

**Das
minimale
Quarkmodell:**

**Materie aus
Quarks
und
Elektronen**

Was jeder darüber
wissen sollte!

Die Materie, die uns umgibt besteht im wesentlichen aus drei Arten von

Urteilchen:

u-Quarks,

d-Quarks

und

Elektronen

Diese **Urbausteine** sind so klein, daß man ihren Durchmesser noch ***nie*** bestimmen konnte!

FAQs:

Woher stammt der Name „Quarks“?

In einem Interview mit Scientific American hat Gell-Mann (der ja die Quarks vorgeschlagen hat) 1992 klar gestellt, daß er zuerst den Namen „kwork“ gewählt hatte, der sich auf „fork“ in einem Gedicht reimen sollte. Erst später hat er aus dem schwer verständlichen Satz: „three quarks for muster mark“, in dem experimentellen Roman „Finnegans Wake“ von James Joyce, das Wort „Quarks“ ausgesucht. Zweig hatte sie zur gleichen Zeit dagegen „Asse“ genannt.

Was bedeutet „u“ und „d“?

u steht für „up“ (nach oben) und d für „down“ (nach unten), wobei die beiden möglichen Stellungen des schon von Heisenberg für Proton und Neutron eingeführten *Isotopenspins* (Wert = $1/2$) gemeint sind, was rein *formell* der „z-Komponente“ des Eigendrehimpulses (oder Spins) $1/2$ entspricht. Wir können u und d als Quantenzahlen betrachten, durch die sich diese beiden Quarks unterscheiden.

Und woher kommt „Elektron“?

Die Bez. „Elektron“ wurde 1891 von dem brit. Physiker George Johnstone Stoney (1826-1911) für die Elementarladung vorgeschlagen und stammt von dem griechischen Wort für „Bernstein“, mit dem erste Experimente mit Elektrizität in der Antike durchgeführt wurden.

Zu den **Größen**:

**Wasserstoffatomkern = 1
(Proton)**

Durchmesser etwa
1,8 „Femtometer“

(fm, früher „Fermi“ genannt)

1 fm = 1 m / 1 000 000 000 000 000

also, in „Protoneneinheiten“:

Mensch: 1 000 000 000 000 000

Molekül: > 20 000

Atom: 10 000 bis 20 000

Atomkern: 1 bis 5

Quarks: < 1/1000

Elektron: < 1/1000

Quarks und Elektronen
werden durch drei

Urkräfte

zusammengehalten:

**die elektromagnetische
Kraft**

zwischen elektrisch geladenen Teilchen

die starke Kraft

zwischen den Quarks

und

die Gravitationskraft

zwischen Teilchen mit Energie (Masse)

Also, mit nur

drei Urteilchen

und nur

drei Urkräften

werden wir den Aufbau der Materie,
die uns umgibt
im wesentlichen verstehen können.

Wir brauchen aber einige Vorkenntnisse
aus der Elektrizitätslehre, die uns als

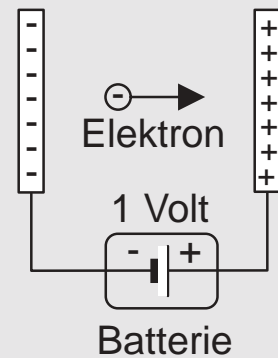
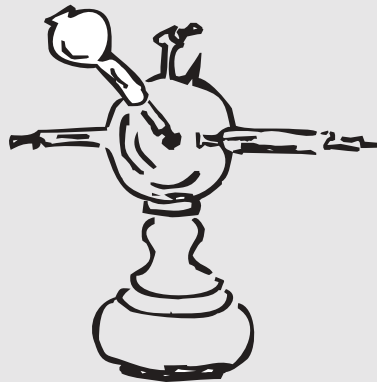
"Kochrezepte"

(auch für später) dienen werden.

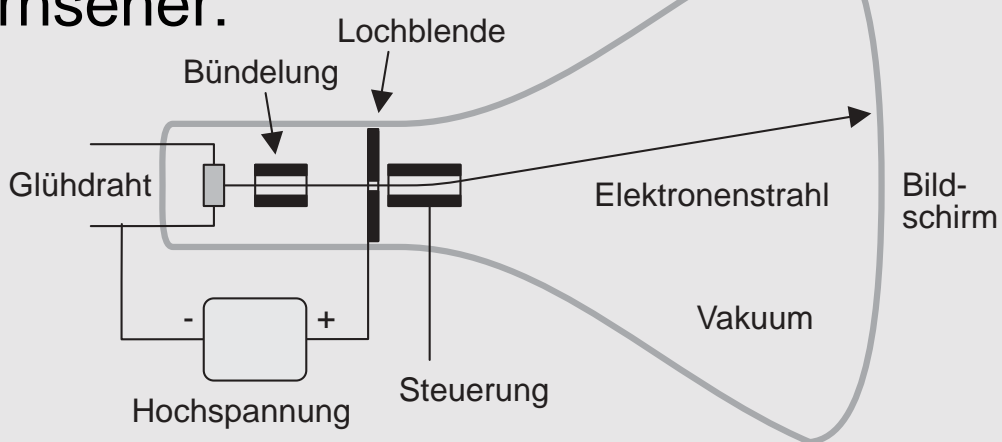
Das **Elektron**, laut Helmholtz das "Atom" der Elektrizität



1897 entdeckt



Fernseher:

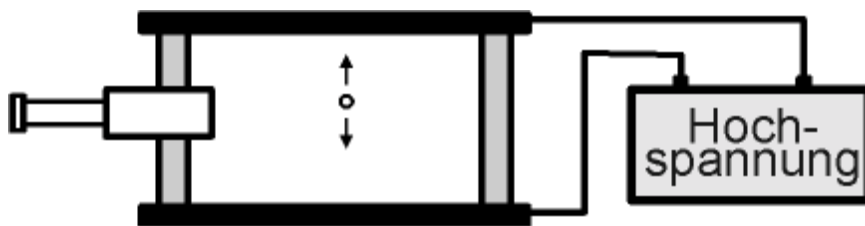


Die Energieeinheiten (zur Erinnerung):

Kiloelektronenvolt	1 keV = 1000 eV
Megaelektronenvolt	1 MeV = 1000 keV
Gigaelektronenvolt	1 GeV = 1000 MeV
Teraelektronenvolt	1 TeV = 1000 GeV
Petaelektronenvolt	1 PeV = 1000 TeV
Exaelektronenvolt	1 EeV = 1000 PeV.

Das Millikan-Experiment

1911...

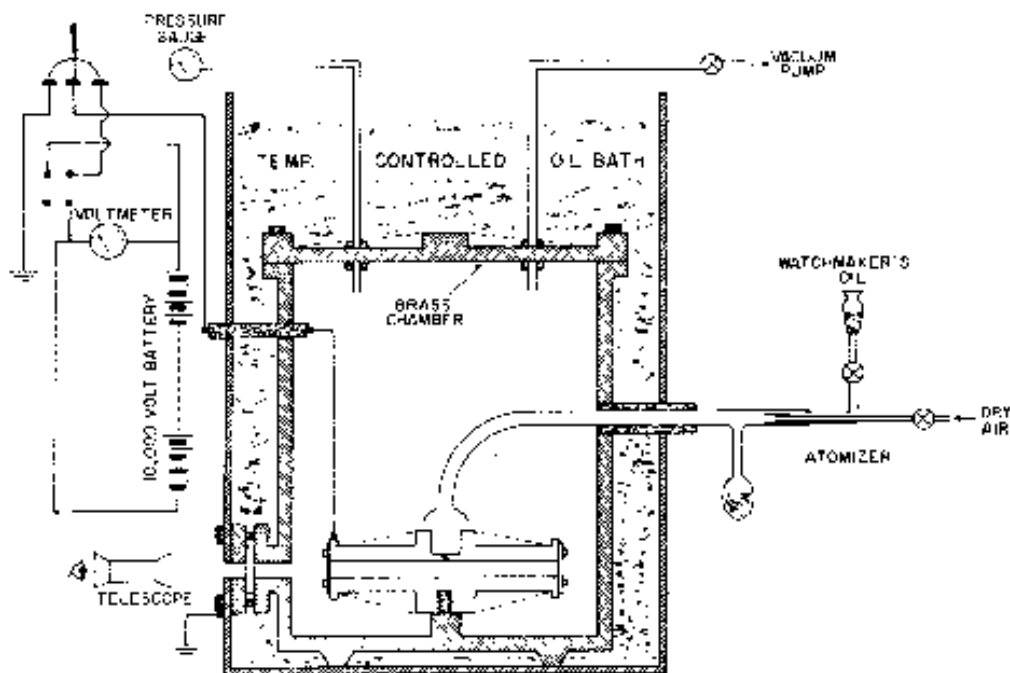


Martin Perl
Nobelpreis 1995

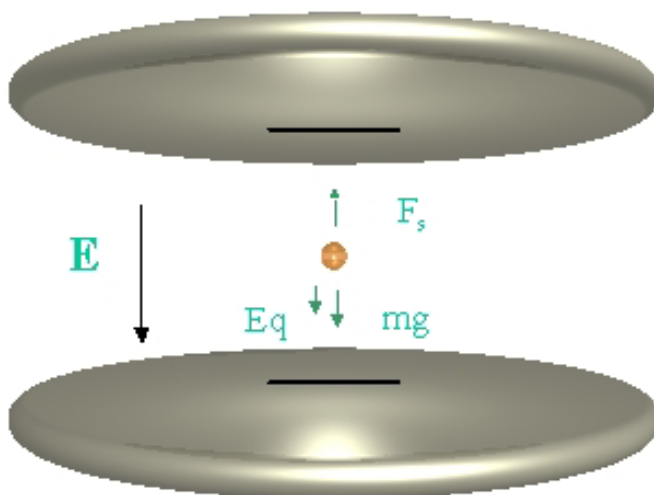
Neue Millikan
Experimente
in Stanford



Original Millikan Apparatus (1910)



Millikan's Method



Stoke's Law

$$F_s = 6 \pi \eta r v$$

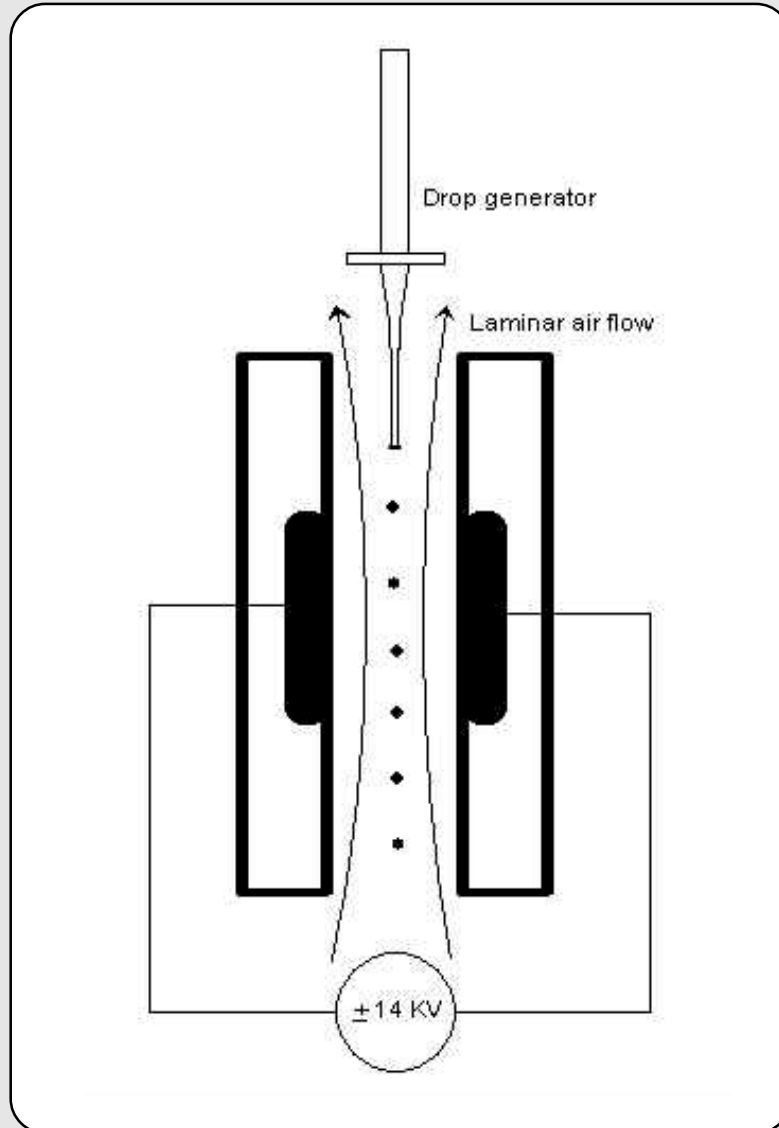
Two force equations for
E downward or upward

$$mg + E q = 6 \pi \eta r v_d$$

$$mg - E q = 6 \pi \eta r v_u$$

Aus: www.slac.stanford.edu/exp/mps/FCS

Millikan-Perl Experiment bei SLAC, 1999-2001



Messgenauigkeit:
1/50 der Elektronenladung
Bis 8. Jan. 2001: $46,1 \times 10^6$ Tropfen
Nur ganze Vielfache von e beobachtet!

Aus: www.slac.stanford.edu/exp/mps/FCS

Wichtigste Ergebnisse
für die folgenden Betrachtungen:

1. Aus der klassischen Physik

**Die Gesamtladung eines
abgeschlossenen Systems
bleibt immer genau erhalten.**

Es gibt keine Erzeugung oder
Vernichtung *einzelner* Ladungen!

2. Aus dem Millikan Experiment

**Nur ganzzahlige Vielfache
der Ladung des Elektrons
erscheinen FREI in der Natur.**

Positiv, negativ oder neutral.

Dies sind unsere „**Kochrezepte**“!

Die **elektrische Ladung**
des Wasserstoffatomkerns (Proton)
wurde als

Elementarladung +1

definiert.

Das Elektron hat Ladung -1.

Sie wurden sehr genau gemessen.
Auf 20 Dezimalstellen gleicher Wert!
Grundlage unserer Technik!

Und nun kommt
der Hammer!

Mit sehr genauen Experimenten
wurde die
elektrische Ladung
der Quarks bestimmt.

Ergebnis:

das u-Quark hat Ladung $+2/3$

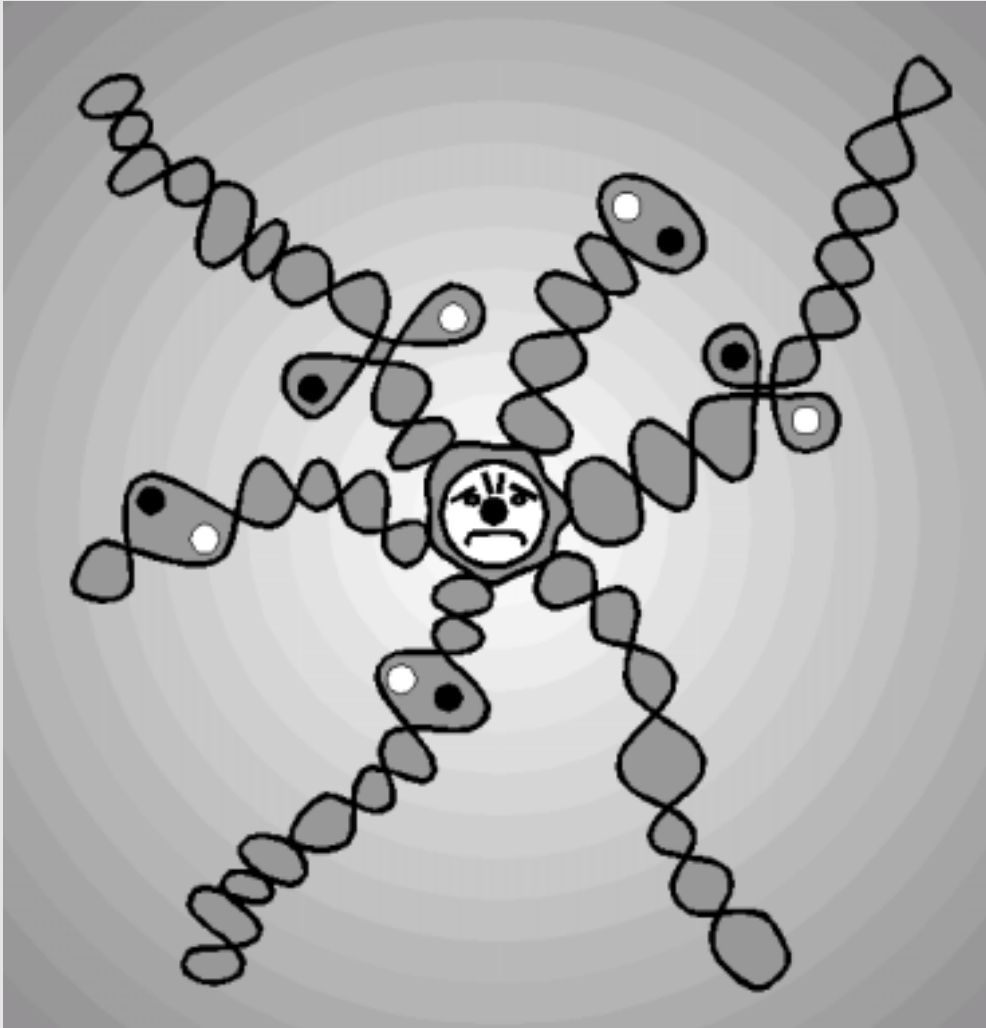
und

das d-Quark hat Ladung $-1/3$.

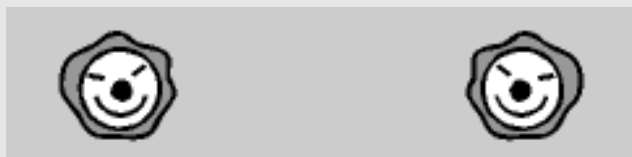
Allerdings:

**Solche Ladungen
wurden FREI
in der Natur
noch nie beobachtet!**

Ein einzelnes Quark wurde also
frei in der Natur noch nie beobachtet!
Und wenn es existieren würde,
dann wäre es sehr unglücklich



Es sucht nach Partnern, um endlich
ganzzahlige Ladung zu bekommen!
Ganz anders die glücklichen Elektronen!



Quarks treten also
offensichtlich in der Natur nur
in Verbindungen auf,
die dann allerdings
ganzzahlige elektrische Ladung
haben müssen!

Wir werden schnell herausfinden,
welche Möglichkeiten es da
überhaupt gibt.

Kochrezept:

**Man suche nach
Quarkverbindungen
mit
ganzzahliger Ladung!**

1. Versuch:

Zweierverbindungen aus u- und d-Quarks

u	d
$+2/3$	$-1/3$

$$u + u \Rightarrow 2/3 + 2/3 = 4/3$$

$$u + d \Rightarrow 2/3 - 1/3 = 1/3$$

$$d + d \Rightarrow -1/3 - 1/3 = -2/3$$

**Aus zwei solchen
Quarks kann keine
ganze Ladung
entstehen!**

2. Versuch:

Dreierverbindungen aus u- und d-Quarks

u	d
+2/3	-1/3

$$u + u + u \Rightarrow +2/3 + 2/3 + 2/3 = +2$$

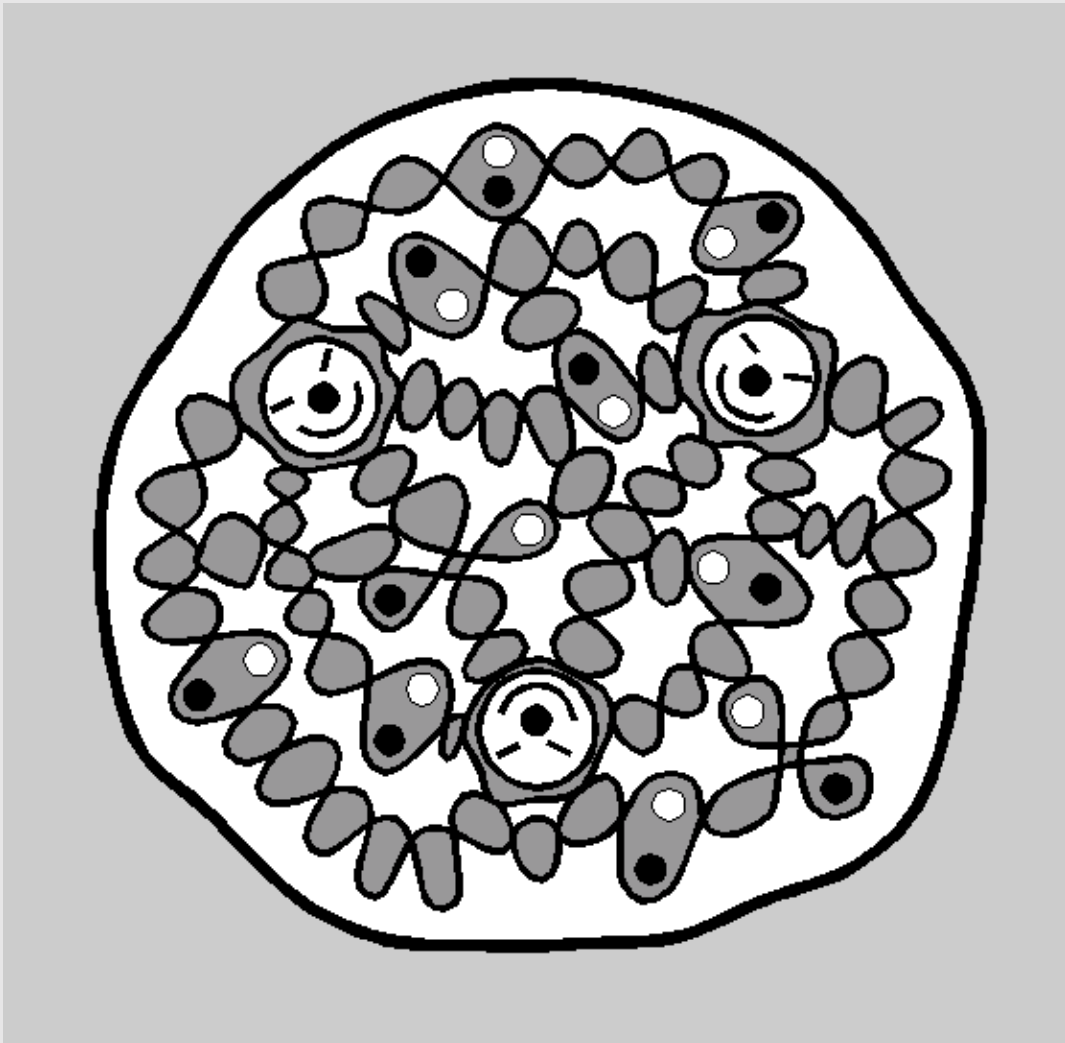
$$d + d + d \Rightarrow -1/3 - 1/3 - 1/3 = -1$$

$$u + u + d \Rightarrow +2/3 + 2/3 - 1/3 = +1$$

$$u + d + d \Rightarrow +2/3 - 1/3 - 1/3 = 0$$

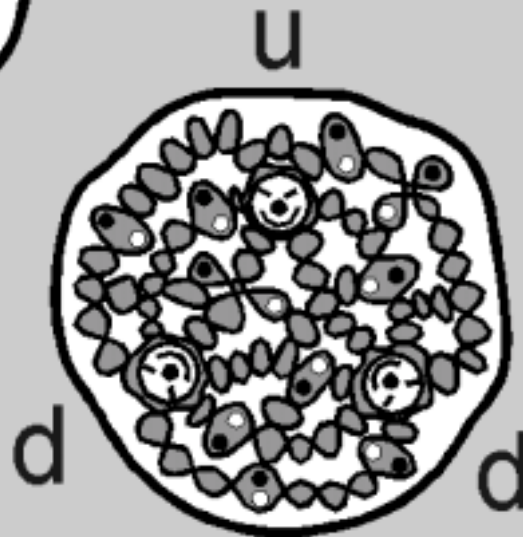
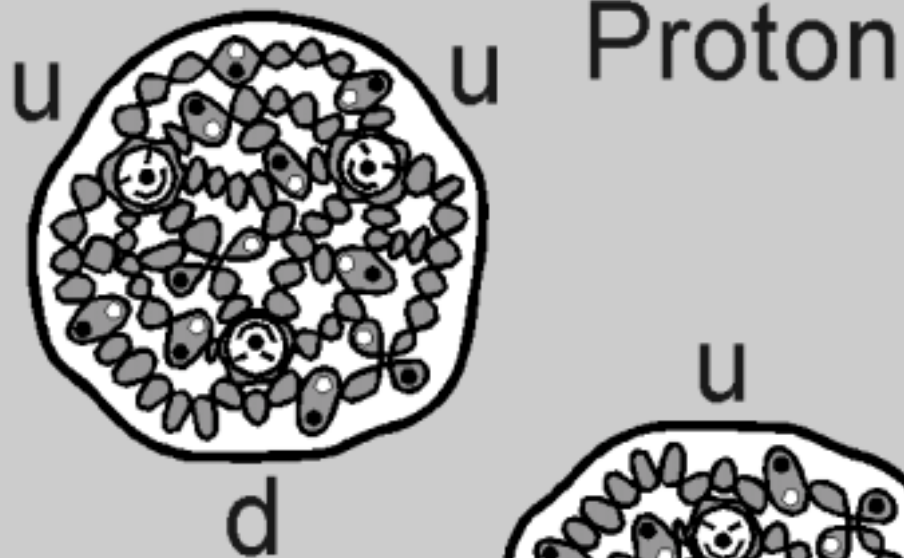
Diese Verbindungen gibt es tatsächlich:
Oben zwei "Delta-Teilchen" (instabil),

**unten das Proton (+1)
und das Neutron (0)**



**Drei Quarks
sind zusammen
glücklich!**

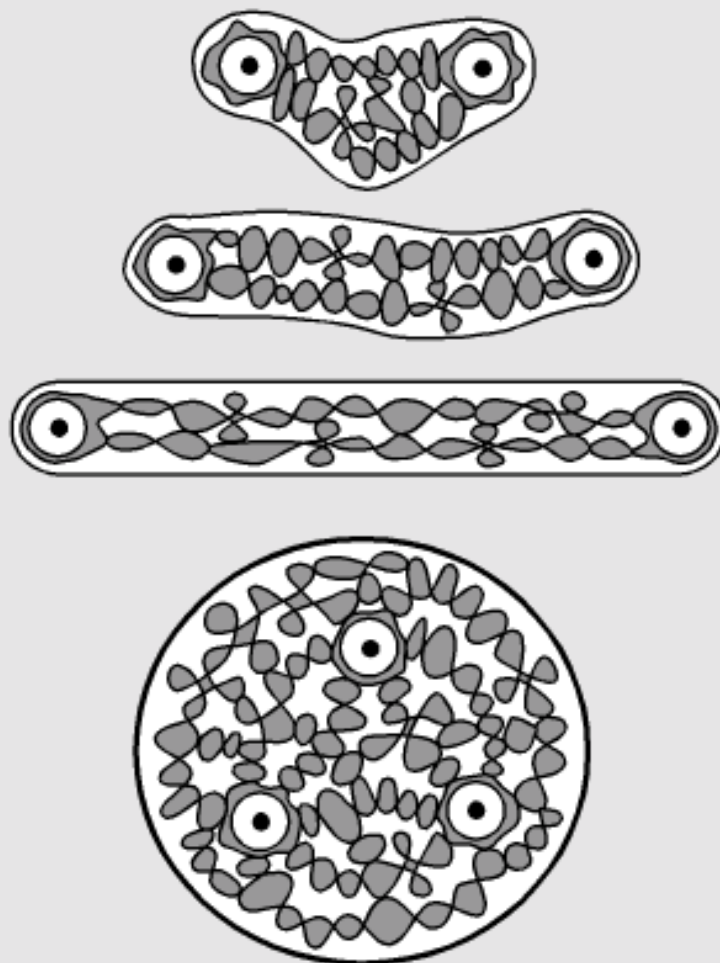
$$2/3 + 2/3 - 1/3 = 1$$



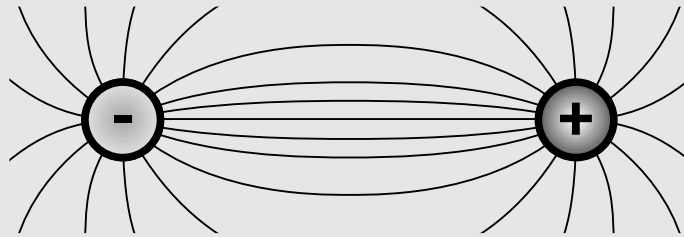
Neutron

$$2/3 - 1/3 - 1/3 = 0$$

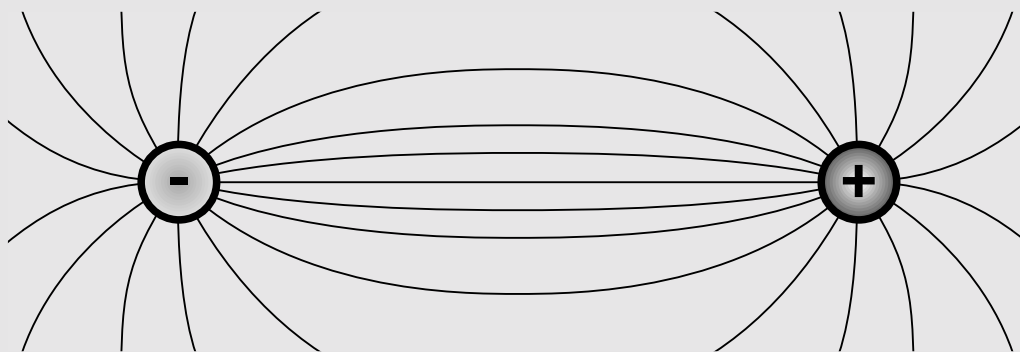
Wie werden die Quarks
zusammengehalten?
Zwischen den Quarks wirken
die stärksten Kräfte,
die je in der Natur beobachtet wurden.
Man kann sie mit
Gummi- oder Stahlbändern
vergleichen.



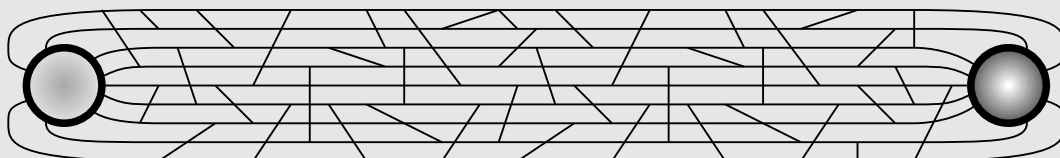
Die Klassischen „Kraftlinien“



Elektrische Kräfte



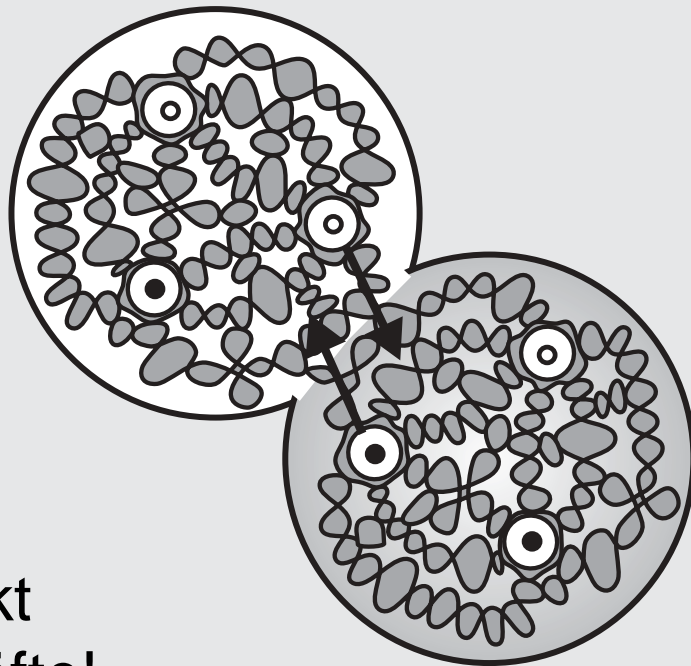
Kräfte zwischen Quarks



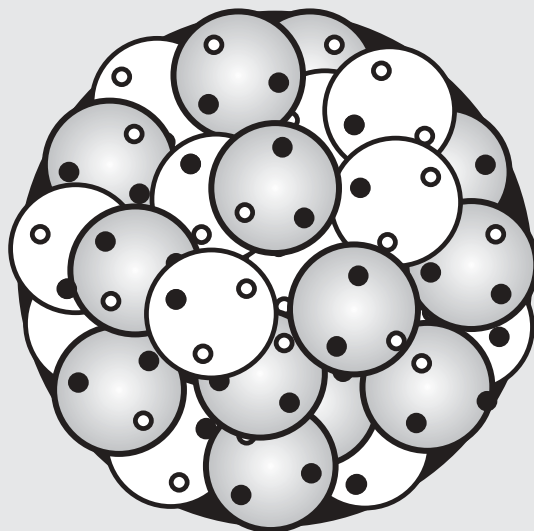
Die Entstehung der „**Kernkräfte**“

Sie halten Protonen und Neutronen
im Atomkern zusammen.

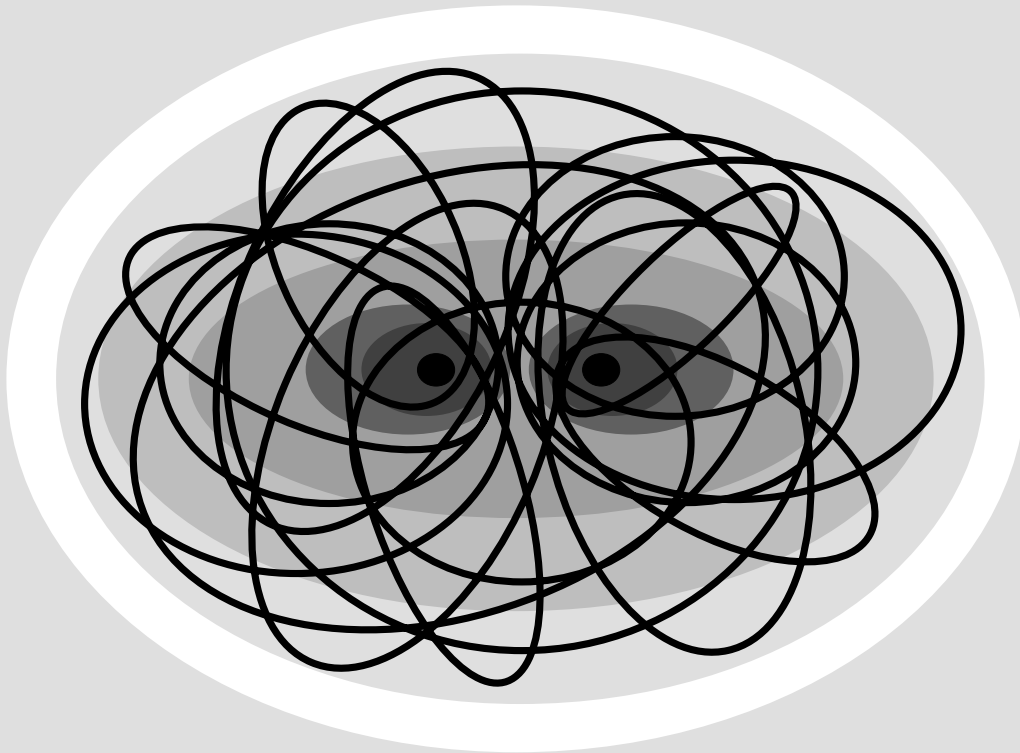
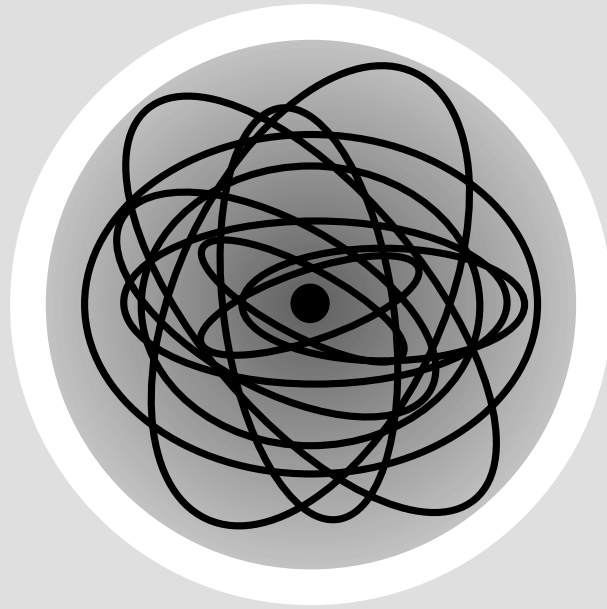
Sie wirkt nur wenn Protonen und
Neutronen sehr nahe aneinande kommen!



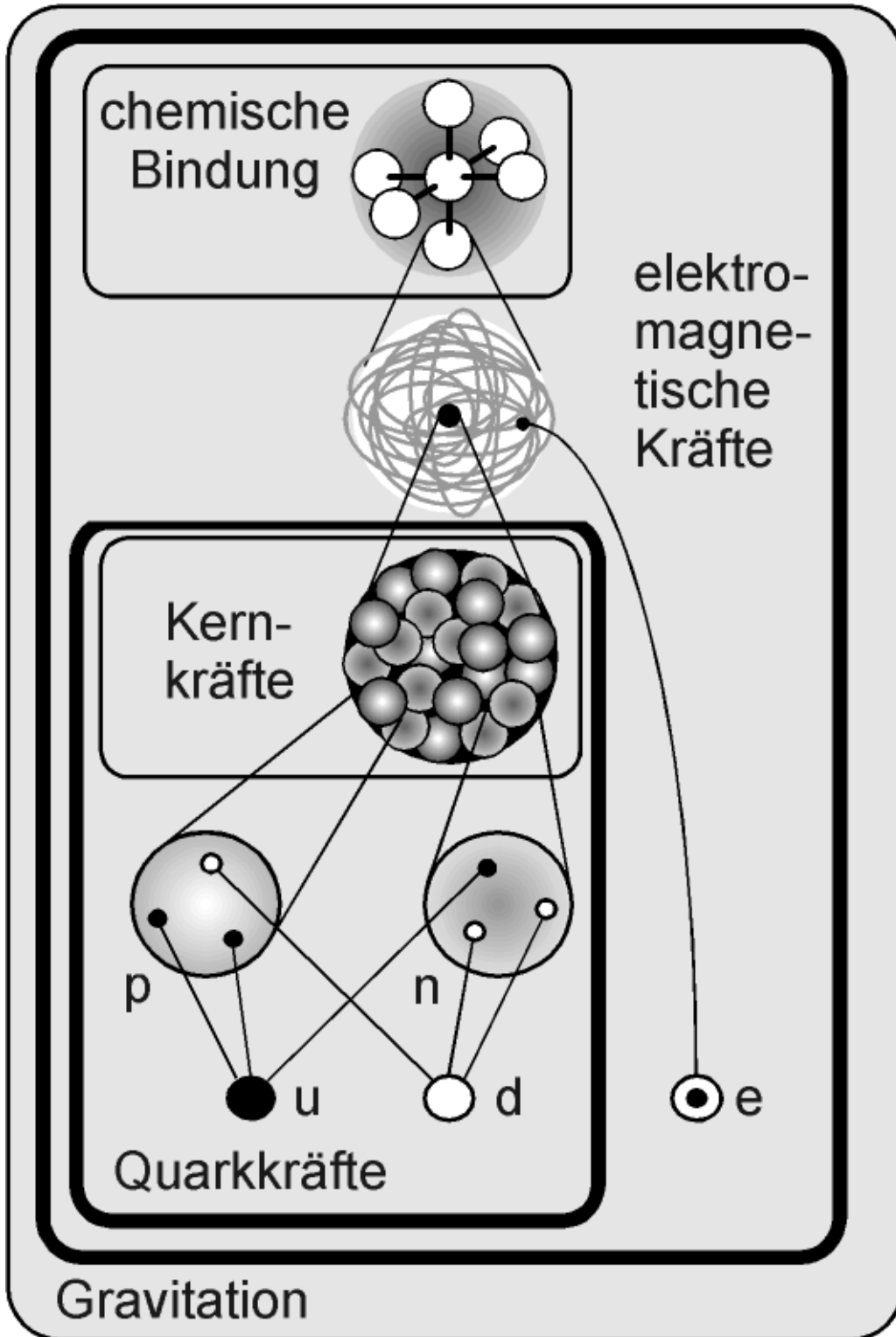
Ein Resteffekt
der Quarkkräfte!



Elektronen schwirren um den Atomkern
und verbinden Atome zu Molekülen



Zusammenfassung des minimalen Quarkmodells



Schlußbemerkung:

Bei dieser **Minimaldarstellung** der Struktur der Materie fehlt einiges, z.B.:

Etwa 90% der Materie im Universum ist unsichtbar (die sog. "dunkle Materie").

Es gibt milliardenmal mehr sog. "Neutrinos" im Universum als alle Quarks und Elektronen zusammen, von denen wir aber nichts spüren!

Es gibt einige Hundert sehr kurzlebige Teilchen (der Zoo), die wir nicht beschrieben haben.

Aber die **Minimaldarstellung** ist wohl das Minimum, das man einem zukünftigen Arzt oder Anwalt heute mitgeben sollte!