

### 3.5 Strukturfunktionen $F_2(x) = F_2^{ep}(x)$

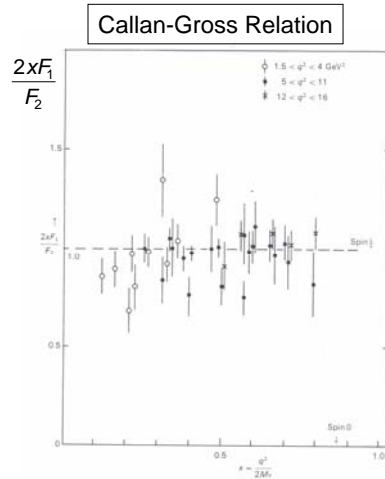
$$F_2(x) = x \cdot \sum_i z_i^2 f_i(x)$$

$$2xF_1(x) = F_2(x)$$

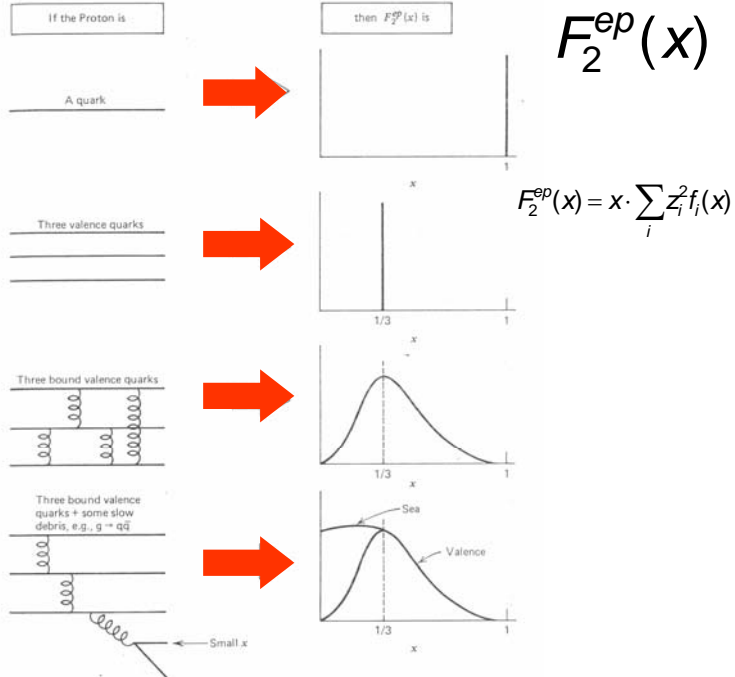
Strukturfunktion =  
Summe aller Quark (Parton) Dichten

Callan-Gross Relation  
für Spin 1/2 Partonen

Bem.:  
Für Spin 0 Partonen würde  
Term  $\sim \sin^2\theta/2$   
verschwinden:  $F_1(x)=0$

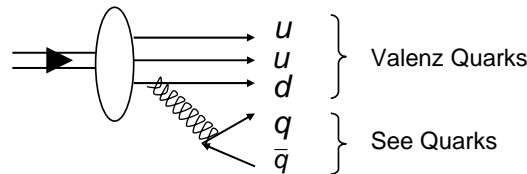


Proton  
Modell



### a) See und Valenz-Quarks

Außer den Valenz-Quarks  $p=(uud)$  und  $n=(udd)$  existieren im Proton auch so genannte See-Quarks die durch Gluon-Abstrahlung (wie Bremsstrahl.  $\sim 1/x$ ) und durch anschließende Paarbildung entstehen.



#### Quark composition of the proton

$$u_v + d_v + (u_s + \bar{u}_s) + (d_s + \bar{d}_s) + (s_s + \bar{s}_s)$$

Sea: Heavy quark contribution strongly suppressed

$$\frac{F_2^{ep}(x)}{x} = \sum_i Z_i^2 \cdot f_i(x)$$

$$= \frac{4}{9}(u^p(x) + \bar{u}^p(x)) + \frac{1}{9}(d^p(x) + \bar{d}^p(x)) + \frac{1}{9}(s^p(x) + \bar{s}^p(x))$$

$u(x)$ ,  $d(x)$  (Anti) Quark Dichten von u and d

#### Quark composition of the neutron

$$\frac{F_2^{en}(x)}{x} = \sum_i Z_i^2 \cdot f_i(x)$$

$$= \frac{4}{9}(u^n(x) + \bar{u}^n(x)) + \frac{1}{9}(d^n(x) + \bar{d}^n(x)) + \frac{1}{9}(s^n(x) + \bar{s}^n(x))$$

$$\frac{F_2^{en}(x)}{x} = \frac{4}{9}(d(x) + \bar{d}(x)) + \frac{1}{9}(u(x) + \bar{u}(x) + s(x) + \bar{s}(x))$$

#### Iso-spin symmetry

$$u^n(x) = d^p(x) = d(x)$$

$$d^n(x) = u^p(x) = u(x)$$

$$s^n(x) = s^p(x) = s(x)$$

$$\bar{q}^n(x) = \bar{q}^p(x) = \bar{q}(x)$$

In total 6 unknown quark distributions

#### Sum rules

$$\left. \begin{aligned} \int_0^1 u(x) - \bar{u}(x) dx &= \int_0^1 u_v(x) dx = 2 \\ \int_0^1 d(x) - \bar{d}(x) dx &= \int_0^1 d_v(x) dx = 1 \\ \int_0^1 (q_s(x) - \bar{q}_s(x)) dx &= 0 \quad \text{sea} \end{aligned} \right\} \text{valence}$$

### Quarkverteilung im Nukleon:

Außer in der Elektron-Nukleon Streuung können Strukturfkt. auch in der Neutrino-Nukleon Streuung bestimmt werden

Strukturfunktionen:

$$F_2^{vN} = x[q(x) + \bar{q}(x)]$$

$$xF_3^{vN} = x[q(x) - \bar{q}(x)]$$

Strukturfkt  $F_3$  in Neutrino-Streuung: berücksichtigt Paritätsverletzung

Vergleich zwischen  $F_2^{eN}$  und  $F_2^{vN}$

→ drittelzahlige Quarkladung

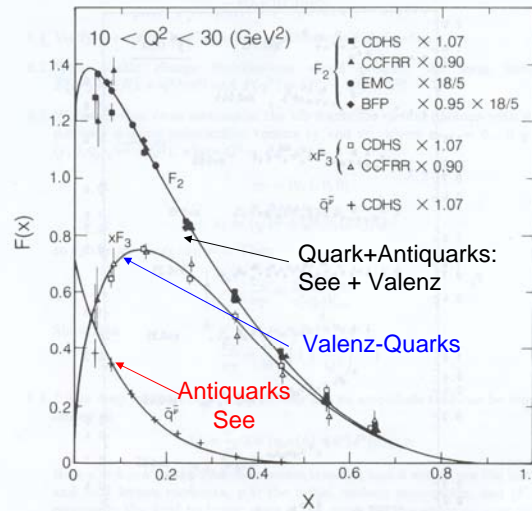


Figure 8.2: A compilation of data from neutrino and muon scattering experiments. The structure function  $F_2$  is essentially proportional to the sum of the quark and antiquark distributions:  $F_2(x) = x[q(x) + \bar{q}(x)]$ . The structure function  $xF_3$  is similarly related to the difference of the quark and anti-quark distributions:  $xF_3(x) = x[q(x) - \bar{q}(x)]$ . The third combination shown is  $\bar{q}(x) = x[\bar{u}(x) + \bar{d}(x) + 2\bar{s}(x)]$ . The data shown are from the CDHS, CCFRR, EMC (European Muon Collaboration), and BFP (Berkeley, Fermilab, Princeton) groups [Compilation taken from *Review of Particle Properties, Phys. Lett., 170B, 79 (1986)*]. The normalizations of the data sets have been modified as indicated to bring them into better agreement. A factor 18/5, the inverse of the average charge squared of a light quark, is applied to the muon data to compare them with the neutrino data.

### b) Sum of quark momenta

Scattering at an iso-scalar target: #p = #n (e.g. C, Ca)

$$F_2^{eN} = \frac{1}{2} [F_2^{ep} + F_2^{en}] = \frac{5}{18} x \cdot [u + \bar{u} + d + \bar{d}] + \frac{1}{9} x \cdot [s + \bar{s}]$$

$$\approx \frac{5}{18} x \cdot [u + \bar{u} + d + \bar{d}] = \frac{5}{18} [\text{Sum of all quark momenta}]$$

Small s quark distribution neglected

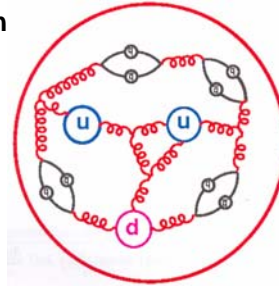
Naively one expects:  $\frac{18}{5} \cdot \int_0^1 F_2^{eN}(x) dx \approx 1$

Experimental observation:  $\frac{18}{5} \cdot \int_0^1 F_2^{eN}(x) dx \approx 0.5$

- probed quarks and anti-quarks carry only 50% of nucleon momentum
- Remaining momentum carried by gluons

### 3.6 Zusammenfassung: Struktur der Nukleonen

- Nukleonen bestehen aus punktförmigen quasifreien Quarks die zumindest für mittlere  $x$  Werte eine ungefähre Skaleninvarianz der Strukturfunktionen bewirken.
- Quarks haben Spin  $\frac{1}{2}$  :  $2xF_1(x) \approx F_2(x)$
- Außer Valenz Quarks auch See Quarks
- Man findet drittelzahlige Quarkladung



#### Aber

- Quarks tragen nur etwa 50% des Nukleon-Impulses  
→ Rest wird von Gluonen getragen.
- Logarithmische  $Q^2$  Abhängigkeit  $F_2$  für sehr kleine/große  $x$  beobachtet: **Scaling Violation**

#### Fragen:

- Kann man diese  $Q^2$  Abhängigkeit verstehen ?
- Kann man die Gluondichte messen ?

➡ Antwort liefert die QCD (s. Kap. VII)

