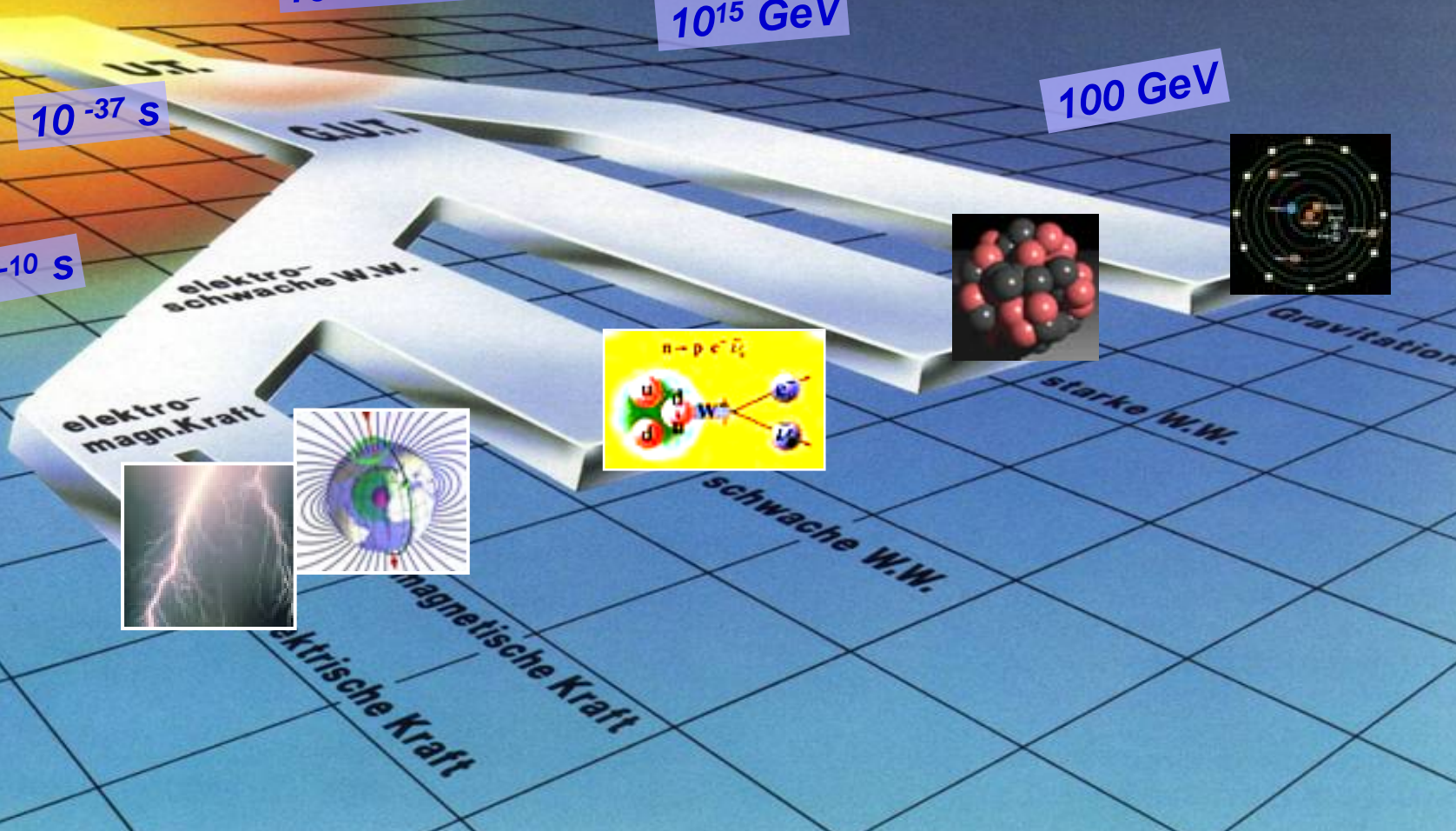
$10^{15}$  GeV

100 GeV

$10^{-43}$  s

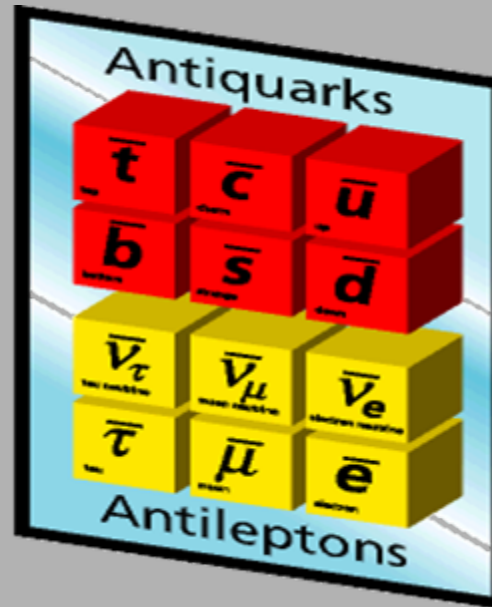
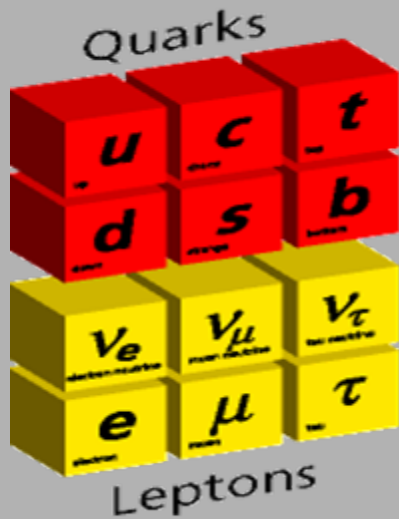
$10^{-37}$  s

$10^{-10}$  s



# Das Ziel: die Welt verstehen ....

vom Kleinsten ...



+ Kraftteilchen  $\gamma$ ,  $W^\pm$ ,  $Z^0$ , 8 Gluonen, Graviton  
+ Higgs

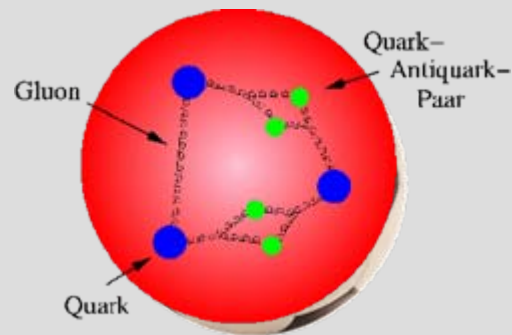


....bis zum Größten



.... dabei das Wichtige nicht vergessen ....

## das Elementarteilchen des Berliner Sommers



The End