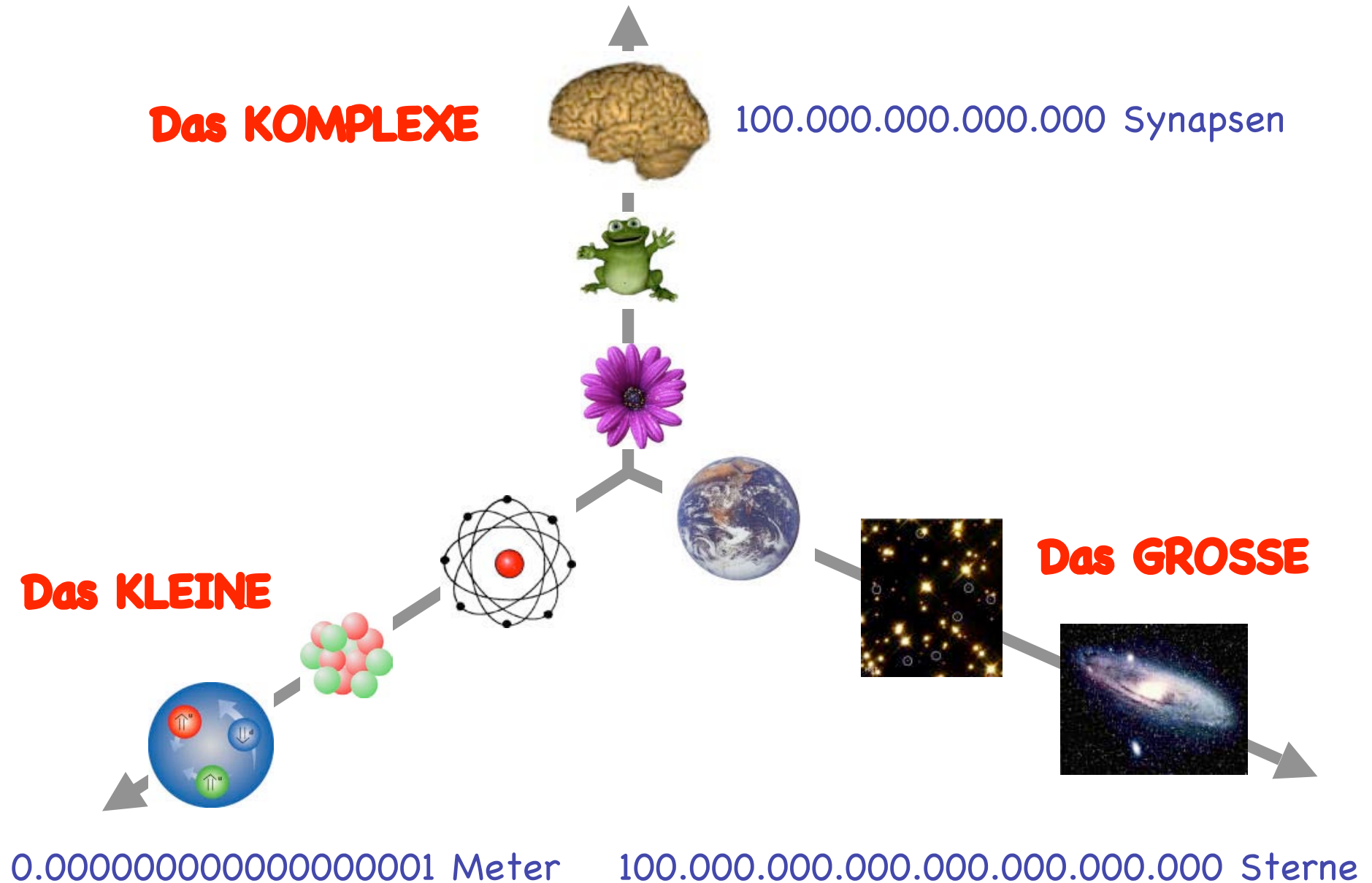


*"Ob mir durch Geistes Kraft und Mund nicht  
manch Geheimnis würde kund... Daß ich  
erkenne, was die Welt im Innersten  
zusammenhält, schau' alle Wirkenskraft und  
Samen, und tu' nicht mehr in Worten kramen."*

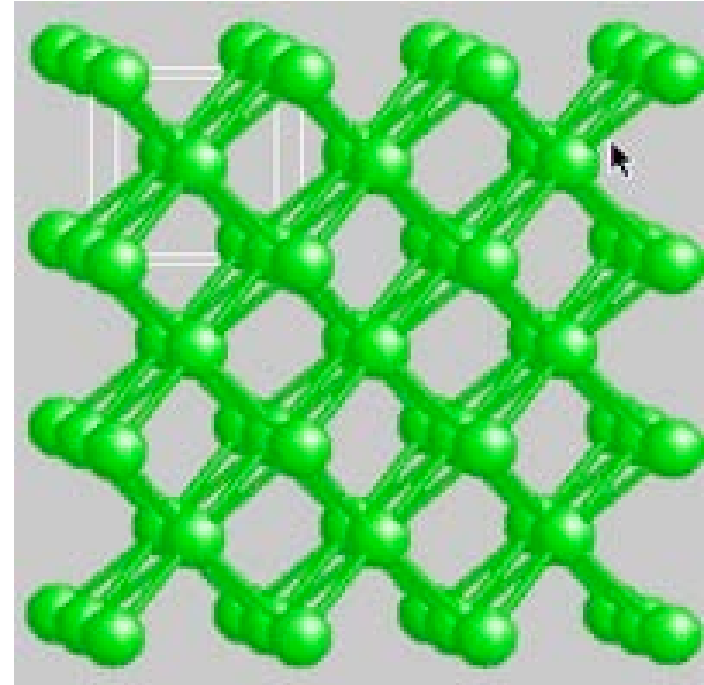
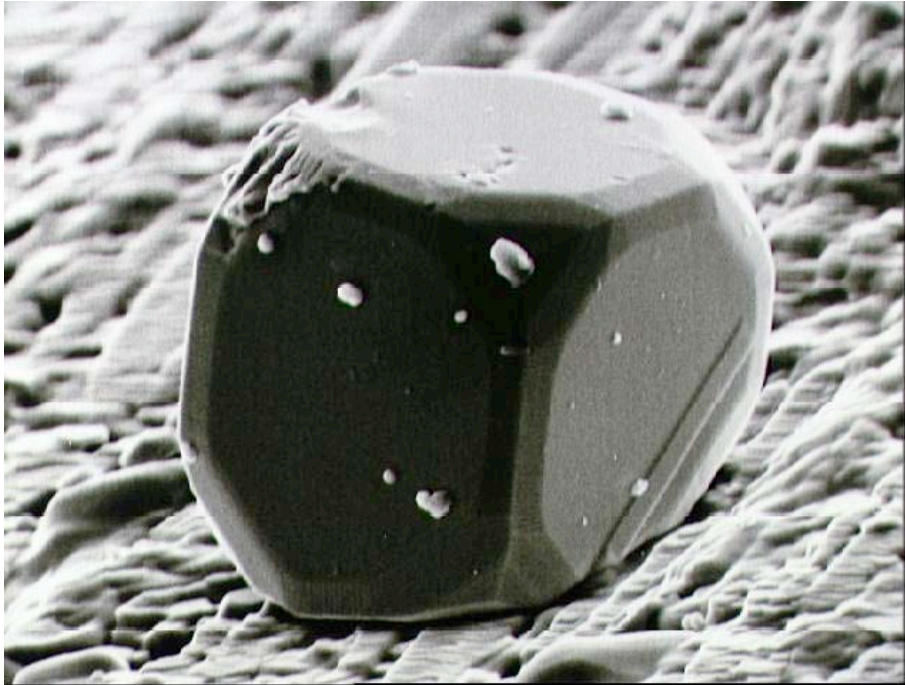
*Johann Wolfgang von Goethe, Faust I*

# Die drei großen Fragen

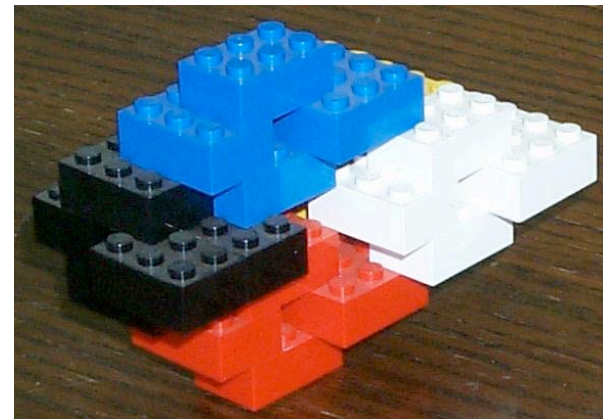


## Zeichen aus dem Mikrokosmos : Kristalle

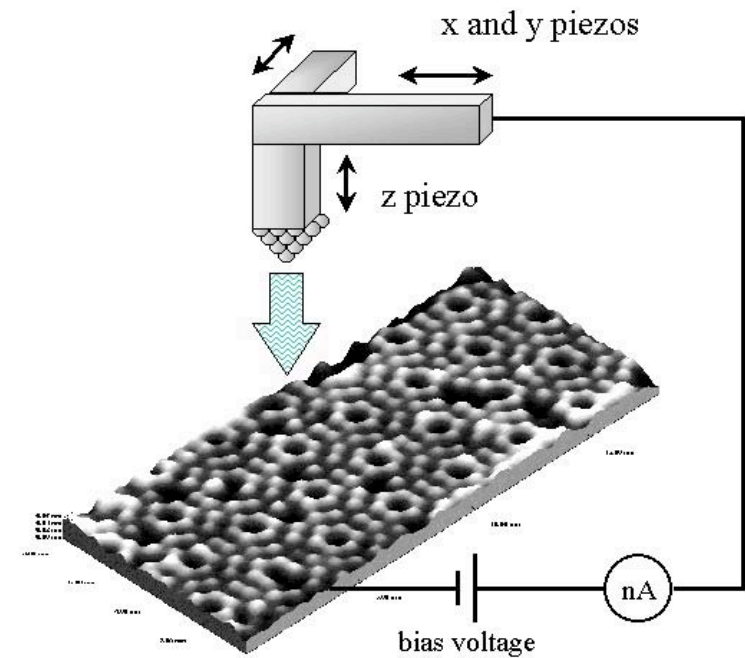
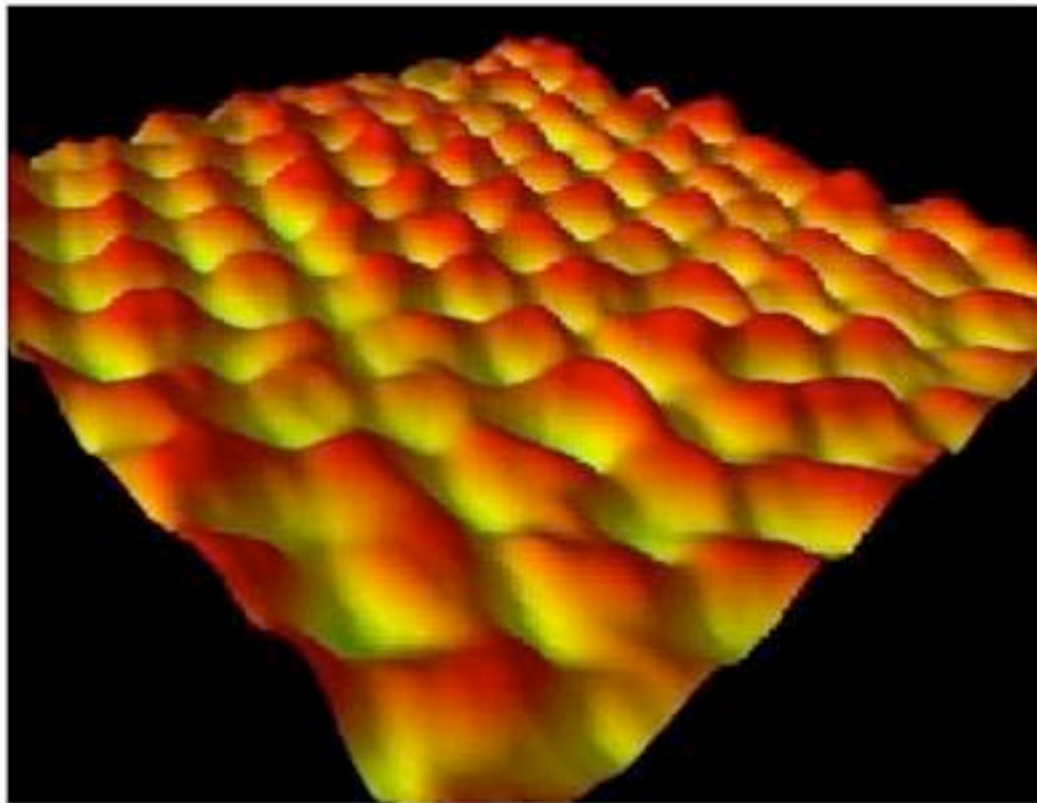
---



Eisenkristall im Mondgestein



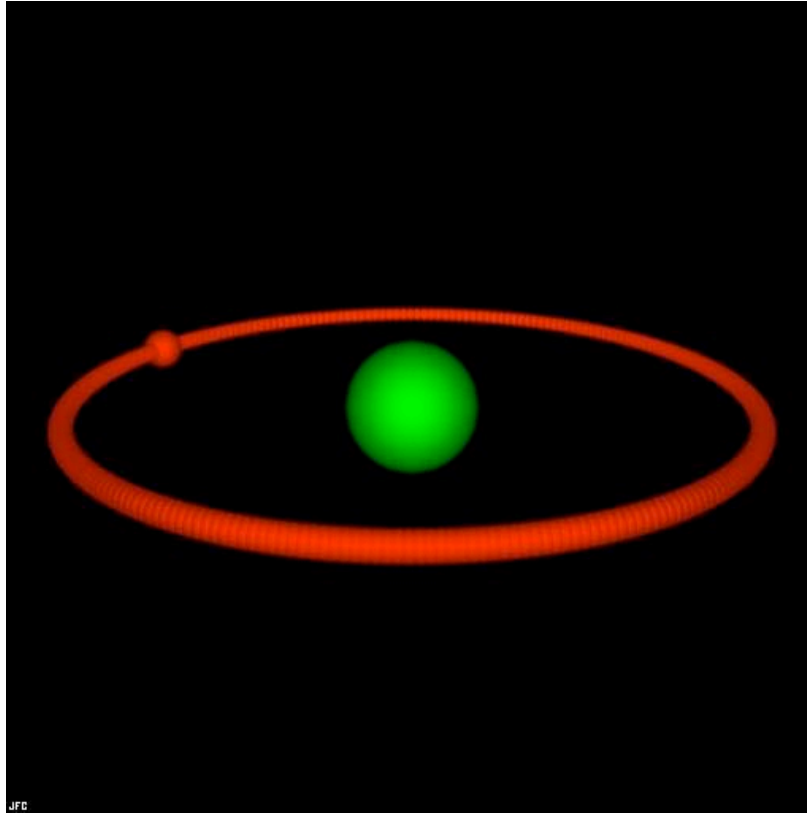
# Atome sind kein abstraktes Konzept sondern Realität



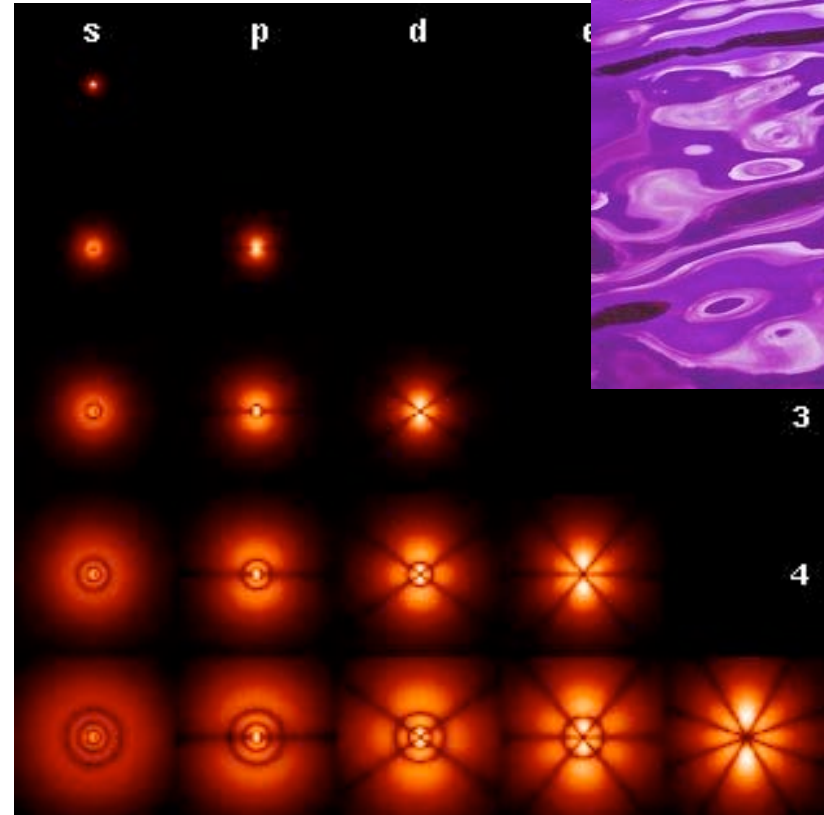
Kohlenstoffatome auf einer Metalloberfläche

Scanning Tunneling Microscope

# Das Wasserstoffatom – falsch und richtig



$0.0000000001 = 1 \text{ \AA}$



Wellenmuster : Auslöschung und Verstärkung – eine Konsequenz der Quantenmechanik

ABER : Atome sind räumlich lokalisierte Objekte



# Elektrizität und Magnetismus

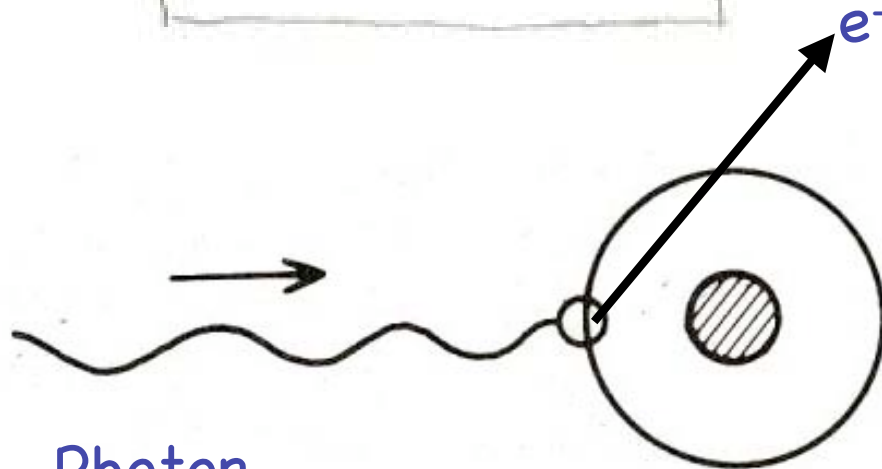
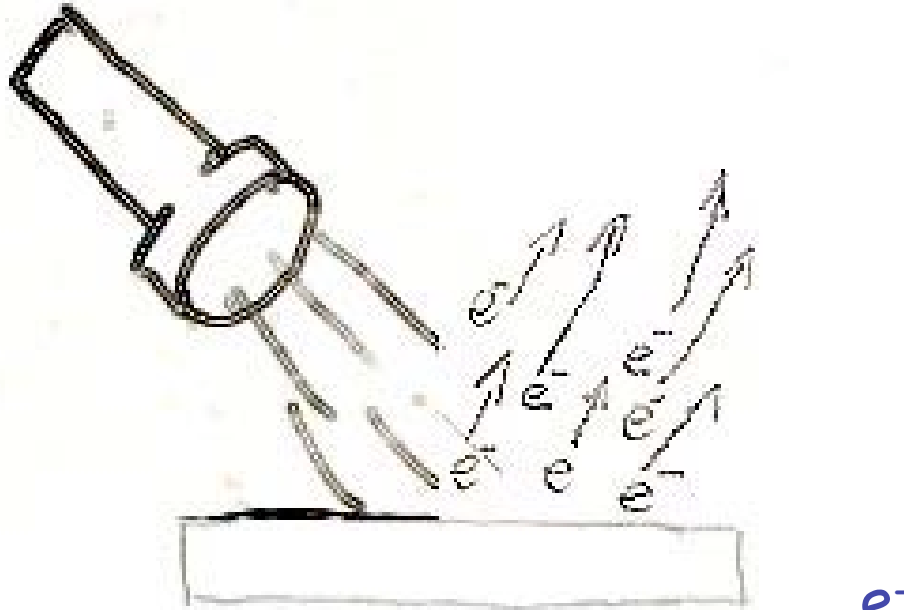
---



Zwei Kräfte – Eine Ursache : Die elektrische Ladung

Wasserstoff :            Elektron  $-e$             Proton  $+e$

# Photoelektrischer Effekt

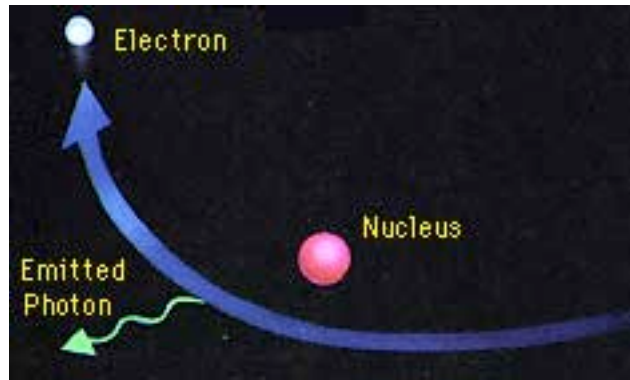


Photon

Atom mit Elektron

# Röntgenstrahlung – Bremsstrahlung

---



Röntgen-Photonen  
werden durch  
„Beschleunigung“  
von Elektronen  
erzeugt.





# Antiteilchen + Teilchen

---

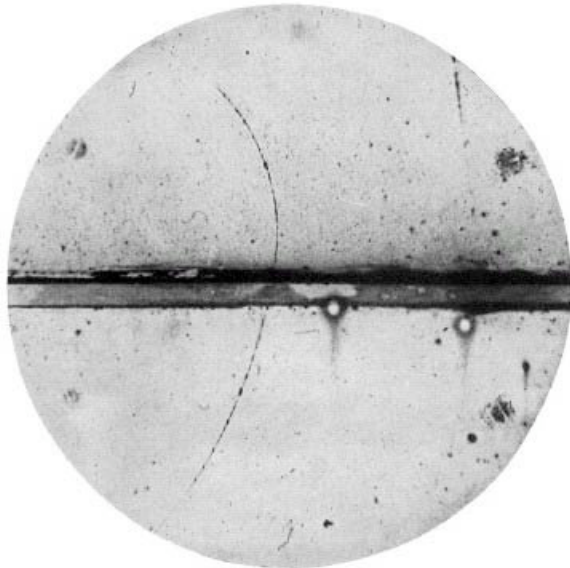


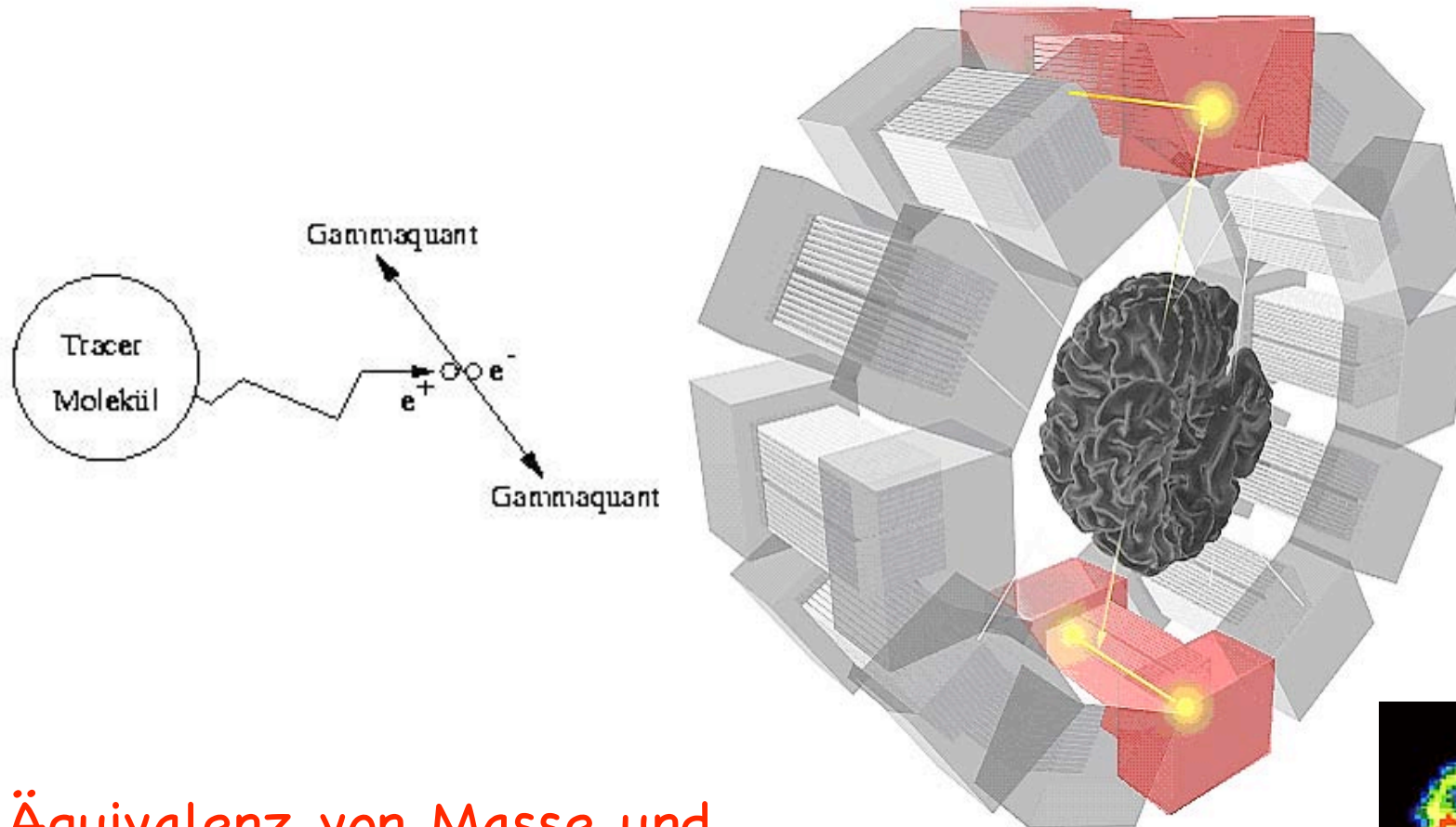
FIG. 1. A 63 million volt positron ( $H_D=2.1 \times 10^6$  gauss-cm) passing through a 6 mm lead plate and emerging as a 23 million volt positron ( $H_D=7.5 \times 10^4$  gauss-cm). The length of this latter path is at least ten times greater than the possible length of a proton path of this curvature.

Das Positron (ein positives Elektron)  
(1932) aus der kosmischen Strahlung

Generelles Prinzip : Antiproton, Antineutron, Antiatom,  
Antimaterie, ....

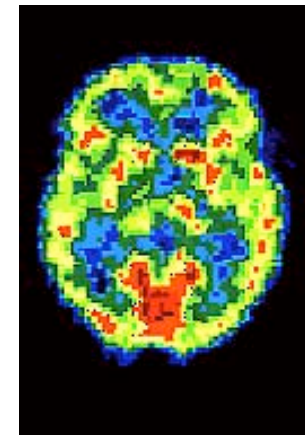
*Umkehrung (aus plus wird minus) einiger Eigenschaften  
(z.B. elektrische Ladung), aber nicht aller  
Eigenschaften (keine „negative Masse“)*

# Strahlung (Photonen) aus Materie (PET)

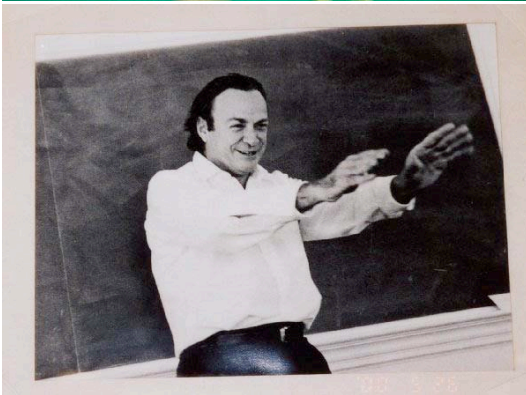


Äquivalenz von Masse und  
Energie (Vernichtung) :

$$m \cdot c^2 = E$$

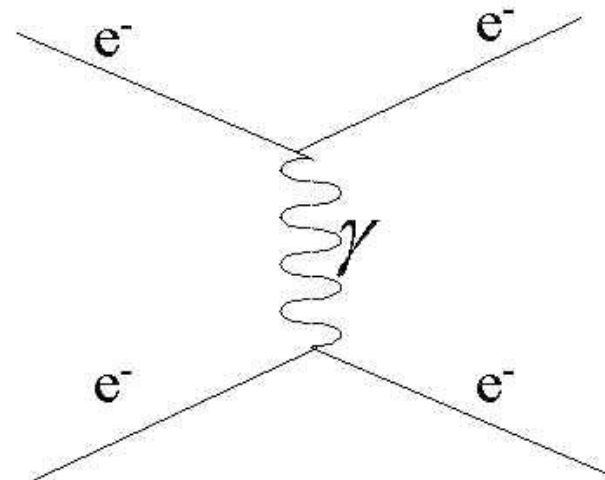
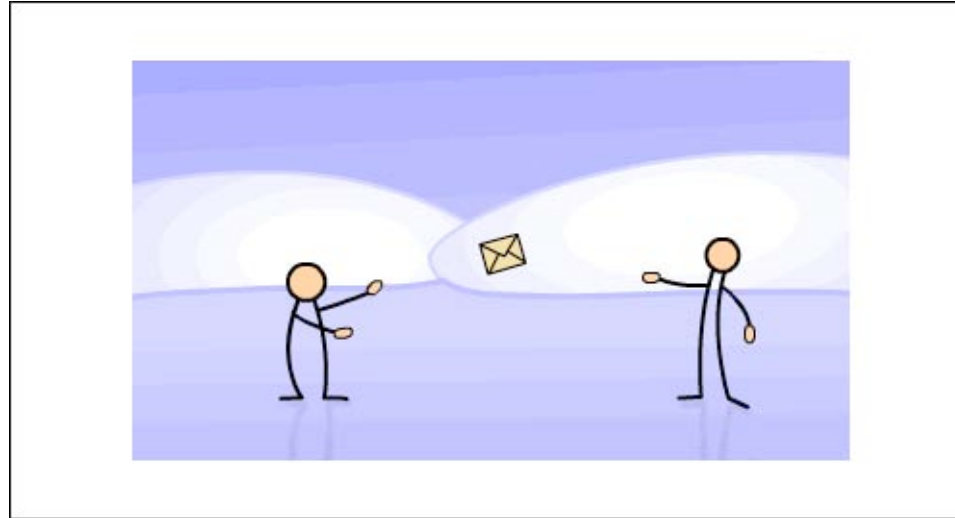


# Wechselwirkungen mit Photonen



R.P. Feynman

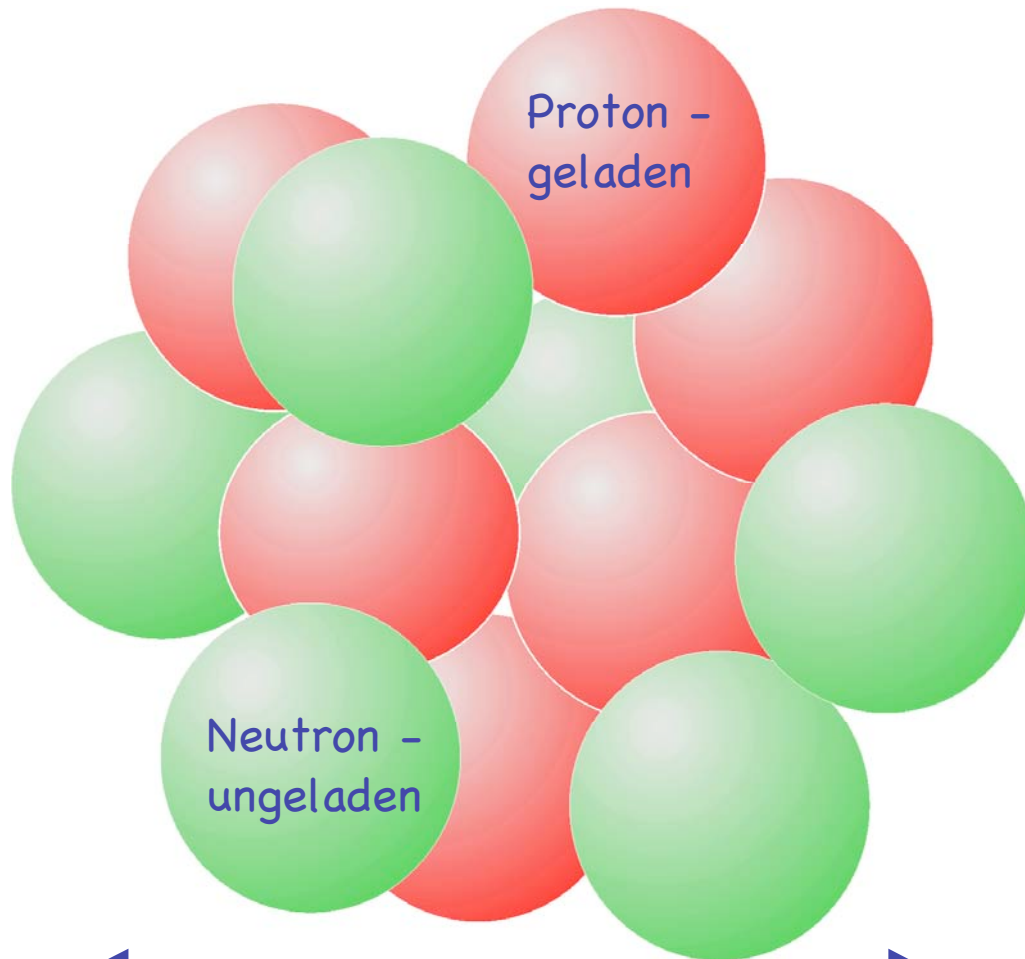
Konzept : Elektrische und magnetische Kräfte werden durch den Austausch von Feldquanten beschrieben. Das Photon übernimmt diese Rolle



# Übermittler der Kräfte



# Der Atomkern (Kohlenstoff)



0.000000000000001 Meter = 10 Fermi  
1/100.000 der Atomgröße

Aber 99.9 % der Masse des Atoms

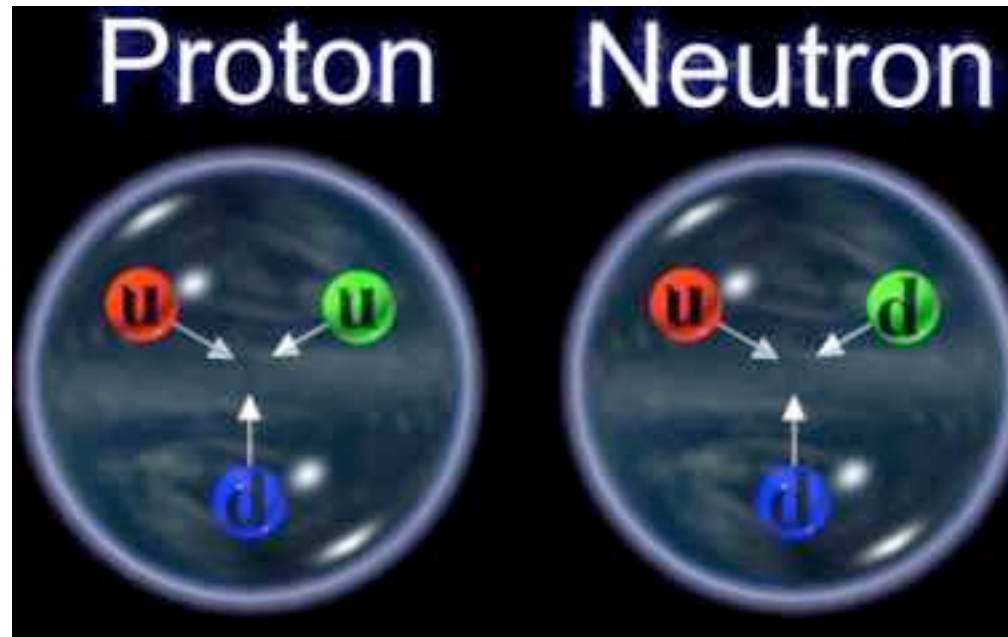


Eine ANDERE Kraft -  
Die Kernkraft :  
STARK aber  
kurzreichweitig



# Quarks und Nukleonen

---



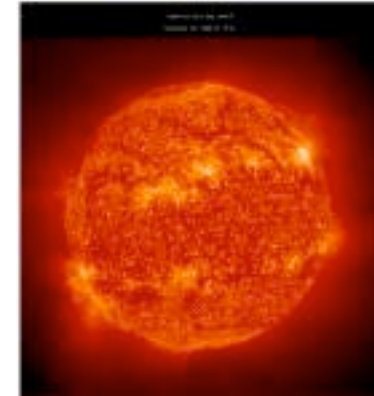
Gebrochene Ladungen : etwas Bruchrechnung .....

Proton :  $\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = 1$

Neutron :  $\frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0$

*Plausibles Bild, aber was hält die Quarks zusammen ? Kraftteilchen ?*



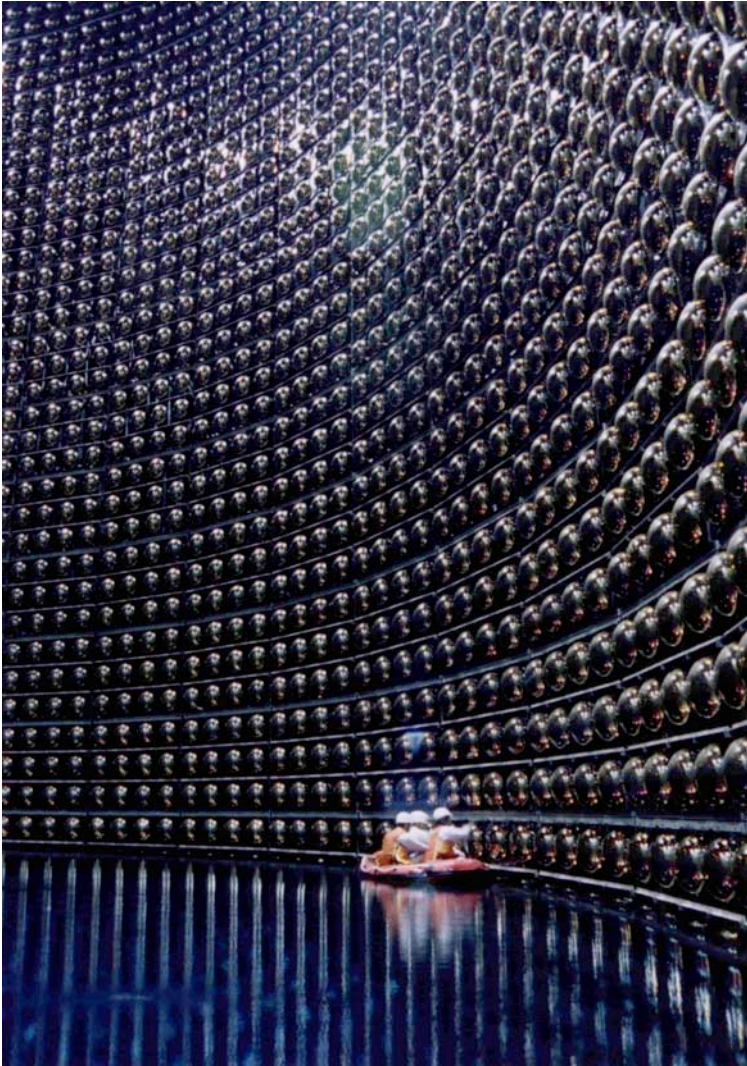


5 Millionen  
Neutrinos pro  
Sekunde pro  
Quadrat-  
zentimeter  
auf der Erde



# Viel Masse fängt Neutrinos

---



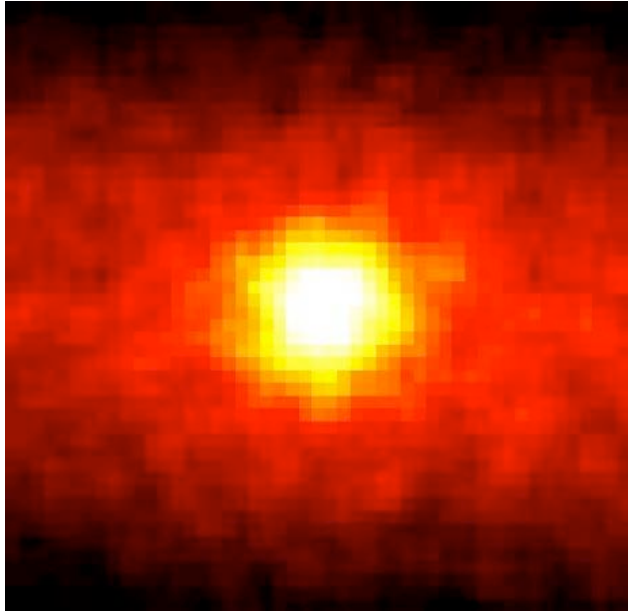
## Kamioka Mine (Japan)

- 50.000 Tonnes reines Wasser
- 11.200 Lichtdetektoren
- 1000 Meter unter Grund

Neutrinos → Reaktion mit dem  
Wasser → geladene Teilchen →  
Licht → **Richtungsmessung**

# Signale von der Sonne

---



„Farbe“ repräsentiert  
Anzahl der  
rekonstruierten  
Neutrinoreaktionen im  
Wassertank

**SCHWACHE KRAFT**



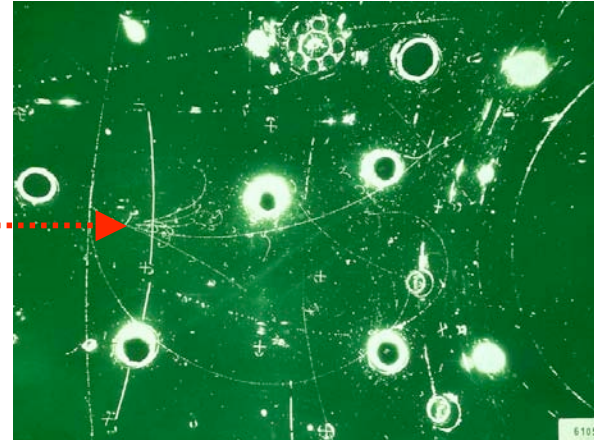
Farbe repräsentiert  
Wellenlänge des  
sichtbaren Lichtes

**ELEKTROMAGNETISMUS**

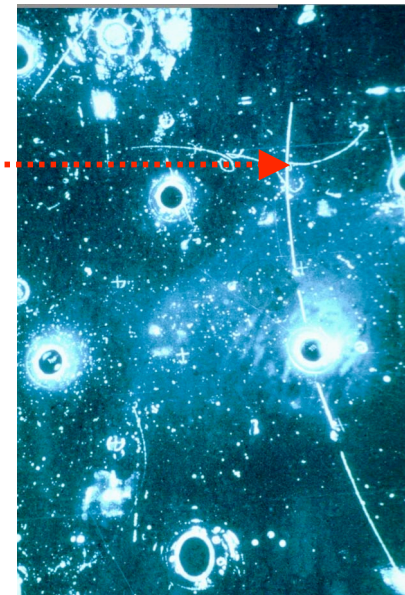


# Neutrinos an CERN Beschleunigern (1973)

Aufbrechen eines Nukleons  
durch ein Neutrino



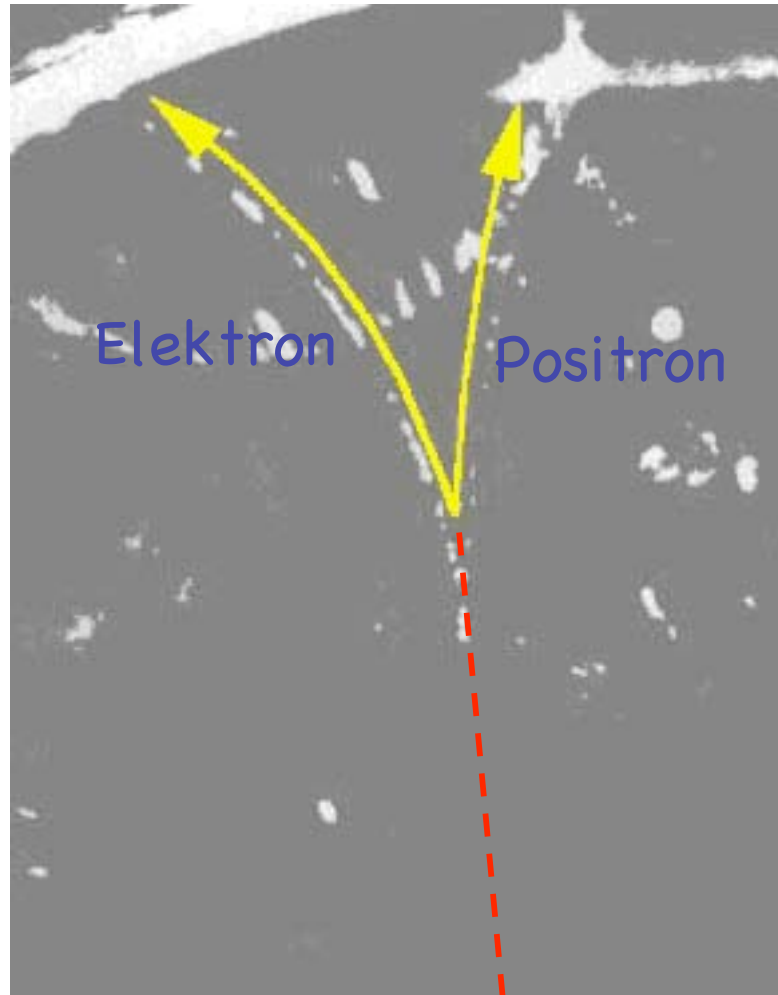
Anstoßen eines Elektrons  
durch ein Neutrino



*Neutrinos können Materie anstoßen  
(selten)... Schwache Kraft*

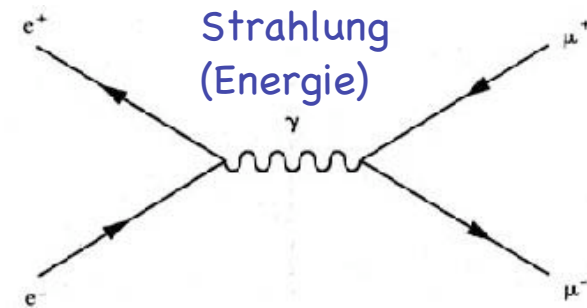
*Plausibles Bild, aber was vermittelt die  
schwache Kraft ? Kraftteilchen ?*

# Materie aus Strahlung



Ein Photon hoher Energie

Vernichtung und Produktion im Feynman Bild



Vernichtung von  
Teilchen und  
Antiteilchen

Neue Formen  
von Materie

Das Arbeitspferd der  
experimententellen  
Elementarteilchenphysik

Äquivalenz von Masse und Energie  $E = m \cdot c^2$

# LEP am CERN : Elektronen/Positronen (1989–2000)

---



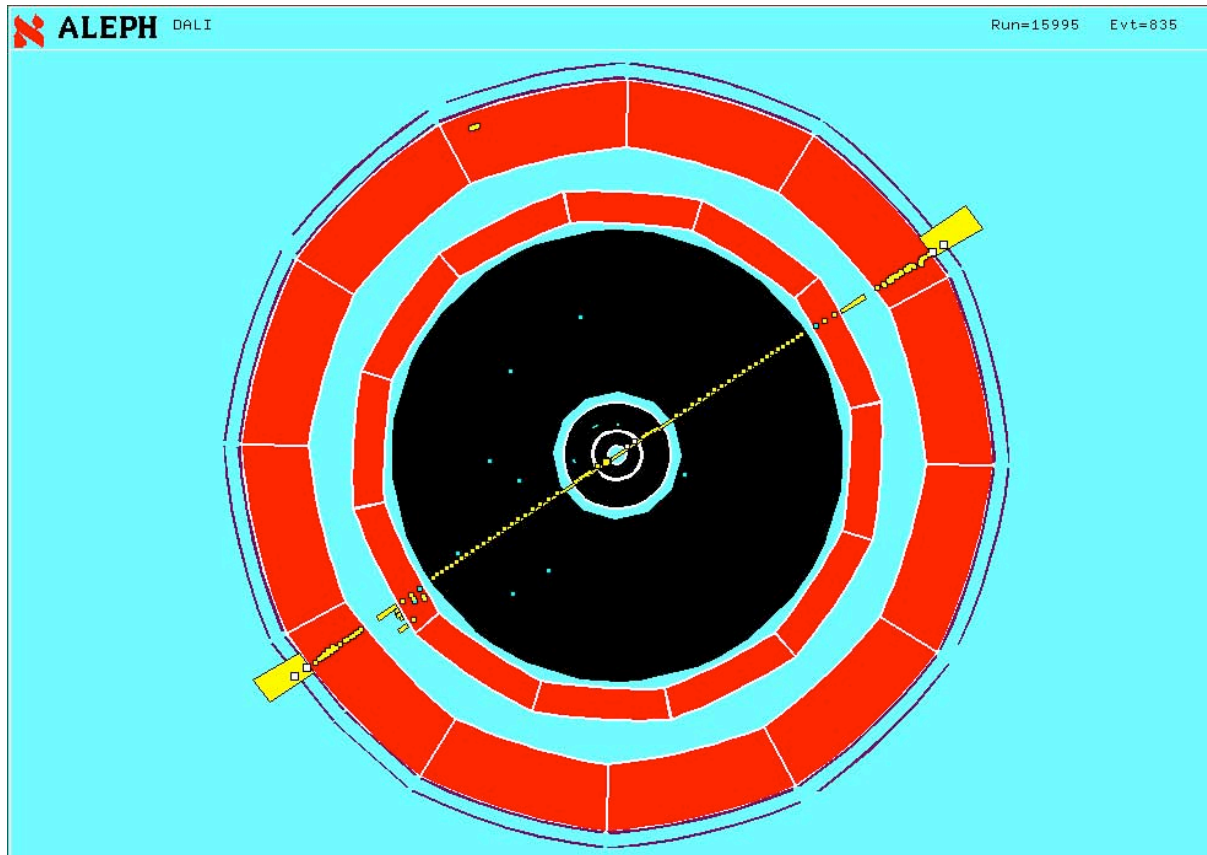
Effektive Vernichtungsenergie :  
90 bis 200 Protonmassen

Verfügbar für **NEUE** Objekte

Elektronen   Positronen



# Beispiel Myonen (ALEPH bei LEP)

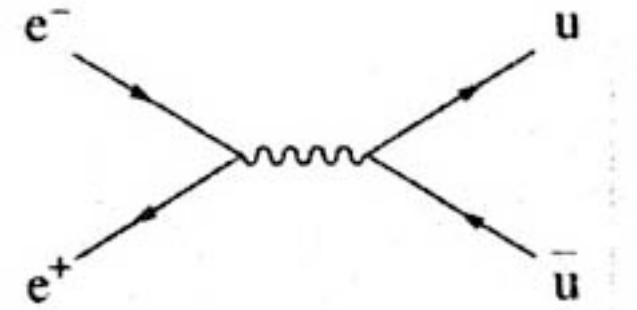


Die schweren  
Schwestern der  
Elektronen (200  
mal schwerer)

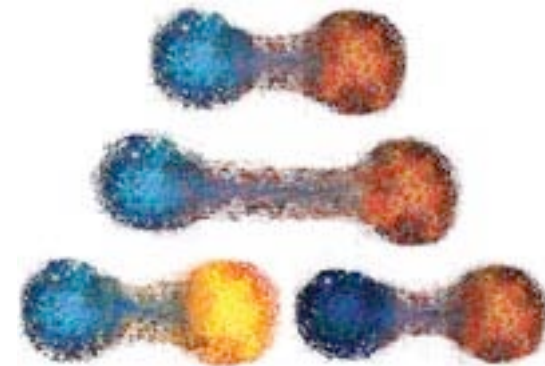
Bekannt seit 1937  
als Komponente  
der kosmischen  
Strahlung

(auch im Foyer zu  
besichtigen)

# Quarks – ein kleines Problem ...

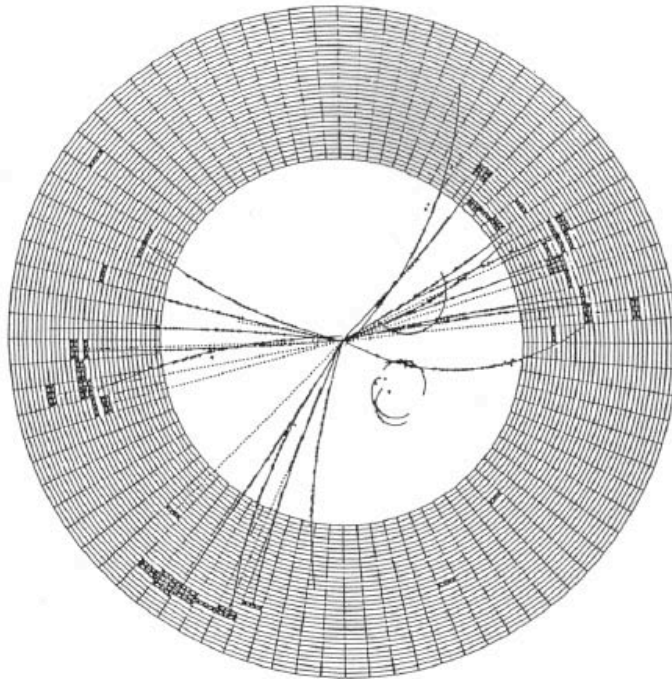


Quark-Antiquark Paare



Freie Quarks werden NIE  
beobachtet, jedoch  
Bündel (JETS) aus  
„normalen“  
Elementarteilchen

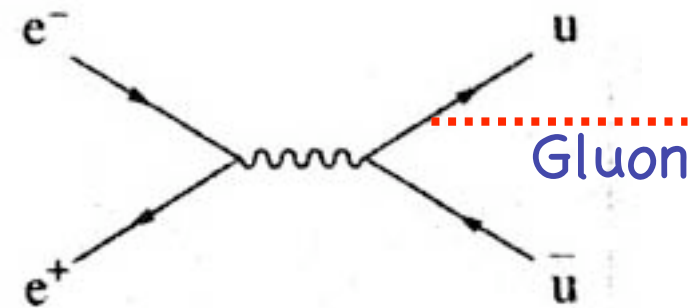
# Starke „Röntgenstrahlung“ (GLUONEN)



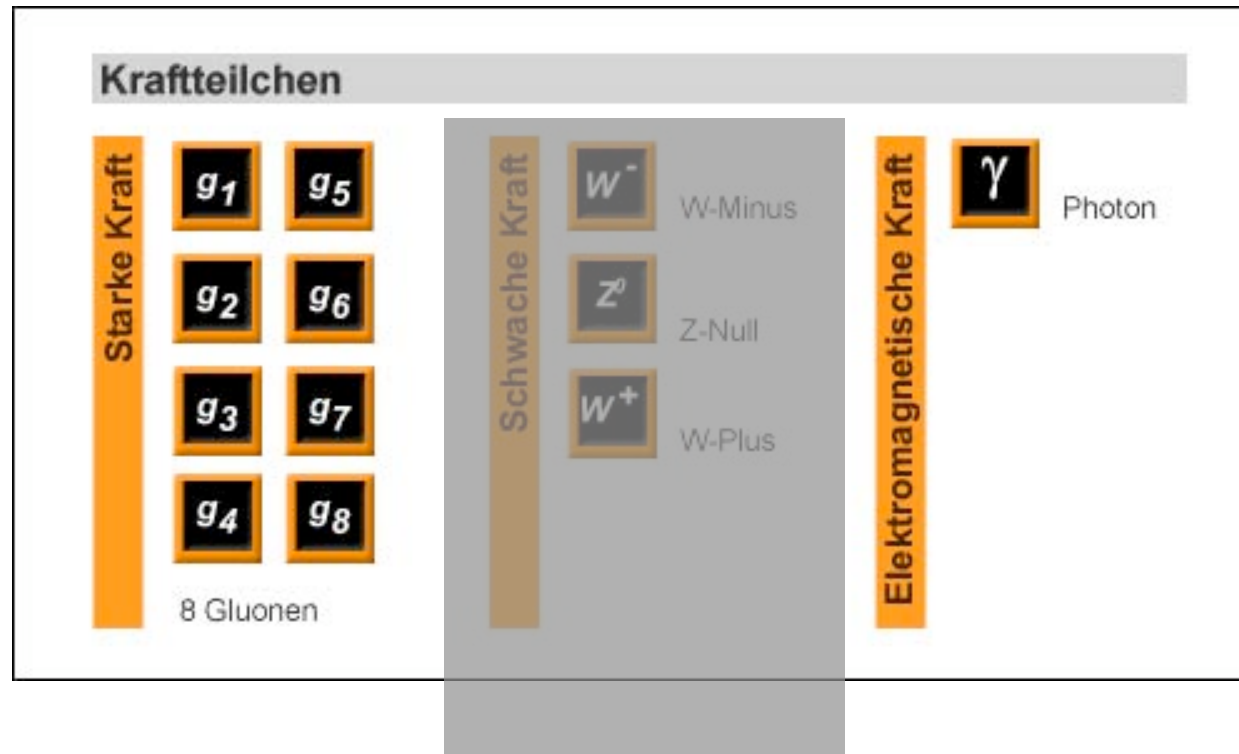
\*\*\* SUMS (GEV) \*\*\*  
TOTAL CLUSTER ENERGY 15.109 PHOTON ENERGY 4.693 NR OF PHOTONS 11

1979 : Entdeckung des  
GLUONS in Form eines  
dritten „JETS“ am  
Speicherring PETRA  
am DESY in Hamburg

Dies ist das Feldquant  
der starken Kraft

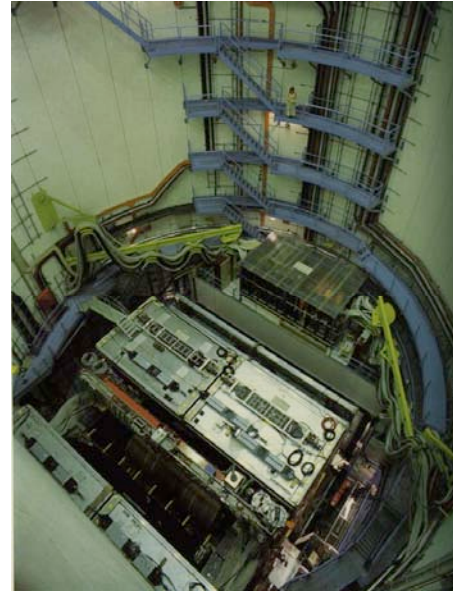
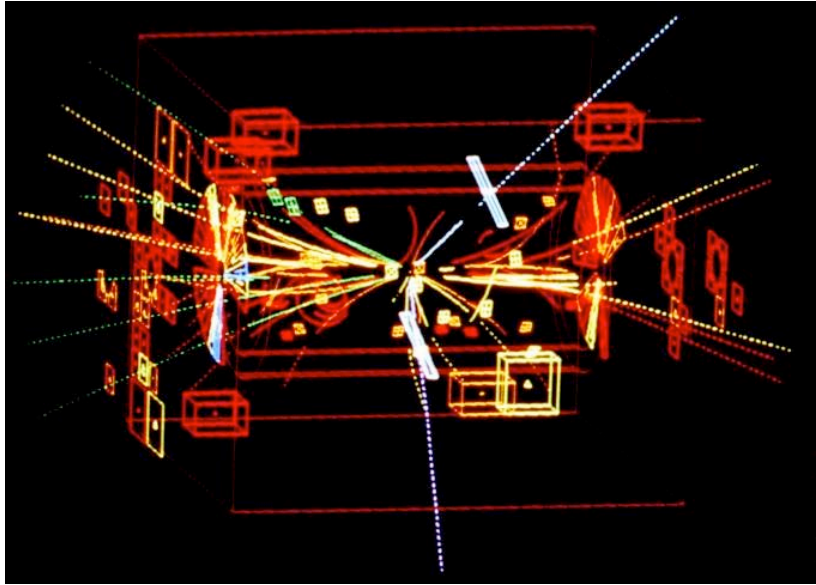


# Übermittler der Kräfte





# W und Z - Träger der schwachen Kraft



Direkter  
Nachweis 1983  
und 1984 am  
Proton-  
Antiproton  
Collider des CERN  
(Nobelpreis 1984)

## Interessant :

3 verschiedene Feldquanten

2 elektrisch geladen ( $W^+$  und  $W^-$ ) → Sonne !

1 elektrisch neutral ( $Z^0$ ) → Anstoßen des Elektrons beim CERN

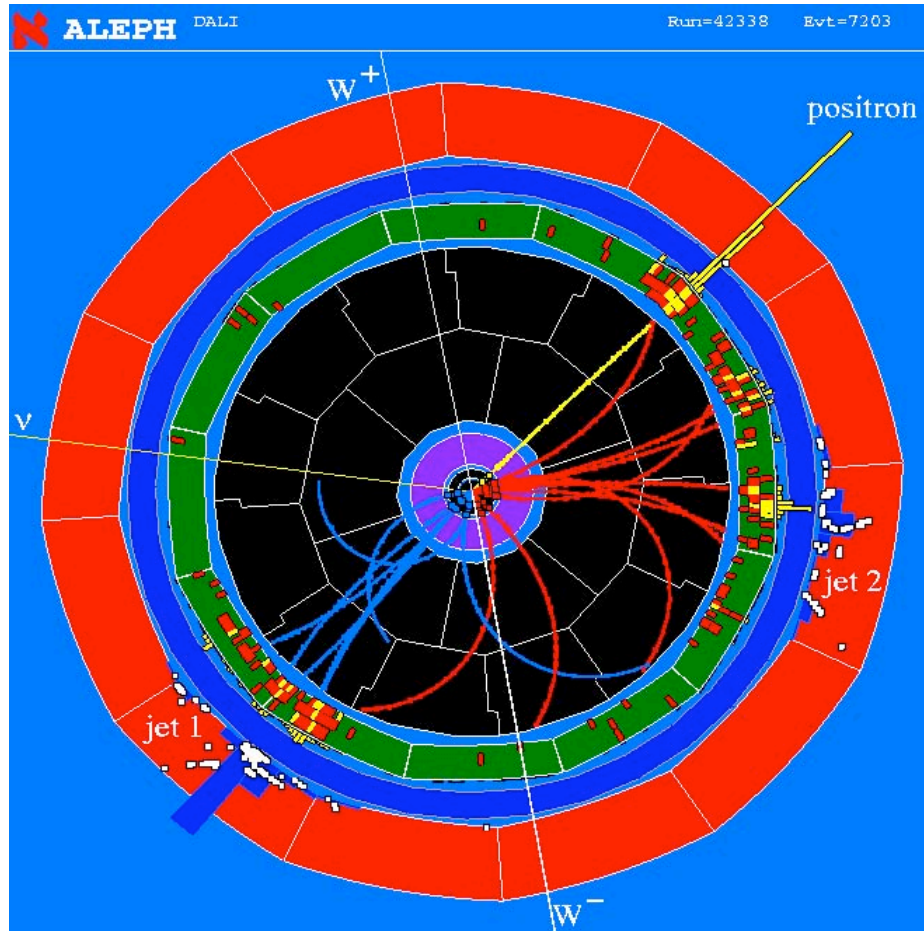
extrem schwer (80 - 90 Protonenmassen)

extrem kurzlebig (instabil)

→ schwach und kurzreichweitig

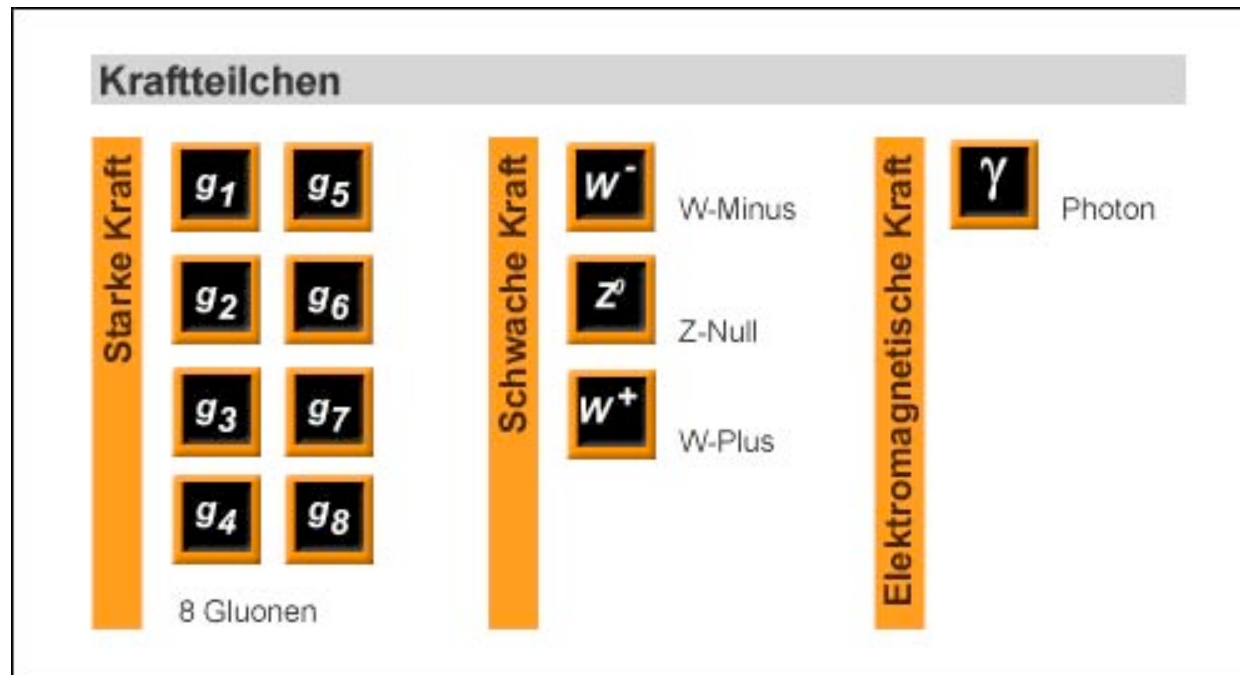
# LEP : W-Paarproduktion

$$e^+ + e^- \rightarrow W^+ + W^- \rightarrow quark + antiquark + e^+ + \nu$$

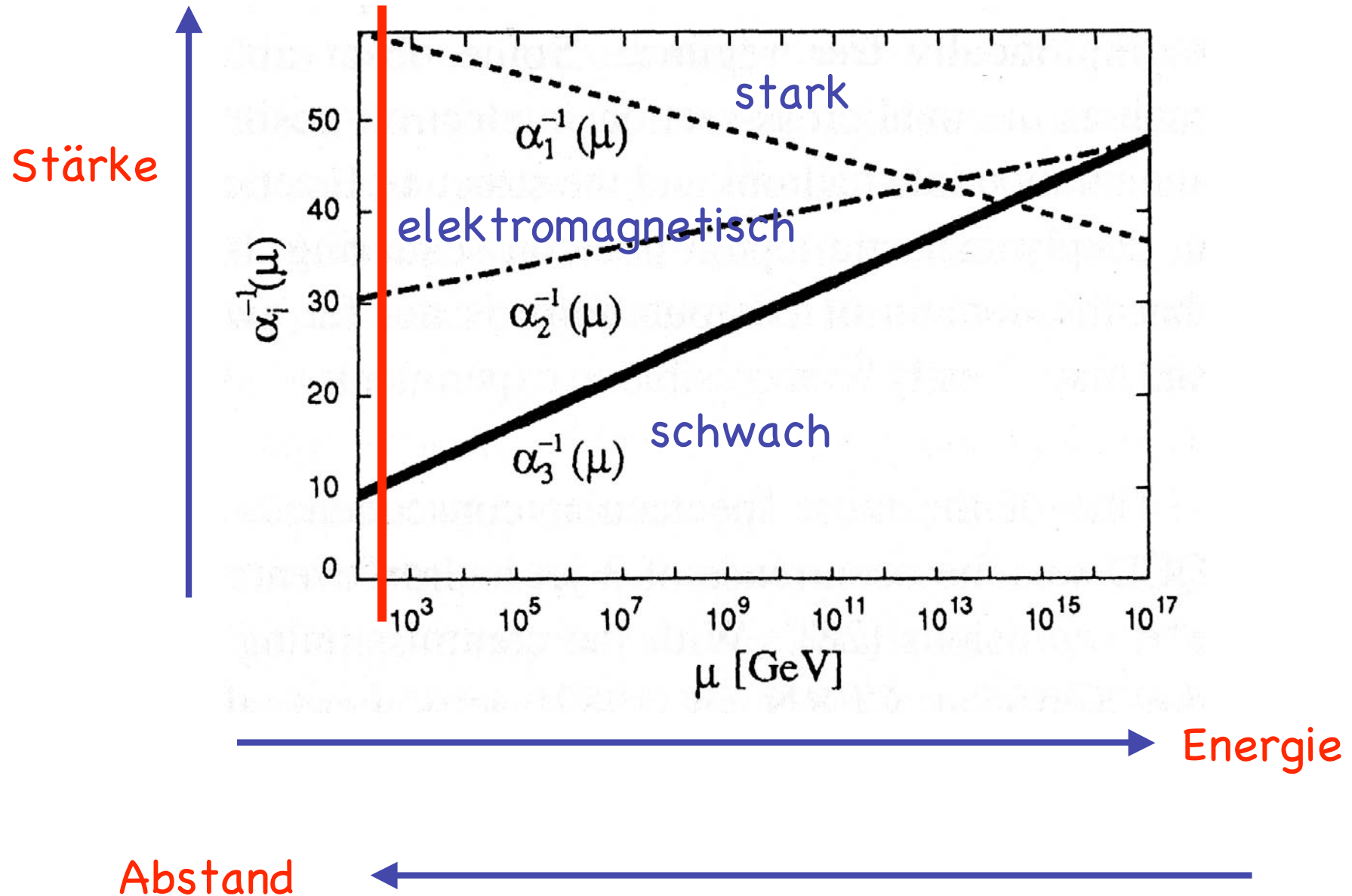


Die hohe Kunst des  
Experimentierens an  
Beschleunigern

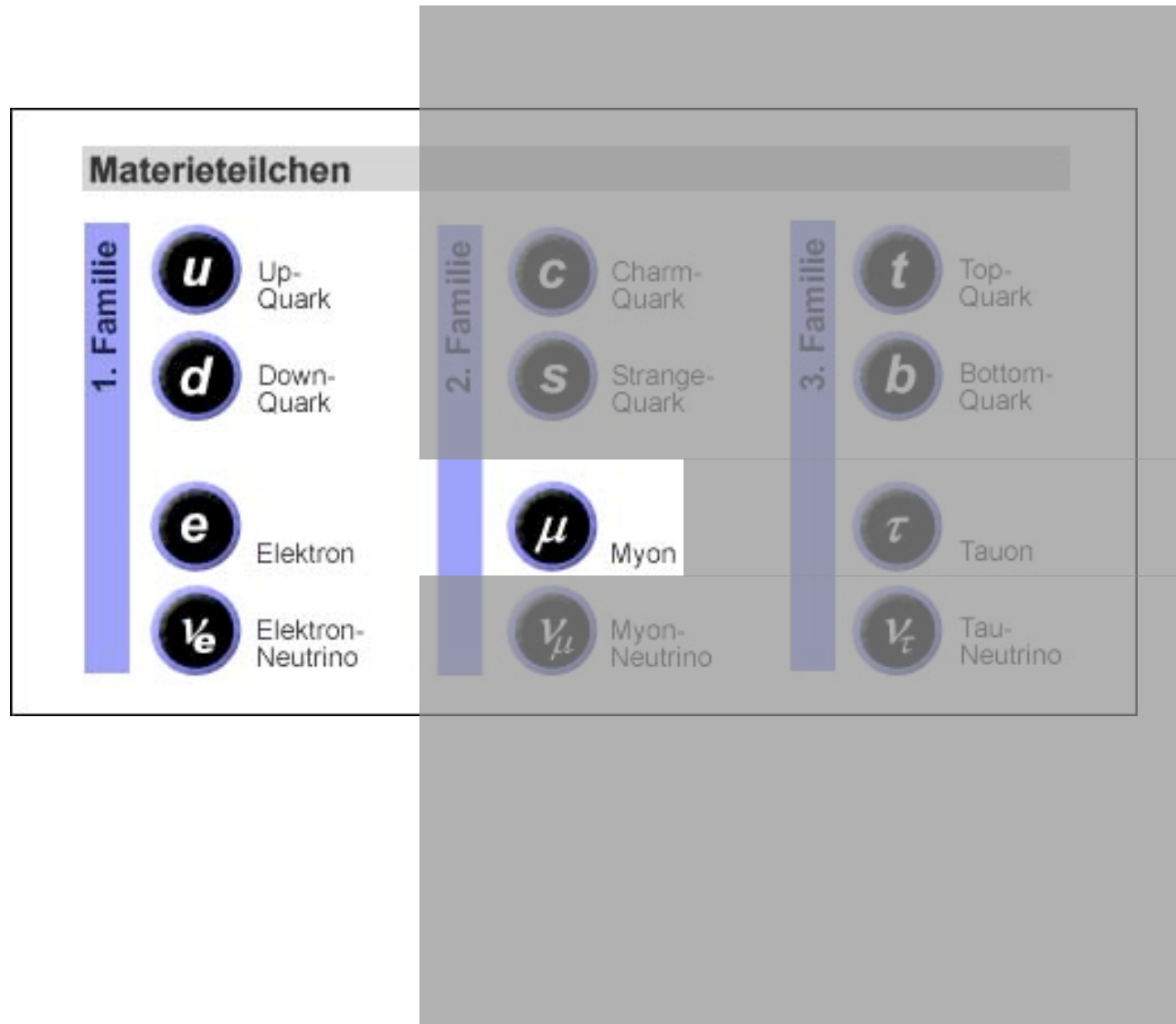
# Übermittler der Kräfte – Das Standardmodell



# Die Stärke der Kräfte

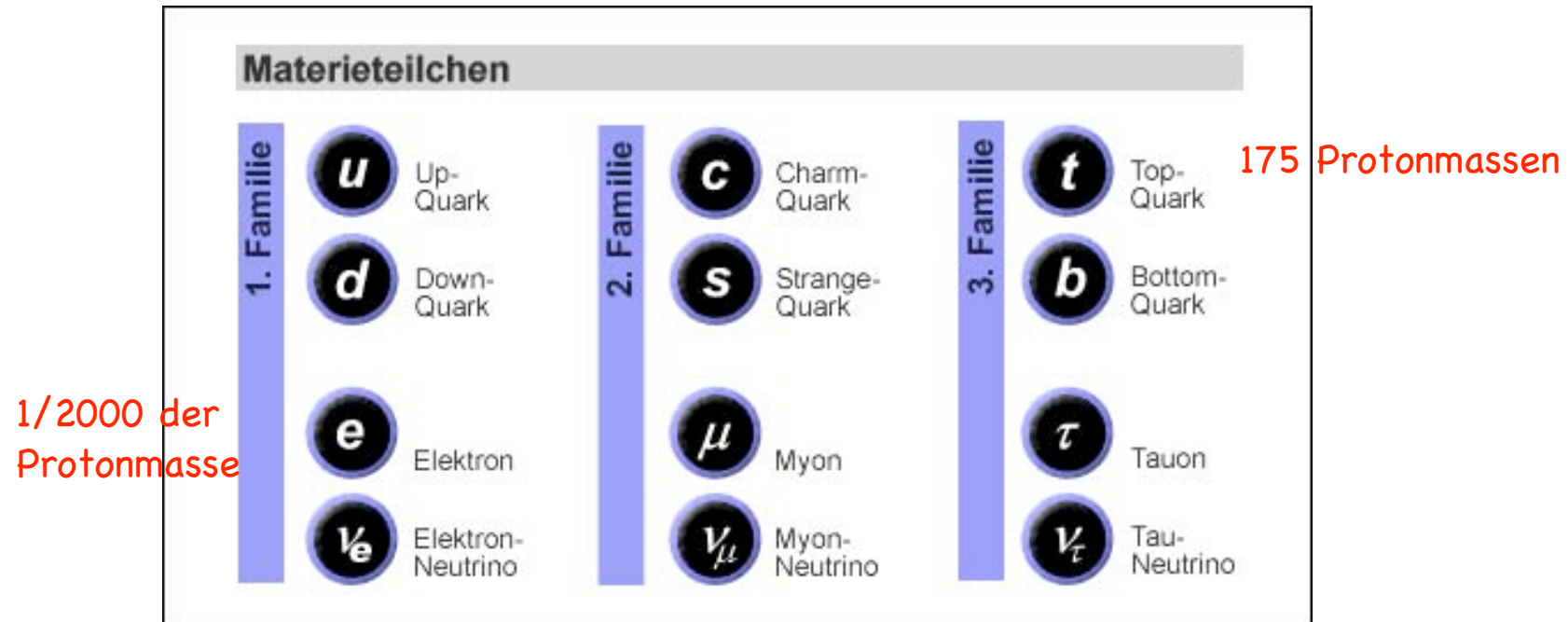


# Teilchen unserer Welt

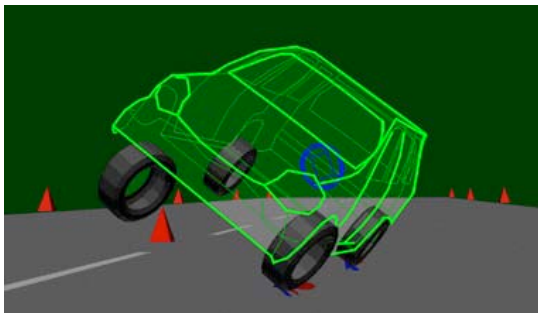




# Teilchen - Das Standardmodell



3 strukturell gleiche Familien mit steigender Masse



„Erklärung“ für die Masse „Trägheit“..

# Der Higgs Mechanismus – Masse

---



Higgs-Hintergrundfeld  
erfüllt den Raum



Ein **Teilchen**  
im Higgs-Feld...



... Widerstand gegen  
Bewegung ...  
**Trägheit** ↔ **Masse**

# Der Higgs Mechanismus – ein neues Teilchen als Beweis

---



Anregung des  
Hintergrundfeldes



angeregtes Higgs-Hintergrundfeld  
 $\hat{=}$  schweres Higgs-Bosons

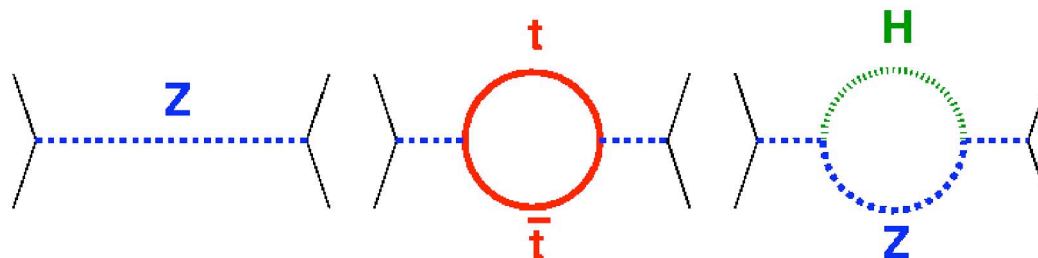
# Die Entdeckung des Neptun



„Theoretiker (Mathematiker)“  
Leverrier und Adams  
interpretieren 1846  
Bahnstörungen des Uranus und  
sagen die Position eines neuen  
Planeten voraus

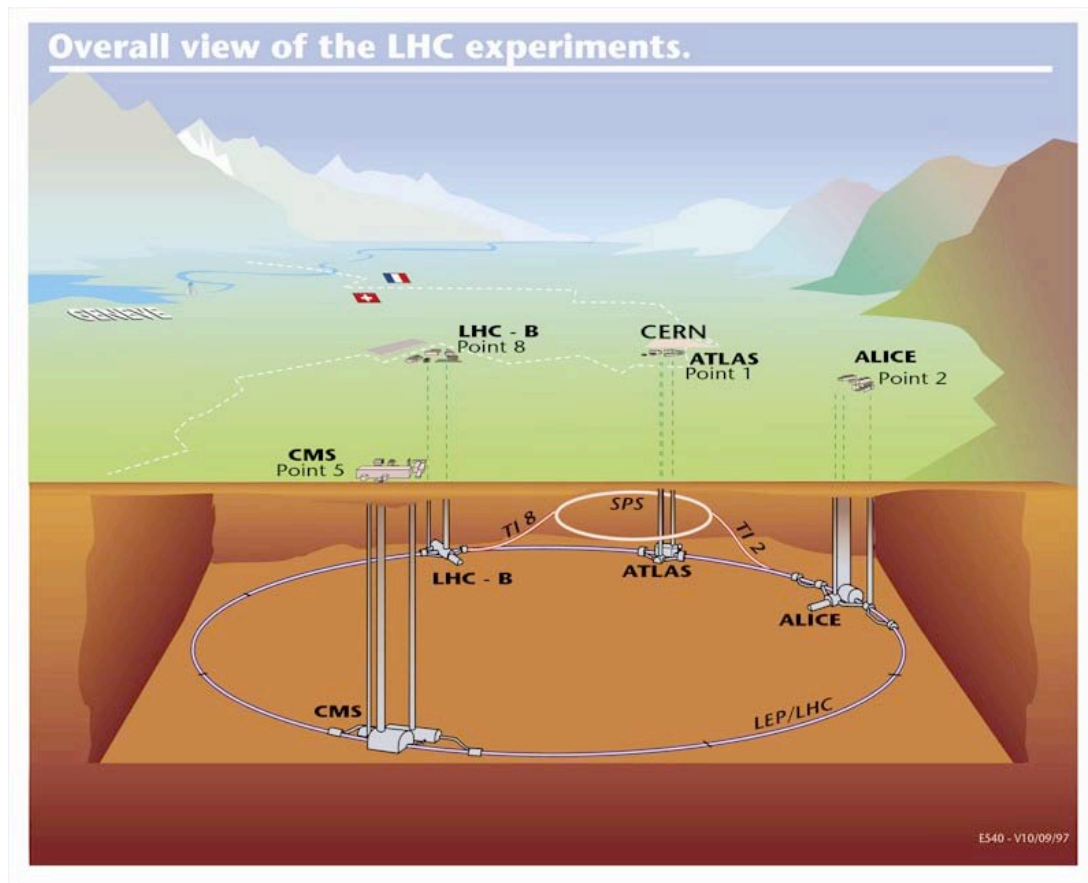
Galle und d'Arrest entdecken an der Berliner Sternwarte den Neptun an der vorhergesagten Position. Eine Vorhersage auf Grund einer beobachteten kleinen Abweichung vom „Standardmodell“

DIES IST DIE SITUATION DER TEILCHENPHYSIK BEIM HIGGS MECHANISMUS  
aus der sorgfältigen Analyse aller Experimente, speziell bei LEP





# Der Large Hadron Collider (LHC)



Hochenergetische Proton-Proton  
Kollisionen im LEP Tunnel

Zugang zu Massenskalen bis  
1.000.000 Protonmassen

Inbetriebnahme 2007

Eine neue Dimension des  
Experimentierens

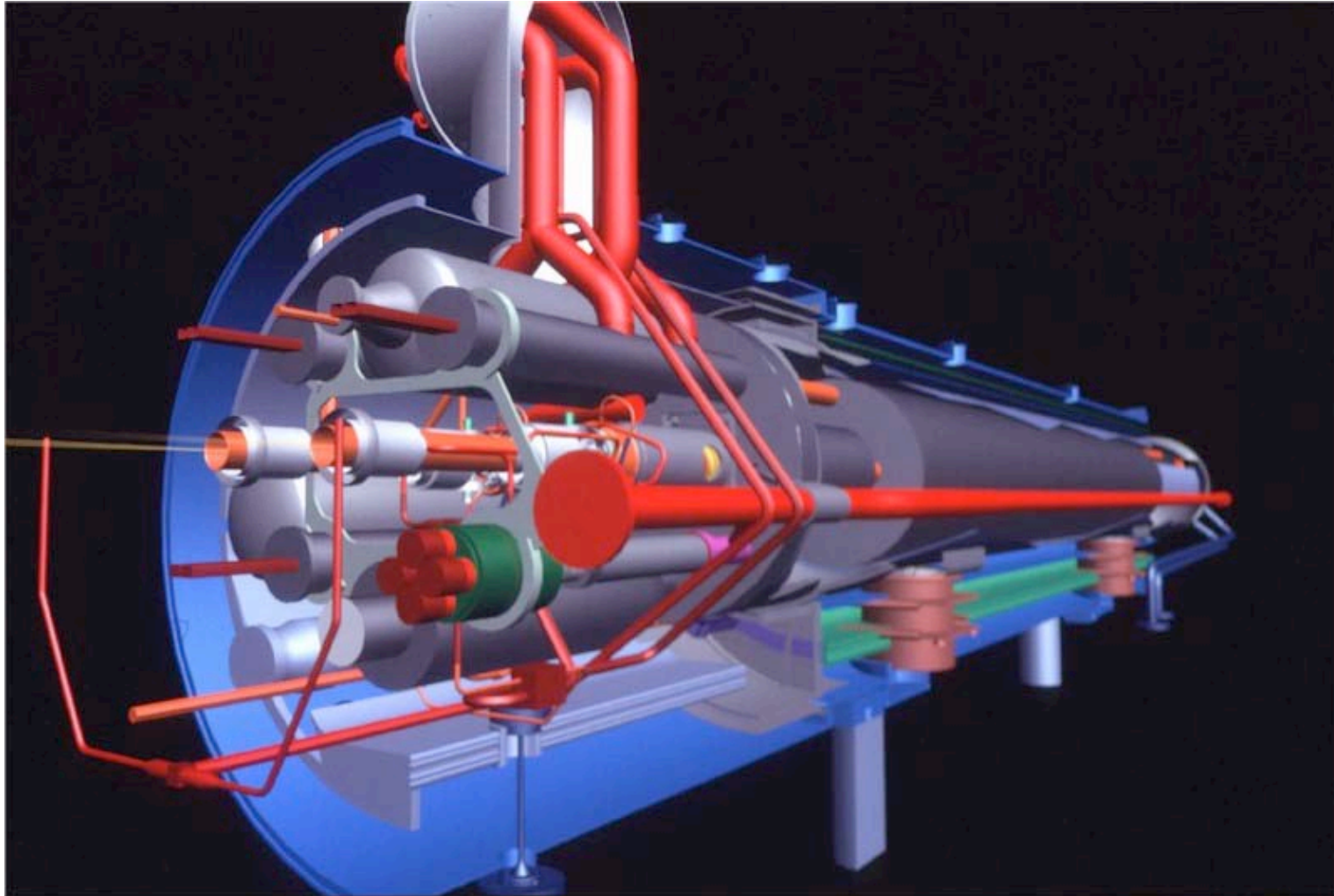
2000 Physiker aus 150  
Institutionen konzipieren und  
bauen erfolgreich ein Experiment  
(ATLAS)

4 Experimente mit  
unterschiedlichen Zielsetzungen



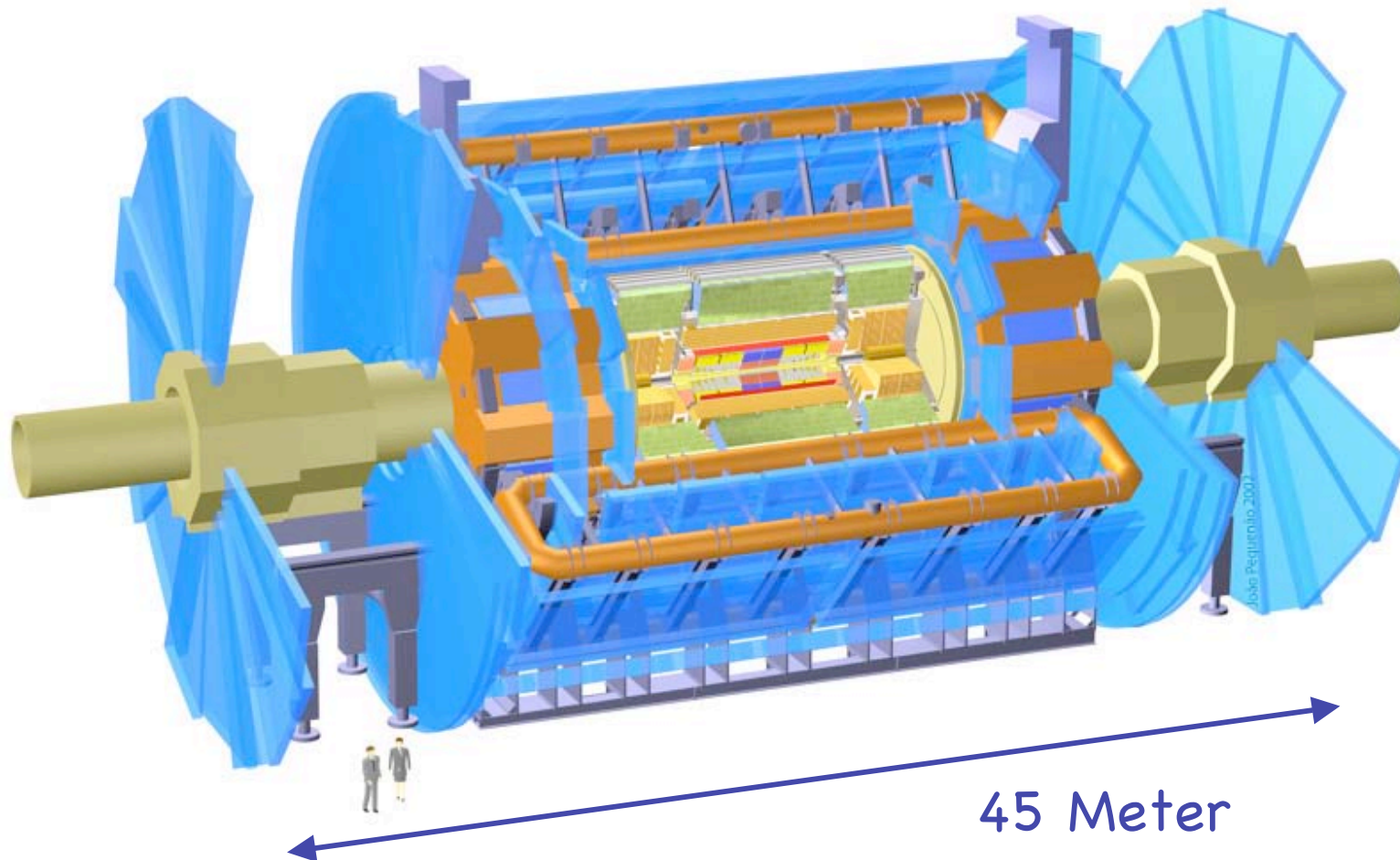
# 1200 supraleitende Magnete

---



# Das ATLAS Experiment

Zielsetzung : Möglichst vollständige Abdeckung der Wechselwirkungszone zum Nachweis von produzierten Teilchen.



# Wissenschaftliche Ziele am LHC

---

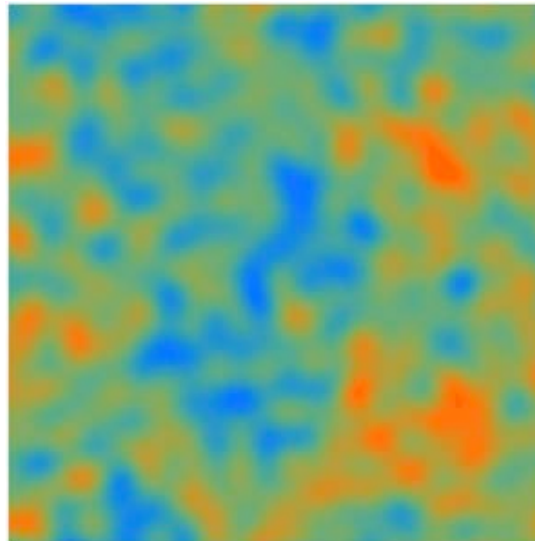
- Vollendung des Standardmodells durch den Nachweis des Higgs Bosons
- Suche nach einer supersymmetrischen Spiegelwelt (zu jedem Materieteilchen ein neues „Feldquant“, zu jedem Feldquant ein neues „Materieteilchen“ (Beispiele : Squark, Selekttron, Photino, Gluino,...))

Eine verrückte Idee ? Es gibt viele indirekte Hinweise, gewisse supersymmetrische Teilchen hätten eine kosmologische Relevanz

- Suche nach einer neuen Raumstruktur bei kleinen Abständen (neue Raumdimensionen)
- Völlig unerwartete Phänomene

# Kosmologische Relevanz

---



Gravitative  
Lichtablenkung liefert  
eine Massenverteilung  
im Universum, die  
vollständig durch nicht  
sichtbare Materie  
dominiert ist.

## **Standardmodell der Kosmologie :**

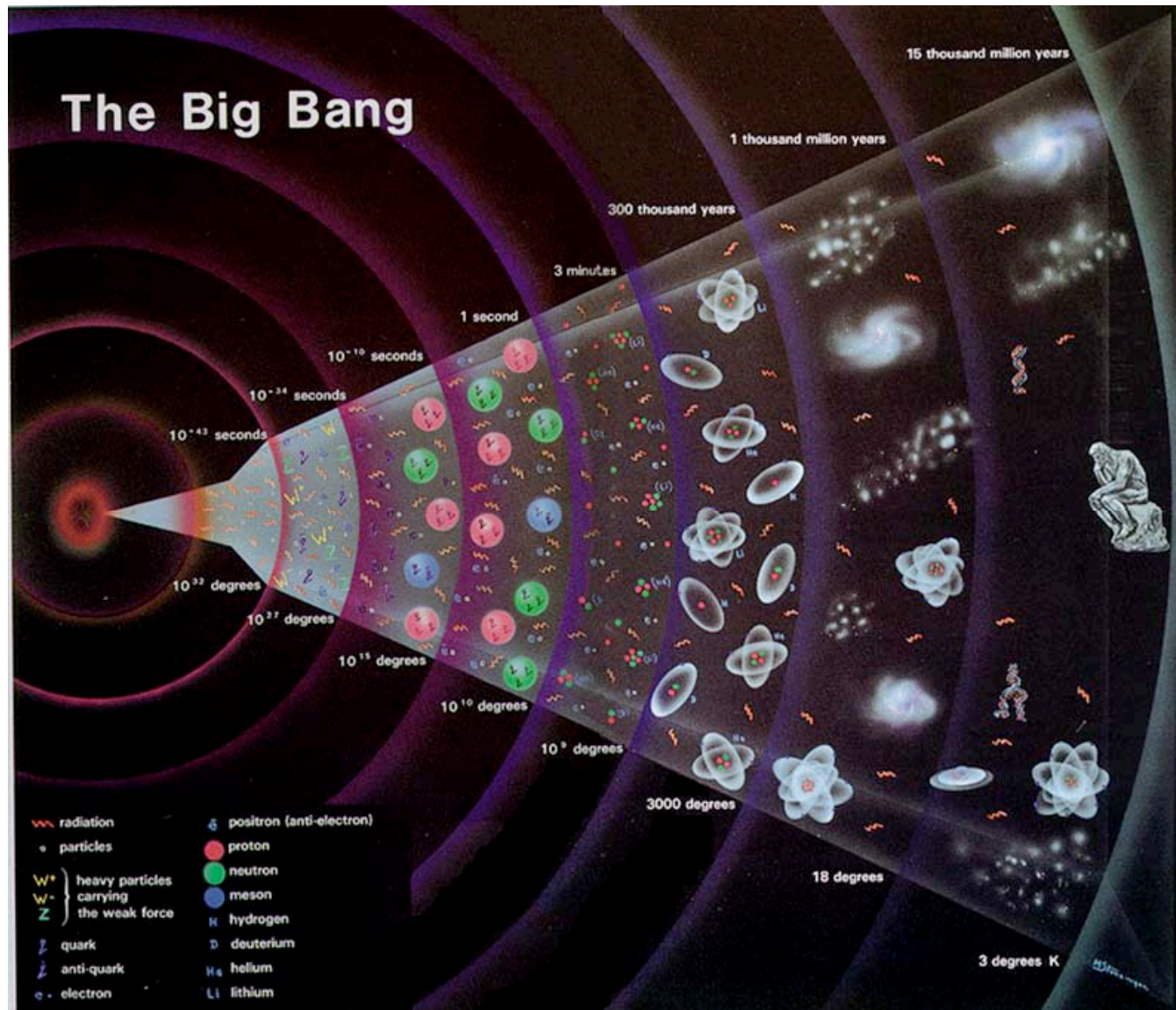
4% : Baryonische  
Materie (wir und die  
Sterne)

23% : Dunkle Materie

73% : Dunkle Energie



# Vom Kleinen zum Großen



Physik : Die diskutierten Konzepte liefern hinreichendes Vorwissen für eine einfache Darstellung der Entstehung des Universums (Strukturen, Materie aus Strahlung)

Sie werfen aber auch viele Fragen auf (Materie / Antimaterie Asymmetrie)



# Die drei großen Fragen

