Das Standardmodell der Teilchenphysik entstand in den 1970er Jahren mit dem Ziel, die Erkenntnisse der Eigenschaften der Elementarteilchen sowie der \sloppy Wechselwirkungen zwischen ihnen, nämlich die elektromagnetische Wechselwirkung, die schwache \sloppy Wechselwirkung und die starke Wechselwirkung, zu beschreiben und zu vereinen.

Als \sloppy Elementarteilchen bezeichnet man die fundamentalen Bausteine der Materie. Das bedeutet, dass alle bisher bekannten Teilchen aus einer reduzierten Anzahl von diesen kleineren und unteilbaren Teilchen aufgebaut sind. Alle Teilchen, einschließlich die Elementarteilchen, lassen sich in zwei Hauptgruppen je nach Spin einteilen: man nennt Teilchen mit halbzahligem Spin Fermionen, während solche mit ganzzahligem Spin als Bosonen bezeichnet werden. Im Standardmodell der Teilchenphysik werden elementare Fermionen in sechs Quarks und sechs Leptonen unterteilt, demgegenüber beobachtet man vier verschiedenen Bosonen, die aufgrund ihrer Eigenschaften Austauschteilchen genannt werden. Des Weiteren werden Quarks und Leptonen in drei Generationen bzw. Familien zusammengefasst und klassifiziert man sie simultan in Abhängigkeit von ihrer Ladung. Teilchen von verschiedenen Familien unterscheiden sich mit Ausnahme von den drei elektrisch neutralen Leptonen, das heißt die sogenannten Neutrinos, folgendermaßen in ihrer Masse: jedes Fermion einer Generation besitzt eine größere Masse als das Fermion der vorherigen Generation und derselben Ladung. In der Tabelle 1.1 sind alle diese Informationen in übersichtlicher Form zusammengefasst.

Es existieren, wie bereits erwähnt, sechs Quarks: \textit{u} (\textit{up}), \textit{d} (\textit{down}), \textit{c} (\textit{charm}), \textit{s} (\textit{strange}), \textit{t} (\textit{top}) und \textit{b} (\textit{bottom}). Außerdem Die Quarks wurden bisher niemals frei beobachtet, was bedeutet, dass sie immer als gebundene Zustände auftreten. Der Grund dafür wird in Detail im nächsten Kapitel behandelt. Alle gebundenen Zustände, also Teilchen, die aus Quarks bestehen, werden Hadronen genannt. Man nennt ein Hadron Baryon, wenn es aus drei Quarks besteht, und Meson, wenn es aus einem Quark- und Anti-Quark-Paar aufgebaut ist. \\

Die Leptonen sind insgesamt sechs Fermionen mit Spin $s=\dfrac{1}{2}$, von denen drei (das Elektron, das Myon und das Tauon) besitzen eine elektrische Ladung von $-1 e$ und drei sind elektrisch neutral: die Neutrinos (das Elektron-Neutrino, das Myon-Neutrino und das Tauon-Neutrino). \\

Die Existenz der drei verschiedenen Wechselwirkungen, die man zwischen Elementarteilchen beobachtet, wird durch den Austausch von den sogenannten Austauschteilchen erklärt. Es handelt sich um vier Bosonen mit einem Spin $s=1$, die die Grundkräfte vermitteln. Das Photon ist das massenlose und elektrisch neutrale Austauschboson der elektromagnetischen Wechselwirkung und koppelt an alle elektrisch geladenen Teilchen. Die starke Wechselwirkung wird dagegen durch das elektrisch neutrale Gluon vermittelt, welches nur an Quarks koppeln kann, denn sie sind die einzigen farbgeladenen Teilchen. Das Gluon ist ein Träger eines Farbe-Antifarbe-Paars. Die möglichen Kombinationen zwischen Farbladungen zur Bildung eines solchen Paars liefern acht verschiedenen Gluonen. Letztendlich sind sowohl die zwei elektrisch geladenen $W^{\pm}$-Bosonen, die jeweils eine entgegengesetzte elektrische Ladung tragen, als auch das elektrisch neutrale $Z^{0}$-Boson für die schwache Wechselwirkung verantwortlich. Diese Austauschbosonen koppeln an alle Elementarteilchen. \\

Wie im letzten Kapitel erwähnt, können keine freien Quarks beobachtet werden. Allerdings ist es heutzutage bekannt, dass das Universum sich während der ersten Augenblicke nach dem Urknall in einem Zustand befand, in dem Quarks aufgrund der hohen Temperaturen und der geringen Anzahl der Teilchenstößen keine Hadronen bilden konnten und daher sich wie freie Teilchen verhielten. Diese Entwicklungsphase des Universums, die als Quark-Ära bezeichnet wird, dauerte etwa $10^{-23} s$. Dieser Zustand der Materie, in dem Quarks und Gluonen existieren ohne gebundene Zustände zu bilden, wird Quark-Gluon-Plasma genannt.

Das Standardmodell der Teilchenphysik beschreibt den Zusammenhang zwischen den fundamentalen Kräften und den Elementarteilchen, zwischen denen diese Kräfte wirken. Alle bekannte Materie besteht aus verschiedenen elementaren Bausteinen, die man nach ihrem Eigendrehimpuls, dem Spin, sortiert. Teilchen mit halbzahligem Spin nennt man Fermionen und solche mit ganzzahligem Spin Bosonen. Die elementaren Fermionen unterteilt man in sechs Quarks und sechs Leptonen. Man kategorisiert die Quarks und Leptonen an Hand ihrer Eigenschaften in drei Familien oder Generationen und sortiert diese zeitgleich nach ihrer elektrischen Ladung. Jedes dieser Teilchen besitzt auch ein Antiteilchen mit genau umgekehrten Eigenschaften jedoch der gleichen Masse. Eine Übersicht der fundamentalen Fermionen ist in Tabelle 2.1 aufgelistet. Im Standardmodell werden Teilchen, die aus einem Quark und einem Antiquark bestehen, als Mesonen und Teilchen, die aus drei Quarks aufgebaut sind, als Baryonen bezeichnet. Allgemein nennt man Teilchen, die stark wechselwirken können, Hadronen. Neben dem Proton und dem Neutron begegnet man im Alltag keinen weiteren Hadronen. Alle bekannten Elemente aus dem Periodensystem der Elemente sind aus Kombinationen von diesen beiden Hadronen und Elektronen zusammengesetzt. Allerdings beobachtet man noch viele andere Hadronen. Solche Hadronen entstehen bei Kollisionen von Teilchen oder auch durch Zerfälle von kurzlebigen Hadronen. Da aber weder Quarks noch die meisten Austauschteilchen selbst messbar sind, denn sie zerfallen oder kombinieren sich zu gebundenen Hadronen oder zu Leptonen. Diese Zerfallsprodukte werden dann gemessen. Aus den Charakteristika der Zerfallsprodukte lassen sich dann Rückschlüsse über das ursprüngliche Teilchen und dessen Eigenschaften treffen. Jede der fundamentalen Kräfte lässt sich durch theoretische Modelle beschreiben. Die elektromagnetische Kraft wird durch die Quantenelektrodynamik (QED), die schwache Kernkraft von der Theorie der schwachen Wechselwirkung und die starke Kernkraft durch die Quantenchromodynamik (QCD) erklärt. Eine Übersicht der Kräfte des Standardmodells der Teilchenphysik sowie einige ihrer Eigenschaften sind in Tabelle 2.2 zusammengefasst. Da für diese Arbeit die starke Wechselwirkung am wichtigsten ist, wird diese in Kapitel 2.1.1 genauer diskutiert. Die anderen beiden Wechselwirkungen des Standardmodells der Teilchenphysik werden folgend nur kurz umrissen. In der schwachen Wechselwirkung unterscheidet man sogenannte geladene Ströme von neutralen Strömen. Bei geladenen Strömen koppelt ein W+- oder ein W−-Boson an die schwache Ladung eines Quarks oder Leptons. Während einer solchen Wechselwirkung wird eine elektrische Ladung ±e ausgetauscht, die das Austauschboson trägt. Beim neutralen Strom hingegen wird durch Austausch eines elektrisch neutralen Z 0 -Bosons keine elektrische Ladung ausgetauscht. Die Wahrscheinlichkeit, mit der solche Wechselwirkungen stattfinden, ist proportional zu 1/(Q2 + m2 ), wobei der Impulsübertrag mit Q und die Masse des Austauschteilchens mit m bezeichnet wird. Die Austauschteilchen der schwachen Wechselwirkung besitzen eine von null verschiedene Masse, weshalb die Wahrscheinlichkeit, dass eine solche Wechselwirkung auftritt, sehr klein ist. Die Austauschteilchen der anderen Wechselwirkungen tragen hingegen keine Masse. Da die Wahrscheinlichkeit, dass ein Teilchen schwach wechselwirkt, auf Grund der Masse der Austauschteilchen unterdrückt ist, bezeichnet man die schwache Wechselwirkung als „schwach“. Die elektromagnetische Wechselwirkung lässt sich mit der Quantenelektrodynamik beschreiben. Diese Theorie erklärt, wie zwei elektrisch geladene Teilchen durch den Austausch eines masselosen Photons (γ) miteinander wechselwirken. Somit wirkt die elektromagnetische Wechselwirkung auf alle Quarks und auf alle geladenen Leptonen. Der Wirkungsquerschnitt, ein Maß für die Wahrscheinlichkeit eines Prozesses, für eine elektromagnetische Wechselwirkung verhält sich proportional zur Kopplung α n der Wechselwirkung, wobei n die Anzahl der beteiligten Austauschteilchen angibt. Da in der QED für die Kopplungskonstante α << 1 gilt, folgt somit, dass Prozesse mit mehreren Austauschteilchen, die man Prozesse höherer Ordnung nennt, einen kleinen Wirkungsquerschnitt haben. Daher können diese bei der Berechnung des Wirkungsquerschnittes vernachlässigt werden. Dies wird im Rahmen der sogenannten Störungstheorie behandelt.