

# Symmetrie und Dynamik

H.G. Dosch  
Inst. Theor. Physik

## 1. Spezielle Relativitätstheorie und Quantenmechanik

- Negative Energien
- Dirac-Gleichung
- Dirac-See
- Antimaterie

## 2. Quantenmechanik und (relativistische) Feldtheorie

- QM: Teilchenerhaltung, QFT: gewünscht: Teilchenerzeugung und Vernichtung
- Kanonische Quantisierung der Feldtheorie, Erzeuger und Vernichter
- Wechselwirkung, Feynman-Graphen
- Teilchen-Erzeugung, Vernichtung und Streuung
- Quantenkorrekturen, “Unendlichkeiten”
- Vakuumpolarisation
- Bsp. Ladungsrenormierung, laufende Kopplung
- Vakuumfluktuation, kosmologische Konstante, Hawkingstrahlung
- anomales magnetisches Moment des Elektrons
- Axiomatische Formulierung der QFT
- Yukawa-Potential, anomales magnetisches Moment der Nukleonen
- QCD, Vakuumpolarisation und asymptotische Freiheit
- Effektive Theorien, Bsp. Fermi’s Theorie des *beta*-Zerfalls

## 3. Grundsätzliche Probleme der QFT

$$\mu_{\text{theo}} = \mu_B(1 + 0.5a - 0.32847844400a^2 + 1.181234017a^3 - 1.5098a^4).$$

Hier ist die Zahl  $a$  die Sommerfeldsche Feinstrukturkonstante geteilt durch die Zahl  $\pi$ ,  $a = 0.0023228\dots$ . Die Größe  $\mu_B$  ist das Bohrsche Magneton, der Wert des magnetischen Dipolmoments eines Elektrons in der freien Theorie,  $\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e}$ .

$$\begin{aligned} \mu_{\text{exp}} &= 1.001\,159\,652\,18 \frac{e\hbar}{2m_e} \\ \mu_{\text{theo}} &= 1.001\,159\,652 \frac{e\hbar}{2m_e}. \end{aligned}$$

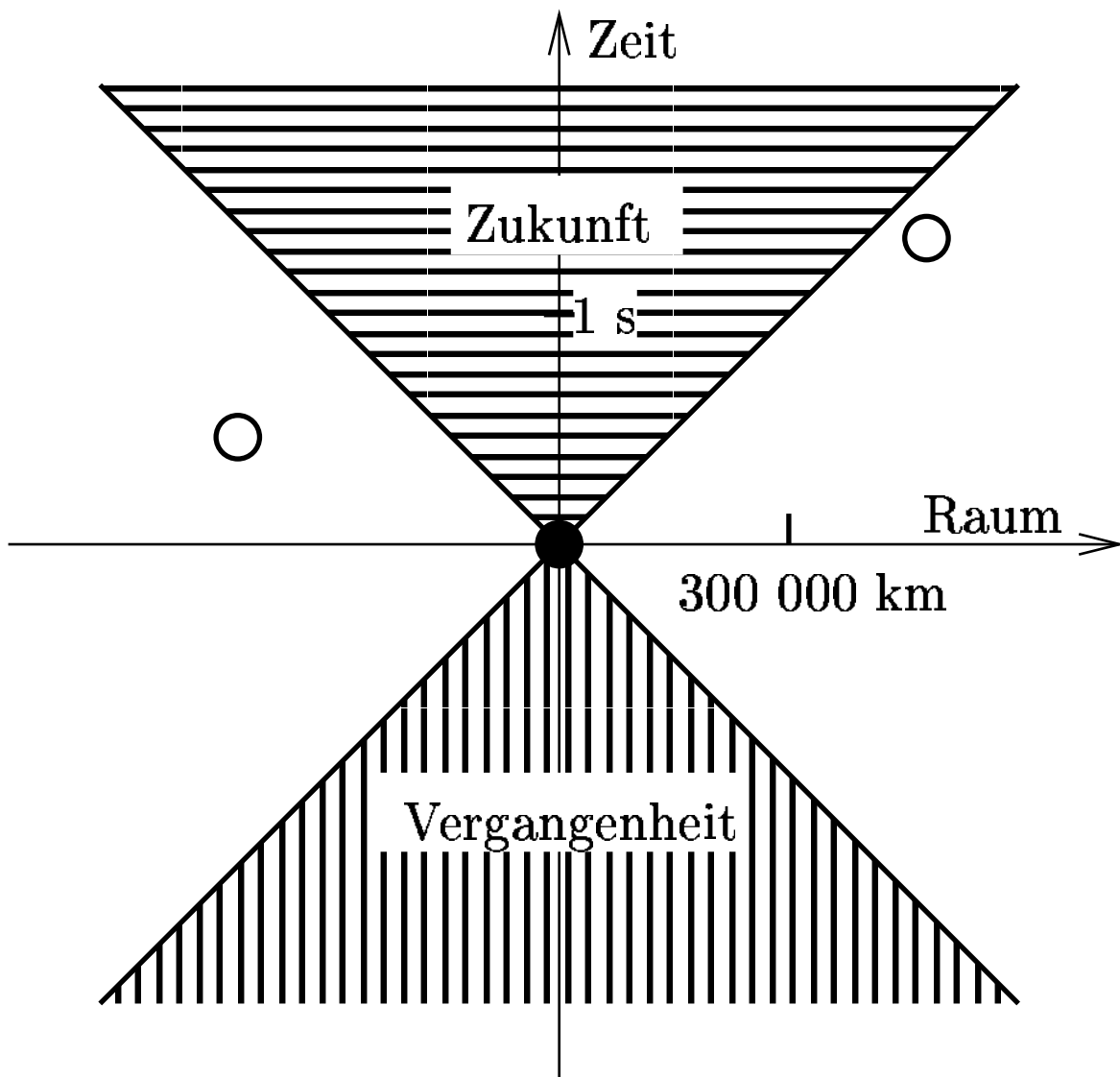


Abbildung 1: Illustration der Lokalität. Das Raum-Zeitgebiet, auf das das durch einen vollen Kreis gekennzeichnete Ereignis einen Einfluß haben kann, ist quergestreift eingezeichnet, das Gebiet, das selbst einen Einfluß ausüben kann, ist längsgestreift. Ereignisse, die z. B. an den durch offene Kreise gekennzeichneten Raum-Zeitpunkten stattfinden, sind von dem mit dem vollen Kreis vollkommen unabhängig. Aus H.G. Dosch, *Jenseits der Nanowelt*

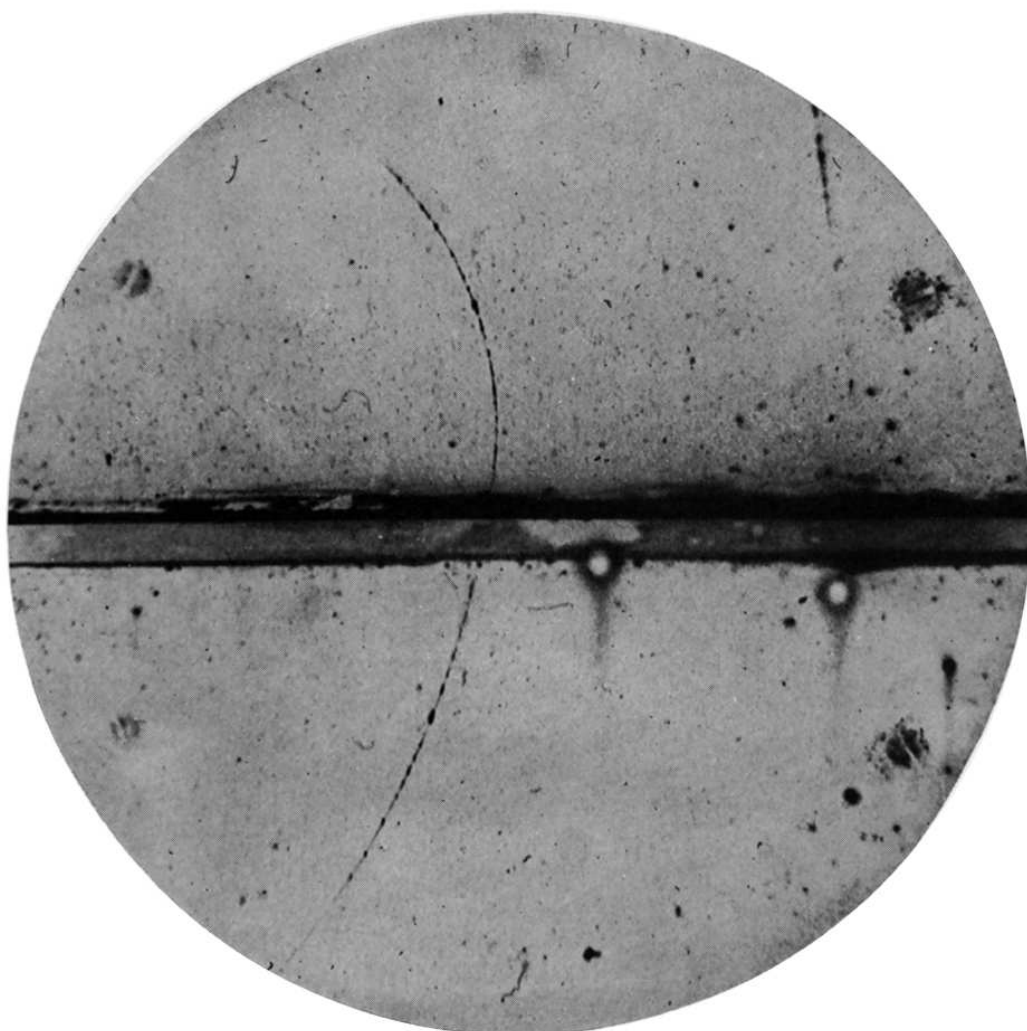


Abbildung 2: Die Spur eines geladenen Teilchens in einer Nebelkammer mit einer Bleiplatte von 6 mm Dicke. Aus der verschiedenen Krümmung läßt sich schließen, daß der Impuls im oberen Teil der Bahn beinahe nur ein Drittel des Impulses unterhalb der Platte ist, deshalb muß das Teilchen von unten kommen. Die magnetischen Feldlinien zeigen von oberhalb der Ebene nach unten; daraus kann man schließen, daß die abgebildete Spur von einem positiv geladenen Teilchen herrührt. Ein Proton kommt nicht in Frage, es hätte mit diesem Impuls oberhalb der Platte höchstens ein Zehntel der Wegstrecke zurücklegen können. Aus C.D. Anderson, Phys. Rev. 43 (1933) 492

**W1 Kovarianz:** In allen gleichförmig bewegten Bezugssystemen haben die Gleichungen die gleiche Form. Es gibt einen Zustand, das Vakuum, der in allen Bezugssystemen gleich ist.

**W2 Observable:** Alle Zustände lassen sich durch Anwendung der quantisierten Feldoperatoren aus dem Vakuumzustand erzeugen. Die Observablen lassen sich durch Feldoperatoren ausdrücken. Dies ist das Programm der „Quantisierung“.

**W3 Kausalität oder Lokalität:** Feldoperatoren an solchen Raum-Zeitpunkten, die nicht durch Lichtsignale verbunden werden können, wissen nichts voneinander.

**W4 Eindeutigkeit des Vakuums:** Der oben erwähnte Vakuum-Zustand ist der einzige, der sich nicht mit der Zeit ändert.

$$\begin{aligned} |m_{e^+} - m_{e^-}| / (m_{e^+} + m_{e^-}) &\leq 4 \cdot 10^{-9} \\ |m_{K^0} - m_{\bar{K}^0}| / (m_{K^0} + m_{\bar{K}^0}) &\leq 10^{-18} \end{aligned}$$

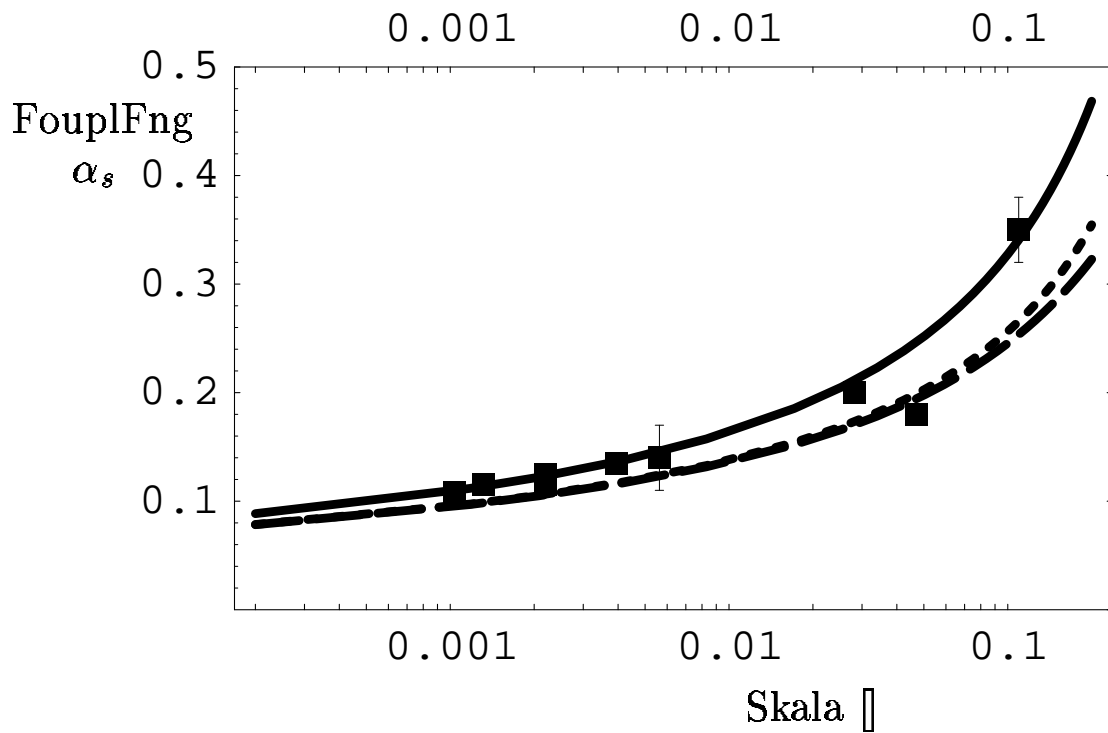


Abbildung 3: Die laufende Kopplung in der QCD. Die *ausgezogene Kurve* ist die niedrigste Näherung, die *lang gestrichelte* die nächste Ordnung und die *kurz gestrichelte* die noch höhere Ordnung. Die experimentellen Punkte sind aus Experimenten gewonnen, für die die entsprechende Skala besonders wichtig ist. Aus H.G. Dosch, Jenseits der Nanowelt

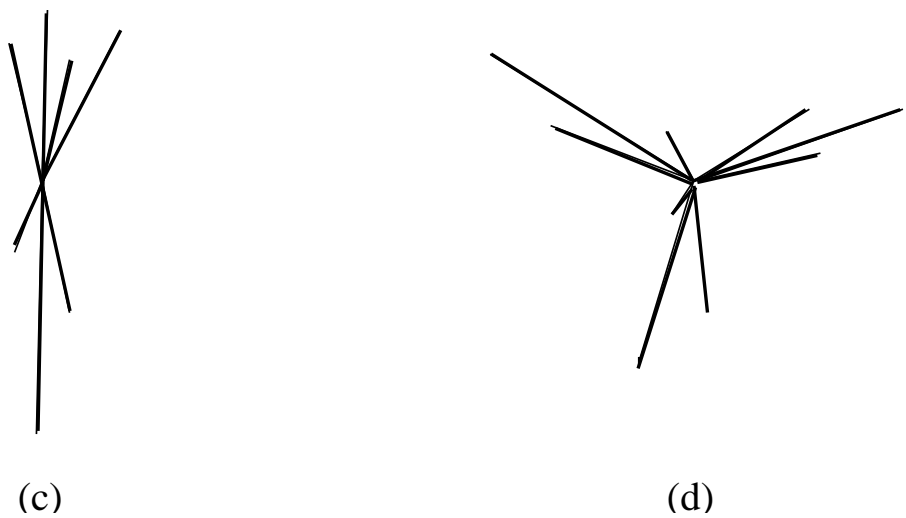
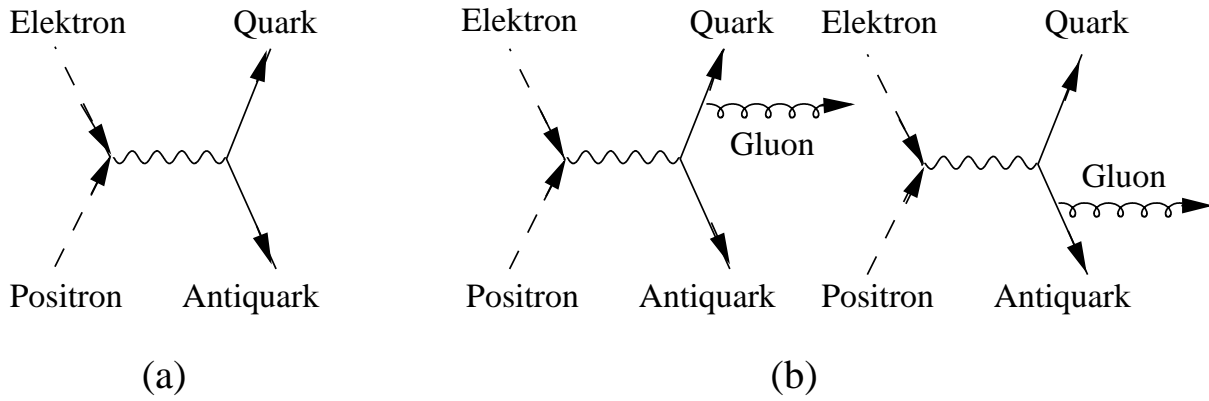


Abbildung 4: Zwei- und Drei-Jet-Ereignisse in der Elektron-Positron Vernichtung. (a) Einfachster Graph für Zwei-Jet-Ereignisse, (b) Einfachste Graphen für Drei-Jet-Ereignisse, Quarks und Gluonen werden hier wie reelle Teilchen behandelt; (c,d) die im Zähler beobachteten Bahnen der Hadronen für Zwei- (c) und Drei-Jet-Ereignisse (d) Aus H.G. Dosch, Jenseits der Nanowelt

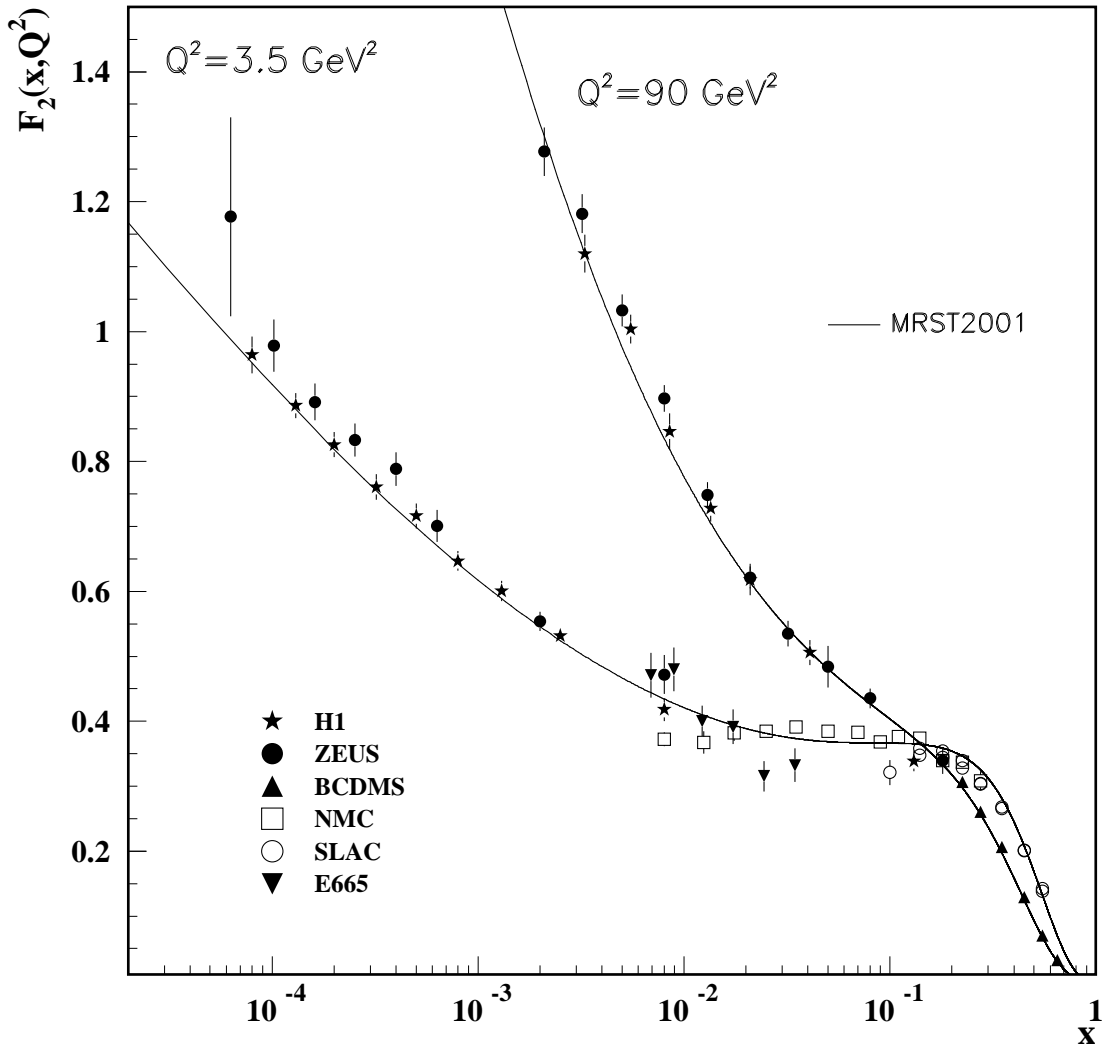


Abbildung 5: Die Strukturfunktion des Protons bei zwei verschiedenen Werten des Impulsübertrages  $Q$  als Funktion der Skalenvariablen  $x = Q^2 c^2 / (W^2 + Q^2 c^2 + m_p^2 c^4)$ . Man sieht sehr deutlich die Verletzung des Skalenverhaltens bei kleinen Werten von  $x$ . Die *offenen Kreise* sind die ersten Messungen vom Linearbeschleuniger SLAC, die *vollen Kreise* und *Sterne* sind Meßpunkte vom Beschleuniger HERA in Hamburg Aus Review of Particle Physics 2004, Particle Data Group