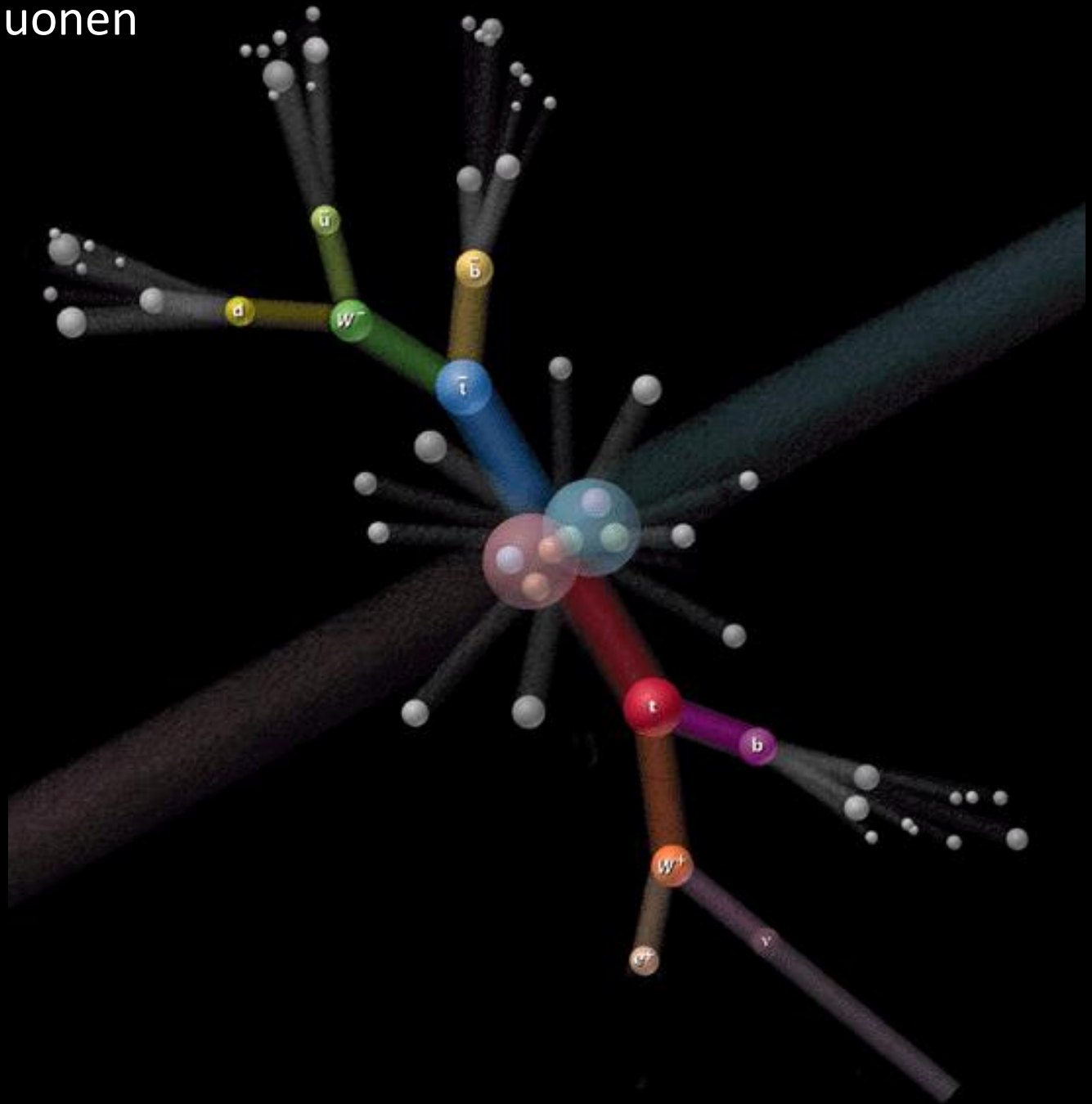


# Quarks und Gluonen



# FERMIONS

matter constituents  
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

Leptons spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
$\nu_e$ electron neutrino	$<1 \times 10^{-8}$	0
$e$ electron	0.000511	-1
$\nu_\mu$ muon neutrino	$<0.0002$	0
$\mu$ muon	0.106	-1
$\nu_\tau$ tau neutrino	$<0.02$	0
$\tau$ tau	1.7771	-1

Quarks spin = 1/2		
Flavor	Approx. Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
$u$ up	0.003	2/3
$d$ down	0.006	-1/3
$c$ charm	1.3	2/3
$s$ strange	0.1	-1/3
$t$ top	175	2/3
$b$ bottom	4.3	-1/3



# PROPERTIES OF THE INTERACTIONS

Property \ Interaction	Gravitational	Weak	Electromagnetic	Strong	
		(Electroweak)		Fundamental	Residual
Acts on:	Mass – Energy	Flavor	Electric Charge	Color Charge	See Residual Strong Interaction Note
Particles experiencing:	All	Quarks, Leptons	Electrically charged	Quarks, Gluons	Hadrons
Particles mediating:	Graviton (not yet observed)	$W^+ W^- Z^0$	$\gamma$	Gluons	Mesons
Strength relative to electromag for two u quarks at:	$10^{-41}$	0.8	1	25	Not applicable to quarks
	$10^{-41}$	$10^{-4}$	1	60	
	$10^{-36}$	$10^{-7}$	1	Not applicable to hadrons	20

## Baryons $qqq$ and Antibaryons $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$

Baryons are fermionic hadrons.  
There are about 120 types of baryons.

Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Spin
$p$	proton	$uud$	1	0.938	1/2
$\bar{p}$	anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0.938	1/2
$n$	neutron	$udd$	0	0.940	1/2
$\Lambda$	lambda	$uds$	0	1.116	1/2
$\Omega^-$	omega	$sss$	-1	1.672	3/2

## Mesons $q\bar{q}$

Mesons are bosonic hadrons.  
There are about 140 types of mesons.

Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Spin
$\pi^+$	pion	$u\bar{d}$	+1	0.140	0
$K^-$	kaon	$s\bar{u}$	-1	0.494	0
$\rho^+$	rho	$u\bar{d}$	+1	0.770	1
$B^0$	B-zero	$d\bar{b}$	0	5.279	0
$\eta_c$	eta-c	$c\bar{c}$	0	2.980	0

# Elektrische Ladungen und Farbladungen

Es existieren zwei elektrische Ladungen  $q$ , die als Positiv und als Negativ bezeichnet werden. Sie sind immer ganzzahlige Vielfache der Elementarladung  $e=1.602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$ .

- Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab
- Ungleichnamige Ladungen ziehen sich an

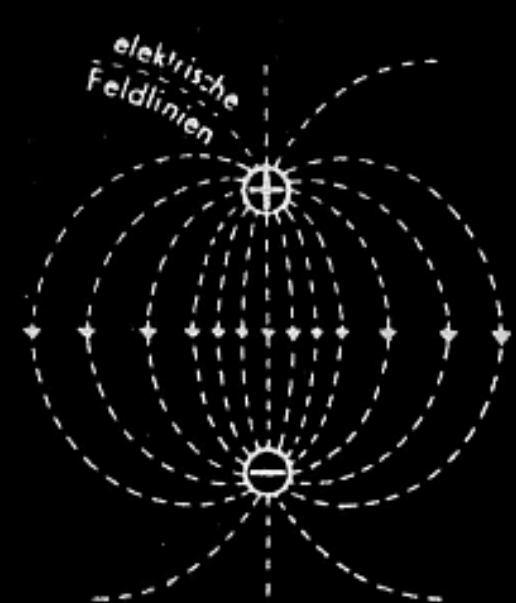
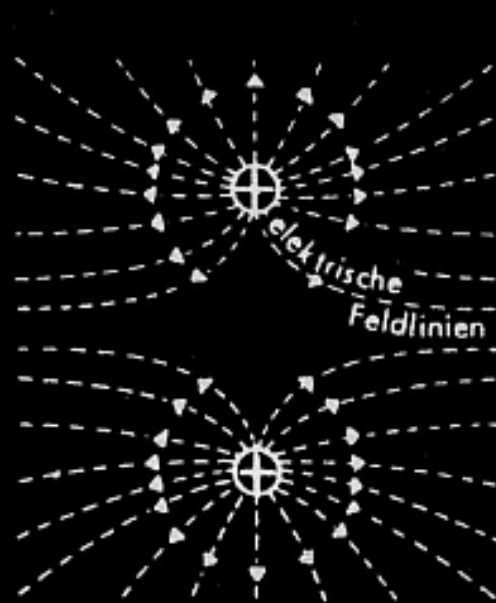
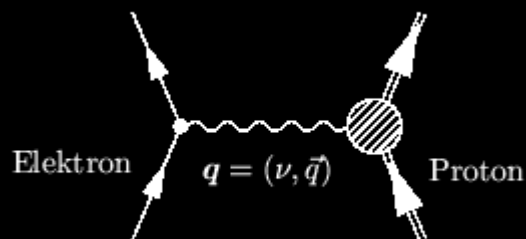
Zwischen den Ladungen baut sich ein elektrisches Feld auf, welches anziehende oder abstoßende Kräfte gemäß dem Coulomb-Gesetz vermittelt. Dabei nimmt die Kraftwirkung mit dem Quadrat der Entfernung ab

**Klassisch:**

**MAXWELLSCHES ELEKTRODYNAMIK**

**Quantentheorie:**

**QUANTENELEKTRODYNAMIK**

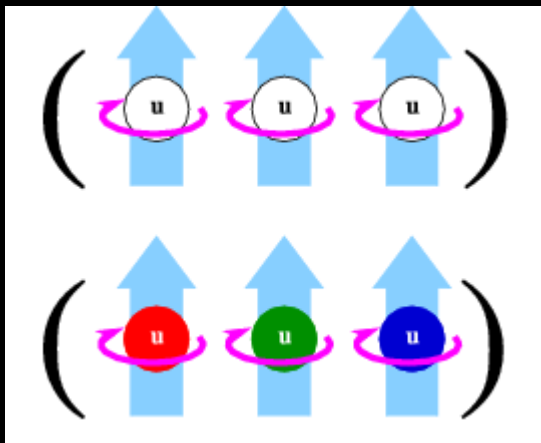


# Quarks besitzen drittelzahlige elektrische Ladungen

Flavor		Mass (GeV/c <sup>2</sup> )	Electric Charge (e)
<b>u</b>	up	0.004	+2/3
<b>d</b>	down	0.008	-1/3
<b>c</b>	charm	1.5	+2/3
<b>s</b>	strange	0.15	-1/3
<b>t</b>	top	176	+2/3
<b>b</b>	bottom	4.7	-1/3

Die elektrischen Ladungen müssen in einem Baryon oder Meson immer so kombiniert sein, daß sich ein ganzzahliger Wert oder Null ergibt.

**Das  $\Delta^{++}$  - Rätsel:** Grundzustand eines Baryons aus drei u-Quarks



$$\begin{array}{r}
 u + u + d \\
 +\frac{2}{3} +\frac{2}{3} -\frac{1}{3} \\
 = +1
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 u + d + d \\
 +\frac{2}{3} -\frac{1}{3} -\frac{1}{3} \\
 = 0
 \end{array}$$

3 u – Konfiguration wegen des Pauli-Prinzips nicht möglich  
Aber es gibt sie doch! → Einführung der Farbladung



# Einführung der Farbladung

Hypothese: Die Quarkkonfiguration des  $\Delta^{++}$  - Teilchens besteht aus sechs verschiedenen anderweitig unterscheidbaren Quarkkombinationen die mit alternierenden Vorzeichen superpositioniert werden...

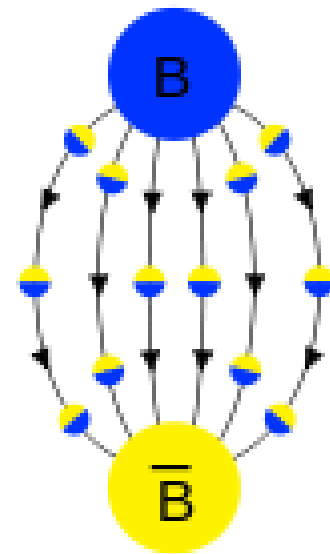
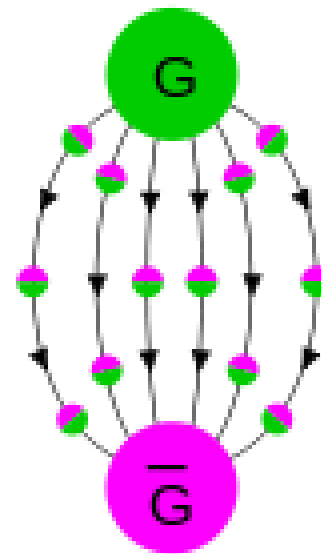
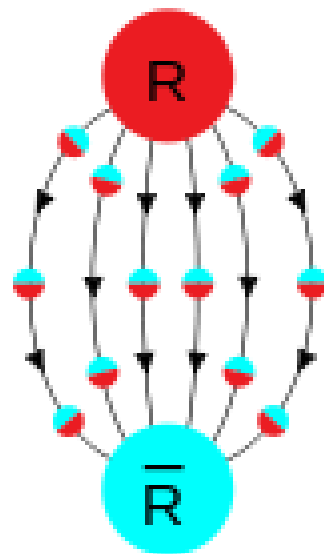
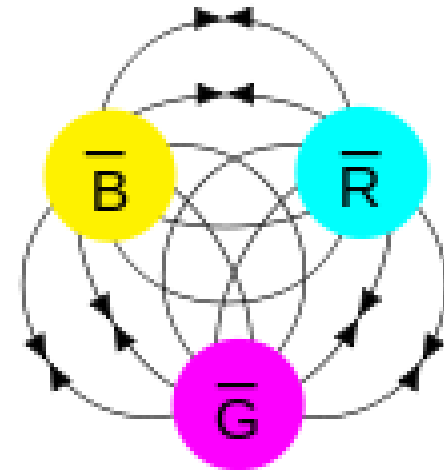
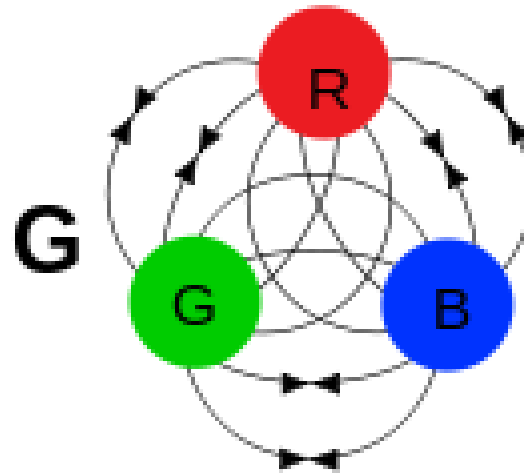
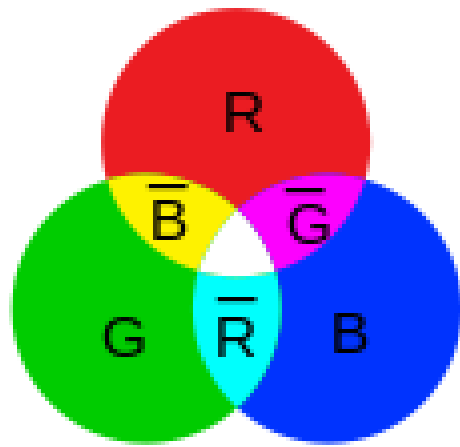
→ 3 neue Ladungen, die immer nur in 3-fach Kombination ein Baryon bilden können – d.h. jeden Quark-Flavor muß es jeweils mit dieser neuen Art von Ladung geben

Da alle Hadronen in Bezug auf diese neue Ladung neutral sind (sie bilden bezüglich dieser Ladung einen Singulett-Zustand), hat man diese Ladungen „Farbladungen“ genannt und ihnen die Bezeichnung Rot, Grün und Blau gegeben. In Kombination ergeben sie Rot+Grün+Blau=Weiß. Außerdem existieren noch drei Anti-Farben Antirrot, Antigrün und Antiblau, wobei Mesonen jeweils zwei Quarks enthalten, von denen eins eine Farbladung und das andere eine Antifarbladung trägt

**In der Natur treten nur „farblose“ (d.h. „Weiße) Teilchen auf. Farbladungen sind in den Hadronen eingeschlossen.**

1971 konnte die Existenz von Farbladungen experimentell bestätigt werden.

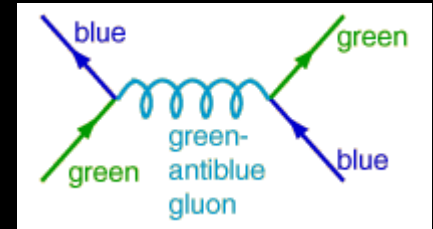
# Das „Farbfeld“ zwischen den Quarks



# Quantenchromodynamik – Theorie der Starken Wechselwirkung

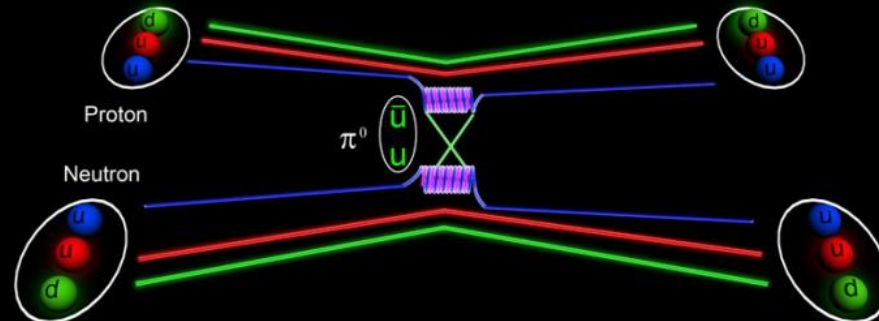
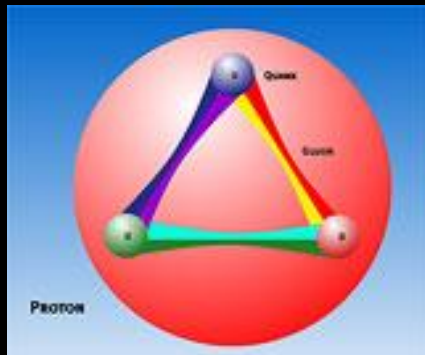
Die anziehende Bindungskraft zwischen den Quarks wird in Analogie zum elektromagnetischen Feld durch das „Farbfeld“ vermittelt. Dessen Feldquanten sind die Gluonen („Leimteilchen“).

Gluonen sind in der Lage, die Farbladung eines Quarks zu ändern



$$\begin{aligned} \psi_1 &= |r\bar{g}\rangle, & \psi_2 &= |r\bar{b}\rangle, \\ \psi_3 &= |g\bar{r}\rangle, & \psi_4 &= |g\bar{b}\rangle, \\ \psi_5 &= |b\bar{r}\rangle, & \psi_6 &= |b\bar{g}\rangle, \\ \psi_7 &= \frac{1}{\sqrt{2}} (|r\bar{r}\rangle - |g\bar{g}\rangle), & \psi_8 &= \frac{1}{\sqrt{6}} (|r\bar{r}\rangle + |g\bar{g}\rangle - 2|b\bar{b}\rangle) \end{aligned}$$

Es existieren 6 (masselose) Gluonen sowie zwei Mischzustände – also insgesamt 8 Gluonen. Sie tragen jeweils eine Farbladung sowie eine Antifarbladung.





Nächstes Mal:

## Quark-Confinement

oder warum kann man keine  
„Einzel-Quarks“ erzeugen?

