

10.5 Top-Quark

Die Existenz eines sechsten Quarkflavours wurde aus verschiedenen experimentellen Beobachtungen¹⁰¹ (und theoretischen Überlegungen) im Rahmen des Standardmodells vorausgesagt. Aus den Strahlungskorrekturen zur W -Masse (s. Abb. 226 in Kap. 16.7) lässt sich die Masse des t -Quarks abschätzen, $m_t \simeq 180$ GeV. Das t -Quark wurde 1995 am Tevatron in $\bar{p}p$ -Kollisionen bei $\sqrt{s} = 1.8$ TeV nachgewiesen [64, 65]. Abb. 137 zeigt, wie das t -Quark produziert wird. Der Hauptmechanismus ist die Erzeugung von $t\bar{t}$ -Paaren über Gluonen¹⁰².

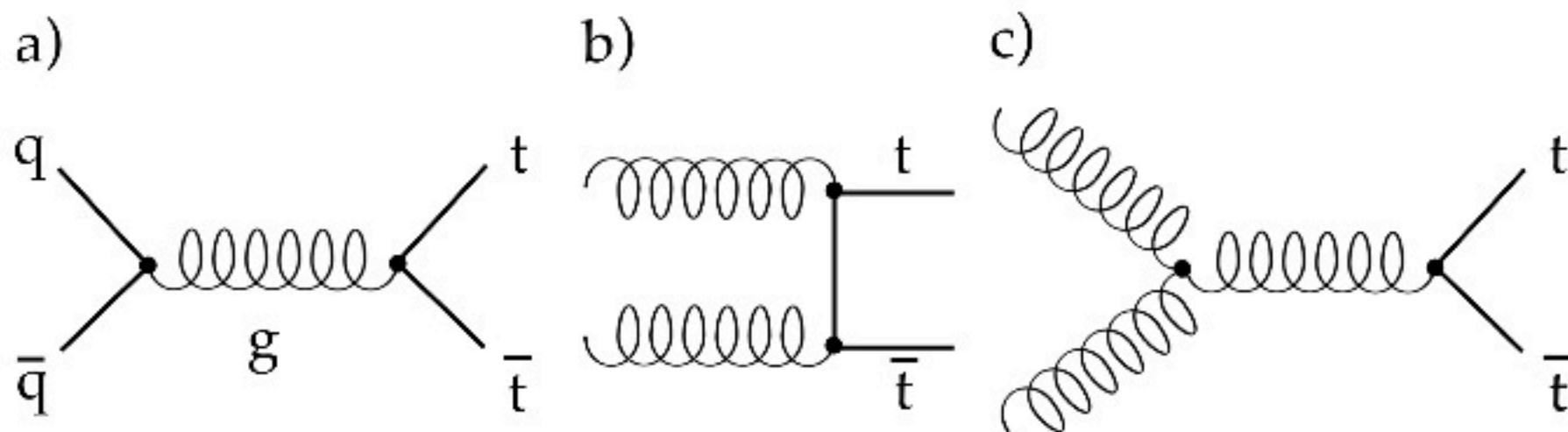


Abbildung 137: Produktion des t -Quarks in $\bar{p}p$ -Kollisionen bei hohen Energien. Die Quarkannihilation (a) dominiert mit 90% den Wirkungsquerschnitt bei 1.8 TeV, während Gluonfusion (b und c) nur 10% beiträgt.

Das t -Quark ist extrem schwer und zerfällt praktisch ausschliesslich in das leichtere b -Quark. Seine mittlere Lebensdauer ist daher sehr kurz ($\sim 10^{-25}$ s), kürzer als die Zeitskala

für Fragmentation. Es kann daher praktisch als freies Teilchen betrachtet werden. Beim Zerfall in das b -Quark wird ein W emittiert, das dann in Quarks oder Leptonen zerfällt. Aus den Quarks entstehen Jets.

Wir haben im vorigen Kapitel gesehen, dass z.B. das W^+ in $e^+\nu_e$, $\mu^+\nu_\mu$, $\tau^+\nu_\tau$, $c\bar{s}$ (3 Farben), $u\bar{d}$ (3 Farben) mit Verzweigungsverhältnissen f von je $1/9 \sim 11\%$ zerfällt. Die Wahrscheinlichkeit, aus einem $t\bar{t}$ -Paar ein hochenergetisches ee -, $e\mu$ - oder $\mu\mu$ -Paar (Dilepton) zu erzeugen, ist somit $2 \times 3 \times (\frac{1}{9})^2 = \frac{2}{27} = 7.5\%$, und die, aus einem $t\bar{t}$ -Paar ein hochenergetisches e oder μ und vier Jets zu produzieren, $2 \times \frac{2}{9} \times \frac{6}{9} = \frac{8}{27} = 30\%$. Mit dem CDF-Detektor wurden ursprünglich 2 Dileptonenereignisse und 6 Ereignisse mit einem Lepton (e oder μ) und vier Jets beobachtet [66]. Beim Dileptonenkanal bleiben zwei Neutrinos unsichtbar, sodass die Kinematik nicht vollständig rekonstruiert werden kann. Der Wirkungsquerschnitt für die Erzeugung des t -Quarks ($\simeq 5$ pb bei 1.8 TeV) ist zehn Größenordnungen kleiner als der inelastische Wirkungsquerschnitt in $\bar{p}p$ -Kollisionen. Somit überwiegt beim Kanal mit 4 Jets der Untergrund von W -Bosonen und Jets, die mehrheitlich aus leichten Quarks stammen (QCD-Untergrund).

Die b -Quarks fragmentieren in b -Hadronen wie z. B. die B -Mesonen. Der QCD-Untergrund kann wesentlich reduziert werden, wenn man die zwei b -Quarks aus dem t -Zerfall nachweist. Man nutzt dabei die lange Lebensdauer der B -Mesonen und sucht nach Jets, die relativ entfernt vom Kollisionspunkt stammen. Abb. 138a zeigt ein solches Ereignis mit einem Positron und 4 Jets, wobei Jet 1 und Jet 4 aus dem Zerfall von b -Hadronen stammen (s. auch Abb. ?? in den Farbtafeln). In diesem Kanal kann die Zerfallskinematik trotz unsichtbarem Neutrino vollständig rekonstruiert werden. Abb. 138b zeigt die Verteilung der rekonstruierten invarianten Masse des t -Quarks. Der heutige Wert für die Masse des t -Quarks ist 172.0 ± 1.6 GeV [13].

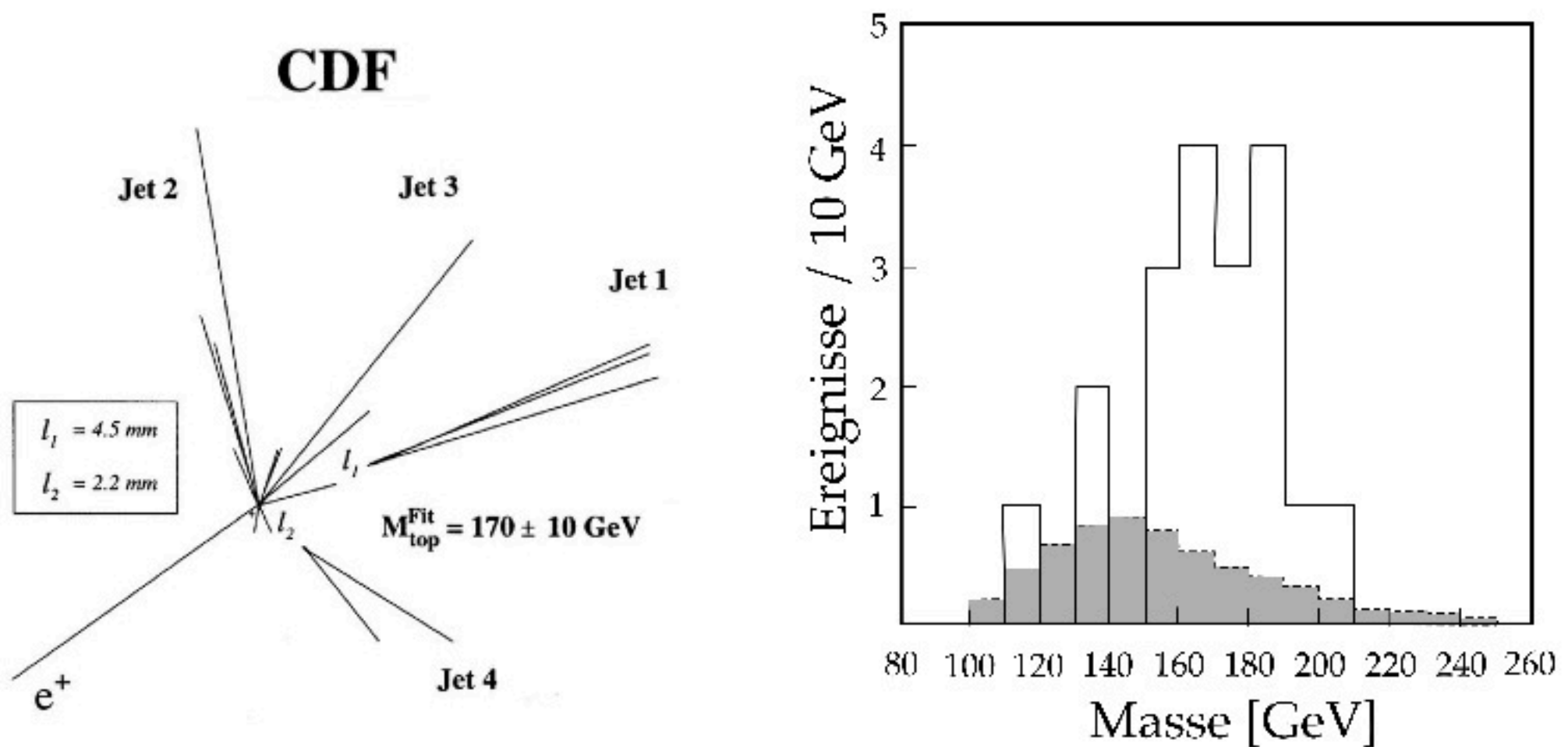


Abbildung 138: a) Produktion und Zerfall eines $t\bar{t}$ -Paares im CDF-Detektor am Tevatron. Das $t\bar{t}$ zerfällt in 4 Jets, ein Positron und ein (unsichtbares) Neutrino. Die Jets 1 und 4 stammen aus b -Hadronen mit Zerfallsstrecken l_1 und l_2 (nach [67]); b) Verteilung der invarianten Masse (19 Ereignisse). Das graue Histogramm zeigt den berechneten Untergrund. Die mittlere t -Masse ist 176 ± 13 GeV (nach [64]).