

WISSENSCHAFTLICHE ARBEIT

im Fach Physik

Entwicklung und Umsetzung eines Online-Vorbereitungskurses für die Teilchenphysik-Masterclass

Eingereicht von: Carolin Diesel
Geboren am: 24. Juni 1995
Studiengang: Höheres Lehramt an Gymnasien
Matrikelnummer: 3962051

Gutachter/in: Prof. Dr. Michael Kobel
Prof. Dr. Gesche Pospiech

Abgabe: Dresden, 09. Juli 2018

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, Carolin Diesel, die vorliegende Arbeit selbstständig und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln angefertigt zu haben sowie alle Stellen, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen sind, durch die Angabe der Quellen als Entlehnung kenntlich gemacht zu haben.

Dresden, den 28. Juni 2018

Carolin Diesel

Kurzzusammenfassung

Die Teilchenphysik-Masterclass ist ein Veranstaltungsformat von Netzwerk Teilchenwelt, welches Schüler/innen einen Einblick in die Teilchenphysik ermöglicht. Lernende ab Klassenstufe 10 haben die Möglichkeit einen Tag lang als Teilchenphysiker/innen zu arbeiten und echte Daten auszuwerten. Das dafür nötige Grundwissen wird im Verlauf der Teilchenphysik-Masterclass vermittelt. Da Teilchenphysik nicht Bestandteil des sächsischen Lehrplans für Physik ist, nehmen die Abschnitte der Inhaltsvermittlung am Projekttag viel Zeit in Anspruch.

Damit die Lernenden besser vorbereitet sind und für die Auswertung der Daten mehr Zeit zur Verfügung steht, benötigen die Lernenden bereits vor der Teilchenphysik-Masterclass grundlegendes Vorwissen im Bereich der Teilchenphysik.

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Konzeption und Umsetzung eines Online-Vorbereitungskurses für die Teilchenphysik-Masterclass von Netzwerk Teilchenwelt, welcher die Vermittlung dieses Grundwissens zum Ziel hat.

Die Arbeit stellt didaktische Grundlagen für Lehr-Lern-Situationen vor. Des Weiteren erfolgt eine Erläuterung der physikalischen Inhalte. Unter Zuhilfenahme und Zusammenführung der vorgestellten didaktischen und physikalischen Grundlagen wird das Konzept des Online-Vorbereitungskurses dargestellt und begründet.

Die Rückmeldungen aus einer ersten erfolgreichen Durchführung des Online-Vorbereitungskurses mit drei Schüler/innen sind bereits eingearbeitet. Eine Analyse der Wirksamkeit und Einsetzbarkeit mit einer gesamten Klasse sollte der nächste Schritt sein, um den Vorbereitungskurs in den Ablauf einer Teilchenphysik-Masterclass zu integrieren.

Abstract

The masterclass of particle physics is a German project, created by Netzwerk Teilchenwelt, which gives students from grade ten upwards the opportunity to discover particle physics. In this project, they will therefore be allowed to work as particle physicists and to analyse real data. During the masterclass, the students will gain the necessary basic knowledge, which they will need to do this analysis. In Saxony, where this project will take place, particle physics is not part of the curriculum, hence the imparting of knowledge in this masterclass would be time-consuming. Thus, it would be better, if the students would already have this basic knowledge, in order to have more time for the data analysis.

This paper describes the conception and implementation of an online preparatory class for the particle physics masterclass. The aim of this class is the imparting of basic knowledge in particle physics. Moreover, present pedagogical principles of learning situations will be presented and there will be an explanation of the physical contents as well.

The concept of the online preparatory course will be presented and justified, considering the already mentioned pedagogical principles and the physical knowledge. Furthermore, the feedback of three students, who already did this course, will be incorporated in this paper.

The next step, to integrate the online preparatory course in the procedure of the particle physics masterclass, would be to analyse the efficacy and the applicability of this preparatory course for a whole class.

Inhaltsverzeichnis

Selbstständigkeitserklärung	II
Kurzzusammenfassung	III
Abstract	IV
Inhaltsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
2 Zur Notwendigkeit eines Online-Vorbereitungskurses	3
2.1 Teilchenphysik-Masterclass	3
2.2 Gründe für einen Online-Vorbereitungskurs	4
2.3 Allgemeine Ziele des Online-Vorbereitungskurses	6
3 Didaktische Überlegungen	7
3.1 Affektive Einflüsse auf das Lernen	7
3.1.1 Motivation	7
3.1.2 Interesse.....	8
3.1.3 Selbstkonzept.....	10
3.2 Medien in Lehr-Lern-Situationen	10
3.2.1 Aufgaben von Medien.....	11
3.2.2 Bildhafte Darstellungen.....	12
3.2.3 Text als Darstellungsform	12
3.2.4 Multimediale Darstellungen.....	14
3.2.5 Online Plattform OPAL	14
3.3 Lernaufgaben.....	15
3.4 Rückmeldungen und Feedback.....	18
3.5 Differenzierung.....	19
3.6 Schülervorstellungen.....	20
4 Physikalische Grundlagen	23
4.1 Auswahl der Inhalte des Online-Vorbereitungskurses	23
4.2 Aufbau der Materie.....	25
4.3 Wechselwirkungen	28
4.3.1 Gravitation	29
4.3.2 Elektromagnetische Wechselwirkung	29
4.3.3 Starke Wechselwirkung	31
4.3.4 Schwache Wechselwirkung	33
4.4 Ladungen.....	34
4.4.1 Elektrische Ladung	34

4.4.2	Schwache Ladung	35
4.4.3	Starke Ladung	36
4.5	Elementarteilchen	38
4.6	Standardmodell der Teilchenphysik.....	40
5	Umsetzung des Online-Vorbereitungskurses	42
5.1	Logische Grundstruktur der Planung	42
5.2	Lernziele	43
5.3	Einordnung in die Bildungsstandards	45
5.4	Vorbereitete Umgebung	47
5.4.1	Lerngruppenanalyse	47
5.4.2	Vorwissen.....	48
5.4.3	Technische Voraussetzungen.....	50
5.5	Didaktische Strukturierung	51
5.5.1	Willkommen, Hilfe und Support.....	55
5.5.2	Aufbau der Materie	56
5.5.3	Die vier fundamentalen Wechselwirkungen	57
5.5.4	Ladungen	64
5.5.5	Elementarteilchen der Materie und Anti-Materie	66
5.6	Durchführung	68
5.7	Lernzielkontrolle	70
6	Fazit und Ausblick	72
	Abbildungsverzeichnis.....	74
	Literatur- und Quellenverzeichnis	75
	Anhang	i

1 Einleitung

Der Gelehrte Doktor Faust hat im gleichnamigen Drama von J. W. von Goethe ein großes Ziel: „Das ich erkenne, was die Welt im Innersten zusammenhält“ (Goethe, S. 13).

Auf ähnliche Weise kann das Ziel von Teilchenphysiker/innen beschrieben werden. Sie versuchen mit Hilfe von Experimenten, beispielsweise dem Large Hadron Collider (LHC) am Conseil européen pour la recherche nucléaire (CERN), Theorien aufzustellen, wie die Materie, deren Aufbau und die Wechselwirkungen, der daran beteiligten Teilchen beschrieben werden können. Das öffentliche Interesse an dieser Forschung ist groß. Medien berichten über die Entdeckung des Higgs-Teilchens am CERN, den Vergleich von Materie und Anti-Materie, Dunkler Energie oder der Suche nach supersymmetrischen Teilchen. Bei solchen Berichterstattungen stellt sich die Frage, ob die allgemeine Bevölkerung ausreichend physikalisches Vorwissen besitzt, die Inhalte dieser Beiträge einzuordnen und zu verstehen.

Die Vermittlung von Grundlagen der Teilchenphysik ist in sieben deutschen Bundesländern fester Bestandteil des Lehrplans im Fach Physik. In weiteren sechs können die Lehrpersonen sich für einen Wahlbereich entscheiden, der Inhalte der Teilchenphysik thematisiert. In den restlichen drei Bundesländern ist keine Beschäftigung mit Grundlagen dieses physikalischen Teilgebiets im Fach Physik vorgesehen, so auch im sächsischen Lehrplan. (vgl. Woithe, S. 8)¹

Das Projekt Netzwerk Teilchenwelt möchte Lernende genau für diese physikalischen Inhalte begeistern und bietet unterschiedliche Veranstaltungsformate für den Physikunterricht und darüber hinaus an. Eines ist die sogenannte Teilchenphysik-Masterclass. Hierbei handelt es sich um einen Projekttag bei dem die Schüler/innen einen Tag lang selbst als Teilchenphysiker/innen unter Anleitung echter Forscher/innen arbeiten können. Aufgrund des geringen Vorwissens über Teilchenphysik aus der Schule, speziell auch in Sachsen, benötigen die Lernenden eine Einführung in deren Grundlagen. Ziel der vorliegenden Arbeit ist, ein Konzept für einen Online-Vorbereitungskurs für die Teilchenphysik-Masterclass in Sachsen zu entwerfen und umzusetzen. Dieser soll den Lernenden teilchenphysikalische Grundlagen vermitteln.

Bei der Konzeption des Online-Vorbereitungskurses wird wie folgt vorgegangen: In Kapitel 2 erfolgt zunächst die Beschreibung der Teilchenphysik-Masterclass und aus welchen Gründen diese einen Online-Vorbereitungskurs benötigt.

¹ Die Quelle stammt aus dem Jahr 2014. Die Aktualität wurde mit den derzeitigen Lehrplänen abgeglichen und ist weiterhin gegeben.

Kapitel 3 fasst einige didaktische Überlegungen, welche bei der Gestaltung von Lehr-Lern-Situationen beachtet werden sollten, zusammen. Hierzu zählen unter anderem affektive Einflüsse wie die Motivation, das Interesse und das Selbstkonzept von Lernenden, die Aufgaben von Medien und deren unterschiedliche Darstellungsformen sowie die Gestaltung von Lernaufgaben. In diesem Zusammenhang spielen auch Rückmeldungen und Feedback, welche den Lernenden bei der Bearbeitung von Aufgaben gegeben werden, eine Rolle. Des Weiteren werden Differenzierungsmöglichkeiten sowie mögliche Schülervorstellungen diskutiert.

Nach der Erläuterung der genannten didaktischen Grundlagen folgt in Kapitel 4 die Darstellung der physikalischen Inhalte des Vorbereitungskurses. Zunächst wird die Auswahl der Themen für den Online-Vorbereitungskurs begründet. Anschließend werden die genannten Inhalte aus physikalischer Sicht eingeführt und erklärt.

In Kapitel 5 wird das Konzept des entworfenen Online-Vorbereitungskurses vorgestellt und abschnittsweise begründet. Hierzu werden die erläuterten didaktischen und physikalischen Grundlagen zusammengeführt. Das Vorgehen zur Erstellung des Vorbereitungskurses orientiert sich an der logischen Grundstruktur der Planung, welche Jank und Meyer beschreiben. Zunächst werden die Ziele des Kurses festgelegt. Daran schließt sich eine Analyse der Lernvoraussetzungen an, bevor ein konkreter Entwurf nach dem Raster der didaktischen Strukturierung entwickelt wird. Der erstellte Kurs wird probeweise von einzelnen Schüler/innen bearbeitet. Abschließend erfolgt die Kontrolle der Zielerreichung. (vgl. Jank und Meyer, S. 92)

Im letzten Kapitel soll auf das erstellte Konzept des Online-Vorbereitungskurses für die Teilchenphysik-Masterclass zurückgeblickt und das mögliche weitere Vorgehen kurz skizziert werden.

2 Zur Notwendigkeit eines Online-Vorbereitungskurses

Wie in der Einleitung dargestellt, ist das Ziel der vorliegenden Arbeit einen Online-Vorbereitungskurs für die Teilchenphysik-Masterclass vom Netzwerk Teilchenwelt zu erstellen.

In diesem Kapitel wird zunächst die Teilchenphysik-Masterclass als ein Veranstaltungsformat von Netzwerk Teilchenwelt vorgestellt. Anschließend erfolgt die Darstellung, aus welchen Gründen ein Vorbereitungskurs benötigt wird. Hieraus lassen sich abschließend die allgemeinen Ziele, welche der Vorbereitungskurs erreichen soll, ableiten.

2.1 Teilchenphysik-Masterclass

Die Teilchenphysik-Masterclass ist ein Veranstaltungsformat vom Netzwerk Teilchenwelt. Am Netzwerk Teilchenwelt sind Forscher/innen aus verschiedenen Ländern und unterschiedlichen Experimenten des Large Hadron Collider (LHC) des CERN in der Schweiz beteiligt. Die Projektkoordination erfolgt am Institut für Kern- und Teilchenphysik der Technischen Universität Dresden. Ziel vom gesamten Netzwerk ist es, Lernende für das Thema der Teilchenphysik zu begeistern und Schüler/innen von der Schule bis in die Spitzenforschung zu begleiten. (vgl. Netzwerk Teilchenwelt, <http://www.teilchenwelt.de/das-projekt/ueber-uns/>)

Das Netzwerk bietet unterschiedliche Veranstaltungen sowie auch zugehörige Materialien für Schüler/innen an, unter anderem die Teilchenphysik-Masterclass. Diese ermöglicht den Teilnehmer/innen einen Tag lang Teilchenforscher/in zu sein, da im Mittelpunkt die Analyse und Auswertung von echten Daten aus der Forschung steht.

Eine Masterclass dauert zwischen vier bis sechs Stunden und findet beispielsweise in der Schule statt. Dieser Projekttag wird für Schüler/innen ab Klassenstufe 10 angeboten. Er wird durch Nachwuchswissenschaftler/innen beispielsweise Doktoranden oder Doktorandinnen geleitet. Diese geben als Vermittler/innen in einem rund zwei Stunden langen Einführungsvortrag Einblicke in die Welt der Teilchenphysik und erklären physikalische Grundlagen. Hierbei werden unter anderem Kenntnisse über die Elementarteilchen der ersten Teilchengeneration, die vier fundamentalen Wechselwirkungen und deren Botenteilchen, das Higgs-Teilchen sowie über den Aufbau und die Funktion des ATLAS-Detektors vermittelt. (vgl. Netzwerk Teilchenwelt, <http://www.teilchenwelt.de/angebote/masterclasses/>)

Im Anschluss findet eine Einweisung der Lernenden in die Software statt, welche zur Analyse der Daten verwendet wird. Nach einer gemeinsamen Übung erhalten je zwei

Schüler/innen ihr eigenes Datenpaket, das sie selbstständig untersuchen. Bei auftretenden Fragen und Problemen helfen die Vermittler/innen. Je nach zur Verfügung stehender Zeit wird die Analyse nach rund 60 bis 90 Minuten beendet. Es folgt die Auswertung im Plenum. Hierbei werden alle analysierten Daten gemeinsam betrachtet und abschließend ausgewertet. In diesem Zusammenhang erhalten die Schüler/innen einen Einblick, wie naturwissenschaftliches Arbeiten funktioniert: Die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung wird beispielsweise auch als empirisch kritische Methode bezeichnet. Ihr Ziel ist es unter Verwendung „von Theorien Ausschnitte der Realität so zu beschreiben, dass sich daraus zuverlässige Prognosen ableiten lassen“ (Lutz und Bader, S. 1). Dies gelingt, indem Hypothesen aufgestellt werden, die durch induktives und deduktives Schließen aus bekannten Theorien oder Experimentierergebnissen abgeleitet werden. Anschließend erfolgt eine experimentelle Prüfung dieser Hypothesen. Werden diese Ergebnisse mehrfach bestätigt, ist es möglich eine empirische Theorie abzuleiten. Diese kann wieder verworfen werden, sobald neue, abweichende Daten ermittelt wurden. (vgl. Lutz und Bader, S. 1f.)

2.2 Gründe für einen Online-Vorbereitungskurs

Der Einführungsvortrag der Teilchenphysik-Masterclass enthält nahezu ausschließlich neues Wissen für die teilnehmenden Schüler/innen. Dies ist damit zu begründen, dass die Teilchenphysik in den sächsischen Lehrplänen für Physik an Oberschule oder Gymnasium nicht vorgesehen ist. Somit besteht für die Vermittler/innen eine große Herausforderung in einer zur Verfügung stehenden Zeit von zwei Stunden, die Grundlagen der Teilchenphysik auf Schulniveau zu erklären. Die Lernenden müssen sich in möglichst kurzer Zeit viel neues Wissen aneignen. Daraus abzuleiten ist die Gefahr, dass die vorgesehene Zeit für den Einführungsvortrag überschritten wird und deshalb für die Auswertung der Daten weniger Zeit zur Verfügung steht. Damit wird ein Ziel des Projekttages, zu erfahren wie Physiker/innen arbeiten, Erkenntnisse gewinnen und Theorien entwickeln, nur teilweise erreicht.

Aufgrund der beschriebenen Sachverhalte, entsteht der Wunsch, dass der Einführungsvortrag zur Masterclass so gestaltet wird, dass für die wissenschaftliche Arbeit mit den Daten ausreichend Zeit zur Verfügung steht. Ebenfalls sollte für den Abschluss des Projekttages genug Zeit vorhanden sein, um den Schüler/innen den prinzipiellen Ablauf und hohen zeitlichen Aufwand des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns deutlich zu machen.

Inhalte des Einführungsvortrages zu kürzen ist schwierig, da den Lernenden sonst Grundlagen für die Datenauswertung fehlen. Hieraus entsteht die Notwendigkeit, dass

sich die Schüler/innen in Vorbereitung auf die Masterclass mit Grundlagen der Teilchenphysik beschäftigen. Eine Möglichkeit wäre es, den Lehrpersonen diese Aufgabe zu übermitteln. Wie bereits gesagt, ist Teilchenphysik kein Bestandteil des sächsischen Lehrplans. Es ist deshalb davon auszugehen, dass die meisten Lehrpersonen selbst nur ein geringes Vorwissen über Grundlagen der Teilchenphysik besitzen. Eine weitere Variante wäre die Vorbereitung der Schüler/innen mit Hilfe eines durch das Netzwerk Teilchenwelt bereitgestellten Vorbereitungskurses. Hierbei stellt sich die Frage, wie dieser Vorbereitungskurs zu gestalten wäre.

Im Folgenden sollen Anforderungen aufgezählt werden, welche der Kurs formal zu erfüllen hat. Das Netzwerk Teilchenwelt richtet eine Vielzahl an Teilchenphysik-Masterclasses an verschiedenen Schulen aus. Die Schulen, welche zur Durchführung einer Masterclass den Netzwerkstandort Dresden anfragen, befinden sich überall in Sachsen. Somit muss der Vorbereitungskurs so gestaltet sein, dass eine große Anzahl von Schüler/innen an unterschiedlichsten Orten teilnehmen kann.

Die Teilchenphysik-Masterclass kann durch die Lehrpersonen im Schuljahr zeitlich beliebig angefragt werden. Damit kann eine zeitliche Variabilität als eine zusätzliche Anforderung an den Vorbereitungskurs formuliert werden. Abschließend ist noch zu hinterfragen, welche Personen den Vorbereitungskurs durchführen könnten. Wie bereits dargestellt, ist es für Lehrpersonen vermutlich schwierig bzw. sehr zeitaufwändig sich in die Grundlagen der Teilchenphysik einzuarbeiten. Für das Netzwerk Teilchenwelt wäre es ein hoher personeller und zeitlicher Aufwand, Personen zur Verfügung zu stellen, die sowohl einen Vorbereitungskurs, als auch die eigentliche Teilchenphysik-Masterclass, betreuen. Damit kann abgeleitet werden, dass die Durchführung des Vorbereitungskurses einen geringen personellen und zeitlichen Aufwand haben sollte.

Aus den vorgenannten Anforderungen kann ein Online-Kurs als mögliche Form des Vorbereitungskurses entwickelt werden. Ein Online-Kurs entspricht der Lernform des elektronischen Lernens, welches in der Literatur als E-Learning bezeichnet wird. Kerres beschreibt E-Learning als einen „Oberbegriff für alle Varianten der Nutzung digitaler Medien [zu] Lehr- und Lernzwecken [...], etwa um Wissen zu vermitteln, für den zwischenmenschlichen Austausch oder das gemeinsame Arbeiten an digitalen Artefakten“ (Kerres (2013), S. 6). E-Learning kann in Offline- und Online-Lernen unterteilt werden. Offline-Lernen meint die Nutzung von elektronischen Medien ohne Netzverbindung. Im Gegensatz dazu sind eine Netzverbindung und der Zugriff auf das Internet Voraussetzung für Online-Lernen. Bei Online-Lernangeboten steht häufig die Wissensvermittlung und weniger das reine Festigen und Üben von Lernstoff im Mittelpunkt. (vgl. Klisma und Issing, S. 14)

2.3 Allgemeine Ziele des Online-Vorbereitungskurses

Wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, sind Ziele des Vorbereitungskurses, dass sich die Schüler/innen, bevor diese an der Teilchenphysik-Masterclass teilnehmen, mit einigen grundlegenden Inhalten beschäftigen und erste Einblicke in die Teilchenphysik gewinnen. Dabei ist nicht das Ziel, dass der Vorbereitungskurs den bisherigen Einführungsvortrag zur Masterclass ersetzt, sondern eine ergänzende Funktion innehat. Dies sollte in der Art geschehen, dass die Vermittler/innen im Einführungsvortrag auf Vorwissen der Lernenden zurückgreifen und dieses vertiefen. Wenn sich die Schüler/innen vorbereitend mit einigen Inhalten beschäftigt haben, können dabei entstandene Fragen an die Vermittler/innen gestellt werden. Damit besteht die Möglichkeit, dass das physikalische Fachwissen der Forscher/innen aufgrund von mehr gestellten Fragen besser ausgeschöpft wird. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass ein vertieftes Verständnis der Grundlagen der Teilchenphysik erlangt wird, wenn sich Schüler/innen mehrfach mit den Inhalten beschäftigen, einmal im Vorbereitungskurs und ein zweites Mal im Einführungsvortrag.

Bei der Konzeption und der Auswahl der Inhalte des Vorbereitungskurses ist darauf zu achten, dass dieser innerhalb eines zeitlich festgelegten Rahmens bearbeitet werden kann. Es wird als sinnvoll angesehen mit einer Dauer von rund einer Stunde bis maximal 90 Minuten zu planen. Wird diese Zeit eingehalten, so könnte eine gemeinsame Durchführung des Vorbereitungskurses in einer Doppelstunde in der Schule erfolgen. Sollte das Durcharbeiten des Vorbereitungskurses durch die Schüler/Innen selbstständig zu Hause erfolgen, wäre der Zeitrahmen ebenfalls günstig.

Der Vorbereitungskurs sollte außerdem so gestaltet sein, dass dieser die Lernenden neugierig auf den Projekttag der Teilchenphysik-Masterclass macht. Demzufolge ist ein weiteres Ziel, Interesse hervorrufen und die Motivation der Lernenden zu wecken.

3 Didaktische Überlegungen

In diesem Kapitel werden verschiedene didaktische Überlegungen aufgezeigt, welche einen Einfluss auf die Gestaltung von Lehr- und Lernsituationen haben. Zunächst werden affektive Einflussfaktoren wie Motivation, Interesse und Selbstkonzept der Lernenden erläutert. Der Lernprozess wird ebenfalls durch unterschiedliche Medien und Darstellungsformen, welche im Anschluss vorgestellt werden, beeinflusst. Außerdem wird auf die Gestaltung von Lernaufgaben und darauffolgendes Feedback an die Lernenden eingegangen. Anschließend soll die Möglichkeit der Differenzierung betrachtet werden, bevor Schülervorstellungen aufgezählt werden, die bei der Planung von Unterrichtssequenzen zu berücksichtigen sind.

Zu den beschriebenen Einflussfaktoren werden in den folgenden Unterkapiteln didaktische Überlegungen formuliert. Ein Aufgreifen dieser erfolgt erneut in Kapitel 5, bei der konkreten Begründung des Entwurfs des Online-Vorbereitungskurses.

3.1 Affektive Einflüsse auf das Lernen

Laut Rabe ist Lernen nicht nur ein rationaler Prozess, sondern wird auch durch unterschiedliche affektive Aspekte mitbestimmt. Affektive Aspekte meinen hierbei Faktoren, welche das Lernen beeinflussen, wie beispielsweise die Motivation, das Interesse oder das Selbstkonzept der lernenden Person. Nicht nur das Lernen wird durch diese Faktoren beeinflusst, gleichzeitig ist es auch Ziel des (physikalischen) Unterrichtes diese Aspekte zu entwickeln, da diese einen Einfluss darauf haben, in welcher Tiefe Themen wahrgenommen und verstanden werden. So ist beispielsweise Interesse für ein spezielles Thema Voraussetzung dafür, sich mit diesem weitergehend zu beschäftigen. (vgl. Rabe, S. 1)

In dem folgenden Kapitel sollen Aspekte der Motivation, des Interesses und des Selbstkonzeptes dargestellt werden.

3.1.1 Motivation

Mietzel sagt, Motivation sei ein „aktivierender, richtungsgebender und richtungserhaltender Prozess“ (Mietzel, S. 344). Hiermit ist gemeint, dass eine Person zunächst die Bereitschaft dazu besitzt, ein bestimmtes Verhalten zu beginnen oder ein bereits begonnenes fortzusetzen. Des Weiteren ist genau dieses Verhalten einer motivierten Person zielgerichtet. Sie arbeitet auf ein Ergebnis hin, ohne dieses aus den Augen zu

verlieren. Der Abstand zum gesetzten Ziel wird systematisch verringert. (vgl. Mietzel, S. 344f.)

Es kann somit davon gesprochen werden, dass Motivation der Antrieb zum Lernen und Handeln in Richtung eines, von der motivierten Person, positiv bewerteten Zieles ist. (vgl. Rabe, S. 1)

Hierbei stellt sich die Frage, wodurch Lerner motiviert sind bzw. wie sie motiviert werden können. Um dies zu beantworten muss zwischen intrinsischer und extrinsischer Motivation unterschieden werden. Intrinsische Motivation umfasst Handlungen, welche um ihrer selbst willen ausgeführt werden. Das gezeigte Verhalten liegt unter der Kontrolle der intrinsisch motivierten Person selbst. Sie führt eine Tätigkeit aus, weil diese ihm Spaß macht, als spannend empfunden wird oder befriedigende Ergebnisse hervorruft. (vgl. Mietzel, S. 349; Rabe, S. 1)

Intrinsisch motivierte Schüler/innen lernen beispielsweise schneller, da sie sich für das Thema interessieren und mehr darüber erfahren wollen. Sie benötigen selten zusätzliche Anreize, um für Lernaktivitäten angeregt zu werden. Sie nehmen die Aufgabe als bewältigbar wahr und haben die Möglichkeit diese eigenständig und selbstbestimmt durchzuführen. Die Lernergebnisse intrinsisch motivierter Schüler/innen fallen in der Regel besser aus, als bei extrinsisch motivierten Lernenden. (vgl. Kerres (2001), S. 140.; Rabe, S. 2)

Extrinsisch motivierte Personen führen Handlungen aus, weil von außen durch andere Personen eine Belohnung oder eine negative Konsequenz, die nicht eintreten soll, in Aussicht gestellt werden. Die Kontrolle des extrinsisch motivierten Verhaltens erfolgt demzufolge von außen und nicht durch die Person selbst. Extrinsisch motivierte Schüler/innen lernen zum Beispiel nur deshalb für eine Leistungskontrolle, damit sie wahrscheinlich eine gute Note bekommen. (vgl. Mietzel, S. 349; Rabe, S. 1)

Die Lernaktivitäten können hierbei als Anstrengung empfunden werden, weshalb sie extrinsisch motivierten Schüler/innen schwerer fallen als intrinsisch motivierten. (vgl. Kerres (2001), S. 140)

Als Konsequenz ergeben sich für die Gestaltung von Lernangeboten für extrinsisch motivierte Schüler/innen, dass der Einstieg motivierende Maßnahmen enthalten sollte. Außerdem ist es wichtig, die Ziele des Lernens deutlich zu machen und das Lernangebot in Einheiten zu gliedern, um den Lernstoff systematisch einzuteilen. Entscheidend ist ebenfalls eine Rückmeldung über den Lernfortschritt. (vgl. Kerres (2001), S. 140)

3.1.2 Interesse

Um Schüler/innen für einen Lerngegenstand motivieren zu können, ist es von Bedeutung, dass Interesse an diesem besteht.

3 Didaktische Überlegungen

Laut Rabe beschreibt Interesse „die Beziehung des Lernenden zu einem Lerngegenstand“ (vgl. Rabe, S.2). Der Lernende verbindet mit dem Gegenstand positive Gefühle und bringt diesem Wertschätzung entgegen. Er identifiziert sich mit dem Interessensgegenstand um des Gegenstands selbst willen. (vgl. Rabe, S. 2; Hopf, S. 99)

Elster und Mietzel beschreiben Interesse als positiven Einflussfaktor für Lernprozesse. So führt Interesse zu einer tieferen Verarbeitung sowie zu einer besseren Erinnerung und Vernetzung der Lerninhalte. Elster und Mietzel erklären außerdem den Unterschied zwischen individuellem und situativen Interesse. Individuelles Interesse ist ein relativ stabiles Persönlichkeitsmerkmal und stellt eine Vorliebe für eine bestimmte Aktivität oder einen speziellen Gegenstand dar. Situatives Interesse ist zeitlich begrenzt und wird durch eine Situation herausgefordert, welche beispielsweise neu, abwechslungsreich oder unerwartet erscheint. (vgl. Elster, S. 2; Mietzel S. 385)

Hopf stellt fest, dass Schüler/innen mit einem geringeren individuellen Interesse mehr auf die Interessanztheit der Lernumgebung angewiesen seien (vgl. Hopf, S. 100). Dabei stellt sich die Frage, ob es möglich ist, individuelles Interesse zu stabilisieren und daraus situativen Interesse zu entwickeln. Dies ist zum einen von sogenannte Catch-Faktoren, dabei handelt es sich um Unterrichtselemente, welche die Aufmerksamkeit der Lernenden fördern, anhängig. Durch diese aktive Einbindung der Schüler/innen in den Lernprozess gelingt es, situatives Interesse hervorzurufen. Hierfür ist es ebenfalls wichtig, dass die Schüler/innen die Lernziele für sich selbst als bedeutend einstufen. Des Weiteren sind Maßnahmen notwendig, die das Interesse der Schüler/innen aufrecht erhalten. Sie werden als Hold-Faktoren bezeichnet. Es müssen Bedürfnisse nach dem Erleben von Kompetenzgefühl oder nach Selbstbestimmtheit befriedigt werden. (vgl. Hopf, S. 100f.)

Elster fasst die Ergebnisse der ROSE-Erhebung in Österreich und Deutschland zusammen. Diese untersucht u.a. wie das Interesse von Jugendlichen am naturwissenschaftlichen Unterricht gefördert werden kann. Schüler/innen erleben demnach Unterricht als interessant, wenn dieser auf Alltagssituationen, den menschlichen Körper oder erstaunliche Phänomene sowie Mystik und Wunder eingeht. Es sollte ebenfalls die gesellschaftliche Bedeutung des Unterrichtsgegenstandes veranschaulicht werden. Als uninteressant werden Berechnungen und quantitatives Befassen wahrgenommen. Häußler ergänzt dazu, dass das Interesse steigt, falls der Nutzen und die Notwendigkeit der Quantifizierung dargestellt werden. (vgl. Elster, S. 3; Häußler (u.a.) S. 134)

Es kann zusammenfassend festgestellt werden, dass das Interesse der Mädchen und Jungen stark vom Kontext, in dem die physikalischen Inhalte eingebettet sind, abhängt. Um Interesse für Physik zu entwickeln und zu fördern, welches ein eigenständiges Unterrichtsziel darstellt, sollen somit Kontexte gewählt werden, die sich als Interesse fördernd erwiesen haben. (vgl. Rabe, S. 2f.)

3.1.3 Selbstkonzept

Es wurde bereits dargelegt, dass das Bedürfnis nach dem Erleben von Kompetenzgefühl befriedigt werden muss, damit Lerngegenstände als interessant empfunden werden. Welches Kompetenzgefühl eine lernende Person empfindet hängt stark von deren Selbstkonzept ab. Dieses beschreibt die Einschätzung der Person über sich selbst und die eigenen Fähigkeiten beispielsweise hinsichtlich des Lernens von Physik. Die Gesamtheit dieser Bewertungen fügen sich zum Selbstwertgefühl zusammen, welches darüber entscheidet, ob eine Person ihre Fähigkeiten insgesamt positiv oder negativ beurteilt. Daraus resultiert die Selbstwirksamkeitserwartung. Sie beschreibt, was sich eine Person selbst zutraut, d.h. welche Ziele sie aufgrund der eigenen Fähigkeiten in der Lage ist zu erreichen. (vgl. Rabe, S. 4)

Laut Rabe seien Schüler/innen mit positiven Selbstkonzept eher bereit sich intensiv und länger mit einem Thema zu befassen und mit Misserfolgen umzugehen. Er stellt weiterhin fest, dass das Selbstkonzept der Mädchen bezüglich des Lernens von Physik in der Regel geringer als bei Jungen sei. (vgl. Rabe, S. 4)

Somit ist darauf zu achten, dass Hilfestellungen gegeben werden, welche Schüler/innen sich selbst als kompetent erleben lassen. Hierzu zählen laut Hopf eine ausreichende Strukturierung und Verständlichkeit des Unterrichts. Ebenfalls sollte eine gute Passung zwischen den Fähigkeiten der Lernenden und den Leistungsanforderungen bestehen. Dies könne auch durch ein angemessenes Unterrichtstempo beeinflusst werden. Die verwendeten Unterrichtsmethoden und -werkzeuge sollen angemessen sein. Damit kann es gelingen, dass die Schüler/innen sich als kompetent erleben und sich sozial eingebunden fühlen. (vgl. Hopf, S. 104f.)

3.2 Medien in Lehr-Lern-Situationen

Als Medien wird eine Vielzahl von Hilfsmitteln im Unterricht, welche der besseren Informationsvermittlung dienen, bezeichnet. Diese unterstützen primär die Wissensvermittlung. Sekundär haben diese auch einen Einfluss auf die Motivation der Lernenden. Des Weiteren sind Medien selbst Unterrichtsgegenstand.

Daraus kann als Ziel des Unterrichtes, Fähigkeiten zum angemessenen und kritischen Umgang mit Medien zu vermitteln, abgeleitet werden. (vgl. Kirchner, S. 196f.)

Im folgenden Kapitel sollen zunächst Aufgaben von Medien genannt werden. Anschließend werden verschiedene Darstellungsformen vorgestellt, welche für den Online-Vorbereitungskurs von Bedeutung sind.

3.2.1 Aufgaben von Medien

Hopf formuliert verschiedene Funktionen von Medien. Dazu zählen neben der bloßen Informationsvermittlung unter anderem auch die Motivierung von Lernenden, das Veranschaulichen und Visualisieren von Information und damit einhergehende Unterstützung beim selbstgesteuerten Lernen. Medien dienen auch der Wiederholung und Übung und können zur Kontrolle des Lernfortschrittes eingesetzt werden. Geschickte Medienwahl hilft bei der Binnendifferenzierung und individuellen Förderung von Schüler/innen. (vgl. Hopf, S. 115)

Hierbei stellt sich die Frage, ob diese Funktionen von Medien auch durch den Online-Vorbereitungskurs genutzt werden können. Zunächst ist festzustellen, dass die Informationsvermittlung, Veranschaulichung und Visualisierung eine vordergründige Aufgabe bei einem Online-Kurs ist, welche sich gut realisieren lässt. Hierbei kann mit bildhaften Darstellungen, Texten und Animationen gearbeitet werden. Auf diese wird in den folgenden Unterkapiteln genauer eingegangen.

Online-Lernen ist für Schüler/innen motivierend. Dies ist durch einen gewissen Neuheitseffekt, den Online-Lernformen mit sich bringen, zu begründen. Es ist jedoch festzuhalten, dass dieser Motivationseffekt von kurzer Dauer ist. Im Allgemeinen ist der Lernerfolg relativ unabhängig von dem gewählten Mediensystem und der eingesetzten Technologie. Der Lernerfolg wird vor allem durch die eingesetzten Methoden bestimmt. Somit müssen diese gut begründet und verschiedene Vor- und Nachteile abgewogen werden. (vgl. Kerres (2013), S. 78f.)

Online-Lernen unterstützt die Binnendifferenzierung und das selbstgesteuerte Lernen. Dies gelingt vor allem dadurch, dass die Schüler/innen ein individuelles Lerntempo wählen können. Außerdem bietet ein Online-Kurs die Möglichkeit manche Sachverhalte mehrfach zu lesen und öfter zu durchdenken. Den Schüler/innen wird ebenfalls die Möglichkeit gegeben sich bei mangelnden Vorwissen selbstständig zu einem Thema nochmals zu belesen und Vorwissen zu aktivieren. (vgl. Kerres (2013), S. 80, S. 114)

Einer der größten Vorteile des Online-Lernens liegt in der hohen zeitlichen und örtlichen Flexibilität. Ein Online-Kurs ist an verschiedensten Orten nahezu jederzeit einsetzbar. Somit ist es möglich eine große, räumlich nicht begrenzte Zielgruppe anzusprechen. (vgl. Kerres (2013), S. 80, S. 112)

Dies ist ein Grund dafür, weshalb sich das Netzwerk Teilchenwelt dazu entschlossen hat, das Format eines Online-Kurses als Vorbereitung für die Teilchenphysik-Masterclass zu wählen. Die Lehrer/innen an den Schulen benötigen selbst keine Vorkenntnisse und müssen die Schüler/innen nicht auf den Projekttag vorbereiten. Dafür gibt es einen Online-Kurs, welchen die Schüler/innen selbstständig durchführen können. Zeit und Ort der Durchführung des Kurses sind dabei von den Lernenden selbst wählbar. Alternativ wäre

es ebenfalls möglich, dass die Lehrperson den Vorbereitungskurs gemeinsam mit den Schüler/innen während der Unterrichtes im Computerkabinett der Schule durchführt.

3.2.2 Bildhafte Darstellungen

Medien verwenden unter anderem bildhafte Darstellungen. Bruns benennt drei Funktionen, welche Bilder haben können: die Zeige-, die Situierungs- und die Konstituierungsfunktion. Die Zeigefunktion wird beispielsweise bei Abbildungen genutzt, welche Objekte veranschaulichen. Es werden die wichtigsten Merkmale des Objektes gezeigt ohne zu viele Details darzustellen. Werden Bilder gezeigt, die bei der betrachtenden Person bestimmte Assoziationen wecken und Erinnerungen an konkrete Situationen hervorrufen, findet die Situierungsfunktion Anwendung. Die Konstituierungsfunktion wird genutzt, wenn bildhafte Darstellung zum Aufbau mentaler Modelle helfen. (vgl. Bruns, S. 83- 85)

Unabhängig von der Funktion einer Abbildung, gibt es Schwierigkeiten, auf welche bei der Auswahl von Darstellungen und deren Einbindung zu achten ist. Laut Hopf besteht die Gefahr, dass Lernende ein Bild eher oberflächlich betrachten und Details übersehen und diese deshalb nicht verarbeitet werden. Eine Möglichkeit dies zu umgehen besteht darin, dass darauf geachtet wird, dass wichtige Elemente hervorgehoben werden. Hierzu können beispielsweise Texte zur Erklärung der Darstellung dienen, welche den Betrachtenden direkt auf Besonderheiten hinweisen. Hopf sieht ebenfalls eine Schwierigkeit darin, dass manche Bildelemente nicht oder nur unzureichend verstanden werden, da die Lernenden mit verwendeten Symbolen nicht vertraut sind. Somit ist sicherzustellen, dass die in den Darstellungen eingesetzten Abkürzungen den Schüler/innen bekannt sind. Des Weiteren ist es möglich, dass Lernende eine Abbildung unter anderen Aspekten betrachten, als die Lehrperson vorgesehen hat. Hierbei hilft wie bereits angesprochen die Aufmerksamkeit der Schüler/innen durch einen Erklärungstext zum Bild zu lenken. Die Verarbeitungstiefe der dargestellten Informationen mit Hilfe von Bildern kann durch geschickte Aufmerksamkeitslenkung und gezielten Aufgaben zu den Darstellungen gesteigert werden. (vgl. Hopf, S. 117)

3.2.3 Text als Darstellungsform

Zur Vermittlung von Informationen werden meist Texte verwendet. Wird ein Online-Kurs verwendet, werden die Texte häufig am Computer gelesen. Das wird im Allgemeinen als ermüdender wahrgenommen als vergleichsweise das Textlesen in einem Buch. (vgl. Bruns, S. 76)

3 Didaktische Überlegungen

Somit besteht eine Schwierigkeit darin, Texte leserfreundlich zu gestalten ohne dabei inhaltliche Abstriche zu machen. Langer, von Thun und Tausch benennen vier Merkmalskomplexe, welche beim Verfassen von Texten berücksichtigt werden sollten: die Einfachheit, die Gliederung, die Kürze und Prägnanz sowie anregende Zusätze. Diese vier Bereiche sind relativ unabhängig voneinander und werden im Folgenden näher erläutert.

Die Einfachheit bezieht sich auf die sprachliche Formulierung, die Wortwahl und den Satzbau. Hierbei ist auf die Verwendung von geläufigen und anschaulichen Ausdrücken in kurzen, einfachen Sätzen zu achten. Genutzte Fremdwörter werden im Text eingeführt und erklärt. (vgl. Schulz (u.a.), S. 22)

Ein Text sollte eine Gliederung, d.h. eine äußere und innere Ordnung aufweisen. Die äußere Gliederung meint, dass der Aufbau des Textes durch Randbemerkungen, Zusammenfassungen, Fragen und andere Orientierungshilfen optisch gegliedert ist. Es sollte eine optische Übersichtlichkeit gewährleistet sein, indem Schriftart und -größe bewusst gewählt werden. Innere Ordnung erlangt ein Text durch eine sinnvoll gewählte Reihenfolge der Informationen. Es muss ein sogenannter „roter Faden“ erkennbar sein. (vgl. Schulz (u.a.), S. 24; Bruns, S. 78f.)

Das Kriterium Kürze und Prägnanz bezieht sich auf die Länge des Textes. Diese sollte in Beziehung zum Informationsziel stehen. Dabei ist auf einen hohen Informationswert zu achten. Der Text sollte keine leeren Phrasen und Worthülsen enthalten. Wiederholungen sollten geschickt eingesetzt werden. Gleichzeitig ist auch darauf zu achten, dass ein Text nicht zu knapp ist, wodurch er an Verständlichkeit einbüßt. (vgl. Schulz (u.a.), S. 26)

Damit ein Text Interesse bei den Lesern und Leserinnen weckt, ist es wichtig, dass er sogenannte anregende Zusätze enthält. Dies sind beispielsweise lebensnahe Beispiele, rhetorische Fragen oder lustige Formulierungen. Diese regen die Lernenden zum Mitdenken an. Erreicht werden kann dies, indem der Leser/die Leserin direkt angesprochen wird. Anregende Zusätze verlängern einen Text meist. Somit ist darauf zu achten, dass die Prägnanz eines Textes nicht verloren geht. (vgl. Schulz (u.a.), S. 27)

Werden die erläuterten vier Merkmalskomplexe berücksichtigt, können verständliche Texte formuliert werden. Es gilt: je verständlicher ein Text formuliert ist, desto leichter fällt dem Leser/der Leserin die Verarbeitung und das Behalten der dargestellten Informationen. Laut Schulz, von Thun und Tausch ist die Verständlichkeit eines Textes nicht ausreichend. Wichtig ist ebenfalls die geistreiche Auseinandersetzung mit den dargebotenen Inhalten, weil dadurch eine Informationsverarbeitung angeregt wird. Voraussetzung hierfür ist, dass an die Erfahrung der Schüler/innen angeknüpft wird. Dadurch wird eine Einordnung des neuen Stoffes in bereits bekanntes Wissen ermöglicht. (vgl. Schulz (u.a.), S. 147)

Damit wird ebenfalls Rücksicht auf den Leser/die Leserin genommen. Fühlt sich der Autor/die Autorin in die Lesenden ein, erscheint er/sie aufrichtiger. Dies führt zu einer persönlichen Anregung des Lesers/der Leserin. Auch dies ist für die Verarbeitung von Informationen entscheidend. Durch geschickte Zwischenfragen gelingt es beispielsweise, die Lernenden zum Mitdenken anzuregen. (vgl. Schulz (u.a.), S. 163, 175)

3.2.4 Multimediale Darstellungen

Multimediale Darstellungen nutzen verschiedene Präsentationsformen. Bilder, Grafiken, Animationen und Texte zur Informationsvermittlung sollten kombiniert eingesetzt werden. Hierbei wird von einer Multicodierung gesprochen. Dadurch werden gleichzeitig verschiedene Sinneskanäle angesprochen, was als Multimodalität bezeichnet wird. Dies führt laut Hopf zu einem verbesserten Zugang zu den Lerninhalten. (vgl. Hopf, S. 120f.)

Jedoch ist hierbei darauf zu achten, dass keine zu hohe Informationsdichte vorliegt, was zu einer Überforderung der Lernenden führen könnte. Deshalb sind verschiedene Effekte bei der Nutzung von multimedialen Darstellungen zu berücksichtigen. Hopf fasst diese aus verschiedenen Studien zusammen: Laut dem sogenannten Multimediaeffekt fallen Lernergebnisse besser aus, wenn die Informationen in bildlicher und schriftlicher Form angeboten werden und nicht nur als Text allein. Als zweites ist das räumliche Kontiguitätsprinzip zu nennen. Dieses beschreibt, dass Texte in unmittelbarer räumlicher Nähe zur zugehörigen Abbildung zu platzieren sind. Es sollte ebenfalls eine zeitliche Kontiguität zwischen Animationen und dem dazugehörigen, gesprochenen Text geben. (vgl. Hopf, S. 121)

Der Redundanzeffekt besagt, dass bildliche Darstellungen nur mit gesprochenen oder geschriebenen Text verbunden werden sollten und nicht mit beiden Varianten. Als letztes ist der Kohärenzeffekt zu nennen, welcher beschreibt, dass irrelevante Texte, Bilder und Tonaufnahmen ausgeblendet werden sollten, da diese als störend wahrgenommen werden. Des Weiteren erweist es sich als hilfreich, den Lernenden in Vorbereitung Hinweise zur Arbeit mit Medien zu geben. (vgl. Hopf, S. 121)

3.2.5 Online Plattform OPAL

Der Vorbereitungskurs wird auf der **Online Plattform für akademisches Lehren und Lernen** an sächsischen Hochschulen (OPAL) umgesetzt. Diese ist ein Lernmanagementsystem der Bildungsportal Sachsen GmbH, welche die Möglichkeit bietet, verschiedene Lehr- und Lernmaterialien an einem Ort zu bündeln. (vgl. Medienzentrum Technischen Universität Dresden (TU Dresden), Heft 1, S. 3, 11)

OPAL wird an allen sächsischen Hochschulen von Mitarbeiter/innen und Studierenden in der Lehre genutzt. Neben dieser Anwendung in der akademischen Lehre kann die Plattform auch durch externe Personen benutzt werden. Diese können sich zum einen als Nutzer/in registrieren, auch wenn sie nicht an einer Hochschule eingeschrieben sind. Des Weiteren ist ein Zugriff auf freigeschaltete Lernmaterialien ohne Anmeldung als Gast möglich.

OPAL stellt verschiedene Funktionen zur Verfügung. Beispielsweise kann die Plattform für die Verwaltung von Gruppen und Teilnehmenden eingesetzt werden, wenn sie als Nutzer/innen registriert sind. Dieses bietet für den Vorbereitungskurs die Möglichkeit Schüler/innen nach Klassen zu sortieren und deren Ergebnisse einzeln und als Gruppe auszuwerten. (vgl. Medienzentrum TU Dresden, Heft 1, S. 13)

Eine weitere Funktion ist die Inhaltsverwaltung, welche auf erstellten HTML-Seiten beruht. Hierbei ist eine Erstellung mit einem in OPAL vorhanden Editor oder das Hochladen von bereits vorhandenen HTML-Dokumenten möglich. Auf diese Weise können Informationen mit Hilfe verschiedener Darstellungsformen wie Texten, Abbildungen oder Animationen vermittelt werden. (vgl. Medienzentrum TU Dresden, Heft 1, S. 13)

Als dritte Funktion soll die Einbindung von Übungen bzw. Tests und deren Auswertung vorgestellt werden. Diese wird durch die Testsuite ONYX, welche in OPAL eingebunden ist, bereitgestellt. ONYX bietet die Möglichkeit bestimmte Aufgabenformate zu erzeugen, wie beispielsweise Auswahl-, Lückentext-, Reihenfolge-, Fehlertext-, Drag-and-Drop-Aufgaben oder Mehrfachzuordnungen. Für jedes der genannten Formate ist die Generierung von Feedback möglich. Tests und Übungen können von allen Nutzer/innen, auch Gästen, durchgeführt werden. Sie erhalten ebenfalls eine Rückmeldung über die gegebenen Antworten. Jedoch können nur die Daten von registrierten Nutzer/innen durch den/die Kursbetreuer/in ausgewertet werden. (vgl. BPS Bildungsportal Sachsen GmbH, Benutzerhandbuch ONYX Testsuite)

3.3 Lernaufgaben

Um Lernen anzuregen reichen bloße Inhaltsdarbietungen nicht aus. Es ist notwendig, dass kognitive Operationen ausgeführt werden, um einen Lernerfolg zu erreichen. Dies gelingt beispielsweise durch den Einsatz von Lernaufgaben. Auch in Online-Kursen ist ein Ziel von Lernaufgaben, die Anregung von Lernaktivitäten zu sichern und ein oberflächliches Durchklicken zu verhindern. (vgl. Petschenka, S. 3; Kerres (2001), S. 182)

Außerdem dienen Lernaufgaben der Anwendung erworbenen Wissens auf unterschiedliche Beispiele, um eine Flexibilität im Umgang mit dem Gelernten zu erreichen.

3 Didaktische Überlegungen

Lernaufgaben sind grundsätzlich unbenotet, geben den Schüler/innen jedoch die Möglichkeit der Selbstprüfung des aktuellen Wissensstandes. Auch die Lehrperson kann anhand der gegebenen Antworten Aufschluss über Lernfortschritte und -defizite der Lernenden ziehen. Grundsätzlich sollten laut Frey 80 Prozent der Schüle/innen in der Lage sein die Lernaufgabe korrekt zu beantworten. (vgl. Frey, S. 1, 15, Petschenka S. 3) Die Formulierung von Lernaufgaben richtet sich hierbei nach den Zielen, welche mit ihnen verbunden werden. Eine Rolle spielt dabei auch, welche Art von Wissen sich die Schüler/innen aneignen sollen. Es wird zwischen deklarativen, prozeduralen und kontextuellen Wissen unterschieden. Deklaratives Wissen meint sogenanntes Faktenwissen und umfasst das Kennen von Begriffe und Konzepten eines Sachverhaltes sowie deren Relationen untereinander. Dieses bildet die Grundlage des prozeduralen Wissens, welches das Beschreiben von Abläufen umfasst. Kontextuelles Wissen sind Problemlösestrategien, die in bestimmten Kontexten angewandt werden können. (vgl. Kerres (2001); S. 162, Petschenka, S. 4)

Je nach zu erwerbenden Wissenstyp kann zwischen einfachen und komplexen Aufgabentypen unterschieden werden. Einfach Aufgaben, wie beispielsweise Multiple-Choice-Aufgaben oder Lückentexte, dienen der Festigung deklarativen Wissens. Komplexe Aufgaben wie Verständnis-, Anwendungs- Problemlöse- oder Analyseaufgaben erfordern höhere kognitive Leistungen der Lernenden. (vgl. Petschenka, S. 5-9)

Bei der Formulierung von Aufgaben ist eine konstruktive Leistung zu erbringen. Es muss gewährleistet werden, dass zur Verfügung stehende Hilfsmittel genannt sind und die Schüler/innen die nötigen Grundlageinformationen zur Bewältigung der Aufgaben kennen. Eventuell ist es sinnvoll, Hinweise zum Vorgehen bei der Lösung der Aufgabe zu geben. Auch sollte die Sozialform der Aufgabe den Lernenden bewusst sein. Bei dem Online-Vorbereitungskurs zur Masterclass ist dies stets eine Einzelarbeit, da die Schüler/innen sich selbstständig auf den Kurs vorbereiten. (vgl. Petschenka, S. 10)

Im Folgenden werden nur einfache Aufgabenformate genauer erläutert, da der Online-Vorbereitungskurs dem Erwerb von Faktenwissen zur Teilchenphysik dient und dieses durch Lernaufgaben gefestigt werden soll.

Ein einfacher Aufgabentyp sind Multiple-Choice-Aufgaben. Hierbei handelt es sich um eine Aufgabe mit einer endlichen Menge an Antwortalternativen. Die Antwort ist eine Teilmenge der präsentierten Antwortauswahl. Die richtige Antwort kann immer identifiziert werden, weshalb dieses Format einfach zu implementieren ist und eine schnelle Auswertung ermöglicht. Es gibt verschiedene Arten von Multiple-Choice-Aufgaben. So kann u.a. zwischen Einfachauswahl, Mehrfachauswahl und Drag und Drop unterschieden werden. Petschenka kritisiert, dass Multiple-Choice-Aufgaben zu geringer Interaktivität der Schüler/innen führen können, da das Format zum Raten der Antwort verleitet. Kerres

3 Didaktische Überlegungen

bestätigt dies, zeigt jedoch als mögliche Abhilfe auf, Mehrfachauswahlfragen zu nutzen, da dort das Raten schwieriger ist. (vgl. Petschenka S. 5, Kerres (2001) S. 207)

Als weiterer einfacher Aufgabentyp sollen Lückentextaufgaben vorgestellt werden. Vorteil hierbei ist, dass kein Raten mehr möglich ist und anspruchsvollere Wissensfragen gestellt werden können, die mit einer kurzen, prägnanten Antwort prüfbar sind. Die Schwierigkeit besteht darin, die Aufgabe so präzise zu formulieren, dass eine einzige Antwort richtig ist. Somit muss gewährleistet werden, dass eventuell mögliche Synonyme ebenfalls als korrekt festgestellt werden. Außerdem müssen die Lücken so gesetzt werden, dass die Lernenden den Sinn des Textes verstehen. Deshalb dürfen nicht zu viele Lücken pro Satz eingesetzt werden. Es ist vorteilhaft diese am Satzende, beispielsweise als Antwort auf eine Frage, zu platzieren. (vgl. Kerres (2013) S. 250, 450; Petschenka, S. 6f.)

Ein Aufgabentyp, welcher den Lückentextaufgaben ähnelt sind Fehlertextaufgaben. In dem gegebenen Text gibt es fehlerhafte Passagen, beispielsweise mit falschen oder vertauschten Worten, welche durch die Lernenden gefunden und gekennzeichnet werden müssen. Bei der Gestaltung muss auf die gleichen Sachverhalte wie beim Lückentext geachtet werden. So ist sicherzustellen, dass der Text präzise formuliert ist und verständlich bleibt und nicht zu viele fehlerhafte Textstellen enthält. (vgl. Beyer, S. 45)

Als letzte Methode soll das Quiz vorgestellt werden. Ein Quiz ist eine Frage-Antwort-Spiel, welches nach bestimmten, vor der Durchführung festgelegten Regeln abläuft. Es bietet die Möglichkeit, Wissen in einer lockeren und teilweise amüsanten Form abzufragen oder zu vermitteln, da es eine Verbindung zwischen Unterhaltung und Informationsdarbietung herstellt. Durch das Quiz wird eine Frage in den Raum gestellt. Diese ruft zumindest einen kurzzeitigen Wissensdurst bei den Lernenden hervor, welcher sonst nicht zwangsläufig vorhanden wäre. Eine Chance dieser Methode besteht darin, nicht nur Wissen abzufragen, sondern auch Wissen zu vermitteln. Dies kann gelingen, indem die Frage nicht alleinsteht, sondern in einem kurzen Informationstext eingebaut wird. Der Einsatz eines Quiz kann prinzipiell zu verschiedenen Zeitpunkten des Lernens erfolgen. Beispielsweise ist ein Einsatz zum Einstieg in ein bestimmtes Thema möglich, wenn das Quiz zum Abfragen des Vorwissens von Schüler/innen genutzt wird. Alternativ ist auch eine Anwendung als abschließende Wissensabfrage denkbar. (vgl. Peterßen, S. 246f.)

Alle vorgestellten Aufgabenformate, Multiple-Choice-, Drag und Drop-, Lückentext-, Fehlertextaufgaben und das Quiz sind mit Hilfe der Lernplattform OPAL realisierbar. Eine Vorstellung der technischen Voraussetzungen der Online-Vorbereitungskurses erfolgt in Kapitel 5.4.3.

3.4 Rückmeldungen und Feedback

Als Feedback wird nach Bruns und Gajewski eine „visuelle und/ oder akustische Rückmeldung, die [der] Benutzer für seine Integration mit dem System erhält, [bezeichnet]. [Sie] unterstützt und motiviert den Benutzer beim Gebrauch des Systems.“ (Bruns und Gajewski, S. 243).

Feedback dient somit als Rückmeldungen an die Lernenden, wie deren gezeigte Verhaltensweisen im Vergleich zu den erwarteten ausfallen. Feedback kann positive Verhaltensweisen unterstützen und fördern, indem diese anerkannt werden. Andererseits ist es möglich, dass es eine korrigierende Wirkung hat, indem der betroffenen Person mitgeteilt wird, dass das gezeigte Verhalten der eigentlichen Intension nicht genügend angepasst ist. (vgl. Antons, S. 108)

In Präsenzveranstaltungen, wie beispielsweise den klassischen Frontalunterricht in der Schule, steht jederzeit eine Person zur Verfügung, meist die Lehrperson, welche um Hilfe gebeten werden oder der Situation konkret angepasstes Feedback geben kann. In Online-Kursen steht nicht jederzeit eine Person zur Verfügung, welche diese Art von Aufgaben übernehmen kann. Aus diesem Grund ist es notwendig, dass die Teilnehmer/innen die Möglichkeit haben Fragen zu stellen, welche von einem Tutor/einer Tutorin innerhalb einer gewissen Zeit beantwortet werden. (vgl. Bruns, S. 44)

Neben dieser Unterstützung ist es ebenfalls von großer Bedeutung, dass die Lernenden in einem Online-Kurs Feedback zu bearbeiteten Aufgaben erhalten. Bei der Gestaltung dieser Rückmeldungen an die Schüler/innen sollten die Ergebnisse der Hattie Studie beachtet werden, welche Helmke zusammenfasst. Er beschreibt, dass Feedback aufgaben- und sachbezogen zu geben ist. Daraus lässt sich ableiten, dass sich das Feedback auf eine konkrete Aufgabe beziehen sollte und nicht aufgrund von subjektiven Theorien oder Spekulationen erteilt wird. Außerdem sollten Rückmeldungen an die Lernenden zeitnah und auf einen konkreten Lernprozess bezogen sein, da hierdurch die Lernenden die erwünschten Fertigkeiten schneller erlangen können. (vgl. Helmke, S. 214f.; Peterßen, S. 95)

Zusammenfassend können angelehnt an Antons als Kriterien für erfolgreiches Feedback formuliert werden, dass Feedback eher beschreibend, konkret, verhaltensbezogen, sofort und situativ sowie klar und pointiert sein sollte.² (vgl. Fengler, S. 24; Antons, S. 109)

Diese Kriterien sollten für Feedback allgemein berücksichtigt werden. Petschenka formuliert weitere Hinweise, die bei Feedback in Online-Kursen zu beachten sind. Diese

² Antons formuliert noch weitere Kriterien für erfolgreiches Feedback. Dieses beziehen sich auch auf mündlich erteiltes Feedback im Allgemeinen. (vgl. Fengler, S. 24, Antons, S. 109).

lassen sich teilweise aus den bereits dargestellten allgemeinen Feedback Regeln ableiten.

Bei der Bearbeitung von Aufgaben in Online-Kurses ist es grundsätzlich von Bedeutung, dass die Lernenden eine Rückmeldung über ihre Lösung der Aufgabe erhalten. Hierbei ist eine bloße Richtig-Falsch-Meldung nicht ausreichend. Eine korrekt gegebene Antwort benötigt eine Bestätigung über deren Richtigkeit, woraus eine Festigung und Stabilisierung des angewandten Wissens folgt. Falsch gegebene Antworten müssen als solche gekennzeichnet werden, indem den Schüler/innen die aufgetretenen Fehler gezeigt werden. Die Lernenden sollten die Chance bekommen, die korrekte Antwort zu finden, wobei sie das gegebene Feedback unterstützen sollte. Die Gestaltung des Feedbacks richtet sich hierbei nach der Art des Lernziels. Handelt es sich bei diesem um den Erwerb von Faktenwissen, ist die Mitteilung der korrekten Antwort ausreichend, da es sich um einen zu lernenden Fakt handelt. Hat die Aufgabe das Ziel das Verständnis von Sachverhalten zu fördern, ist bei der Formulierung des Feedbacks eine Begründung anzugeben, weshalb die Antwort falsch oder nicht ausreichend beantwortet wurde. (vgl. Petschenka, S. 12f.)

3.5 Differenzierung

Differenzierung leitet sich vom lateinischen Verb *differe*, was „sich unterscheiden“ beutet, ab. In der Schule unterscheiden sich die Lernenden beispielsweise hinsichtlich unterschiedlicher Anlagen, Begabungen, Neigungen, Interessen, Einstellungen, Gewohnheiten oder dem außerschulischen Umfeld. Ziel von Differenzierung in der Schule ist es, den Unterricht so zu gestalten, dass er den verschiedenen Eingangssituationen der Schüler/innen gerecht wird. (vgl. Riedl, S. 1)

Bönsch formuliert zusammenfassend, dass Differenzierung [in Bezug auf] die Organisation von Lernprozessen [ein] Bündel von Maßnahmen [darstellt, welches] Lernen in fachlicher, organisatorischer, institutioneller wie individueller und sozialer Hinsicht [optimiert] (Bönsch, S. 14).

Dies gelingt, indem eine größere, formal zusammengehörige Gruppe von Lernenden in kleinere, homogenere Gruppen aufgeteilt wird. Durch Berücksichtigen der Heterogenität der Großgruppe und deren Aufteilung wird es ermöglicht die individuellen Eigenschaften der Lernenden und die Anforderung des Lernprozesses besser aufeinander abzustimmen. (vgl. Riedl, S. 1)

Es wird zwischen innerer und äußerer Differenzierung unterschieden. Äußere Differenzierung beinhaltet Unterscheidungsmaßnahmen, die klassenübergreifend angewandt werden. Diese spielen für die Masterclass und deren Vorbereitungskurs keine Rolle, da

an diesen immer eine ganze Klasse teilnimmt. Durch innere Differenzierung, auch als Binnendifferenzierung benannt, erfolgt eine Anpassung des Unterrichts und der Lernumwelt unter Beibehaltung des Klassenverbandes an die individuellen Bedürfnisse und Fähigkeiten der einzelnen Lernenden. (vgl. Riedl, S. 2, Scholz, S. 13)

Riedl benennt verschiedene Anlässe, weshalb innere Differenzierung angewandt werden kann. So können die Lernenden unterschiedliche Interessen, Neigungen und Ziele verfolgen oder verschiedene Lerngewohnheiten und -techniken nutzen. Weiterhin könnten die Bedingungen des außerschulischen Umfeldes, beispielsweise das Elternhaus, ein Anlass für innere Differenzierung darstellen. Sie kann ebenfalls bei unterschiedlichen entwicklungs- und persönlichkeitsbedingten Eingangsvoraussetzungen für einen Lernprozess angewandt werden. (vgl. Riedl, S. 2)

Lehrkräfte haben verschiedene Möglichkeiten, wie sie mit den genannten Anlässen für Differenzierung umgehen und diese in den von ihnen gestalteten Lehr-Lern-Situationen umsetzen. Differenzierung kann beispielsweise methodisch, medial oder anhand von Sozialformen erfolgen. Diese Varianten spielen für den Vorbereitungskurs eine untergeordnete Rolle, da sie sich schwer realisieren lassen, ohne die einzelnen Lernenden der Lerngruppe genau zu kennen. Eine weitere Differenzierungsmöglichkeit, die als thematisch-intentionale Differenzierung bezeichnet wird, kann im Online-Vorbereitungskurs Anwendung finden. Diese Art der Differenzierung berücksichtigt unterschiedliche Interessen und Arbeitstempos der Lernenden. Die Auswahl der Lerninhalte kann daran angepasst werden. Auch hier ist eine gute Kenntnis der Lerngruppe von Vorteil, um das Lernmaterial bestmöglich abzustimmen. (vgl. Riedl, S. 3)

Die thematisch- intentionale Differenzierung ermöglicht den Lernenden eine fachliche Spezialisierung in einem Leistungsgebiet. Außerdem kann Lernen dadurch effektiver gestaltet werden, da die individuellen Interessen der Schüler/innen beachtet werden. Ebenfalls wird Lernen inhaltsreicher, da manche Lernenden sich weitergehend mit einem Lerngegenstand auseinandersetzen. (vgl. Jank und Meyer, S. 79)

3.6 Schülervorstellungen

Der amerikanische Pädagoge David Ausubel formuliert: „Der wichtigste Einflussfaktor für das Lernen ist das, was der Lerner schon weiß. Finden Sie das Heraus und unterrichten Sie sie entsprechend.“ (Hopf, S. 29)

Ziel dieses Kapitels ist es, genau solche Vorstellungen und Denkweisen zu physikalischen Begriffen und Phänomenen zu betrachten. Hierbei wird vor allem auf die Ansichten der Schüler/innen eingegangen, die fehlerbehaftet sind. Diese werden in der Literatur mit verschiedenen Begriffen bezeichnet. In dieser Arbeit wird der Begriff Schülervorstellungen

3 Didaktische Überlegungen

benutzt. In Kapitel 5.5 wird für die einzelnen Abschnitte des Online-Vorbereitungskurs begründet, wie mit den jeweiligen Schülervorstellungen umgegangen wird.

Es existiert eine Vielzahl an Schülervorstellungen zum physikalischen Begriff Kraft. Ursache hierfür könnte sein, dass es sich bei dem Wort „Kraft“ um einen umgangssprachlichen Sammelbegriff handelt, welcher dort verschiedene Bedeutungen hat. (vgl. Wilhelm, S. 29)

Lernende sehen Kraft zum Beispiel als eine Eigenschaft oder die potentielle Fähigkeit eines Körpers etwas ausführen zu können. So könnten Körper eine Kraft besitzen, ohne sie auszuüben. (vgl. Hopf, S. 38)

Weiterhin stellt die Beziehung zwischen Wechselwirkung und Kraft für Schüler/innen eine Schwierigkeit dar. Dies äußert sich darin, dass die Lernenden Kraft als Voraussetzung für eine Wechselwirkung betrachten, welche mit der Wechselwirkung an sich nichts zu tun hat. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Schüler/innen verstehen, dass Wechselwirkung ein Oberbegriff ist, der Kräfte neben Anziehung, Abstoßung, Paarerzeugung und Paarvernichtung miteinschließt. (vgl. Wilhelm, S. 29; Kobel (u.a.), S. 88)

Bei der Interpretation der Newtonschen Gesetze muss ebenfalls auf Schülervorstellungen geachtet werden. Eine Schwierigkeit stellt hierbei das Wechselwirkungsgesetz dar. Schüler/innen haben häufig die Vorstellung, dass Kraft und Gegenkraft am gleichen Körper angreifen. (vgl. Pospiech, Vorlesung Kraftbegriff WS 14/15, S. 13)

Weitere Schülervorstellungen beziehen sich auf Teilchen. Schüler/innen ordnen diesen Eigenschaften der realen Welt zu. Dies geschieht, indem sie makroskopische Denkweisen auf die Mikrowelt übertragen, wie beispielsweise Farbe, Temperatur, Geschwindigkeit oder Festigkeit. (vgl. Wilhelm, S. 17f.)

Ebenfalls können Probleme bei der Vermittlung des Begriffes Elementarteilchen auftreten. So vermitteln Lehrbücher, zum Beispiel Duden Paetec Level 9, den Eindruck, dass es sich bei Neutron und Proton um Elementarteilchen handelt. (vgl. Meyer, Schmidt, S. 63)

Außerdem sollte die Wahl des Begriffes Austauschteilchen oder Botenteilchen durchdacht werden. „Austauschteilchen“ betont sehr stark die Vermittlung einer Kraft durch den Austausch von Teilchen. Hierdurch wird die Kraft in den Mittelpunkt gestellt und andere Aspekte der Wechselwirkung geraten in den Hintergrund. Dies würde eine bereits beschriebene Schülervorstellung unterstützen. Weiterhin könnte der Begriff „Austauschteilchen“ die Vorstellungen hervorrufen, dass diese von einem Teilchen besessen werden und an ein anderes Teilchen übergeben werden. Dadurch könnte die korrekte Vorstellung, dass ein Botenteilchen durch ein Teilchen emittiert und durch ein zweites Teilchen absorbiert wird, schwieriger dargestellt werden. Dies ist auch der Grund, weshalb die Formulierung „Botenteilchen vermitteln eine Wechselwirkung“ verwendet werden sollte und nicht „Botenteilchen tauschen eine Wechselwirkung aus“. (vgl. Kobel (u.a.), S. 88f.)

3 Didaktische Überlegungen

Die Schülervorstellungen zum physikalischen Begriff der Ladung werden unter anderem in der Schule hervorgerufen. Dort wird der Begriff Ladung synonym zur elektrischen Ladung verwendet. Dies könnte dazu führen, dass Schüler/innen die starke und schwache Ladung als einen Teilaspekt der elektrischen Ladung deuten und nicht als andere Ladungsform akzeptieren. (vgl. Kobel (u.a.), S. 87; Lindenau, S. 13)

Es sollte auch darauf geachtet werden, welche Formulierung genutzt wird, um zu beschreiben, welche Ladung ein Teilchen besitzt. Hierbei ist es nachteilig, wenn davon gesprochen wird, dass ein Teilchen eine Ladung „trägt“. Dies könnte die Vorstellung hervorrufen, dass Ladungen ablegbare und keine fundamentalen Eigenschaften sind. Die Formulierung „Teilchen besitzen Ladungen“ umgeht dies. (vgl. Kobel (u.a.), S. 88)

Als letzte Schülervorstellung soll auf Ansichten von Lernenden bezüglich der von Einstein formulierten Formel $E = mc^2$ eingegangen werden. In der Umgangssprache wird diese damit gedeutet, dass Masse in Energie umgewandelt werden kann. Hierbei wird die Vorstellung unterstützt, dass Masse keine Energie wäre, obwohl es sich bei Masse um eine Energieform handelt. Somit sollte die Formulierung in der Alltagssprache angepasst werden in: „Masse wird in eine andere Energieform umgewandelt“.

4 Physikalische Grundlagen

Im folgenden Kapitel sollen die physikalischen Grundlagen für die Inhalte des Online-Vorbereitungskurses erläutert werden. Zunächst erfolgt die Begründung der Auswahl der Inhalte des Vorbereitungskurses. Hierzu wird die Gliederung des Einführungsvortrages der Teilchenphysik-Masterclass analysiert.

Im Anschluss werden die ausgewählten Inhalte in vertiefter Form aus physikalischer Sicht erläutert. Konkret wird zu Beginn der Aufbau der Materie betrachtet. Danach sollen die vier fundamentalen Wechselwirkungen vorgestellt werden, bevor eine Erläuterung der verschiedenen Ladungen als charakteristische Eigenschaften von Teilchen erfolgt. Diese Grundlagen werden schließlich bei der Betrachtung des Standardmodells der Teilchenphysik zusammengeführt.

4.1 Auswahl der Inhalte des Online-Vorbereitungskurses

Der Einführungsvortrag des Teilchenphysik-Masterclass umfasst unterschiedliche Grundlagen der Teilchenphysik. Um eine Auswahl an Inhalten für den Vorbereitungskurs zu treffen, wird die Gliederung des Einführungsvortrages betrachtet.³ Hierbei wird danach abgewogen, welche Inhalte bereits im Vorbereitungskurs eingeführt werden sollten, um sie im Vortrag vertiefen zu können und bei welchen Inhalten eine Darstellung in der Masterclass ausreichend ist.

Im Folgenden werden die Gliederungspunkte des Einführungsvortrages der Masterclass aufgegriffen und für jeden begründet, ob er im Vorbereitungskurs bereits aufgegriffen wird oder nicht.

Der Einführungsvortrag beginnt mit der Vorstellung des CERN und des LHC. Die Vorstellung der Forschungseinrichtung mit den Experimenten lässt sich durch Personen, welche am CERN gewesen sind und dort eigene Arbeitserfahrungen gesammelt haben, authentischer vermitteln. Aus diesem Grund werden diese Inhalte nicht in den Vorbereitungskurs aufgenommen.

Als zweiter Gliederungspunkt werden im Einführungsvortrag Materie- und Anti-Materie-Teilchen behandelt. Diese spielen in der Masterclass bei der Analyse der Daten eine bedeutende Rolle. Deshalb ist es wichtig, dass sich die Lernenden bereits im Vorbereitungskurs mit Materie- und Anti-Materie-Teilchen und deren Eigenschaften beschäftigen.

³ Eine Vorlage für den Vortrag ist unter folgendem Link zu finden: http://www.teilchenwelt.de/fileadmin/user_upload/Redaktion/Netzwerk_Teilchenwelt/Material_Vermittler/Masterclass_Vorlage_Einfuehrungsvortrag_171207.pdf.

In einem weiteren Gliederungspunkt wird die, in der Teilchenphysik bedeutende, Einheit Elektronenvolt behandelt. Diese spielt erst bei der konkreten Auswertung der Daten eine Rolle, weshalb sie im Vorbereitungskurs nicht aufgegriffen wird.

Der nächste Gliederungspunkt der Masterclass dient der Einführung des Standardmodells der Teilchenphysik und beschäftigt sich mit Wechselwirkungen und Ladungen sowie deren Zusammenspiel. Diese Inhalte sind wichtige und komplexe Grundlagen der Teilchenphysik. Aus diesem Grund ist eine Einführung der Konzepte „Wechselwirkung“ und „Ladung“ bereits im Vorbereitungskurs von Bedeutung. Hierbei sollte darauf geachtet werden, dass die Schüler/innen die Grundideen der Konzepte verstehen, welche dann in der Masterclass wieder aufgegriffen und vertieft werden. Möglich wäre, die vier fundamentalen Wechselwirkungen mit Hilfe von Beispielen einzuführen. Auch sollten die unterschiedlichen Ladungen bereits im Vorbereitungskurs betrachtet werden.

Der nächste Gliederungspunkt beschäftigt sich mit der Einführung des Higgs-Teilchens. Hierfür benötigen die Schüler/innen Vorwissen im Bereich von Ladungen sowie Materie- und Anti-Materie-Teilchen, um die Besonderheit des Higgs-Teilchens zu verstehen. Aus diesem Grund ist eine Einführung erst in der Masterclass sinnvoll, wenn die vorbereitenden Inhalte bereits behandelt und wiederholt wurden.

Ein Thema, welches nur in manchen Masterclasses behandelt wird, sind Feynman-Diagramme. Sie werden für die Darstellung von Umwandlungsprozessen von Teilchen genutzt. Da diese nicht in jeder Masterclass thematisiert werden, ist eine Einführung im Vorbereitungskurs nicht notwendig. Außerdem überschreitet dieser Inhalt das grundlegende Wissen über Teilchenphysik.

Ein letzter großer Inhaltsabschnitt im Einführungsvortrag der Masterclass beschäftigt sich mit Teilchenbeschleunigern und Detektoren sowie der Analyse der hinterlassenen Teilchenspuren. Dieser Teil des Vortrages ist sehr anschaulich und verständlich, aufgrund einer Vielzahl von Abbildungen. Er bildet die Grundlage für die Auswertung der Daten, welche die Schüler/innen in der Masterclass selbst vornehmen werden. Aus diesem Grund erscheint es sinnvoll, dass die Schüler/innen sofort Nachfragen stellen können, falls sie etwas nicht verstanden haben. Deshalb wird dieser Inhalt nicht in den Vorbereitungskurs übernommen.

In der Masterclass werden W - oder Z -Teilchen mit Hilfe des Auswertungsprogrammes Minerva analysiert. Die Inhalte der letzten beiden Gliederungspunkte des Einführungsvortrages der Masterclass sind zum einen die Eigenschaften, die Entstehung und die Zerfälle von W - bzw. Z -Teilchen sowie die Einführung in Minerva. Somit bereiten diese beiden Inhaltspunkte die Lernenden auf die Analyse und Auswertung der Daten vor. Diese Inhalte werden deshalb ebenfalls erst in der Masterclass behandelt.

4.2 Aufbau der Materie

Um 1900 war der unter Wissenschaftler/innen anerkannte Wissensstand, dass Materie aus verschiedenen Sorten von Atomen besteht. Atome wurden als fundamentale Materiebausteine ohne Substruktur betrachtet, wie es bereits von den Alten Griechen vermutet wurde und sich in der Etymologie des Wortes Atom niederschlägt.⁴ Auch die Experimente, welche von Chemikern im 18. und 19. Jahrhundert vorgenommen wurden, unterstützen diese Anschauung. Sie lässt sich wie folgt beschreiben: Unterschiedliche Substanzen bestehen aus verschiedenen Anordnungen von Atomen. So sind die Atome in Festkörpern beispielsweise unbeweglich und als Kristalle in einem festen Muster angeordnet, welches einer sehr großen Regelmäßigkeit folgt. In Flüssigkeiten sind Atome als herumrollende Objekte vorstellbar, während sie in Gasen mit einer temperaturabhängigen Geschwindigkeit herumfliegen und sich relativ weit voneinander entfernt befinden. (vgl. Coughlan und Dood, S. 3)

Um 1900 bestand der Wunsch, den Aufbau der Materie durch „einige wenige fundamentale und unteilbare Atome“ (Coughlan und Dood, S. 4) zu erklären. Da zu dieser Zeit rund 90 verschiedene Atomsorten bekannt waren, bestand eine Unsicherheit, ob es sich beim Atom tatsächlich um einen fundamentalen Baustein handeln kann.

In den 1890er Jahren untersucht J. J. Thomson in Cambridge, wie sich Gas in einem Glasrohr verhält, das an ein elektrisches Feld angelegt ist. Thomson füllte das Rohr zunächst mit gewöhnlichen Gasatomen und legte dann das elektrische Feld an. Am Ende konnte er beobachten, dass das Rohr mit einer Teilchenwolke, bestehend aus kleinen negativ geladenen Teilchen, später als Elektronen bezeichnet, gefüllt war. So kam er zu dem Schluss, dass diese Elektronen aus dem bisher als unteilbar angesehen Atom stammen müssen. Außerdem konnte Thomson schlussfolgern, dass der restliche Teil des Atoms um den gleichen Betrag elektrisch positiv geladen sein muss, da das Atom als Ganzes elektrisch neutral ist. (vgl. Coughlan und Dood, S. 5)

Nachdem Thomson weitere Experimente zum Verhältnis von Ladung und Masse des Elektrons und Restatoms durchgeführt hatte und feststellte, dass die Masse des Restatoms um Tausende größer ist als die Masse eines Elektrons, stellte er ein neues Atommodell auf, welches auch als Rosinenkuchenmodell bekannt ist: Kleine, elektrisch negativ geladene Elektronen (Rosinen) befinden sich in einem massereichen, elektrisch positiv geladenen Atomrumpf (Kuchen) eingebettet. (vgl. Coughlan und Dood, S. 5)

⁴ Herkunft Atom: lateinisch: atomus = unteilbar (vgl. <https://www.duden.de/rechtschreibung/Atom>, Stand: 07.06.2018).

Die Bestandteile des Atommodells von Thomson wurden weiter auf ihre Unteilbarkeit untersucht. Das Elektron gilt heute als Teilchen, welches unteilbar ist und keine Substruktur besitzt. (vgl. Kobel (u.a.), S. 12)

Eine Anpassung der Vorstellung des Aufbaus des Atoms erfolgte 1909 durch E. Rutherford, welcher in Manchester die innere Struktur des Atoms untersuchte. Hierzu beschoss er eine dünne Goldfolie mit α -Teilchen und beobachtete die Ablenkung dieser von ihrer ursprünglichen Flugbahn. Träfe das Atommodell von Thomson zu, so wären nur kleine Ablenkungen der Bahnen, also kleine Streuwinkel, zu erwarten. Das Experiment zeigte jedoch etwas anderes. Rutherford beobachtete teilweise sehr starke Ablenkungen der α -Teilchen, von denen manche in Richtung der Quelle zurückprallten. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass es im Inneren des Atoms eine sehr starke abstoßende Kraft geben muss. Die Elektronen können nicht die Ursache dieser Kraft sein, da sie eine deutlich geringere Masse als die α -Teilchen besitzen und deshalb deren Bahn nicht ausreichend stören. Rutherford fasste seine Beobachtung in einem neuen Atommodell, dem sogenannten Rutherford'schen Atommodell, zusammen: Das Atom hat einen Durchmesser von 10^{-10} m. Die gesamte positive elektrische Ladung befindet sich konzentriert in einem kleinen Kern mit einem Durchmesser von ca. 10^{-15} m in der Mitte des Atoms. Dieser macht 99,9% der Masse des Gesamtatoms aus. Elektronen umkreisen den Kern. (vgl. Coughlan und Dood, S. 8f.)

Die von Rutherford beschriebenen Atomkerne sind keine Elementarteilchen, da sie eine weitere Substruktur aufweisen. Dieses Ergebnis wurde durch Rutherford 1919 im Proton-Elektron-Modell des Atomkerns zusammengefasst. Er hatte weitere Experimente mit α -Strahlung durchgeführt, bei denen es gelang, aus Stickstoffkernen Wasserstoffkerne herauszuschlagen. Rutherford erkannte die Wasserstoffkerne als massiven Kernbaustein und bezeichnete sie als Protonen. Er beschrieb das neutrale Atom als Objekt, welches eine gewisse Anzahl A Protonen und A Elektronen besitzt, wobei sich die Protonen und $N = A - Z$ Elektronen im Kern befinden und die übrigen Z Elektronen die Atomhülle bilden. (vgl. Bleck-Neuhaus, S. 74)

Das Problem des Proton-Elektron-Modells bestand darin, dass es nicht gelang, Elektronen aus dem Atomkern herauszuschlagen. Des Weiteren ergaben sich Widersprüche zur Quantenmechanik. Außerdem konnte die Kraft, welche die Elektronen im Atomkern festhält, nirgends anders sichtbar gemacht werden. (vgl. Bleck-Neuhaus, S. 86 - 88)

Ebenfalls gelang es F. W. Aston mit Hilfe eines Massenspektrometers zu zeigen, dass die Atome eines Elementes nicht alle die gleiche Masse besitzen. Somit muss es unterschiedlich schwere Atome eines Elementes geben. Hierbei lässt sich der Unterschied der Massen immer in Größenordnung der Masse des Wasserstoffatoms

beschreiben. Rutherford vermutete, dass der Atomkern zwei Bausteine besitzt, die Protonen, welche für die elektrische Ladung der Kern verantwortlich sind, und Neutronen, welche die unterschiedlichen Massen von Atomen eines Elementes verursachen. (vgl. Lemmer, S. 30)

1932 konnte J. Chadwick nachweisen, dass die Vermutung Rutherfords richtig war. Chadwick beschoss das leichte Element Beryllium mit α -Teilchen. Hierbei entstand eine Strahlung, welche in der Nebelkammer keine Spur hinterlässt und demzufolge aus ungeladenen Teilchen bestehen muss. Jedoch konnten diese neutralen Teilchen aus Gasmolekülen ganze Kerne herausschlagen, welche dann eine Ionisationsspur hinterließen. Chadwick bestimmte daraus Energie und Impuls der neutralen Teilchen, indem er weitere Experimente mit anderen Elementen durchführte. Er konnte nachweisen, dass es sich um das von Rutherford vorausgesagte Neutron handelt, welches elektrisch neutral geladen ist und eine Masse in der Größenordnung des Protons besitzt. (vgl. Bleck-Neuhaus, S. 88)

Nachdem lange Zeit vermutet wurde, dass es sich bei Neutron und Proton ebenfalls um Elementarteilchen handelt, stellten Mitte der 1960er Jahre M. Gell-Mann und G. Zweig die Hypothese auf, dass auch diese Teilchen eine Substruktur besitzen. Sie nahmen an, dass die Nukleonen aus sogenannten Quarks zusammengesetzt sind. Grundlage dieser Hypothese war, dass versucht wurde, die Vielzahl der inzwischen gefundenen Hadronen⁵ zu strukturieren. Auffällig war ebenfalls, dass Hadronen immer wieder in Gruppen mit ähnlichen Massen auftreten. Des Weiteren besitzen Proton und Neutron mit einer Größe im Bereich von einem halben bis einem Femtometer eine relativ große Ausdehnung. (vgl. Resag, S. 97)

Der Nachweis der Hypothese von Gell-Mann und Zweig gelang in den 1970er Jahren in der Nähe von San Francisco am Stanford Linear Accelerator Center (SLAC). Ähnlich wie Rutherford die Goldfolie mit α -Teilchen beschoss, wurden nun Protonen mit Elektronen beschossen und die Winkelverteilung und Energien der gestreuten Elektronen untersucht. Sollten relativ viele Elektronen stark abgelenkt werden, ließe dies auf kleine, elektrisch geladene Objekte im Inneren des Protons schließen. Nur in der direkten Nähe solcher Objekte wären die elektrischen Felder stark genug, um große Ablenkung der Elektronen zu bewirken. Würde jedoch eine geringe Ablenkung der Elektronen beobachtet, wäre die elektrische Ladung im gesamten Volumen gleichmäßig verteilt. In diesem Fall wären keine ausreichend starken elektrischen Felder zur Ablenkung der Elektronen vorhanden. Es konnte der erste Fall beobachtet werden, somit wurde die Existenz von kleinen, elektrischen Teilchen im Protoneninneren gezeigt, welche zunächst als Partonen

⁵ Als Hadronen werden Teilchen bezeichnet, die der starken Wechselwirkung unterliegen. Die starke Wechselwirkung wird in Kapitel 4.3.3 eingeführt.

bezeichnet wurden. Bei der Untersuchung der Eigenschaften wurde festgestellt, dass diese mit denen des von Gell-Mann und Zweig beschriebenen Quarks übereinstimmen. (vgl. Resag, S. 98f.)

Bisher gelten Quarks als Teilchen, welche keine Substruktur besitzen. Sie werden, genau wie das Elektron, als Elementarteilchen bezeichnet. (Kobel (u.a.), S. 12)

Der Aufbau der Materie kann zusammenfassend mit Hilfe von Abbildung 4.1: Aufbau der Materie (Quelle: Kobel (u.a.), Abbildung 3, S. 13). Abbildung 4.1 dargestellt werden:

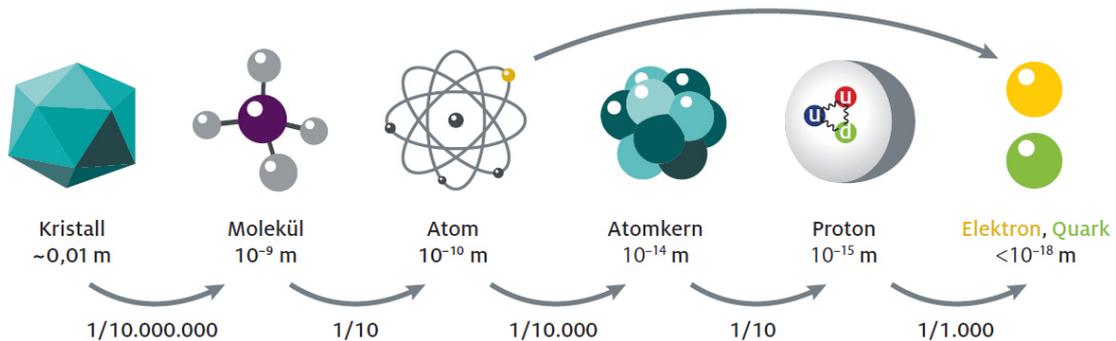


Abbildung 4.1: Aufbau der Materie (Quelle: Kobel (u.a.), Abbildung 3, S. 13).

4.3 Wechselwirkungen

Es gibt vier fundamentale Wechselwirkungen, mit welchen alle in der Natur ablaufenden Prozesse erklärt werden können. Dabei handelt es sich um die Gravitation, die elektromagnetische Wechselwirkung, die starke Wechselwirkung und die schwache Wechselwirkung. Diese vier Wechselwirkungen dienen unter anderem der Beschreibung von Kräften zwischen Teilchen, Umwandlungen von Teilchen sowie der Entstehung und Vernichtung von Teilchen. (vgl. Kobel (u.a.), S. 13)

In der klassischen Physik erfolgt die Beschreibung der elektromagnetischen Wechselwirkungen und der Gravitation mit Hilfe von Feldern. Aus der speziellen Relativitätstheorie und der Quantentheorie entwickelte sich die Vorstellung der Übertragung der Wechselwirkungen durch den Austausch von Botenteilchen. (vgl. Bethge und Schröder, S. 48f.)

Bei der Diskussion der einzelnen Wechselwirkungen in den folgenden Unterkapiteln soll jeweils auf einen möglichen Feldbegriff und die vermittelnden Botenteilchen eingegangen werden. Zunächst werden die Gravitation und die elektromagnetische Wechselwirkung vorgestellt, welche für den Alltag des Menschen eine offensichtliche Rolle spielen. In der Elementarteilchenphysik sind die starke und schwache Wechselwirkung wegen ihrer Reichweite ebenfalls von Bedeutung. Diese werden im Anschluss erläutert.

4.3.1 Gravitation

Bei der Gravitation handelt es sich um die aus dem Alltag bekannteste Wechselwirkung. Sie ist beispielsweise Ursache für das Fallen von Äpfeln oder der Bewegung von Planeten um die Sonne. (vgl. Coughlan und Dood, S. 51)

Klassisch kann die Gravitationskraft zwischen zwei Körpern der Massen m_1 und m_2 , welche sich in einem Abstand r befinden, mit der Formel

$$F_G = -G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (4.1)$$

beschrieben werden. Hierbei steht das G für die Gravitationskonstante. Das Gravitationsgesetz nach Newton besagt, dass die Kraft zwischen zwei Körpern direkt proportional zu deren Massen und indirekt proportional zum Quadrat ihres Abstandes ist. (vgl. Resag, S. 14f.)

Die Besonderheit der Gravitation ist, dass sie ausschließlich von den Massen der Körper abhängig ist. Alle anderen Eigenschaften haben keinen Einfluss. Weiterhin hat die Gravitation stets eine anziehende Wirkung zwischen zwei Körpern zur Folge, da die Masse immer eine positive physikalische Größe ist. Des Weiteren ist die Gravitationskraft die einzige Kraft, welche zwischen elektrisch neutralen Körpern wirkt und eine große, sogar unendliche Reichweite besitzt, weshalb sie aus der Alltagswelt sehr vertraut ist. Auf der Ebene der Teilchenphysik kann die Gravitationskraft aufgrund der geringen Massen der Elementarteilchen vernachlässigt werden. (vgl. Coughlan und Dodd, S. 51)

4.3.2 Elektromagnetische Wechselwirkung

Die elektromagnetische Wechselwirkung ist neben der Gravitation ebenfalls aus der Alltagswelt bekannt, da sie wegen ihrer unendlichen Reichweite auch makroskopisch erfahrbar ist.

Mit Hilfe der elektromagnetischen Wechselwirkung kann erklärt werden, wieso Elektronen an den Atomkern gebunden sind. Ursache der elektromagnetischen Wechselwirkung ist die elektrische Ladung (siehe Kapitel 4.4.1) von Teilchen, für welche gilt: $Q = Z \cdot e$. Hierbei ist e die Elementarladung und Z die elektrische Ladungszahl. Die elektrische Ladungszahl kann sowohl positive als auch negative Werte annehmen, wobei die Bezeichnungen positiv und negativ willkürlich gewählt sind. Im Gegensatz zur Gravitation können sich zwei Teilchen aufgrund der elektromagnetischen Wechselwirkung nicht nur anziehen, sondern auch abstoßen. Zwei Teilchen erfahren eine Anziehung, wenn die Vorzeichen ihrer elektrischen Ladungszahlen verschieden sind, und eine Abstoßung bei gleichem Vorzeichen. (vgl. Coughlan und Dood, S. 54)

Analog zum Gravitationsgesetz kann ein elektrisches Kraftgesetz, besser bekannt als Coulombsches Gesetz, zwischen zwei Teilchen mit den elektrischen Ladungszahlen Z_1 und Z_2 , die sich im Abstand r voneinander befinden, formuliert werden:

$$F_C = \frac{e^2}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{Z_1 \cdot Z_2}{r^2} = \hbar \cdot c \cdot \alpha_{em} \cdot \frac{Z_1 \cdot Z_2}{r^2}, \quad (4.2)$$

Wobei folgende Formelzeichen verwendet werden: e für Elementarladung, ε_0 für die elektrische Feldkonstante, \hbar als Planck'sches Wirkungsquantum, c für die Lichtgeschwindigkeit und α_{em} für den Kopplungsparameter der elektromagnetischen Wechselwirkung.

Die zweite Formulierung des Gesetzes ermöglicht einen Vergleich zwischen den Stärken der Wechselwirkungen. Die einheitenlose Größe $\alpha_{em} = \frac{e^2}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \hbar \cdot c} \approx \frac{1}{137}$ wird als Kopplungsparameter der elektromagnetischen Wechselwirkung bezeichnet und gibt die Stärke der elektromagnetischen Wechselwirkung an. (vgl. Kobel (u.a.), S. 16)

Ein Vergleich der Stärke der Gravitationskraft mit der Stärke der elektromagnetischen Kraft liefert für ein Elektron und ein Proton, welche sich in einem Abstand von einem Angström zu einander befinden⁶, das Verhältnis $\frac{F_C}{F_G} \approx 1 \cdot 10^{39}$. Daraus ist abzuleiten, dass die Gravitationskraft für das Wasserstoffatom vernachlässigbar ist. (vgl. Resag, S. 17f.)

Zur Beschreibung von elektromagnetischen Phänomenen kann das elektrische Feld \vec{E} als abstraktes mathematisches Hilfsmittel eingeführt werden. Dieses gibt an jedem Punkt des Raumes an, wie groß die elektrische Kraft \vec{F}_C auf einen dort befindlichen Probekörper der Ladung q ist und in welche Richtung diese wirkt. Es gilt dann: $\vec{F}_C = q \cdot \vec{E}$. (vgl. Resag, S. 17)

Die zu Beginn des 20. Jahrhunderts entwickelte Quantentheorie besagt, dass Energie und Impuls nicht kontinuierlich, sondern in diskreten Quanten vorkommen, welche als Teilchen identifiziert werden können. Somit lässt sich das Feld quantisieren und den Feldern können konkrete Botenteilchen zugeordnet werden. Das Botenteilchen der elektromagnetischen Wechselwirkung ist das Photon. Bei diesem handelt es sich um ein masseloses Elementarteilchen, das keine Ladung besitzt. (vgl. Bethge und Schröder, S. 48f.)

Eine abstoßende Wechselwirkung zweier Teilchen ist unter Verwendung von Botenteilchen auf folgende Weise vorstellbar: Zwei Personen (entsprechen den Teilchen) stehen sich je auf einem Boot gegenüber und werfen sich einen Ball (entspricht dem Botenteilchen) zu. Aufgrund der Impulserhaltung bewegen sich die Boote mit den Personen auseinander. Das Analogon für eine anziehende Wechselwirkung ist, wenn die

⁶ Dies entspricht in etwa den Abstandverhältnissen im Wasserstoffatom.

Personen sich den Rücken zueinander und einen Bumerang zuwerfen. Sie bewegen sich aufeinander zu. Die Analogien sind in Abbildung 4.2 und Abbildung 4.3 dargestellt. (vgl. Kobel (u.a.), S. 39)

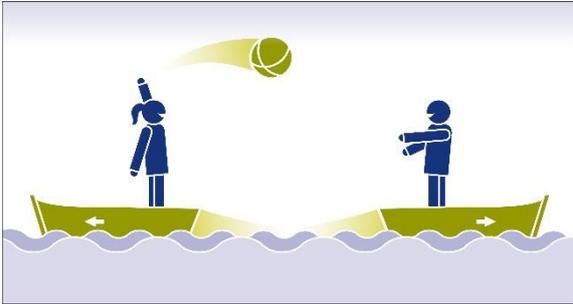


Abbildung 4.2: Analogie abstoßende Wechselwirkung (Quelle: Kobel (u.a.), Abbildung 25, S. 39).

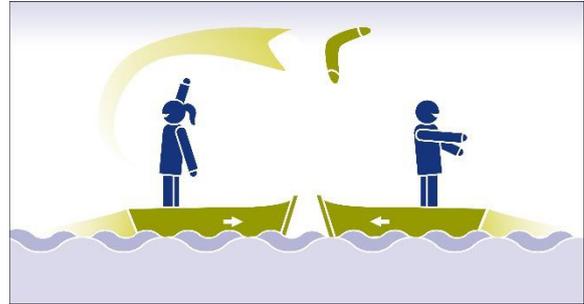


Abbildung 4.3: Analogie abstoßende Wechselwirkung (Quelle: Kobel (u.a.), Abbildung 26, S. 39).

4.3.3 Starke Wechselwirkung

Wie aus Kapitel 4.1 bekannt, entdeckte Chadwick 1932 das Neutron als einen der Bestandteile des Atomkerns neben dem Proton. Hierbei stellt sich die Frage, wie Neutronen und Protonen als Kern zusammenhalten können, wenn sich die Protonen aufgrund der elektromagnetischen Wechselwirkung abstoßen und die Gravitation im Vergleich zu dieser sehr schwach ist. (vgl. Coughlan und Dodd, S. 56)

Diese gleiche Frage lässt sich auch für das Proton und das Neutron, welche aus Quarks zusammengesetzt sind, stellen. Was hält die beiden Up-Quarks bzw. Down-Quarks zusammen, obwohl sie die gleiche elektrische Ladung besitzen und sich aufgrund der elektromagnetischen Wechselwirkung abstoßen müssten? (vgl. Kobel (u.a.), S. 17)

Beide Fragestellungen lassen die Vermutung zu, dass es noch eine weitere Wechselwirkung geben muss, die auf einer sehr kurzen Längenskala stärker ist als die elektromagnetische Wechselwirkung. Des Weiteren muss diese Wechselwirkung unabhängig von der elektrischen Ladungszahl sein, da sie sowohl Neutronen und Protonen im Kern bindet. Hierbei wird von der starken Wechselwirkung gesprochen (vgl. Coughlan und Dood, S. 56f.)

Wie in Kapitel 4.3.2 dargestellt, ist die Ursache der elektromagnetischen Wechselwirkung die elektrische Ladung. Analog dazu ist die Ursache der starken Wechselwirkung die sogenannte starke Ladung (siehe Kapitel 4.4.3). Da Quarks diese starke Ladung besitzen, kann die Bindung von Atomkernen hiermit erklärt werden. Ähnlich wie bei der Molekülbindung von elektrisch neutralen Teilchen, „teilen“ sich Protonen und Neutronen in Atomkernen kurzzeitig gemeinsame Quarks. Für kleine Abstände, in der Größenordnung der Abstände zwischen zwei Nukleonen, ist diese Quarkpaarbindung stärker als die

elektrische Abstoßung, welche zwischen Protonen aufgrund der elektromagnetischen Wechselwirkung vorliegt. Dass dies der Fall ist, ist auch an der Stärke der starken Wechselwirkung, welche durch den abstandsabhängigen Kopplungsparameter $\alpha_s(0,2\text{ fm}) \approx \frac{1}{2}$, ..., $\alpha_s(0,001\text{ fm}) = \frac{1}{10}$ angegeben wird, sichtbar. Dieser ist größer als der Kopplungsparameter der elektromagnetischen Wechselwirkung $\alpha_{em} \approx \frac{1}{137}$. (vgl. Kobel (u.a.), S. 17f.)

Auch für die starke Wechselwirkung kann ein Kraftgesetz formuliert werden. Für kleine Abstände bis zu 0,001fm lautet dieses analog zu den Kraftgesetzen der anderen Wechselwirkungen für zwei Teilchen, welche sich im Abstand r befinden und die starken Ladungen \vec{C}_1 und \vec{C}_2 besitzen:

$$F_S = \hbar \cdot c \cdot \alpha_s \cdot \frac{\vec{C}_1 \cdot \vec{C}_2}{r^2}, \quad (4.3)$$

wobei \hbar das Planck'sche Wirkungsquantum, c die Lichtgeschwindigkeit und α_s den Kopplungsparameter der starken Wechselwirkung bezeichnet.

Für größere Abstände wird noch ein Summand hinzugefügt. Dies hat zur Folge, dass mit zunehmenden Abständen zweier Teilchen, die der starken Wechselwirkung unterworfen sind, die Kraft nicht gegen Null sinkt, wie es bei den bisher vorgestellten Wechselwirkungen der Fall ist. Ab einem Abstand von 2fm hat die starke Kraft einen konstanten Wert von $F_S = -930 \frac{\text{MeV}}{\text{fm}} = -150\text{ kN}$. Dies hat zur Folge, dass die zwei Quarks nicht beliebig weit voneinander entfernt werden können. Dieses Phänomen wird Confinement genannt. Werden zwei Quarks immer weiter auseinandergezogen, schrumpft das Feld zu einem Schlauch zusammen, welcher umso ausgeprägter wird, je weiter die Quarks auseinandergezogen werden. Wegen der zunehmenden Länge wird immer mehr Energie gespeichert, welche irgendwann zur Entstehung neuer Quark- Anti-Quark- Paare ausreicht. Der Schlauch reißt auseinander und an den freien Enden befestigen sich die neu entstandenen Quarks. (vgl. Resag, S. 108, 113)

Eine klassische Feldliniendarstellung der starken Kraft ist analog zur elektromagnetischen Kraft nicht möglich, da die starke Kraft ab einem gewissen Abstand konstant bleibt und nicht (wie die Gravitationskraft oder die elektrische Kraft) quadratisch abnimmt. Somit müsste die Dichte der Feldlinien ab diesem Abstand (ca. 2fm) konstant bleiben, was bedeutet, dass neue Feldlinien entstehen müssten. Dies widerspricht den Eigenschaften des klassischen Feldlinienmodells. (vgl. Kobel (u.a.), S. 45)

Quarks und Anti-Quarks können mit Hilfe von Gluonen als Botenteilchen ihre starke Ladung ändern. Die Quarks werden in Dreiergruppen, sogenannten Triplets, zusammengefasst. Nur innerhalb dieser Triplets ist eine Umwandlung möglich. Es gibt acht verschiedene Gluonen, welche alle masselos sind und eine starke Ladung tragen. Da die

Botenteilchen selbst die Ladung tragen, nehmen auch sie an der starken Wechselwirkung teil und ziehen sich beispielsweise an oder emittieren weitere Gluonen. Dies ist der Grund, weshalb die starke Wechselwirkung eine so kurze Reichweite hat. (vgl. Demtröder, S. 196; Bethge und Schröder, S. 267)

4.3.4 Schwache Wechselwirkung

Eine Eigenschaft des Neutrons ist es, mit einer Halbwertszeit von rund 10 Minuten in ein Proton, ein Elektron und ein Anti-Neutrino spontan zu zerfallen. Dieser Prozess kann weder mit der starken⁷ noch mit der elektromagnetischen Wechselwirkung begründet werden. Verantwortlich ist die vierte fundamentale Wechselwirkung, die schwache Wechselwirkung. Diese ist auch die Ursache der β -Umwandlung, bei der folgender Prozess abläuft:



Ein Proton zerfällt in ein Neutron und Proton unter der Aussendung eines Neutrinos. (vgl. Coughlan und Dodd, S. 60f.)

Ursache der schwachen Wechselwirkung ist die schwache Ladung, welche alle Elementarteilchen der Materie besitzen. Das bedeutet, dass alle Materieteilchen an Prozessen der schwachen Wechselwirkung teilnehmen können.

Wie der Name sagt, ist die schwache Wechselwirkung im Vergleich zur starken Wechselwirkung schwächer, was sich auch am Kopplungsparameter $\alpha_w = \frac{1}{30}$ ablesen lässt. Die Reichweite der schwachen Wechselwirkung ist mit $2 \cdot 10^{-18} \text{ m}$ noch geringer als die der starken Wechselwirkung. Aufgrund dieser geringen Reichweite werden durch die schwache Wechselwirkung keine gebundenen Zustände gebildet. Die schwache Wechselwirkung ist verantwortlich für die Umwandlung von Teilchen in andere Teilchen. Die Teilchenpaare, welche an einer möglichen Umwandlung teilnehmen, sind in sogenannten Dupletts zusammengefasst. Wegen der geringen Reichweite ist eine klassische Feldliniendarstellung wie bei der starken Wechselwirkung nicht möglich, da die Feldlinien plötzlich enden müssten. (vgl. Kobel (u.a.), S. 21, 40f.)

Die schwache Wechselwirkung wird durch drei verschiedene Botenteilchen, W^+ -, W^- - und Z -Teilchen, vermittelt. Diese tragen eine Masse, wodurch die begrenzte Reichweite der schwachen Wechselwirkung aus quantenmechanischer Sicht begründbar ist. Die W -Teilchen besitzen eine elektrische und eine schwache Ladung. (vgl. Kobel (u.a.), 40f.)

⁷ Die Dauer des beschriebenen Prozesses ist deutlich höher als Prozesse der starken Wechselwirkung durchschnittlich andauern. (vgl. Coughlan und Dodd, S. 60)

4.4 Ladungen

Nachdem die vier fundamentalen Wechselwirkungen vorgestellt wurden, soll nun auf die elektrische, starke und schwache Ladung eingegangen werden. Diese drei Ladungen sind neben der Masse charakteristische Teilcheneigenschaften, d. h. jeder Kombination dieser vier Größen kann eindeutig ein Teilchen zugeordnet werden. Des Weiteren gilt für alle Teilchen, dass sie an der elektromagnetischen, starken bzw. schwachen Wechselwirkung teilnehmen, wenn sie eine von Null verschiedene elektrische, starke bzw. schwache Ladungszahl besitzen. Wie in Kapitel 4.3 beschrieben, ist demzufolge die jeweilige Ladung Ursache der zugehörigen Wechselwirkung.

Folgende Eigenschaften haben alle drei Ladungen gemeinsam: Zum Ersten treten sie gequantelt auf, das bedeutet, dass jede Ladung nur konkrete Werte annehmen kann und keine kontinuierlichen Verteilungen möglich sind. Außerdem haben diese Werte äquidistante Abstände zueinander. Ladungen sind ebenfalls additive Größen. Dies meint, dass die Ladung eines Gesamtsystems durch Addition der Einzelladungen berechnet werden kann. Auf die Teilchenphysik bezogen heißt dies, dass sich die Ladung eines zusammengesetzten Teilchens aus der Summe der Ladungen der zugehörigen Elementarteilchen ergibt. Des Weiteren können nur Prozesse ablaufen, bei denen Ladungserhaltung gilt, das heißt, dass die Summe jeder Ladungszahl vor und nach einem Prozess gleich ist. (vgl. Kobel (u.a.), S. 27)

Da die Masse die genannten Eigenschaften von Ladungen nicht erfüllt, beispielsweise kann sie beliebige Werte annehmen, handelt es sich nicht um die Ladung der Gravitation. Im vorliegenden Kapitel sollen nur die elektrische, starke und schwache Ladung vorgestellt werden, indem auf die genannten Eigenschaften jeder Ladung konkret eingegangen wird. Die Ladung eines Gesamtsystems als Summe von Einzelladungen wird jeweils am Beispiel des Protons betrachtet. Außerdem wird darauf eingegangen, welche Teilchen welche Ladungen besitzen.

4.4.1 Elektrische Ladung

Bei der elektrischen Ladung handelt es sich um die bekannteste der drei Ladungen. Wie in Kapitel 4.3.2 beschrieben, gilt für die elektrische Ladung eines Teilchens $Q = Z \cdot e$, mit der Elementarladung e und der elektrischen Ladungszahl Z .

Die erste Messung der Elementarladung e wurde im Millikan-Versuch 1909 vorgenommen. Millikan beobachtete geladene Öltröpfchen unter dem Mikroskop und stellte fest, dass alle beobachteten elektrischen Ladungen Vielfache der heute als Elementarladung bekannten Ladung $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ sind. (vgl. Ne'eman und Kirsh, S. 4)

Alle beobachtbaren Teilchen besitzen eine Ladung, welche einem Vielfachen der Elementarladung e entspricht. Heute ist bekannt, dass es mit den Quarks Teilchen gibt, welche eine elektrische Ladung von $Q = \mp \frac{1}{3}e$ oder $Q = \pm \frac{2}{3}e$ besitzen. Diese treten jedoch nicht einzeln auf. Bis heute sind nur einzeln auftretende Teilchen mit einer insgesamt ganzzahligen elektrischen Ladungszahl Z bekannt. Die Quantelung der elektrischen Ladung, welche in der Abbildung 4.4 für die Elementarteilchen der Materie dargestellt ist, weist jeweils Abstände von $Z = \frac{1}{3}$ auf.

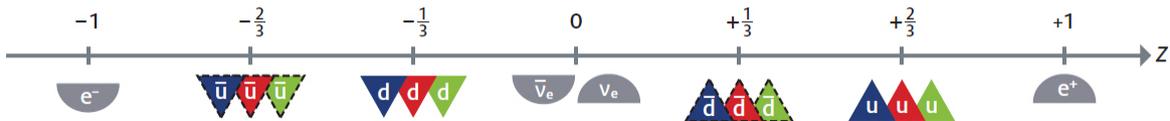


Abbildung 4.4: elektrische Ladungszahlen Z von Elektron, Elektron-Neutrino, Up-Quark, Down-Quark und den jeweiligen Anti-Teilchen (Quelle: Kobel (u.a.), Abbildung 14, S. 28).

Das Proton ist aus zwei Up- und einem Down-Quark zusammengesetzt. Somit ergibt sich als elektrische Ladungszahl des Protons:

$$Z_{Proton} = Z_{Up-Quark} + Z_{Up-Quark} + Z_{Down-Quark} = \frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = 1 \quad (4.5)$$

Somit besitzt das Proton eine Ladung $Q = 1e$, einer Elementarladung.

In Kapitel 4.3.2 wurde die anziehende und abstoßende Wirkung von Teilchen aufgrund ihrer elektrischen Ladung beschrieben. Da nun bekannt ist, dass Ladungserhaltung gelten muss, kann ebenfalls begründet werden, dass Prozesse möglich sind, bei denen sich zwei Teilchen mit entgegengesetzten, betragsmäßig gleichen Ladungszahlen zu einem elektrischen neutralen Teilchen vernichten. Dieser Prozess wird als Paarvernichtung bezeichnet⁸. Des Weiteren ist der umgekehrte Prozess der Paarerzeugung möglich, bei welchem aus einem elektrisch neutralen Teilchen zwei Teilchen mit betragsmäßig gleicher, entgegengesetzter elektrischer Ladung entstehen.⁹ (vgl. Kobel (u.a.), S. 28)

4.4.2 Schwache Ladung

Alle Elementarteilchen der Materie nehmen an der schwachen Wechselwirkung teil, was eine Besonderheit im Vergleich zur elektromagnetischen und starken Wechselwirkung ist. Im Rahmen des Standardmodells der Teilchenphysik wird die schwache Wechselwirkung mit der elektromagnetischen Wechselwirkung zur Theorie der sogenannten elektroschwachen Wechselwirkung vereinheitlicht. (vgl. Povh (u.a.), S. 166)

⁸ Ein Beispiel ist die Umwandlung von einem Elektron und einem Positron in zwei Photonen.

⁹ Natürlich ist die Paarerzeugung und -vernichtung nicht auf alle Teilchen beliebig anwendbar. Es müssen noch weitere Erhaltungssätze (z.B. Energieerhaltung oder Impulserhaltung) erfüllt sein.

Alle Materie- und Anti-Materieteilchen besitzen eine schwache Ladungszahl I , welche der dritten Komponente des schwachen Isospins entspricht. Diese nimmt für die Elementarteilchen der Materie die Werte $I = \frac{1}{2}$ oder $I = -\frac{1}{2}$ an.¹⁰

In Abbildung 4.5 sind die Werte für die verschiedenen Teilchen dargestellt.

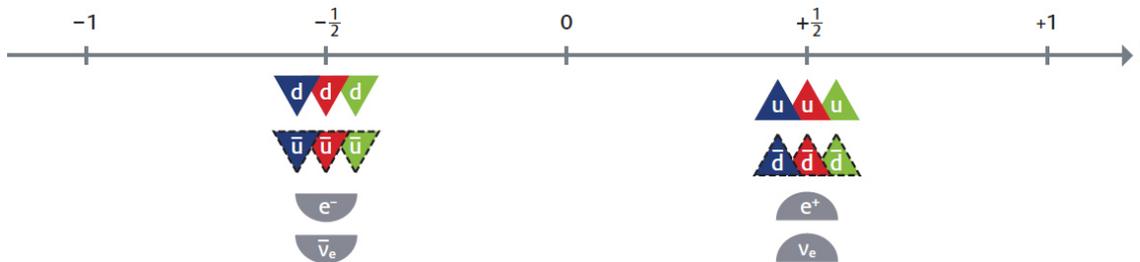


Abbildung 4.5: schwache Ladungszahlen I von Elektron, Elektron-Neutrino, Up-Quark, Down-Quark und den jeweiligen Anti-Teilchen (Quelle: Kobel (u.a.), Abbildung 1, S. 29).

Für das Proton ergibt sich als schwache Ladungszahl:

$$I_{\text{Proton}} = I_{Up\text{-Quark}} + I_{Up\text{-Quark}} + I_{Down\text{-Quark}} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} - \frac{1}{2} = \frac{1}{2} \quad (4.6)$$

Wie in Kapitel 4.3.4 dargestellt, ist die schwache Wechselwirkung zu schwach um gebundene Zustände zu erzeugen, ist jedoch für Streuung und Teilchenumwandlungen verantwortlich, wie beispielsweise bei der β -Umwandlung. Hier muss jeweils die Erhaltung der schwachen und elektrischen (und auch starken) Ladung erfüllt sein. (vgl. Kobel (u.a.), S. 29 - 31)

4.4.3 Starke Ladung

Wie in Kapitel 4.3.3 beschrieben kann mit Hilfe der starken Wechselwirkung erklärt werden, dass zwei Up-Quarks und ein Down-Quark als Proton zusammenhalten. In Experimenten wurde festgestellt, dass alle drei Quarks eine starke Ladung mit dem gleichen Betrag besitzen. Außerdem ist bekannt, dass das Proton insgesamt keine starke Ladung besitzt. Somit müssen sich die drei starken Ladungen der Quarks zu „Null“ addieren. Weiterhin ist bekannt, dass sich drei Zahlen mit gleichem Betrag nicht zu Null addieren können. Hieraus kann abgeleitet werden, dass die starke Ladung nicht wie die elektrische Ladung oder schwache Ladung zwei Ausprägungen (eine positive und eine negative) hat, sondern ein Vektor ist. Die starke Ladung ist eine Größe, die einen zweidimensionalen Vektorcharakter besitzt. Sie wird mit \vec{C} bezeichnet. (vgl. Resag, S. 109)

¹⁰ Hierbei ist zu beachten, dass diese Betrachtung nur für linkshändige Fermionen gilt (vgl. Berger, S. 401-406). In der vorliegenden Arbeit wird im Folgenden nur noch diese Art von Teilchen betrachtet.

Die unterschiedlichen Ausprägungen werden mit den Farben rot, grün und blau beschrieben, weshalb die starke Ladung auch als Farbladung bezeichnet wird. Die Anordnung der Farben erfolgt als Vektoren auf einem zweidimensionalen Gitter mit drei Achsen mit je einem Winkel von 120° .

Quarks sind die einzigen Materieteilchen, die einen Farbladungsvektor besitzen. Dieser hat einen Betrag von $\sqrt{\frac{1}{3}}$.

Quarks können die Farbladung rot, grün, blau sowie anti-rot, anti-grün oder anti-blau besitzen. Die möglichen Farbladungen der Quarks und das zu Grunde liegende Farbgitter sind in Abbildung 4.6 dargestellt.

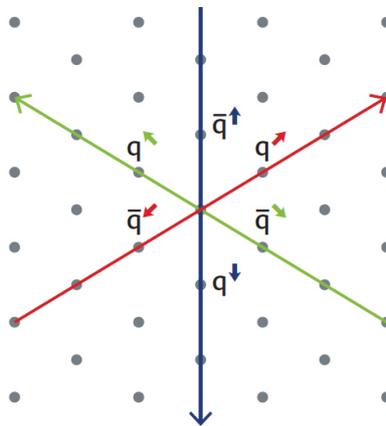


Abbildung 4.6: Farbladung der Quarks auf dem Farbgitter (Quelle: Kobel (u.a.), Abbildung 20, S. 33).

Neben den Quarks besitzen auch die Gluonen eine Farbladung. Diese setzt sich aus einer Kombination verschiedener Farbladungsvektoren zusammen.

Alle aus Quarks zusammengesetzten Teilchen besitzen insgesamt keine Farbladung, was dem Koordinatenursprung im Farbgitter entspricht. Dies wird erreicht, wenn zwei Quarks mit einer Farbladung und der jeweiligen Anti-Farbladung oder drei Quarks mit drei verschiedenen Farbladungen bzw. Anti-Farbladungen kombiniert werden. (vgl. Kobel (u.a.), S. 32f.)

Auf das Proton bezogen heißt dies, dass es nur aus drei Quark mit unterschiedlicher Farbladung zusammengesetzt sein kann.¹¹ Beispielsweise wäre folgenden Variante möglich:

¹¹ Hierbei ist zu beachten, dass es im Proton und auch anderen aus Quarks zusammengesetzten Teilchen, neben den genannten Quarks ebenfalls virtuelle Gluonen gibt. Des Weiteren sind virtuelle Quarks und virtuelle Anti-Quarks vorhanden, die aus diesen Gluonen entstehen und wieder in Gluonen zerstrahlen. Somit stellt das beschriebene Bild des Protons, zusammengesetzt aus drei Quarks, eine Vereinfachung dar. (vgl. Bleck-Neuhaus, S. 622)

$$\vec{C}_{Proton} = \vec{C}_{Up-Quark} + \vec{C}_{Up-Quark} + \vec{C}_{Down-Quark} = rot + blau + grün = \vec{0} \quad (4.7)$$

Die Theorie, die die starke Wechselwirkung und starke Ladung beschreibt wird Quantenchromodynamik (QCD) genannt. (vgl. Coughlan und Dodd, S. 181)

4.5 Elementarteilchen

In Kapitel 4.1 wurde die Suche nach den elementaren Teilchen, aus denen die Materie aufgebaut ist, beschrieben. Es handelt sich hierbei um sogenannte Elementarteilchen, womit „sehr kleine ($< 10^{-18}m$) Konstituenten“ gemeint sind, welche als „punktförmig“ beschrieben werden können (Berger, S. 3). Nach Bleck-Neuhaus können Elementarteilchen als Teilchen beschrieben werden, für die weder „eine endliche räumliche Ausdehnung noch irgendeine andere innere Struktur“ (Bleck-Neuhaus, S. 678) erkennbar ist.

Die heute bekannten Elementarteilchen, aus welchen sich die umgebende Materie zusammensetzt, sind in der sogenannten ersten Generation zusammengefasst. Hierbei handelt es sich um das Elektron, drei verschiedenfarbige Up-Quarks und drei verschiedenfarbige Down-Quarks. Als weitere Teilchen kommen das Neutrino, der schwache Wechselwirkungspartner des Elektrons hinzu, sowie die Botenteilchen der elektromagnetischen, der starken und der schwachen Wechselwirkungen (Photon, Gluonen, W^{\pm} -Teilchen und Z-Teilchen) und das sogenannte Higgs-Teilchen. Neben den soeben genannten Teilchen gibt es noch weitere Elementarteilchen, die nicht in der uns umgebenden stabilen Materie vorkommen.

Die genannten Teilchen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer unterschiedlichen Kombination von elektrischer, schwacher und starker Ladung. Somit stellt die Ladung von Teilchen ein mögliches Ordnungskriterium dieser dar.

Zur Unterscheidung aller bisher gefundenen Elementarteilchen reicht die Teilcheneigenschaft der Ladungen nicht. So besitzen die drei Elementarteilchen Elektron, Myon und Tauon folgende gleiche Ladungskombination: $Z = -1$, $I = -\frac{1}{2}$ und $\vec{C} = \vec{0}$. Um diese drei Teilchen zu unterscheiden muss als weiteres Ordnungskriterium die Masse herangezogen werden. Es gilt $m_e = 0,511 \frac{\text{MeV}}{c^2}$. Mit $m_{\mu} = 106 \frac{\text{MeV}}{c^2}$ handelt es sich beim Myon um den „schweren Bruder“ des Elektrons. Elektron und Myon haben einen noch „schwereren Bruder“, das Tauon mit $m_{\tau} = 1777 \frac{\text{MeV}}{c^2}$.

Analog dazu lassen sich für die Up-Quarks, Down-Quarks und Neutrinos schwere Teilchengeschwister finden, welche die gleichen Ladungen besitzen. Je nach Masse wird von der 1., 2. oder 3. Teilchengeneration gesprochen. Abbildung 4.7 fasst die Elementarteilchen nach ihren Ladungen und ihren Massen geordnet zusammen. Es ist

weiterhin erkennbar, welchen Wechselwirkungen die unterschiedlichen Elementarteilchen unterliegen.

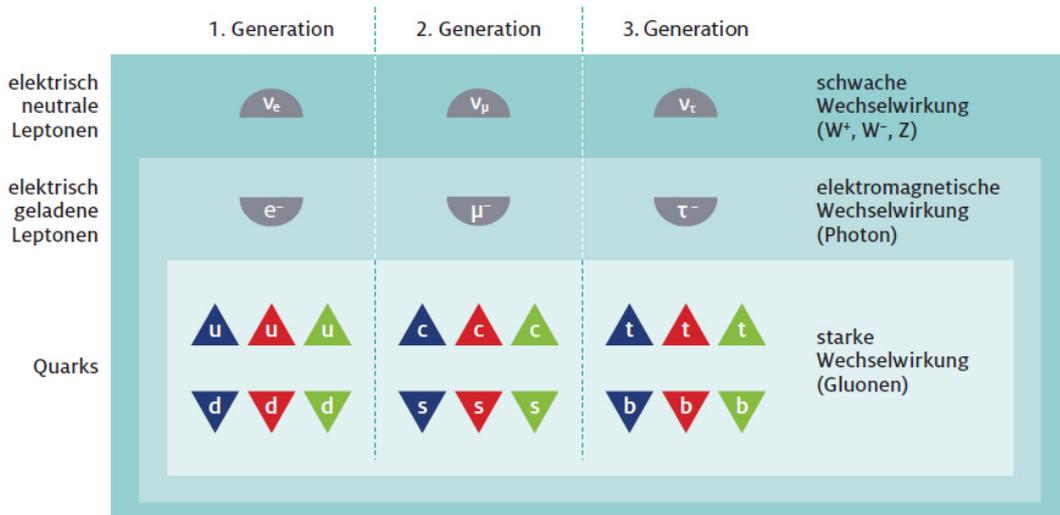


Abbildung 4.7: Übersicht Generationen der elementaren Materieteilchen (Quelle: Kobel (u.a.), Abbildung 52, S. 64).

Zu jedem der dargestellten Teilchen existiert ein weiteres Teilchen mit der gleichen Masse und entgegengesetzten Ladungen. Sie werden als Anti-Teilchen bezeichnet. Für diese lässt sich eine analoge Ordnungsstruktur finden. Diese ist in Abbildung 4.8 dargestellt.

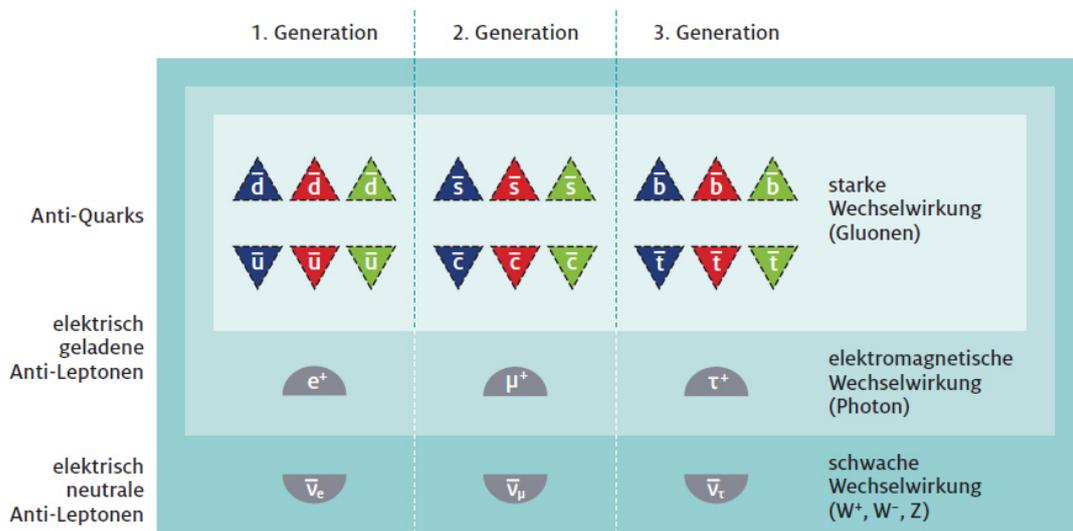


Abbildung 4.8: Übersicht Generationen der Anti-Materieteilchen. (Quelle: Kobel (u.a.), Abbildung 54, S. 65).

Zwischen den (Anti-)Teilchen finden Wechselwirkungen statt, welche, wie in Kapitel 4.3 vorgestellt, durch sogenannte Botenteilchen (Photon, acht Gluonen, W^{+-} , Z -Teilchen) vermittelt werden. Auch bei diesen handelt es sich um Elementarteilchen.

Als weiteres Elementarteilchen ist das 2012 nachgewiesene Higgs-Teilchen zu nennen.¹² Dieses vervollständigt die Liste der Elementarteilchen des Standardmodells und dessen mathematische Beschreibung.

In Abbildung 4.9 sind alle heute bekannten Elementarteilchen zusammenfassend dargestellt.

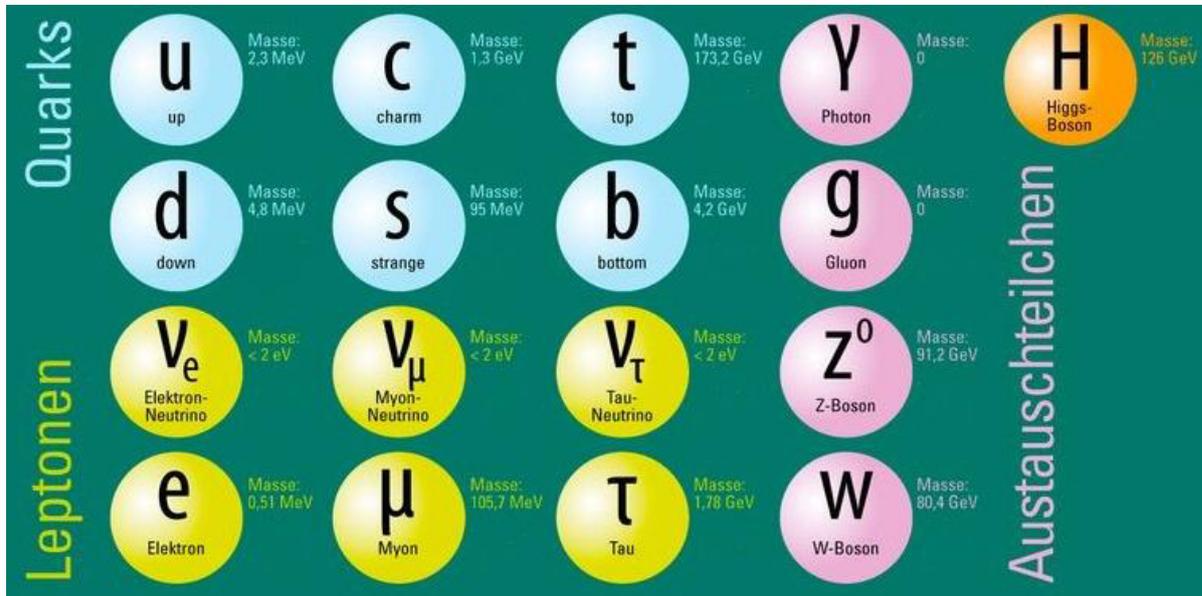


Abbildung 4.9: Übersicht Elementarteilchen (Quelle: Max Planck Institut für Physik München, <https://www.mpp.mpg.de/lernen-und-arbeiten/lehrveranstaltungen/vorlesungstests-des-standardmodells-der-teilchenphysik-iii/>, Stand: 12.03.2018, angepasst).

4.6 Standardmodell der Teilchenphysik

Als Standardmodell der Teilchenphysik wird eine Theorie bezeichnet, welche die Theorien der Elektroschwachen Wechselwirkung und der Quantenchromodynamik zusammenfasst. Somit stellt das Standardmodell der Teilchen insgesamt eine Vereinigung der elektromagnetischen, starken und schwachen Wechselwirkung dar. (vgl. Coughlan und Dood, S. 241)

Durch das Standardmodell der Teilchenphysik gelingt es von einer „unvorstellbar einfach[en] Grundlage aus eine nahezu vollständige und quantitative Beschreibung der elementaren Erscheinungen in der materiellen Welt“ (Bleck-Neuhaus, S. 633) mit Ausnahme der Gravitation zu geben. Es stellt eine Theorie dar, die alle bisher bekannten Teilchen-Wechselwirkungen mit Ausnahme der Gravitation, beschreibt. (vgl. Griffiths, S. 3)

¹² Weitere Beschreibungen zum Higgs-Teilchen und Higgs-Feld sind beispielsweise unter folgendem Link zu finden: <https://www.weltderphysik.de/gebiet/teilchen/bausteine/higgs/>.

Die drei Grundpfeiler des Standardmodells der Teilchenphysik sind Elementarteilchen, Wechselwirkungen und Ladungen, welche in Kapitel 4.3 bis 4.5 vorgestellt wurden. Diese drei Basiskonzepte sind untrennbar miteinander verbunden, wechselwirken miteinander und bedingen sich gegenseitig. Deren Verbindungen sind in Abbildung 4.10 dargestellt.

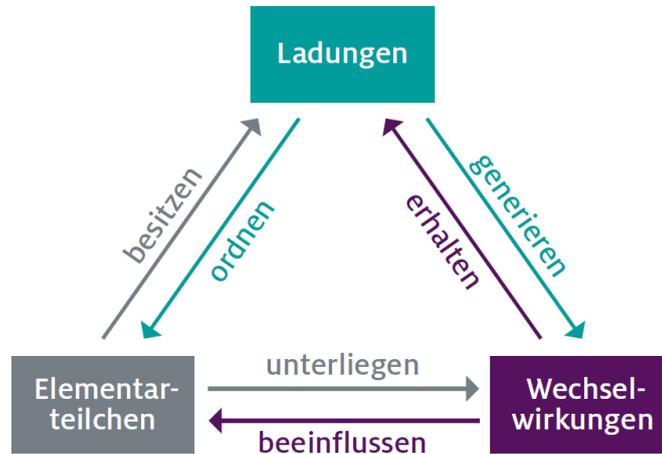


Abbildung 4.10: Grundpfeiler des Standardmodells der Teilchenphysik (Quelle: Kobel (u.a.), Abbildung 13, S. 27).

Das Standardmodell der Teilchenphysik wurde seit 1978 in Experimenten immer wieder bestätigt. (vgl. Griffiths, S. 4) Es scheint abgeschlossen dahingehend, dass es keine weiteren Generationen von Quarks oder Leptonen¹³ zu geben scheint. Außerdem deutet nichts darauf hin, dass es, wird die Gravitation eingeschlossen, eine weitere Wechselwirkung gibt. (vgl. Bleck-Neuhaus, S. 637)

Gleichzeitig gibt es Fragen, worauf das Standardmodell bisher keine Antwort liefert. Hierzu zählt beispielsweise, ob es noch fundamentalere Teilchen gibt, die bisher nicht entdeckt worden. Auch ist der Grund für die Anzahl und Eigenschaften der bisher gefundenen Teilchen nicht bekannt. Des Weiteren besteht die Frage, ob die Gravitation sich als vierte fundamentale Wechselwirkung in die Theorie des Standardmodells einbinden lässt. (vgl. Bleck-Neuhaus, S. 638f.)

Die Suche nach den Antworten auf diese und weitere Fragen wird die Teilchenphysiker/innen weiterhin beschäftigen.

¹³ Elektron, Myon und Tauon sowie Elektron-Neutrino, Myon-Neutrino und Tau-Neutrino und deren Anti-Teilchen werden als Leptonen bezeichnet.

5 Umsetzung des Online-Vorbereitungskurses

Ziel dieses Kapitels ist es, das Konzept des Vorbereitungskurses darzustellen und zu begründen. Hierfür werden die in Kapitel 3 aufgezeigten didaktischen Überlegungen und die in Kapitel 4 dargestellten physikalischen Grundlagen zusammengeführt. Zu Beginn erfolgt eine Erklärung des allgemeinen Vorgehens bei der Planung des Vorbereitungskurses.

5.1 Logische Grundstruktur der Planung

Die Entwicklung des Vorbereitungskurses erfolgt nach der logischen Grundstruktur der Planung, welche Jank und Meyer beschreiben (vgl. Jank und Meyer, S. 92). Sie ist in Abbildung 5.1 dargestellt.

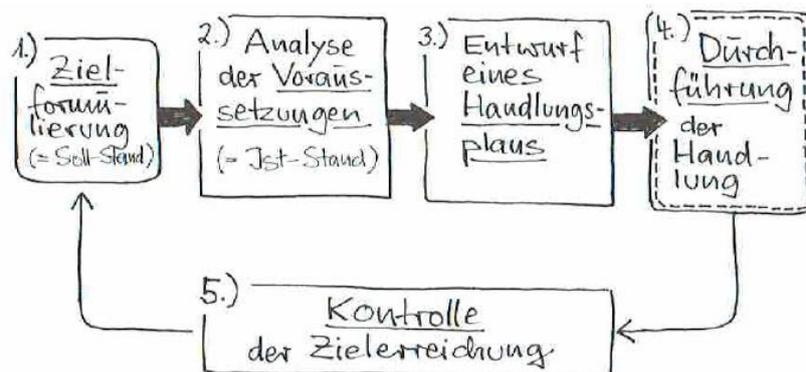


Abbildung 5.1: Logische Grundstruktur der Planung (Quelle: Jank, Meyer, Abbildung 3.6, S. 92).

Die fünf dargestellten Schritte werden in den folgenden Unterkapiteln aufgegriffen. Zunächst erfolgt die Zielformulierung, welche allgemein bereits in Kapitel 2.3 vorgestellt wurde. Eine Konkretisierung dieser erfolgt durch die Betrachtung der Lernziele des Online-Vorbereitungskurses in Kapitel 5.2 und die Einordnung in die Bildungsstandards des Mittleren Schulabschlusses der Kultusministerkonferenz in Kapitel 5.3.

Der zweite Planungsschritt, die Analyse der Voraussetzungen, welche dem Ist-Stand der Lernenden entsprechen, wird in Kapitel 5.4 erläutert. Hierbei wird die Lerngruppe vorgestellt sowie das Vorwissen der Schüler/innen analysiert. Außerdem werden die technischen Voraussetzungen zur Durchführung des Online-Vorbereitungskurses beschrieben.

Die Konzeption des Vorbereitungskurses, welche dem Entwurf eines Handlungsplanes entspricht, erfolgt mit Hilfe der didaktischen Strukturierung. Der Aufbau der didaktischen

Strukturierung nach Jank und Meyer wird in Kapitel 5.5 mit Hilfe von Abbildung 5.2 genauer dargestellt. Anschließend erfolgt in Kapitel 5.5 die Vorstellung des Konzeptes und Begründung von Handlungs-, Inhalts- und Sozialstruktur sowie des Ablaufs des Kurses.

Schritt 4 der Planung ist die Durchführung der Handlung. Der Vorbereitungskurs wird von zwei Praktikanten/Praktikantinnen des Instituts für Kern- und Teilchenphysik und einer weiteren Schülerin bearbeitet. Deren Anmerkungen, Hinweise und Probleme werden in Kapitel 5.6 beschrieben.

Kapitel 5.7 fasst die Kontrolle der Zielerreichung zusammen. Außerdem werden mögliche Anpassungen, die sich bei der Durchführung des Online-Vorbereitungskurses mit den drei Lernenden ergeben haben aufgezeigt.

5.2 Lernziele

In diesem Kapitel erfolgt die Darstellung der Lernziele. Die Lernziele werden nach dem Zielebenenmodell von Westphalen in Leitziele, Richtziele, Grobziele und Feinziele gegliedert (vgl. Kirchner, S. 84).

Für den Online-Vorbereitungskurs können folgende Leitziele formuliert werden:

Die Schüler/innen ...

- ... sind in der Lage, selbstständig mit dem zur Verfügung stehenden Online-Vorbereitungskurs zu arbeiten.
- ... sind in der Lage, sich selbstständig Wissen aus einem Online-Kurs anzueignen.
- ... erweitern das eigene Weltbild, indem sie die erlernten Sachverhalte in ihre vorhandenen Vorstellungen einordnen.

Diese Lernziele sind sehr umfassend formuliert und zielen auf den Erwerb allgemeiner Fähigkeiten und Schlüsselqualifikationen der Lernenden ab. Sie betreffen die gesamte Schulbildung und unterstützen damit die Ziele des Gymnasiums bzw. der Mittelschule. Der Vorbereitungskurs dient hierbei konkret dem Erwerb von Medien- und Methodenkompetenz, da es sich um einen Online-Kurs handelt. Er unterstützt auch die Lernkompetenz und Arbeitsorganisation der Schüler/innen, da sie selbstständig arbeiten müssen, um sich Wissen anzueignen. (vgl. Kirchner, S. 85, Lehrplan Physik Gymnasium, S. VIII f., Lehrplan Physik Mittelschule, S. VII)

Richtziele sind allgemeine fachspezifische und fachübergreifende Lernziele. Für den Online-Vorbereitungskurs lauten diese:

Die Schüler/innen ...

- ... gewinnen einen Einblick, dass durch die vier fundamentalen Wechselwirkungen alle ablaufenden Prozesse erklärt werden können.
- ... gewinnen einen Einblick in das physikalische Konzept der Ladung.
- ... beschreiben den stufenweisen Aufbau der Materie.

Diese Lernziele unterstützen die Ziele des Faches Physik, welche in den sächsischen Lehrplänen für Gymnasium und Mittelschule dargestellt sind. Der Vorbereitungskurs leistet einen Beitrag zur Entwicklung und Erweiterung eines eigenen Weltbildes der Lernenden. Dies gelingt, indem er die physikalischen Konzepte „Wechselwirkungen“ und „Ladung“ vorstellt. Das Weltbild der Schüler/innen erfährt ebenfalls eine Erweiterung, indem die Lernenden den stufenweisen Aufbau der Materie unter Verwendung physikalischer Fachbegriffe beschreiben können. Damit wird auch an dem Ziel des Physikunterrichts gearbeitet, dass die Lernenden die Fachsprache nutzen. (vgl. Kirchner, S. Lehrplan Physik Gymnasium, S. 2, Lehrplan Physik Mittelschule, S. 2)

Die dritte Zielebene nach Westphalen umfasst die Grobziele. Sie beschreiben die Ziele innerhalb eines Faches, die sich auf ein Teilgebiet beziehen. Der Vorbereitungskurs beschäftigt sich mit dem physikalischen Teilgebiet der Teilchenphysik. Jedem Grobziel werden Feinziele untergeordnet. Diese dienen dem Erreichen des Grobzieles. (vgl. Kirchner, S. 86)

Das Grobziel ist jeweils fett hervorgehoben, die zugeordneten Feinziele werden darunter aufgeführt.

Die Schüler/innen ...

- ... **beschreiben den Aufbau der Materie unter Verwendung der Begriffe Kristall, Molekül, Atom, Atomkern, Elektron, Proton, Neutron und Quark.**
- ... ordnen die Objekte Kristall, Molekül, Atom, Atomkern, Elektron, Proton, Neutron und Quark nach ihrer Größe.
- ... beschreiben Elementarteilchen als Teilchen ohne Unterstruktur.

- ... **gewinnen einen Einblick, in die Beschreibung der vier fundamentalen Wechselwirkungen.**
- ... ordnen einfachen Beispielprozessen die fundamentale Wechselwirkung zu, die die Ursache des beschriebenen Prozesses ist.
- ... gewinnen einen Einblick, was passieren würde, wenn eine Wechselwirkung fehlen würde.

- ... benennen die Wechselwirkungen, die in ihrem alltäglichen Leben beobachtbar sind und solche, die auf der Ebene der Teilchenphysik eine Rolle spielen.
- **...benennen die Eigenschaften und physikalische Bedeutung von Ladungen.**
- ... benennen die drei Eigenschaften von Ladungen: gequantelt, additiv und erhalten.
- ... gewinnen einen Einblick, dass aus der Kombination der elektrischen, starken und schwachen Ladungen sowie der Masse eindeutig auf ein Teilchen zurückgeschlossen werden kann.
- ... beschreiben, dass Ladungen Ursachen von Wechselwirkungen sind.
- **... benennen die Elementarteilchen Elektron, Myon, Elektron-Neutrino, Up-Quark und Down-Quark und die jeweiligen Anti-Teilchen und deren Ladungseigenschaften.**
- ... vergleichen und sortieren die Elementarteilchen (Elektron, Myon, Elektron-Neutrino, Up-Quark, Down-Quark und deren jeweilige Anti-Teilchen) hinsichtlich der starken, schwachen und elektromagnetischen Ladung.
- ... benennen die Anti-Teilchen von Elektron, Neutrino, Up-Quark und Down-Quark.
- ... beschreiben das Myon als „schweren Bruder“ des Elektrons, indem sie die gleichen Ladungen von Myon und Elektron benennen und dem Myon eine größere Masse zuordnen als dem Elektron.

Wie in den Leitzielen beschrieben, dient der Vorbereitungskurs dazu, dass die Schüler/innen einen Einblick in Begriffe und Konzepte der Teilchenphysik gewinnen. Damit kann begründet werden, dass die Operatoren in den Feinzielen vor allem dem Anforderungsbereich 1 und teilweise dem Anforderungsbereich 2 zugeordnet sind.

5.3 Einordnung in die Bildungsstandards

Die Kultusministerkonferenz hat 2004 Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss im Fach Physik formuliert. Diese Bildungsstandards legen fest, welche Fähigkeiten und Fertigkeiten Schüler/innen nach der 10. Klasse erworben haben sollen. (vgl. Kultusministerkonferenz (KMK), S. 3)

Es erfolgt nun eine Einordnung des Online-Vorbereitungskurses in die Bildungsstandards. Zunächst wird in den Bildungsstandards der Beitrag des Faches Physik zur Bildung vorgestellt. So wird beschrieben, dass „naturwissenschaftliche Bildung [] aktive Teilhabe

an gesellschaftlicher Kommunikation und Meinungsbildung über technische Entwicklung und naturwissenschaftliche Forschung [ermöglicht, weshalb es ein] wesentlicher Bestandteil von Allgemeinbildung“ ist (KMK, S. 6). Der Online-Vorbereitungskurs stellt einen Beitrag zur Allgemeinbildung dar, da er sich mit den Grundlagen von Teilchenphysik beschäftigt. Teilchenphysik, speziell das CERN als internationale Forschungseinrichtung und die Suche nach dem Higgs-Teilchen, nach Supersymmetrischen Teilchen oder Dunkler Materie, waren und sind immer wieder Themen in den Medien. Der Vorbereitungskurs gibt die Möglichkeit, die Grundlagen hinter diesen Nachrichtennachrichtenmeldungen zu verstehen und dessen Inhalte fachlich einzuordnen.

Wie soeben beschrieben, vermittelt der Online-Kurs Grundlagen der Teilchenphysik. Diese werden anschließend in der Masterclass benötigt, um Hypothesen aufzustellen und diese zu untersuchen. Somit wird mit Hilfe des Vorbereitungskurses und der nachfolgenden Masterclass gezeigt, wie naturwissenschaftliches Arbeiten abläuft. Auch dies ist laut Bildungsstandard ein Beitrag des Faches Physik zur Allgemeinbildung. (vgl. KMK, S. 6)

Im Hauptteil des Bildungsstandards werden die Kompetenzbereiche des Faches Physik erläutert. Kompetenzen sind „kognitive [] Fähigkeiten und Fertigkeiten, [welche benötigt werden], um ein bestimmtes Problem zu lösen, sowie die [] Bereitschaften und Fähigkeiten [diese Problemlösestrategien] nutzen zu können“ (KMK, S. 7).

Es werden vier verschiedene Kompetenzbereiche im Fach Physik vorgestellt. Sie lauten Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung. Das Fachwissen bildet die Grundlage für die Bearbeitung von physikalischen Problemstellungen und Aufgaben. Deshalb wird in diesem Kompetenzbereich das Kennen von physikalischen Phänomenen, Begriffen, Prinzipien, Fakten, und Gesetzmäßigkeiten beschrieben. Der Kompetenzbereich „Fachwissen“ ist in die vier Basiskonzepte Materie, Wechselwirkung, System und Energie eingeteilt. (vgl. KMK, S. 8)

Mit Hilfe des Online-Vorbereitungskurses erwerben die Schüler/innen unter anderem Kompetenzen im Basiskonzept Materie. Sie erfahren, dass Körper aus Teilchen bestehen, indem die Materie und deren Bausteine vorgestellt werden. Dies trägt ebenfalls dazu bei, dass die Lernenden erkennen, dass Materie strukturiert ist, was einer Kompetenz im Bereich des Fachwissens laut Bildungsstandards entspricht.

Auch zum Basiskonzept der Wechselwirkung leistet der Vorbereitungskurs einen Beitrag, indem die vier fundamentalen Wechselwirkungen vorgestellt werden. Laut Bildungsstandard sollen die Schüler/innen wissen, dass Körper durch Felder aufeinander einwirken. Auch dies wird im Vorbereitungskurs für Gravitations- und elektromagnetische Felder thematisiert.

Die Basiskonzepte System und Energie werden nicht behandelt. (vgl. KMK, S. 8f.)

Der Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung beschäftigt sich mit dem Prozess der physikalischen Erkenntnisgewinnung. Hierzu sind folgende Tätigkeiten notwendig: Wahrnehmen, Ordnen, Erklären, Prüfen und Modelle bilden. Im Vorbereitungskurs wird die Grundlage für den Erkenntnisprozess, welcher in der Masterclass ablaufen soll, gelegt. Er legt die Wissensbasis für die Masterclass und systematisiert den Stoff, indem Wechselwirkungen, Ladungen, Elementarteilchen und deren Beziehung zueinander betrachtet werden. Die eigentliche physikalische Erkenntnisgewinnung findet in der Masterclass durch die Untersuchung von Teilchenspuren statt. (vgl. KMK, S. 9f.)

Der Vorbereitungskurs gibt die Möglichkeit Kompetenzen aus dem Bereich der Kommunikation zu trainieren. Die Schüler/innen erhalten fachliche Informationen, welche sie erschließen, hinterfragen und in ihren aktuellen Wissensstand einordnen müssen. Diese werden durch verschiedene Medien, wie Fachtexte, Grafiken, Animationen und Tabellen dargeboten. (vgl. KMK, S. 10)

Auch der vierte Kompetenzbereich, die Bewertung, wird durch den Vorbereitungskurs unterstützt. Dieser Kompetenzbereich hat zum Ziel, dass physikalische Sachverhalte erkannt und in verschiedenen Kontexten bewertet werden können. Der Vorbereitungskurs gibt die Möglichkeit sich mit einem Thema zu beschäftigen, der Teilchenphysik, welche in den Medien thematisiert wird. Es ist wichtig die gehörten Beiträge aus physikalischer Sicht fachlich einordnen und hinterfragen zu können. (vgl. KMK, S. 10)

5.4 Vorbereitete Umgebung

Im folgenden Kapitel erfolgt die Vorbereitung der Lehr-Lern-Umgebung. Zu Beginn wird die vorliegende Lerngruppe analysiert. Außerdem wird das Vorwissen der Schüler/innen betrachtet. Ebenfalls wird darauf eingegangen, welche technischen Voraussetzungen erfüllt sein müssen, damit der Online-Vorbereitungskurs für die Teilchenphysik-Masterclass durchgeführt werden kann.

5.4.1 Lerngruppenanalyse

Die Teilchenphysik-Masterclass wird durch das Netzwerk Teilchenwelt für Schüler/innen ab Klassenstufe 10 angeboten. Die Lernenden sind 15 Jahre alt und älter.

Wie in Kapitel 2.1 erwähnt, erfolgt die Projektkoordination durch den Netzwerkstandort in Dresden. Dieser Standort bietet ebenfalls eine Teilchenphysik-Masterclass für die Suche nach W^+ -Teilchen an. Die Durchführung dieser erfolgt vor allem an sächsischen Schulen. Es nehmen sowohl Gymnasien als auch Oberschulen an diesem Projekttag teil. Somit wird das Vorwissen der Schüler/innen mit Hilfe der sächsischen Lehrpläne für Physik für

Gymnasien und Mittelschulen analysiert. An diesem werden die Inhalte des Vorbereitungskurses ausgerichtet.

Die am Online-Vorbereitungskurs teilnehmenden Schüler/innen stellen eine sehr heterogene Gruppe dar, da sie aus ganz Sachsen stammen und die Klassenstufe 10 oder eine höhere an Gymnasien oder Oberschulen besuchen. Somit können der Leistungsstand und die Leistungsstärke der Schüler/innen sowie die Ausstattung der Lernumgebung nicht bzw. nur teilweise eingeschätzt werden.

Vorteil eines Vorbereitungskurses, welcher online stattfindet, ist, dass eine Vielzahl an Schüler/innen erreicht werden kann, da keine Lehrperson sich auf die Themen vorbereiten muss oder eine andere, externe Person für die Vorbereitung der Lernenden an die Schule kommen muss. Gleichzeitig stellt es eine Herausforderung dar, dass der Online-Vorbereitungskurs alle Schüler/innen gut auf die Teilchenphysik-Masterclass vorbereitet und ihnen gerecht wird. Deshalb ist es wichtig, dass die Schüler/innen bei auftretenden Fragen und Anmerkungen eine/n konkrete/n Ansprechpartner/in erreichen können. Die Lernenden sollen ebenfalls auf die Möglichkeit hingewiesen werden mit ihren Mitschülerinnen und Mitschülern Fragen besprechen zu können.

Der Ort der Durchführung des Vorbereitungskurses kann durch die Lehrperson, welche die Masterclass in Auftrag gegeben hat, selbst festgelegt werden. Hierbei sind zwei mögliche Szenarien denkbar. Zum einen kann eine zeitgleiche Vorbereitung aller Lernenden während des Unterrichtes in der Schule erfolgen. Ebenfalls ist die selbstständige Durchführung des Vorbereitungskurses als Hausaufgabe denkbar. Welche technischen Voraussetzungen für die Durchführung notwendig ist, wird in Kapitel 5.4.3 erläutert.

5.4.2 Vorwissen

Teilchenphysik ist nicht Bestandteil der sächsischen Lehrpläne für Physik für Gymnasien und Oberschulen. Somit haben die Schüler/innen für die Teilchenphysik-Masterclass wenig Vorwissen aus der Schule. Im Folgenden sollen die Inhalte beleuchtet werden, welche die Lernenden bereits aus dem Physikunterricht kennen und Grundlage für den Vorbereitungskurs bilden können. Es werden jeweils die sächsischen Lehrpläne für Mittelschule und Gymnasium betrachtet.

Erste Einblicke in den Aufbau von Körpern aus Teilchen erhalten die Schüler/innen an Gymnasium bzw. Oberschule in Klassenstufe 6. In Lernbereich 2: Eigenschaften und Bewegungen von Körpern bzw. in Lernbereich 3: Temperatur und der Zustand von Körpern wird die Teilchenvorstellung als Modell gelehrt. Die Lernenden kennen Moleküle und Atome als Bausteine von Körpern. (vgl. Lehrplan Physik Gymnasium, S. 10, Lehrplan Physik Mittelschule, S. 8)

Mit dem Aufbau von Atomen beschäftigen sich die Schüler/innen auch im Fach Chemie. Hier steht das Kern-Hülle-Modell der Atome bei den Untersuchungen zum Atomaufbau im Mittelpunkt. Die Schüler/innen lernen dies am Gymnasium in Klassenstufe 7 im Lernbereich 2: „Metalle – von Aluminium bis Zink“ und an der Oberschule in Klassenstufe 8 im Lernbereich 1: „Stoffe, die uns umgeben“ kennen. Hier wird auch das Periodensystem der Elemente (PSE) als Arbeitsmittel und Ordnungsprinzip der Chemie eingeführt. Somit kennen die Schüler/innen Ordnungsprinzipien aus dem naturwissenschaftlichen Unterricht. Darauf kann bei der Einführung der Ladung als Ordnungsprinzip zurückgegriffen werden. (vgl. Lehrplan Chemie Gymnasium, S. 7, Lehrplan Chemie Mittelschule, S. 7)

Im Vorbereitungskurs spielen Kräfte bei der Einführung der vier fundamentalen Wechselwirkungen eine Rolle. Die physikalische Größe Kraft wird in der Oberschule Klassenstufe 7 im Lernbereich 1: „Kraft und ihre Wirkungen“ eingeführt. Am Gymnasium erfolgt dies in der gleichen Klassenstufe im Lernbereich 1: „Kräfte“. Hier lernen die Schüler/innen ebenfalls magnetische und elektrostatische Kraftwirkungen kennen. Dabei handelt es sich konkret um anziehende und abstoßende Kräfte. Auch erhalten sie einen Einblick in die Darstellung elektrostatischer Felder. Hierfür werden Feldlinienbilder eingeführt, die in Klassenstufe 9 im Lernbereich 2: „Energieversorgung“ erneut aufgegriffen werden. An der Oberschule beschäftigen sich die Lernenden mit elektrisch geladenen Körpern und deren Kraftwirkung in Klassenstufe 7 im Lernbereich 3: „Elektrische Leitungsvorgänge“. Das Feldlinienmodell wird in Klassenstufe 10 im Lernbereich 1: „Erzeugung und Umformung elektrischer Energie“ nochmals thematisiert. (vgl. Lehrplan Physik Gymnasium, S. 14, 24, Lehrplan Physik Mittelschule, S. 24, 36)

In Klassenstufe 9 ist laut Lehrplänen Kernphysik Bestandteil des Unterrichtes. Die Lernenden erhalten einen Einblick in die Nutzung der Energie der Atomkerne. In diesem Zusammenhang lernen sie die Kernbausteine Proton und Neutron sowie die Strahlungsarten α -, β - und γ -Strahlung kennen. Dies ist am Gymnasium im Lernbereich 2: „Energieversorgung“ und an der Oberschule in Lernbereich 3: „Kernumwandlung – Nutzen und Gefahren“ zu finden. (vgl. Lehrplan Physik Gymnasium, S. 24, Lehrplan Physik Mittelschule, S. 33)

In Klassenstufe 9 werden außerdem die Newtonschen Gesetze behandelt. Trägheits- und Wechselwirkungsgesetz sind am Gymnasium im Lernbereich 3: „Bewegungsgesetze“ und an der Mittelschule im Lernbereich 5: „Bewegungen und ihre Ursachen“ Lehrplanbestandteil.

Sowohl am Gymnasium als auch an der Oberschule gibt es den Lernbereich: „Kosmos, Erde und Mensch“, in der Mittelschule in Klassenstufe 9 und am Gymnasium in Klassenstufe 10. In diesem wird das Gravitationsgesetz $F \sim \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$ behandelt. Dies erfolgt

am Gymnasium mit Hilfe der dargestellten Proportionalität und an der Mittelschule durch je-desto-Aussagen. (vgl. Lehrplan Physik Gymnasium, S. 29, Lehrplan Physik Mittelschule, S. 34)

5.4.3 Technische Voraussetzungen

Der Online-Vorbereitungskurs für die Teilchenphysik-Masterclass ist mit Hilfe der Lernplattform OPAL, deren Funktionen in Kapitel 3.2.5 erläutert sind, erstellt. Es handelt sich um einen Online-Kurs. Um den Vorbereitungskurs bearbeiten zu können, wird demzufolge ein Computer mit Internetzugang benötigt, um auf die Lernplattform zuzugreifen. Es ist davon auszugehen, dass sämtliche Lernende einen Zugang zu einem Computer mit Internetzugang haben. Die meisten Haushalte¹⁴ verfügen darüber. Des Weiteren ist in den Schulen ein Computerkabinett vorhanden, welches häufig auch in Freistunden oder am Nachmittag von den Schüler/innen genutzt werden kann.

Der Zugang zu OPAL ist einerseits für Studierende und Mitarbeitende der sächsischen Hochschulen vorgesehen. Auf der anderen Seite können auch externe Nutzer Lernmaterialien auf dieser Plattform einsehen. Hierbei gibt es zwei Varianten, wie auf den Vorbereitungskurs zugegriffen werden kann. Die erste Möglichkeit ist, OPAL als Gast zu nutzen. Hierbei wird ein Link und ein Passwort benötigt. Der Nachteil an dieser Nutzung ist, dass keine Daten aufgenommen werden, welche Lernenden den Kurs besucht haben und wie die Übungsaufgaben durch sie beantwortet wurden.

Die Zugangsdaten für diese Variante lauten:

Link: <https://bildungsportal.sachsen.de/opal/auth/RepositoryEntry/17635573762?13>

Passwort: Teilchenphysik!

Die zweite Variante ist eine Nutzung von OPAL, als externer Nutzer/ externe Nutzerin. Hierzu erfolgt eine Registrierung mit E-Mailadresse und Nutzernamen bei OPAL. Andere Daten werden nicht aufgenommen. Vorteil dieser Variante ist, dass die den Kurs betreuende Person einsehen kann, welche Lernenden am Kurs teilgenommen und welche Antworten sie in den Übungsaufgaben gegeben haben. Somit ist es möglich, eine Lernzielkontrolle durchzuführen. Dadurch können die Vermittler/innen sich besser auf die Klasse einstellen, welche an der Teilchenphysik-Masterclass teilnehmen wird. Weiterhin werden ein Link und ein Passwort benötigt, um auf den Kurs zuzugreifen.

Die Zugangsdaten für diese Variante lauten:

Link: <https://bildungsportal.sachsen.de/opal/auth/RepositoryEntry/17155915787?17>

Passwort: Teilchenphysik!

¹⁴ Laut statista verfügten 2017 93% der deutschen Haushalte über einen Internetzugang. (vgl. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/153257/umfrage/haushalte-mit-internetzugang-in-deutschland-seit-2002/>, Stand: 06.06.2018).

Um eine bessere Auswertung zu ermöglichen und einen Überblick zu erhalten, welche Schüler/innen den Kurs durchgeführt haben, wird die zweite Variante bevorzugt. Es bleibt den Schüler/innen und Lehrenden freigestellt, in welcher Weise sie die Online-Plattform OPAL nutzen und auf den Online-Vorbereitungskurs zugreifen.

5.5 Didaktische Strukturierung

Wie zu Beginn dieses Kapitels bereits erwähnt, entspricht die didaktische Strukturierung einer Lerneinheit dem Entwurf eines Handlungsplanes. Welche Schritte dabei durchlaufen werden sollten, haben Jank und Meyer in einer Übersicht zusammengestellt, welche in Abbildung 5.2 dargestellt ist.

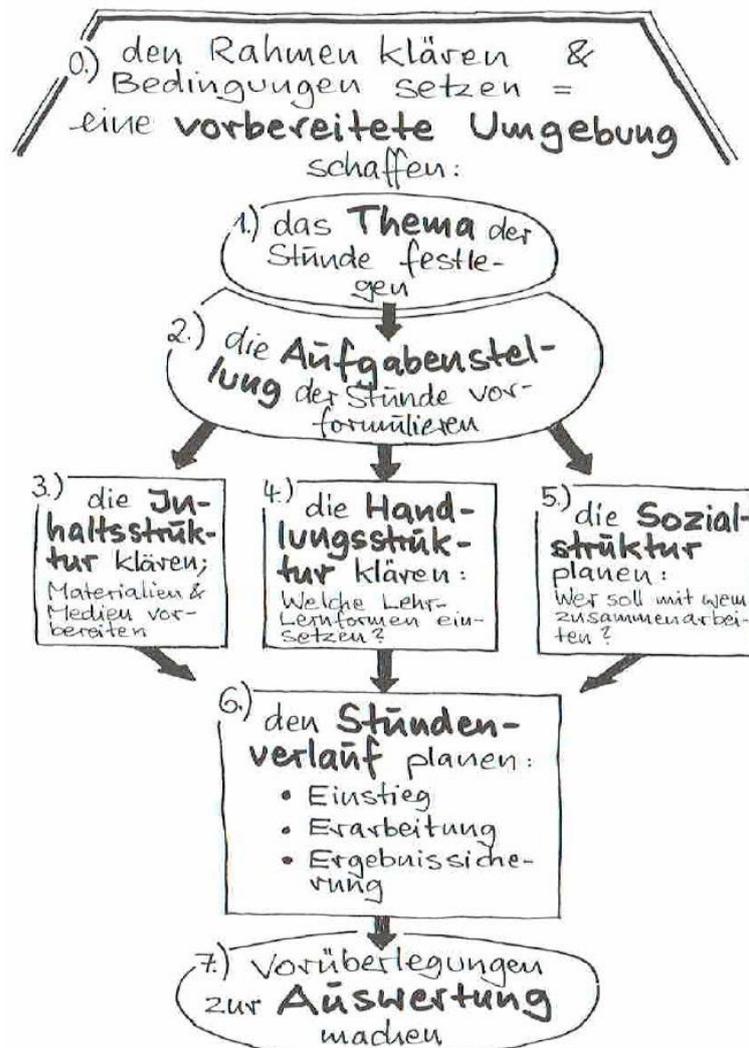


Abbildung 5.2: Didaktische Strukturierung (Quelle: Jank, Meyer, Abbildung 3.7, S. 94).

Die in Schritt 0 beschriebenen Rahmenbedingungen und Voraussetzungen sind bereits im vorangegangenen Kapitel 5.4 dargestellt.

In diesem Unterkapitel werden die Ziel-, Inhalts- und Methodenentscheidungen des Vorbereitungskurses begründet. Zunächst erfolgt die Darstellung der Handlungs- und Sozialstruktur für den Vorbereitungskurs allgemein. Im Anschluss wird in den Kapiteln 5.5.1 bis 5.5.5 die Inhaltsstruktur der einzelnen Inhaltsabschnitte des Vorbereitungskurses dargestellt und begründet.

Wie in Kapitel 2.2 beschrieben, handelt es sich bei dem Vorbereitungskurs für die Teilchenphysik-Masterclass um einen Online-Kurs. Die Lernform ist demzufolge die des Online-Lernens, welches dem elektronischen Lernen zuzuordnen ist. Dies kann damit begründet werden, dass es sich bei dem Vorbereitungskurs um einen Kurs handelt, welcher auf einer Online-Lernplattform zu finden ist, auf die nur mit Hilfe eines Internetzugangs zugegriffen werden kann. Eine Offline-Nutzung ist nicht möglich. Durch den Online-Vorbereitungskurs erfolgt eine Wissensvermittlung mit Hilfe von Informationstexten, Abbildungen und Animationen. Die Lernenden haben die Möglichkeit das erlernte Wissen durch Übungsaufgaben unterschiedlicher Aufgabenformate zu üben und zu festigen. (vgl. Kapitel 2.2)

Die Lernform des Vorbereitungskurses in Kombination mit der Masterclass für Teilchenphysik, ist das Blended Learning. Dieses kann als Kombination aus mediengestütztem Lernen und face-to-face Elementen beschrieben werden. Es erfolgt eine Verknüpfung der Masterclass in Form eines konventionellen Lernangebotes mit einführendem Vermittlervortrag sowie selbstständigen Arbeiten der Schüler/innen und dem Vorbereitungskurs als mediengestütztes Lernangebot. (vgl. Kerres (2013), S. 9)

Die im Vorbereitungskurs vorgesehene Sozialform ist die Einzelarbeit am Computer. Hierbei können sich die Lernenden bei eventuell auftretenden Fragen per E-Mail an die für den Kurs verantwortliche Person wenden. Die Sozialformen eines Frontalvortrages, Gruppen- und Partnerarbeit werden am Projekttag in der Masterclass genutzt.

Bei der Konzeption des Vorbereitungskurses ist auf eine schülergerechte Sprache zu achten. Die Informationstexte zur Wissensvermittlung bestehen aus prägnanten, nicht zu kurzen Sätzen. Es wird darauf geachtet, dass wenig Fremdwörter benutzt und diese bei Neueinführung erklärt werden. Somit orientiert sich die Sprache im Kurs an den in Kapitel 3.2.3 beschriebenen Merkmalskomplexen der Einfachheit sowie Kürze und Prägnanz nach Schulz, von Thun und Tausch. Außerdem kann zur äußeren Gliederung des Textes beitragen, dass einzelne Schlagworte und wichtige Begriffe fett hervorgehoben werden.

Die im Vorbereitungskurs verwendeten physikalischen Fachbegriffe sind bewusst gewählt. Elementarteilchen werden als Teilchen eingeführt, welche keine Unterstruktur besitzen. Wie in Kapitel 3.6 angesprochen, werden teilweise Proton und Neutron als Elementarteilchen bezeichnet. Es ist darauf zu achten den Lernenden bewusst zu

machen, dass es sich bei diesen um keine Elementarteilchen handelt, da sie aus Quarks zusammengesetzt sind.

Außerdem wird im Kurs der Begriff β -Umwandlung und nicht β -Zerfall genutzt. Dies ist damit zu begründen, dass durch das Wort „Zerfall“ der Eindruck entsteht, dass ein Teilchen in andere Teilchen zerfällt, welche im Ausgangsteilchen bereits enthalten waren. Dies ist bei der β -Umwandlung nicht der Fall. Es wandelt sich ein Down-Quark in ein Up-Quark um oder umgekehrt. (vgl. Lindenau, S. 12)

Des Weiteren wird im Vorbereitungskurs der Begriff Botenteilchen genutzt, welcher in der Literatur beispielsweise auch als Austauschteilchen oder Boson bezeichnet wird. Der Begriff Austauschteilchen ist ungünstig, da so die Vermittlung von Kräften durch den Austausch von Teilchen betont wird und andere Phänomene wie die Teilchenumwandlung, -erzeugung oder -vernichtung in den Hintergrund geraten. Ein weiterer Vorteil ist die bessere Verdeutlichung der Emission und Absorption der Botenteilchen von Materieteilchen. Der Begriff Austauschteilchen könnte bei den Lernenden die Vorstellung hervorrufen, dass sie von Materieteilchen stets besessen und an andere Teilchen übergeben werden. Hieraus ist ebenfalls abzuleiten, dass die Wortkombination „Botenteilchen vermitteln die Wechselwirkung“ zu bevorzugen und die Formulierung „Botenteilchen werden zwischen Teilchen ausgetauscht“ zu vermeiden ist. Es ist auf eine eindeutige Variante der Begriffe zu achten, um eine Verwirrung der Lernenden durch uneindeutige Begriffswahl zu vermeiden. (vgl. Kobel (u.a.), S. 89)

Um eine Nähe der Autorin des Kurses zu den Leser/innen zu zeigen, werden diese in den Texten durch Hinweise konkret angesprochen, beispielsweise, indem Hinweise auf vorhandenes Vorwissen aus der Schule gegeben oder rhetorische Fragen über dargebotene Informationen gestellt werden. Außerdem werden die Lernenden im Kurs mit „Du“ angesprochen. Dies ist damit zu begründen, dass die Vermittler/innen bei der Masterclass den Schüler/innen das „Du“ anbieten. Auch hierdurch wird eine Nähe der Autorin zu den Lernenden vermittelt.

Der Vorbereitungskurs ist in vier Kapitel gegliedert. Jeder dieser Inhaltsabschnitte hat das Erreichen eines Grobziels mit den untergeordneten Feinzielen, welche in Kapitel 5.2 dargestellt sind, zum Ziel. Innerhalb eines Inhaltsabschnittes gibt es zunächst wissensvermittelnde Abschnitte, in denen Erläuterungen zum jeweiligen Thema dargestellt werden. Anschließend werden Übungsaufgaben bereitgestellt, die der Festigung und Übung dienen. Hierbei handelt es sich bewusst nicht um Tests, sondern um Lernaufgaben. Die Ergebnisse dieser können durch die den Kurs betreuenden Person eingesehen und ausgewertet werden. Dadurch wird die Kontrolle des Erreichens der Lernziele möglich. Den Lernenden selbst wird auch eine Lernzielkontrolle ermöglicht, da

die Ziele zu Beginn des Kapitels benannt werden. Diese können sie mit den von ihnen erzielten Bewertungen der Aufgaben vergleichen.

Die Reihenfolge der Themen in den vier Inhaltsabschnitten des Vorbereitungskurses ist folgendermaßen gewählt. Zunächst wird im ersten Abschnitt der Aufbau der Materie grundlegend erklärt, da das Wissen über die dort eingeführten Bausteine der Materie Voraussetzung für die Folgekapitel ist. Anschließend erfolgt die Einführung in das physikalische Basiskonzept Wechselwirkung, indem die vier fundamentalen Wechselwirkungen vorgestellt werden. Das physikalische Konzept der Ladung wird im dritten Inhaltsabschnitt eingeführt. Das letzte Kapitel des Vorbereitungskurses beschäftigt sich mit den Elementarteilchen der Materie und deren Anti-Teilchen. Die Wechselwirkungen, Ladungen und Elementarteilchen stehen in einer engen Beziehung zueinander und beeinflussen sich gegenseitig. Es werden zuerst die Konzepte Wechselwirkung und Ladung eingeführt, bevor diese konkret auf die Elementarteilchen angewendet werden. Dies ist damit zu begründen, dass ein bloßes Auswendiglernen verschiedener Teilchenarten vermieden werden soll. Die Lernenden können die Ordnung der Teilchen ohne die Kenntnis der verschiedenen Ladungen eines Teilchens nicht verstehen. Ladungen sind die Ursache von Wechselwirkungen. Durch die gewählte Reihenfolge wird das Konzept Wechselwirkung betont, welches das zentrale Element des Standardmodells der Teilchenphysik darstellt. (vgl. Kobel (u.a.), S. 87)

Im Vorbereitungskurs wird das Standardmodell nicht unter diesem Begriff eingeführt. Die Benennung als Modell erscheint verwirrend, da es sich eigentlich um eine Theorie und kein Modell handelt. Jedoch werden grundlegende Inhalte des Standardmodells, wie die Konzepte Ladung und Wechselwirkung sowie die Elementarteilchen eingeführt und erste Vernetzung zwischen diesen erläutert. In der Masterclass werden die genannten Inhalte wiederholt und unter dem Begriff „Standardmodell der Teilchenphysik“ zueinander in Verbindung gesetzt. Hier wird ebenfalls betont, dass es offene Fragen gibt, die mit Hilfe der bisherigen Theorie nicht beantwortet werden können. Damit wird in der Masterclass aufgezeigt, dass im Wissenschaftsgebiet der Physik weiterhin geforscht wird und diese keine starre Wissenschaft darstellt.

Am Ende jedes Inhaltsabschnittes gibt es Übungsaufgaben zur Festigung und Anwendung des erlernten Wissens. Nach Bearbeitung der Aufgaben wird den Lernenden individuelles Feedback, je nach gegebenen Antworten, angezeigt, um den Lernfortschritt zu optimieren. Die Rückmeldung an die Lernenden sind hierbei stets so gestaltet, dass sie immer direkt nach dem Lösen einer Aufgabe Information darüber erhalten, ob die Aufgabe richtig oder falsch gelöst wurde. Somit ist das Feedback zeitnah und aufgabenbezogen gestaltet. Außerdem werden bei fehlerhafter Antwort Hinweise bereitgestellt, wo die korrekte Lösung gefunden und nachgelesen werden kann und wie diese richtige Antwort

lautet. Somit wird den Lernenden eine Rückmeldung über den persönlichen Lernfortschritt gegeben. Dies ist von Bedeutung, um das Kompetenzerleben der Schüler/innen zu stärken. (vgl. Kapitel 3.4, 3.1.3)

Der Vorbereitungskurs endet mit einem Abschlussquiz. Dieses enthält verschiedene Fragen zu Themen der Teilchenphysik. Zum einen gibt es Aufgaben, welche der Wiederholung des erlernten Wissens dienen, zum anderen sind Schätzfragen enthalten, welche in der Masterclass nochmals aufgegriffen werden. Diese Fragen beziehen sich auf spannende Themen der Teilchenphysik, welche auf die Schüler/innen einen Wow-Effekt ausüben. Dadurch soll das Interesse der Lernenden auf die Masterclass gesteigert werden. Des Weiteren gelingt mit Hilfe des Quiz eine Wissensvermittlung, da die Fragen mit kurzen Informationseinheiten, häufig nur einem Satz, versehen sind. Hierdurch erhalten die Schüler/innen einen zusätzlichen Einblick in die Teilchenphysik und die Neugier auf die Masterclass wird gesteigert.

Die Begründung der Inhaltsstruktur der einzelnen Abschnitte des Online-Vorbereitungskurses erfolgt in den anschließenden Unterkapiteln 5.5.1 bis 5.5.5.

Eine Druckversion des Online-Vorbereitungskurses befindet sich im Anhang.

5.5.1 Willkommen, Hilfe und Support

Auf der ersten Seite des Vorbereitungskurses „Willkommen“ werden die Schüler/innen im Kurs begrüßt. Außerdem wird das Ziel des Kurses, die Vorbereitung auf die Masterclass, genannt. Des Weiteren dient diese Seite dazu, den Lernenden den Aufbau des Kurses zu erklären. Hierzu werden neben dem Text auch Bilder genutzt, welche die Gliederung, die sich am rechten Rand befindet, veranschaulicht. Durch die optische Hilfe am Rand wird dem Vorbereitungskurs eine äußere Gliederung des Textes gegeben, was ein Merkmal von verständlichen Texten ist. Dieses gibt den Lernenden die Möglichkeit ihren Lernfortschritt einschätzen zu können, indem sie in der Gliederung sehen, welche Abschnitte bereits bearbeitet wurden. (vgl. Kapitel 3.2.3)

Außerdem erhalten die Lernenden einen Hinweis, welche Zeit für den Vorbereitungskurs eingeplant werden sollte. In diesem Zusammenhang wird auch auf die Möglichkeit der Differenzierung verwiesen, die interessierten Lernenden weitere Informationen zur Verfügung stellt.

Die zweite Seite beschreibt, wie die Schüler/innen sich an eine Kontaktperson wenden können, falls sie Hilfe benötigen. Ebenfalls ist es möglich, Anmerkungen an die für den Kurs verantwortliche Person zu senden. Hierdurch wird den Lernenden das Gefühl gegeben, dass sie sozial eingebunden sind, was wie in Kapitel 3.1.3 beschrieben, der Förderung ihres Kompetenzerlebens dient.

5.5.2 Aufbau der Materie

Das erste inhaltliche Kapitel des Online-Vorbereitungskurses thematisiert den Aufbau der Materie. In einer kurzen Übersicht zum Kapitel werden die Lernziele genannt. Die Lernziele werden in allen Kapiteln auf die gleiche Art und Weise dargestellt. Das Nennen der Ziele des Kapitels schafft Klarheit über die Anforderungen an die Schüler/innen. Außerdem kann dadurch das Kompetenzerleben der Lernenden gesteigert werden, da eine Einordnung der eigenen Fähigkeiten ermöglicht wird.

Die Inhalte des Kapitels über den Aufbau der Materie knüpfen an das Vorwissen und die Erfahrungswelt der Schüler/innen an. Ihnen ist bekannt, dass die Materie stufenweise aufgebaut ist. Die kleinsten aus der Schule bekannten Bausteine sind das Elektron sowie die Kernbausteine Proton und Neutron. Somit ist das neu zu erwerbende Wissen, dass Protonen und Neutronen aus Quarks aufgebaut sind. In diesem Zusammenhang wird der neue physikalische Begriff „Elementarteilchen“ eingeführt.

Für die Darstellung des stufenweisen Aufbaus der Materie wird schrittweise in ein Objekt aus der Alltagswelt der Schüler/innen hineingezoomt und die verschiedenen Bausteine benannt.

Als Objekt wurde ein „Eis am Stiel“ ausgewählt. Dadurch gelingt es die Schüler/innen in ihrer Alltagswelt abzuholen. Außerdem sind Lerngegenstände von Interesse, welche sich auf alltägliche Situationen und Gegenstände beziehen. Gleichzeitig stellt die Verwendung der Objektes „Eis am Stiel“ einen anregenden Zusatz nach Schulz und von Thun dar, da es den Text lebendiger und humorvoll macht. Außerdem gelingt es dadurch die Schüler/innen zu motivieren, da es sich um einen interessanten Einstieg in den Vorbereitungskurs handelt. (vgl. Kapitel 3.1.2, Kapitel 3.2.3, Kapitel 3.1.1)

Es wird darauf verzichtet, die verschiedenen Modelle des Aufbaus von Materie darzustellen und historische Daten zu nennen. Dies geht über ein grundlegendes Verständnis hinaus. Des Weiteren bestünde sonst die Gefahr, dass die Lernenden durch die Darstellung verschiedener historischer Atommodelle verwirrt werden.

Die Bausteine der Materie werden anhand des Beispiels schrittweise gezeigt und eingeführt. Hierbei ergänzen sich stets Text und Abbildung, was sich aufgrund des Multimediaeffekts positiv auf den Lernerfolg der Schüler/innen auswirken sollte. Durch Bildunterschriften wird eine korrekte Zuordnung von den Objekten zu den Bildern gesichert.

In diesem Zusammenhang wird auch darauf hingewiesen, dass es sich bei den verwendeten Bildern um modellhafte Abbildungen und keine Fotos der beschriebenen Objekte handelt. Durch das konkrete Benennen wird versucht, mögliche Schülerfehlvorstellungen zu unterbinden.

Die verwendeten Bilder sind bewusst gestaltet. Da ein Eis am Stiel das Ausgangsobjekt ist, wird als Molekül ein Wassermolekül und als Atom ein Sauerstoffatom dargestellt. Die verwendeten Abbildungen haben eine Zeige- und Konstituierungsfunktion, da sie zum einen der Veranschaulichung konkreter Merkmale der Objekte dienen. Zum Anderen wird den Lernenden mit Hilfe der Bilder ermöglicht, sich ein mentales Modell über den Aufbau der Materie aufzubauen. (vgl. Kapitel 3.2.2)

Die Nukleonen des Atomkerns sind in der verwendeten Abbildung nicht so dicht gepackt, wie es Abbildungen in verschiedener Literatur häufig veranschaulichen. Dies ist damit zu begründen, dass die Nukleonen das Volumen des Atomkerns zu rund 17 Prozent füllen (vgl. Peierls, S. 58). Die Nukleonen sind als Einheiten aus Quarks dargestellt. Die Umrandung der Nukleonen ist nicht durchgezogen, sondern gestrichelt gewählt, um zu verdeutlichen, dass sie keinen festen Rand haben. Der Hintergrund von Nukleonen und Atomkernen ist weiß und nicht farbig gewählt, da sich zwischen den Unterbausteinen Vakuum befindet. Durch einen farbigen Hintergrund könnte der Eindruck entstehen, dass noch ein anderes Medium vorhanden wäre. Die Quarks und auch das Elektron sind mit Hilfe von dreieckigen bzw. halbrunden Symbolen dargestellt. Dies verdeutlicht nochmals, dass es sich um Abbildungen und keine Fotos der beschriebenen Objekte handelt.

Der Inhaltsabschnitt endet mit einer Übung, die der Festigung und Wiederholung des erlernten Wissens dient. Die Übung beinhaltet zwei Aufgaben, mit deren Hilfe sich das Erreichen der Lernziele feststellen lässt. In der ersten Aufgabe sind vorgegebene Bausteine der Materie der Größe nach zu sortieren, was das erste Lernziel dieses Inhaltsabschnittes ist. In der Drag-and-Drop-Aufgabe werden fünf Bausteine verwendet, deren Größen sich eindeutig unterscheiden lassen. Das Aufgabenformat eignet sich, da deklaratives Wissen angewandt werden soll. Des Weiteren ist Raten bei Drag-and-Drop-Aufgaben schwieriger als bei anderen Aufgabenformaten. (vgl. Kapitel 3.3)

Als zweite Aufgabe ist ein Lückentext auszufüllen, welcher sich mit den Elementarteilchen der ersten Teilchengeneration beschäftigt. Damit eignet sich der Lückentext zur Auswertung, ob das zweite Lernziel erreicht wurde. Der Lückentext ist in Form von Fragen formuliert, auf welche eine Antwort zu geben ist. Diese Struktur wurde zur Übersichtlichkeit und Eindeutigkeit der möglichen Antworten gewählt. Es ist sichergestellt, dass die Schüler/innen verschiedene Reihenfolgen und sowohl Mehrzahl als auch Einzahl der gesuchten Elementarteilchen eingeben können und dies als richtige Antwort gewertet wird. (vgl. Kapitel 3.3)

5.5.3 Die vier fundamentalen Wechselwirkungen

Die vier fundamentalen Wechselwirkungen werden im zweiten Inhaltsabschnitt behandelt. In der Übersicht des Kapitels werden als Hinführung vier Fragen aufgeworfen, von denen

sich je eine auf eine der vier fundamentalen Wechselwirkungen bezieht. Die Fragen stehen in Verbindung zu erstaunlichen Phänomenen, Alltagssituationen und Naturerscheinungen. Somit handelt es sich um Kontexte, welche für Schüler/innen interessant sind. Dadurch wird gewährleistet, dass die Motivation der Lernenden aufrechterhalten wird. Die vier Fragen dienen dem Wecken von Interesse um weiterzulesen und zu entdecken, wie diese Wechselwirkungen physikalisch begründet werden können.

Des Weiteren ist jeder Frage ein Bild zugeordnet, welches das genannte Beispiel veranschaulicht, wodurch der Multimediaeffekt und das räumliche Kontiguitätsprinzip angewandt werden (vgl. Kapitel 3.2.4) Diese Bilder werden später bei der Erklärung der einzelnen Wechselwirkungen wieder aufgegriffen, wodurch bei den Schüler/innen die Einführungsfragen ins Gedächtnis gerufen werden. Dies ist mit der Situierungsfunktion von bildhaften Darstellungen zu begründen. Außerdem wird dem Text dadurch eine Gliederung verliehen. Für die Lernenden wird ein sogenannter roter Faden sichtbar, welcher sich durch den Vorbereitungskurs zieht. (vgl. Kapitel 3.2.2)

Auf der Einleitungsseite für die vier Wechselwirkungen wird das physikalische Konzept Wechselwirkung eingeführt, indem betont wird, dass alle ablaufenden Prozesse auf Gravitation, elektromagnetische, starke oder schwache Wechselwirkung zurückgeführt werden können.

Ebenfalls erfolgt die Zielformulierung für diesen Inhaltsblock, um das Lernziel für die Schüler/innen transparent zu gestalten.

Die vier fundamentalen Wechselwirkungen werden im Vorbereitungskurs in Unterkapiteln nacheinander eingeführt. In diesen wird jeweils die zu Beginn gestellte Frage, die sich auf die Wechselwirkung bezieht, wieder aufgegriffen.

Die Reihenfolge der Einführung der vier fundamentalen Wechselwirkungen ist wie folgt gewählt: Gravitation, elektromagnetische, starke, schwache Wechselwirkung. Sie lässt sich dadurch begründet, dass die Gravitation als die bekannteste und aus der Alltagswelt offensichtlichste Wechselwirkung, als erstes eingeführt wird. Die zweite, den Lernenden aus ihrem Alltag bekannte, Wechselwirkung ist die elektromagnetische Wechselwirkung, weshalb sie anschließend erläutert wird. Als nächstes wird die starke Wechselwirkung betrachtet. Dies gelingt, indem ein Phänomen beschrieben wird, welches nicht mit Hilfe der Gravitation und der elektromagnetischen Wechselwirkung erklärbar ist und somit eine weitere Wechselwirkung als Ursache haben muss. Die Einführung der schwachen Wechselwirkung gelingt auf analoge Art und Weise, durch Beschreibung eines nicht durch die anderen Wechselwirkungen erklärbares Phänomens. Aufgrund dieses Vorgehens erhalten die Lernenden einen Einblick, weshalb es vier Wechselwirkungen geben muss. Außerdem wird so verdeutlicht, welche Prozesse nicht ablaufen könnten, wenn eine der

vier fundamentalen Wechselwirkungen fehlen würde. Dieser Einblick stellt ein Lernziel des beschriebenen Inhaltsabschnittes dar.

Die Informationsseiten zu den vier Wechselwirkungen sind jeweils analog zueinander aufgebaut. Dadurch wird eine übersichtliche Gliederung des Vorbereitungskurses für die Lernenden sichergestellt. Dazu dienen ebenfalls die immer gleich gewählten Zwischenüberschriften bei der Erläuterung der einzelnen Wechselwirkungen.

Zunächst wird die Eingangsfrage aufgegriffen und im Zusammenhang mit anderen Beispielen für Prozesse, die der jeweiligen Wechselwirkung unterliegen, genannt. Die Beispiele sind so gewählt, dass sie sich, wenn möglich, auf die Alltagswelt der Lernenden beziehen. Dies dient der Motivation und der Steigerung des Interesses. Somit wird am Lernziel, dass die Schüler/innen in der Lage sind, Beispielprozesse für die fundamentalen Wechselwirkungen zu nennen, gearbeitet.

An die Beispiele schließt sich jeweils die Erklärung der Ladung als Ursache der betrachteten Wechselwirkung an. Es erfolgt eine Beschreibung derjenigen Ladung, welche die Ursache der beschriebenen Wechselwirkung ist. Dies wird mit der Zwischenüberschrift „Wie kann die Wechselwirkung erklärt werden?“ eingeleitet. Die Frageform ist bewusst gewählt, um das Ziel des Abschnittes, die gestellte Frage zu beantworten, zu verdeutlichen. Außerdem wird dadurch ein intensiveres Mitdenken der Lernenden hervorgerufen. Im Vorbereitungskurs erfolgt damit eine gleichzeitige Darstellung von Wechselwirkung und Ladung. (vgl. Kapitel 3.2.3)

Ein weiterer Inhaltsabschnitt wird mit der Frage „Wie kann man sich die Wirkung der Wechselwirkung vorstellen?“ eingeleitet. Hierbei betrachten die Schüler/innen für die elektromagnetische Wechselwirkung zunächst das Feldlinienmodell, welches sie aus der Schule kennen.

Anschließend werden die Grenzen der Anwendbarkeit dieses Modells benannt und die neue Vorstellung, welche auf Botenteilchen beruht, eingeführt. Die Abschnitte über die Botenteilchen der elektromagnetischen Wechselwirkungen, der starken Wechselwirkung und der schwachen Wechselwirkung stellen jeweils eine Vertiefung grundlegenden Wissens der Teilchenphysik dar. Deshalb wurde sich dafür entschieden, diese als inhaltliche Differenzierung anzubieten.

Lernende, welche sich für die vertiefenden Inhaltsabschnitte interessieren, sind eingeladen, diese durchzulesen. Alle verbindlichen Inhalte des Kurses können auch ohne diese Informationen verstanden werden.

In den Abschnitten über die fundamentalen Wechselwirkungen wird bewusst auf die Darstellung der Abstandabhängigkeit der Kräfte der Wechselwirkungen in Diagrammen verzichtet. Die Diagramme sind für Schüler/innen schwer zu interpretieren, da beispielsweise die Achsen doppeltlogarithmisch eingeteilt sind. Des Weiteren ist die

Mathematisierung im gesamten Vorbereitungskurs bewusst geringgehalten, da dies im Allgemeinen das Interesse der Schüler/innen negativ beeinflusst. Damit kann auch begründet werden, weshalb die Kopplungsparameter der einzelnen Wechselwirkungen nicht eingeführt werden. (vgl. Kapitel 3.1.2)

Im Folgenden soll auf die Inhaltsstruktur der verschiedenen Wechselwirkungen eingegangen werden.

5.5.3.1 Gravitation

Die Informationsseite zur Gravitation ist, nach dem für alle Wechselwirkungen beschriebenen Aufbau, gegliedert. Zunächst wird die Abbildung der Gravitation aus dem Eingangsbeispiel aufgegriffen. Anschließend werden Beispielprozesse, deren Ursache die Gravitation ist, genannt. Diese sind humorvoll und mit Alltagsbezug gewählt. So wird die Gravitation als Ursache genannt, warum Äpfel von Bäumen oder Handys von Tischen fallen.

Als nächstes erfolgt die Erklärung der Gravitation, indem benannt wird, dass sie zwischen den Massen von Objekten wirkt. Es schließt sich die Beschreibung der Gravitationskraft an. Diese knüpft an das Vorwissen der Schüler/innen an. Zur Beschreibung der Gravitationskraft wird eine Abbildung, welche zwei Körper unterschiedlicher Masse in einem gewissen Abstand und die auf die Körper wirkende Gewichtskraft zeigt, verwendet. Um Fehlinterpretationen der Abbildung zu verhindern, steht räumlich über dieser eine Erklärung, welche Objekte dargestellt sind. Dadurch wird ist Aufmerksamkeitslenkung der Lernenden auf die entscheidenden Bildelemente gewährleistet. Ebenfalls dient den Schüler/innen eine Bildunterschrift als weitere Einordnung des Gezeigten. (vgl. Kapitel 3.2.2)

Neben dieser bildhaften Darstellung wird durch eine Formel gezeigt, zu welchen physikalischen Größen die Gravitationskraft proportional ist. Damit diese auf die Lernenden nicht abschreckend wirkt, wird mit Hilfe von je-desto-Aussagen erklärt, was die Bedeutung dieser mathematisierten Darstellung ist. Dadurch gelingt es den Nutzen der Formel zu veranschaulichen, wodurch das Interesse der Schüler/innen steigt. (vgl. Kapitel 3.1.2)

In einer nach dem räumlichen Kontiguitätsprinzip eingebundenen Animation ist es möglich, dass die Lernenden die Aussagen über die Abhängigkeiten der Gravitationskraft von den Massen und dem Abstand der Körper selbst erfahren. Dies dient der Verbesserung des Lernerfolges, was durch den Multimediaeffekt begründet werden kann (vgl. Kapitel 3.2.4). Die Schüler/innen können die Massen der Körper sowie deren Abstand variieren, wodurch sich die Gravitationskraft, welche auf die Körper wirkt, ändert.

In der Animation ist die aus der Schule bekannte Darstellungsform der Kräfte mit Hilfe von Pfeilen gewählt.

Der Inhaltsabschnitt zur Gravitation endet mit einem Hinweis, wieso diese Wechselwirkung für die Teilchenphysik keine Rolle spielt. Dies ist von Bedeutung, damit sich die Lernenden erklären können, weshalb die Gravitation in den nachfolgenden Abschnitten des Vorbereitungskurses nicht mehr aufgegriffen wird.

5.5.3.2 Elektromagnetische Wechselwirkung

Die Informationsseite über die elektromagnetische Wechselwirkung beginnt ebenfalls mit dem Bild aus der Einführung der fundamentalen Wechselwirkung und dem Nennen von Beispielprozessen.

Anschließend wird die elektrische Ladung als Ursache für die elektromagnetische Wechselwirkung eingeführt. Diese ist den Schüler/innen aus dem Physikunterricht der Klassenstufe 7 bekannt. (vgl. Kapitel 5.4.2)

Bei der folgenden Einführung der Coulombkraft wird immer wieder eine Analogie zur Gravitationskraft hergestellt. Der Aufbau der Erklärung der Coulombkraft kann ebenfalls mit dem der Gravitationskraft verglichen werden. Auch hier gibt es eine Abbildung, welche zwei elektrische geladene Teilchen zeigt. Die unterschiedliche elektrische Ladung ist mit dem jeweiligen Vorzeichen gekennzeichnet, der elektrisch positiv geladene Körper ist mit einem „+“ und der elektrisch negativ geladene Körper mit einem „-“ gekennzeichnet. Erneut wird durch eine Benennung der wichtigen Bildelemente die Aufmerksamkeit der Lernenden gelenkt. Ebenfalls dient eine Bildunterschrift der Einordnung des dargestellten Sachverhaltes. Die Erklärung der abgebildeten Sachverhalte erfolgt wieder nach dem räumlichen Kontiguitätsprinzip.

Die Coulombkraft wird ebenfalls durch eine mathematisierte Darstellung eingeführt, da die vorliegende Proportionalität in einer Formel gezeigt wird. Aufgrund der gleichen Begründung wie bei der Gravitation erfolgt ebenfalls eine Beschreibung der Aussage der Formel mit Hilfe von je-desto-Aussagen. Ebenso ist ein selbständiges Erkunden durch die Lernenden möglich. Sie können in der eingefügten Animation die elektrischen Ladungszahlen sowie den Abstand der Teilchen ändern und die hieraus resultierende Stärke der Coulombkraft beobachten. Die Änderung der Ladungszahlen wird durch eine Änderung der Größe des Vorzeichens sichtbar gemacht. Je größer das Plus bzw. Minus in der Animation, desto höher ist der Betrag der elektrischen Ladung. Des Weiteren ist die Richtung der Coulombkraft beobachtbar, welche je nach Vorzeichen der beiden elektrischen Ladungszahlen der Teilchen variieren kann. Dass die elektromagnetische Wechselwirkung eine anziehende und eine abstoßende Wirkung, je nach Vorzeichen der elektrischen Ladung, haben kann, ist den Schüler/innen aus dem Physikunterricht

bekannt. Die Lernenden werden ebenfalls darauf hingewiesen, dass die elektrische Ladungszahl nur bestimmte Werte annehmen kann, welches ein Unterschied zur Masse bei der Gravitation ist. Der Hinweis ist wichtig, da die verwendete Animation den Eindruck erwecken kann, dass die elektrische Ladungszahl eine kontinuierliche und keine diskrete Größe ist. (vgl. Kapitel 5.4.2)

Es schließen sich nun Inhalte darüber an, wie die elektromagnetische Wechselwirkung beschrieben werden kann. Bei diesen handelt es sich, wie bereits beschrieben, um eine Differenzierung. Interessierte Lernende können eine mögliche Modellvorstellung des elektrischen Feldes, welches aus Klassenstufe 7 bekannt ist, wiederholen. Anschließend erfolgt die Motivation, für eine Vorstellung der Vermittlung von Wechselwirkungen mit Hilfe von sogenannten Botenteilchen. Die Notwendigkeit einer alternativen Vorstellung zum Feldmodell wird damit begründet, dass dieses für die starke und schwache Wechselwirkung versagt. Hierbei wird nicht auf die konkreten physikalischen Grenzen des Feldmodells eingegangen, da dies das Vorwissen der Schüler/innen übersteigt. Die Vermittlung von Wechselwirkungen mit Botenteilchen wird mit Hilfe einer Analogie eingeführt. Hierfür stehen zwei Abbildungen zur Verfügung, die die anziehende und abstoßende Wirkung durch Menschen, welche auf Booten stehen und sich einen Ball bzw. einen Bumerang zuwerfen, veranschaulichen. Bei der Erklärung, wieso sich die Boote aufeinander zu bzw. voneinander wegbewegen, wird bewusst auf die Verwendung des Wortes Impulserhaltungssatz verzichtet, da dieser den Lernenden aus der Schule noch nicht bekannt ist. Dass sich die Boote entfernen, sollte den Schüler/innen aus ihrem Alltag bekannt sein. Eine Lernschwierigkeit könnte dabei bestehen, dass sich die Boote beim Werfen des Bumerangs aufeinander zu bewegen. Die Abbildungen sind nach räumlichen Kontiguitätsprinzip angeordnet. Durch die Erklärung wird die Aufmerksamkeit der Lernenden auf die wichtigen Elemente, in diesem Fall die Menschen und den Ball bzw. Bumerang, gelenkt. (vgl. Kapitel 3.2.2, Kapitel 3.2.4)

5.5.3.3 Starke Wechselwirkung

Die Vermittlung der starken Wechselwirkung beginnt damit, dass aufgezeigt wird, dass für das in der Einführung gewählte Beispiel eine weitere Wechselwirkung notwendig ist. In diesem Zusammenhang wird auch darauf verwiesen, dass die starke Wechselwirkung aus dem Alltag nicht bekannt ist. Dies wird damit begründet, dass die starke Wechselwirkung eine geringe Reichweite hat. Der Grund dafür ist das Confinement. Im Vorbereitungskurs wird dieses nicht thematisiert, da es zu kompliziert ist und für eine Einführung in die Teilchenphysik zu tiefgehend wäre. Dies ist damit zu begründen, dass für die Erklärung des Confinement ein umfassenderes Verständnis der starken Ladung benötigt wird. Außerdem müsste als Besonderheit betont werden, dass die Gluonen als Botenteilchen

der starken Wechselwirkung selbst eine starke Ladung besitzen, was der Grund des Confinement ist. Aufgrund der Komplexität dieser Inhalte wird auf die Erklärung verzichtet. (vgl. Kapitel 4.3.3)

Im Anschluss erfolgt die Benennung der Ursache der starken Wechselwirkung analog zur elektromagnetischen Wechselwirkung. Die Schüler/innen lernen die starke Ladung als weitere Ladung neben der elektrischen Ladung kennen. Es wird der vektorielle Charakter thematisiert, da hiermit begründet werden kann, wieso die starke Ladung drei verschiedene Ausprägungen besitzt. Die starke Ladung wird auch unter dem Begriff Farbladung eingeführt. Hierbei ist darauf zu achten, dass stets die Wortkombination „ein Teilchen besitzt die ... Farbladung“ benutzt wird. Es sollte zur Beschreibung der Begriff Farbladung und nicht Farbe benutzt werden. Andernfalls könnten die Schüler/innen die Vorstellung entwickeln, dass Teilchen in der jeweiligen Farbe angemalt sind. Diese Fehlvorstellung wird des Weiteren dadurch unterbunden, dass der Hinweis gegeben wird, dass die Bezeichnungen „rot, blau und grün“ lediglich der Anschaulichkeit dienen. Ein anderer Vorteil in dieser Beschreibung ist, dass sie analog zur additiven Farbmischung genutzt werden kann und die drei Farbladungen rot, blau und grün addiert farblos ergeben, welches als „weiß“ beschrieben werden könnte.

Auf die Darstellung der Formel für die starke Kraft wird verzichtet, da diese zu kompliziert ist. Dies könnte aufgrund der Mathematisierung auf die Lernenden einschüchternd wirken und deren Motivation unterbinden. (vgl. Kapitel 3.1.2)

Es schließt sich die Erklärung des Konzeptes von Botenteilchen bezogen auf die starke Wechselwirkung an. Dieser Inhalt stellt erneut eine Differenzierung für interessierte Lernende da. Auf eine genaue Erklärung, wieso das Feldlinienbild bei der starken Wechselwirkung versagt, wird verzichtet, da den Lernenden hierfür Vorwissen fehlt. Die Schüler/innen können sich in einer Animation beispielhaft ansehen, wie zwei Quarks miteinander wechselwirken und dabei deren Farbladung durch ein Gluon geändert wird.

5.5.3.4 Schwache Wechselwirkung

Mit dem Aufgreifen des Einführungsbeispiels für die schwache Wechselwirkung wird gezeigt, dass eine vierte fundamentale Wechselwirkung existieren muss. Als dieses wird die β -Umwandlung gewählt, welche den Schüler/innen aus Klassenstufe 9 bekannt ist. Hierbei wird darauf eingegangen, dass ein weiteres Teilchen entsteht, welches in der Schule teilweise ignoriert wird, das Anti-Neutrino. (vgl. Kapitel 5.4.2)

Wie bei der starken Wechselwirkung besitzen die Schüler/innen vermutlich kein weiteres Vorwissen, da die schwache Wechselwirkung aus dem Alltag nicht bekannt ist. Dies wird im Vorbereitungskurs erneut mit der geringen Reichweite begründet. Auch an dieser

Stelle wird auf die physikalische Begründung der geringen Reichweite verzichtet, da diese die Ziele des Vorbereitungskurses übersteigt.

Analog zur elektrischen und zur starken Ladung wird die schwache Ladung als Ursache der schwachen Wechselwirkung eingeführt. Die Formel für die schwache Kraft wird nicht gezeigt, da sie zu kompliziert und für ein grundlegendes Verständnis der schwachen Wechselwirkung nicht notwendig ist.

Die Anwendung des Konzeptes der Botenteilchen stellt erneut eine Differenzierungsmöglichkeit für interessierte Lernende dar. Erneut wird nicht begründet, wieso das Feldlinienmodell auch für die schwache Wechselwirkung versagt. Die drei Botenteilchen der schwachen Wechselwirkung werden kurz vorgestellt.

Die anschließenden Übungsaufgaben beziehen sich auf alle vier fundamentalen Wechselwirkungen. Sie dienen der Anwendung des erworbenen Wissens und der Lernzielkontrolle. Die erste Aufgabe ist eine Single-Choice-Aufgabe, bei welcher Beispielprozesse gegeben sind. Es muss jeweils die Wechselwirkung zugeordnet werden, die für den geschilderten Prozess verantwortlich ist. Es kann hiermit das Lernziel überprüft werden, ob Schüler/innen einfache Beispielprozesse den Wechselwirkungen zuordnen können. Die gewählten Prozesse sind Phänomene aus der Lebenswelt der Schüler/innen oder wurden in einem Inhaltsabschnitt über die Wechselwirkungen im Vorbereitungskurs beschrieben. Alle Prozesse lassen sich eindeutig nur einer Wechselwirkung zuordnen. Die Gefahr bei dem gewählten Aufgabenformat besteht darin, dass es zum Raten der Antwort verleitet. Vorteilhaft ist die einfache Umsetzung in OPAL. Es könnten auch Beispiele gewählt werden, bei denen mehrere Wechselwirkungen für den beschriebenen Prozess verantwortlich sind. Jedoch würde dies das in den Lernzielen angestrebte Niveau überschreiten. (vgl. Kapitel 3.3)

Als zweite Festigungsaufgabe ist ein Text gegeben, in welchem Wörter bzw. Wortgruppen hervorgehoben sind. Die Lernenden sollen nun die hervorgehobenen Stellen markieren, an denen eine wahre Aussage getroffen wird. Dieser Aufgabenformat wird als Fehlertext bezeichnet. Hierbei ist darauf zu achten, dass der Text, trotz möglicher fehlerhafter Textstellen verständlich und präzise bleibt. Damit ist zu begründen, dass die Anzahl der markierten Stellen pro Satz möglichst geringgehalten ist. Der Text dient der Überprüfung des Lernzieles, dass Schüler/innen die Wechselwirkungen benennen, welche für ihren Alltag bzw. in der Teilchenphysik eine Rolle spielen. (vgl. Kapitel 3.3)

5.5.4 Ladungen

Der Inhaltsabschnitt Ladungen dient der Einführung des physikalischen Konzeptes der Ladung. In der Einführung zu diesem Kapitel wird zunächst wiederholt, welche

Informationen bisher zu Ladungsarten im Vorbereitungskurs gegeben wurden. Außerdem wird den Lernenden verdeutlicht, dass sie aus der Schule nur eine Ladungsart, die elektrische Ladung, kennen. Dadurch soll gezeigt werden, dass es noch weitere Ladungsarten gibt und es sich bei der starken und schwachen Ladung nicht um eine Unterordnung der elektrischen Ladung handelt. Diese mögliche Fehlvorstellung soll verhindert werden. (vgl. Kapitel 3.6)

Wie in den anderen Einführungen zu den Kapiteln des Vorbereitungskurses erfolgt auch zu Beginn dieses Inhaltsabschnitts eine Zielformulierung. Diese sichert, dass den Schüler/innen das zu erreichende Zielniveau bewusst ist.

In diesem Inhaltsabschnitt wird weiterhin auf die Eigenschaften von Ladungen eingegangen. Dies verdeutlicht, dass es sich bei Ladung um ein physikalisches Konzept handelt. Die Einführung der Eigenschaften gequantelt, additiv und erhalten erfolgt nacheinander. Dies dient dem Erreichen des Lernzieles, dass die Schüler/innen die Eigenschaften von Ladungen benennen. Zunächst werden die im Vorbereitungskurs erwähnten Fakten über Ladungen zusammengefasst, was der Wiederholung und Übersichtlichkeit dient. Daraus kann die Eigenschaft, dass Ladungen gequantelt sind, abgeleitet werden.

Die Definition der additiven Eigenschaft von Ladungen erfolgt induktiv anhand der Ladungen der drei Quarks, die ein Neutron bilden. Dass Ladungen erhalten sein müssen, damit Prozesse überhaupt stattfinden können, wird als letzte Eigenschaft benannt.

Bei allen drei Eigenschaften ist darauf geachtet, dass die Fachwörter bei der Einführung erklärt werden. Dies sichert die Einfachheit der Texte, welche ein Merkmal verständlicher Text nach Schulz, von Thun und Tausch darstellt. (vgl. Kapitel 3.2.3)

Der Inhaltsabschnitt thematisiert außerdem die physikalische Bedeutung von Ladungen. Damit ist zum einen gemeint, dass Ladungen die Ursache von Wechselwirkungen sind. Dies wurde in dem Inhaltsabschnitt über die einzelnen Wechselwirkungen mehrfach benannt. Diese Bedeutung wird an dieser Stelle im Vorbereitungskurs erneut aufgegriffen, um sie zu wiederholen und die Vernetzung von Wechselwirkungen und Ladungen erneut zu betonen. Damit wird der Charakter des Standardmodells der Teilchenphysik behandelt ohne diese Theorie begrifflich einzuführen.

Ladungen sind ebenfalls mit Teilchen verbunden. In diesem Zusammenhang haben die Ladungen die Bedeutung, dass sie den Teilchen eine Ordnungsstruktur geben. Im Vorbereitungskurs wird davon gesprochen, dass Ladungen für Teilchen charakteristische Eigenschaften sind. Dies stellt für die Schüler/innen eine Erweiterung ihres Wissens dar. Bisher kannten die Lernenden beispielsweise die Masse als eine Teilcheneigenschaft. Nun können die elektrische, starke und schwache Ladung als weitere charakterisierende Größen von Teilchen benannt werden.

Der Inhaltsabschnitt Ladungen endet ebenfalls mit einer Übungsaufgabe. In dieser sind die drei Eigenschaften von Ladungen gegeben. Zur Auswahl stehen verschiedene Erklärungen, von denen genau drei den Eigenschaften gequantelt, additiv und erhalten zugeordnet werden können. Damit erfolgt die Überprüfung des Lernzieles, dass die Schüler/innen die Ladungseigenschaften benennen können. Die Aufgabe ist in einem Drag-and-Drop Format gestellt. Die richtige Lösung kann schwer erraten werden, weil weitere zusätzliche, falsche Antworten hinzugefügt sind.

5.5.5 Elementarteilchen der Materie und Anti-Materie

Der letzte Inhaltsabschnitt beschäftigt sich mit Elementarteilchen. In der Einführung des Kapitels werde alle Teilchen aufgeführt, die im Vorbereitungskurs bereits genannt wurden. Dies dient der Wiederholung, da die Lernenden manche der Teilchen bis zum Vorbereitungskurs nicht kannten. Es erfolgt analog zu den anderen Kapiteln eine Zielformulierung.

Eines der Ziele ist, dass die Lernenden die Teilchen ordnen können. Hierfür wurde im vorangegangenen Kapitel die Ordnungsstruktur Ladung eingeführt. Mit Hilfe dieser ist für die Schüler/innen auch erkennbar, an welchen Wechselwirkungen die Teilchen teilnehmen. Es kann somit gesagt werden, dass dieses Kapitel der Vernetzung des bisher erworbenen Wissens dient.

Zunächst werden die Elementarteilchen der Materie behandelt. Hierbei beschränkt sich der Vorbereitungskurs auf die Teilchen der ersten Teilchengeneration, da vor allem diese in der Masterclass eine Rolle spielen. Die Elementarteilchen werden mit Hilfe einer Tabelle, in der die Ladungen der Teilchen dargestellt sind, untereinander bezüglich ihrer Ladungen verglichen. Dies gelingt, indem die Schüler/innen durch eine konkrete Aufforderung dazu angeleitet werden. Damit wird die Aufmerksamkeit auf das Vergleichskriterium gelenkt. Hierdurch wird das Mitdenken der Lernenden angeregt. So kann verhindert werden, dass die Schüler/innen über die Tabelle hinweglesen und die dargestellten Informationen ignorieren. (vgl. Kapitel 3.2.2)

Die Schüler/innen erkunden mit Hilfe der bildhaften Darstellung die Ladungen, welche die jeweiligen Teilchen besitzen und schlussfolgern, an welchen Wechselwirkungen diese teilnehmen. Hierdurch gelingt eine Verbindung der drei Pfeiler des Standardmodells der Teilchenphysik: Wechselwirkung, Ladung und Elementarteilchen.

Als einziges zusätzliches Teilchen neben Elektron, Up-Quark, Down-Quark und Neutrino wird das Myon eingeführt, welches ebenfalls in der Masterclass eine Rolle spielt. Mit Hilfe dessen wird aufgezeigt, dass neben den Ladungen als Ordnungsstruktur auch die Masse als weiteres Kriterium benötigt wird, um ein Teilchen eindeutig zu identifizieren.

Anschließend an die Elementarteilchen der Materie erfolgt die Einführung der Anti-Materieteilchen. Dieses Thema ist für Schüler/innen motivierend, da es einen Wow-Effekt beinhaltet, weil es sich um neues, unbekanntes und spannendes Wissen handelt. Es gelingt demzufolge eine Steigerung des Interesses, gerade weil dieses Thema durch Filme und Bücher thematisiert wird. (vgl. Kapitel 3.1.2)

Als erstes wird beschrieben, was Anti-Teilchen sind. Hierbei werden die Kriterien zur Ordnung von Teilchen, Ladung und Masse, erneut herangezogen. Anschließend werden die Namen der Anti-Teilchen der vorgestellten Elementarteilchen genannt. Die Eigenschaften dieser sind analog zu den Materieteilchen in einer Tabelle zusammenfassend dargestellt. Es erfolgt wieder die Verbindung der Konzepte Ladung und Wechselwirkung, indem untersucht wird, an welchen Wechselwirkungen die aufgeführten Anti-Teilchen teilnehmen.

Abschließend erfolgt eine Erläuterung, was passiert, wenn Materie- und Anti-Materie-Teilchen aufeinandertreffen. Hierbei wird die Formel Einsteins $E = mc^2$ genutzt, um zu veranschaulichen, dass es sich bei Masse um eine Form von Energie handelt. Dabei ist darauf zu achten, dass die Lernenden keine Fehlvorstellungen entwickeln und denken, dass Masse in Energie umgewandelt werden kann. Diese Aussage lässt den Eindruck entstehen, dass Masse keine Energieform wäre, was nicht stimmt. Um diese Fehlvorstellung zu verhindern, wird Masse als eine Form von Energie eingeführt, wie auch die kinetische oder die potentielle Energie Energieformen sind, die ineinander umgewandelt werden können. Die Umwandlung von Energieformen ineinander ist den Schüler/innen aus Klassenstufe 7 und 9 bekannt. (vgl. Kapitel 3.6 und 5.4.2)

Es werden die beiden möglichen Reaktionen, die Paarvernichtung und Paarerzeugung jeweils anhand von Beispielen beschrieben. Diese Beschreibung der Paarerzeugung wird durch eine Animation bildlich unterstützt. (vgl. Kapitel 3.2.4)

Auch der letzte Inhaltsabschnitt wird mit Übungen zum erlernten Wissen abgeschlossen. In der ersten Aufgabe bearbeiten die Lernenden einen Lückentext, der die Übung der Namen der Anti-Teilchen der Elementarteilchen der ersten Generation zum Ziel hat. Die Anzahl der Lücken ist dabei so gewählt, dass das Textverständnis gesichert ist. Die Aufgabe wird als erstes gestellt, da hiermit wiederholt wird, dass Teilchen und Anti-Teilchen entgegengesetzte Ladungen besitzen. Dies hilft bei der Beantwortung der zweiten Aufgabe. Diese ist in einem Multiple-Choice-Format gestellt, welches der Anwendung deklarativen Wissens dient. Die Lernenden sollen vorgegebenen Teilchen die Ladungen zuordnen, die diese besitzen. Das Raten bei diesem Aufgabenformat ist erschwert, da nicht bekannt ist, wie viele der möglichen Antworten jeweils richtig sind. Die Aufgabe dient der Überprüfung des Lernzieles, ob die Schüler/innen in der Lage sind den Teilchen und Anti-Teilchen der ersten Generation sowie dem Myon und Anti-Myon die

Ladungen zuzuordnen, die diese besitzen. In der Aufgabe werden die Ladungen von sechs verschiedenen Teilchen abgefragt. Diese sind so gewählt, dass einmal Teilchen und zugehörige Anti-Teilchen betrachtet werden (Elektron und Positron). Außerdem werden Elektron und Myon betrachtet, damit erkennbar ist, dass sie die gleichen Ladungen trotz unterschiedlicher Massen besitzen. Des Weiteren ist sichergestellt, dass ein Teilchen dabei ist, welches alle drei Ladungen (Down-Quark), eines, welches die schwache und elektromagnetische Ladung (Elektron) und eines, welches nur die schwache Ladung (Neutrino) besitzt. (vgl. Kapitel 3.3)

5.6 Durchführung

Eine erste Durchführung des Online-Vorbereitungskurses wurde mit Hilfe von drei Schüler/innen, welche am Ende der Klassenstufe 9 stehen, realisiert. Ein Schüler und eine Schülerin führten den Kurs im Rahmen ihres Praktikums am Institut für Kern- und Teilchenphysik der Technischen Universität Dresden durch. Beide besitzen Vorwissen zur Teilchenphysik, welches über das von Lernenden der Klassenstufe 9 hinausgeht. Die Schüler/innen konnten auch Hinweise bezüglich der gewählten Inhalte des Kurses geben und ob sie diese als geeignet empfinden. Die dritte Schülerin, die den Vorbereitungskurs durchführte, besitzt kein weiteres Vorwissen im Bereich der Teilchenphysik, sondern kennt die Inhalte, die in Kapitel 5.4.2 erläutert wurden.

Die Schüler/innen führten den Vorbereitungskurs nacheinander durch. Ihre Anmerkungen wurden jeweils sofort in den Kurs eingearbeitet, sodass der nächste Lernende eine Weiterentwicklung des Kurses durchlas.

Bei der ersten Durchführung wurde festgestellt, dass der Vorbereitungskurs mehr Zeit in Anspruch nimmt, als vorgesehen ist. Dies führt dazu, dass über die Ausführlichkeit der Inhalte nachgedacht wurde. Als Folge draus ergab sich, dass die konkreten Inhalte über die Botenteilchen der Wechselwirkungen als Differenzierungsangebot für interessierte Lernende gestaltet wurden. Der Vorteil besteht darin, dass der Kurs insgesamt zeitlich gekürzt wird. Ebenfalls wird der Schwierigkeitsgrad der Informationen etwas abgesenkt, da die Vermittlung von Wechselwirkungen mit Botenteilchen für die Schüler/innen ein neues Konzept darstellt, dessen Durchdenken viel Zeit in Anspruch nimmt.

Die erste Schülerin merkte außerdem an, dass sie die Sprache als schülergerecht und gut verständlich wahrnimmt. Ebenfalls gefiel ihr die übersichtliche und zusammenfassende Darstellung eines, für sie, interessanten Themas.

Diesen Aussagen schließt sich der zweite Schüler grundsätzlich an. Er hebt hervor, dass der Kurs sich als erste Einführung in die Grundlagen der Teilchenphysik aus seiner Sicht eignet. Jedoch sollte der Kurs seiner Meinung nach nicht alleinstehen, sondern mit einer

Präsenzveranstaltung, in der die Wiederholung der physikalischen Inhalte stattfindet, einhergehen. Dies entspricht dem Ziel und der angedachten Vorgehensweise des Vorbereitungskurses.

Der Schüler machte weitere Anmerkungen, unter anderem zur Darstellung der Gravitations- und Coulombkraft mit Hilfe von Pfeilen und deren Beschriftung. Diese wurde anschließend angepasst, sodass die Kräfte nun mit F_G bzw. F_C beschriftet sind. Diese Darstellung ist für Lernende eindeutiger als die zuvor gewählte Bezeichnung F_{21} und F_{12} , die verdeutlichen sollte, dass Körper 2 eine Kraft auf Körper 1 ausübt bzw. umgekehrt. Diese Darstellungsform ist den Lernenden aus der Schule nicht bekannt und wird deshalb nicht genutzt. Die jetzt gewählte Beschriftung entspricht der Variante, welche in der Schule verwendet wird.

Des Weiteren sagte der Schüler, dass der Begriff des Vektors noch nicht in der Schule eingeführt wurde. Daraufhin wurde der Begriff Vektor aus den Erklärungen zur starken Wechselwirkung gestrichen. Er kommt zwar im Begriff Farbladungsvektor vor. In diesem Zusammenhang wird „der Farbladungsvektor“ als Eigenbegriff eingeführt, welcher zur Bezeichnung der starken Ladung genutzt wird. Deshalb sollte er für die Lernenden zu keinem Verständnisproblem führen.

Dem Schüler gefielen besonders die verwendeten Animationen und Abbildungen.

Der Schüler absolvierte den Kurs, nachdem die Differenzierungsmöglichkeit bereits eingebaut war. Er benötigte für die Bearbeitung 70 Minuten, davon zehn Minuten für die Betrachtung der Zusatzinformationen. Somit ist die Länge des Vorbereitungskurses nun so gewählt, dass eine Durchführung in einer Doppelstunde im Unterricht möglich ist. Aufgrund des zeitlichen Umfangs des Vorbereitungskurses empfiehlt der Schüler, dass die Durchführung des Kurses in der Schule stattfindet. Andernfalls sieht er die Gefahr, dass die Lernenden aufgrund vieler neuer Informationen nicht ausreichend Durchhaltevermögen besitzen und das Durcharbeiten nach einer gewissen Zeit beenden. Die dritte Schülerin besitzt kein Vorwissen zur Teilchenphysik. Sie empfand den Vorbereitungskurs als gut verständlich. Sie benötigt 85 Minuten für das Bearbeiten des Kurses, hiervon zehn Minuten für das Durchlesen der Zusatzinformationen. Somit konnte bestätigt werden, dass die Länge des Vorbereitungskurses so gewählt ist, dass dieser in einer Doppelstunde in der Schule durchgeführt werden kann. Die Schülerin empfand die Übungsaufgaben als hilfreich, um den gelesenen Stoff zu wiederholen. Gleichzeitig merkt sie an, dass eine nochmalige Wiederholung der Inhalte nach einer gewissen Zeit förderlich wäre, um die Informationen gründlich zu verarbeiten, da es sich für sie um vollständig neues Wissen handelt. Diese Anmerkungen bestätigen die Erfahrungen der anderen beiden Lernenden, welche bereits Vorwissen zu Grundlagen der Teilchenphysik

hatten. Für sie stellte der Online-Vorbereitungskurs somit eine Wiederholung und Festigung des bereits erworbenen Wissens dar.

5.7 Lernzielkontrolle

Die Lernzielkontrolle wird anhand der Ergebnisse, die die Schüler/innen in den Übungsaufgaben erzielten, durchgeführt.

Die Lernenden erzielten in allen Übungen gute bis sehr gute Ergebnisse. Die Übung über die Bausteine der Materie führten sie fehlerfrei durch. Sie ordneten die vorgegebenen Bausteine der Materie korrekt nach ihrer Größe. Außerdem wurden die Elementarteilchen der Materie in den Fragen korrekt benannt. Somit kann festgestellt werden, dass die Lernenden den Aufbau der Materie unter Verwendung von Fachbegriffen beschreiben und die Elementarteilchen der Materie benennen. Dies entspricht den Lernzielen des ersten Inhaltsabschnittes.

Bei der zweiten Übung, welche der Wiederholung der Inhalte über die vier fundamentalen Wechselwirkungen dient, ordneten die Lernenden die vorgegebenen Beispiele der jeweiligen Wechselwirkung korrekt zu. Dies entspricht dem ersten Lernziel des Inhaltsabschnittes. Kleine Fehler traten beim Fehlersuchtext auf. Nach Rücksprache mit den Lernenden konnte festgestellt werden, dass dies zum einen am ungenauen Lesen lag. Eine weitere Ursache war eine nicht genaue Formulierung eines Satzes¹⁵, sodass eine Lücke je nach Auslegungen als wahr oder falsch angenommen werden konnte. Die Formulierung ist nun eindeutig. Mit Hilfe des Fehlertextes kann überprüft werden, ob die Schüler/innen die Wechselwirkungen benennen können, welche im Alltag bzw. in der Teilchenphysik eine Rolle spielen.

In der dritten Übung werden die Begriffe erhalten, gequantelt und additiv wiederholt. Die Schüler/innen hatten hier teilweise Probleme mit dem Begriff gequantelt, da sie diesen nicht aus ihrem Sprachgebrauch kennen.

Die letzte Übung wurde von der ersten Schülerin als etwas erschlagend empfunden, weil sie bei sechs Teilchen die Ladungen markieren sollte, welche diese jeweils besitzen. Daraufhin erfolgte ein Tausch der beiden Aufgaben in dieser Übung. Es erfolgt zunächst die Wiederholung, der Namen der Teilchen und Anti-Teilchen, sowie der Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen diesen. Diese Aufgabe bearbeiteten alle drei Lernenden vollständig richtig. Demzufolge benennen sie die Anti-Teilchen der

¹⁵ Die Formulierung lautete ursprünglich: „Die Gravitation und die starke Wechselwirkung sind aus dem Alltag bekannte Wechselwirkungen. Sie haben eine unendliche Reichweite.“ Sie wurde ersetzt durch: „Die Gravitation und die starke Wechselwirkung sind aus dem Alltag bekannte Wechselwirkungen. Die Gravitation und die elektromagnetische Wechselwirkung haben eine unendliche Reichweite.“

5 Umsetzung des Online-Vorbereitungskurses

Teilchen der ersten Generation richtig, was einem Lernziel des Inhaltsabschnittes entspricht. Außerdem benennen sie die Gemeinsamkeit der Masse und die entgegengesetzten Ladungen von Teilchen und Anti-Teilchen. Sie erkennen, dass aus der Kombination der drei Ladungen und der Masse eindeutig auf ein Teilchen zurückgeschlossen werden kann. Dies entspricht einem Lernziel des Vorbereitungskurses.

Die Zuordnung der Ladungen zu den vorgegebenen Teilchen gelang den beiden anderen Lernenden sehr gut. Hierbei wurde als hilfreich empfunden, dass die Teilchen so angeordnet sind, dass Elektron, Positron und Myon untereinanderstehen und deshalb die Ladungen gut abgeleitet werden können. Die Lernenden verfügen demzufolge über Kriterien, mit deren Hilfe sie Teilchen nach ihren Ladungen ordnen können. Damit wird ein weiteres Lernziel des Vorbereitungskurses erfüllt.

Die drei Schüler/innen, welche den Vorbereitungskurs absolviert haben, beschreiben das Abschlussquiz als amüsant und spannend. Somit erfüllt es sein Ziel, auf die Masterclass neugierig zu machen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Lernziele des Vorbereitungskurses erreicht wurden. Die Lernenden konnten einen Einblick in die Teilchenphysik gewinnen, indem sie die vier fundamentalen Wechselwirkungen und das Konzept der Ladung kennen gelernt haben und den Aufbau der Materie beschreiben können.

6 Fazit und Ausblick

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Erstellung eines Online-Vorbereitungskurses für die Teilchenphysik-Masterclass von Netzwerk Teilchenwelt. Es werden didaktische Grundlagen von Lehr-Lern-Situationen wie Interesse, Motivation und Selbstkonzept sowie die Aufgaben und Einsatzmöglichkeiten von Medien erläutert. Des Weiteren wird auf die Gestaltung von Lernaufgaben, von Differenzierungsmöglichkeiten und von Feedback eingegangen. Außerdem werden denkbare Schülervorstellungen aufgezeigt. Anschließend erfolgt die Darstellung von ausgewählten physikalischen Inhalten. Hierzu zählen der Aufbau der Materie, die vier fundamentalen Wechselwirkungen, die elektrische, starke und schwache Ladung sowie die Erläuterung der Elementarteilchen.

In der darauffolgenden didaktischen Strukturierung werden die didaktischen und physikalischen Grundlagen zusammengeführt und das Konzept des erstellten Online-Vorbereitungskurses begründet. Nach einer ersten Durchführung des Vorbereitungskurses mit drei Lernenden wurden Rückmeldungen aus Schülerperspektive gegeben. Die daraus resultierenden Anpassungen sind in den Vorbereitungskurs eingebaut worden.

Der im Rahmen dieser Arbeit erstellte Online-Vorbereitungskurs vermittelt Grundlagen der Teilchenphysik, indem dieser Einblicke in den Aufbau der Materie, über die fundamentalen Wechselwirkungen sowie über Elementarteilchen und über das Konzept der Ladung gibt. Mit Hilfe des Vorbereitungskurses ändert sich das Weltbild der Lernenden, da sie neue Informationen über den Aufbau von Materie erlernen. Außerdem trägt dieser dazu bei, dass die Schüler/innen zum Nachdenken über die physikalische Erkenntnisgewinnung angeregt werden. Der Kurs dient der Steigerung des Interesses für die Teilchenphysik und weckt die Neugier der Lernenden. Somit kann der Vorbereitungskurs Interesse für die Physik und deren (aktuelle) Forschung steigern. Werden die zur Verfügung gestellten Informationen genutzt, kann der Vorbereitungskurs dazu dienen, Medienbeiträge aus physikalischer Sicht einzuordnen.

Ziel der vorliegenden Arbeit war die Erstellung eines Konzeptes und die Umsetzung eines Online-Vorbereitungskurses für die Teilchenphysik-Masterclass. Es bleibt offen und zu überprüfen, wie die Umsetzung des Online-Vorbereitungskurses mit einer gesamten Klasse, die an der Teilchenphysik-Masterclass teilnehmen möchte, gelingt. In diesem Zusammenhang ist zu kontrollieren, ob der Vorbereitungskurs die gewünschten Vorteile für die Masterclass mit sich bringt. Es sollte getestet werden, ob den Lernenden die Inhalte aus dem Vorbereitungskurs beim Verständnis der Masterclass helfen. Hier könnte überprüft werden, ob die Schüler/innen die Inhalte aus dem Vorbereitungskurs behalten

haben, oder sich eine ergänzende Ergebnissicherung in schriftlicher Form, beispielsweise auf einem Arbeitsblatt, als vorteilhaft erweisen würde.

In diesem Zusammenhang ist auch zu prüfen, welche Durchführungsvariante, als Hausaufgabe oder in der Schule, sich als vorteilhafter erweist.

Am Online-Vorbereitungskurs sind unterschiedliche Verbesserungsmöglichkeiten zu untersuchen. Beispielsweise ist zu prüfen, ob es möglich ist, die Informationstexte weiter zu kürzen oder mehr Animationen und Bilder einzusetzen, um methodisch noch differenziertere Darstellungsformen anzubieten. Dabei sollte sichergestellt werden, dass kein Informationsverlust eintritt.

Außerdem sollte die Wirksamkeit des hinterlegten Feedbacks zu den einzelnen Übungsaufgaben untersucht werden. Hier bietet OPAL nur eingeschränkte Funktionen zur Feedbackgestaltung. Eventuell wäre ein noch individualisierteres Feedback, zum Beispiel je nach gegebener Antwortkombination, hilfreich.

Die Teilchenphysik-Masterclass wird nicht nur an sächsischen Schulen veranstaltet. Somit ist eine Übernahme des Online-Vorbereitungskurses auch durch andere Standorte vom Netzwerk Teilchenwelt denkbar. Hier müsste das Vorwissen der Lernenden der anderen Bundesländer überprüft werden. Es ist davon auszugehen, dass diese ein ähnliches oder besseres Vorwissen als die sächsischen Schüler/innen im Bereich der Teilchenphysik besitzen, weil Teilchenphysik im Lehrplan für Physik in Sachsen kein Bestandteil ist.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4.1: Aufbau der Materie (Quelle: Kobel (u.a.), Abbildung 3, S. 13).	28
Abbildung 4.2: Analogie abstoßende Wechselwirkung (Quelle: Kobel (u.a.), Abbildung 25, S. 39).....	31
Abbildung 4.3: Analogie abstoßende Wechselwirkung (Quelle: Kobel (u.a.), Abbildung 26, S. 39).....	31
Abbildung 4.4: elektrische Ladungszahlen Z von Elektron, Elektron-Neutrino, Up-Quark, Down-Quark und den jeweiligen Anti-Teilchen (Quelle: Kobel (u.a.), Abbildung 14, S. 28).	35
Abbildung 4.5: schwache Ladungszahlen I von Elektron, Elektron-Neutrino, Up-Quark, Down-Quark und den jeweiligen Anti-Teilchen (Quelle: Kobel (u.a.), Abbildung 1, S. 29).	36
Abbildung 4.6: Farbladung der Quarks auf dem Farbgitter (Quelle: Kobel (u.a.), Abbildung 20, S. 33).....	37
Abbildung 4.7: Übersicht Generationen der elementaren Materieteilchen (Quelle: Kobel (u.a.), Abbildung 52, S. 64).....	39
Abbildung 4.8: Übersicht Generationen der Anti-Materieteilchen. (Quelle: Kobel (u.a.), Abbildung 54, S. 65).	39
Abbildung 4.9: Übersicht Elementarteilchen (Quelle: Max Planck Institut für Physik München, https://www.mpp.mpg.de/lernen-und-arbeiten/lehrveranstaltungen/vorlesungstests-des-standardmodells-der-teilchenphysik-iii/ , Stand: 12.03.2018, angepasst).....	40
Abbildung 4.10: Grundpfeiler des Standardmodells der Teilchenphysik (Quelle: Kobel (u.a.), Abbildung 13, S. 27).....	41
Abbildung 5.1: Logische Grundstruktur der Planung (Quelle: Jank, Meyer, Abbildung 3.6, S. 92).....	42
Abbildung 5.2: Didaktische Strukturierung (Quelle: Jank, Meyer, Abbildung 3.7, S. 94). ..	51

Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] ANTONS, K. (2011): Praxis der Gruppendynamik. Übungen und Techniken. Hogrefe Verlag GmbH, Göttingen.
- [2] BETHGE, K., SCHRÖDER, U. E. (2006): Elementarteilchen und ihre Wechselwirkungen. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- [3] BEYER, P. (2012): 55 Methoden Politik. Einfach, kreativ, motivierend. Auer Verlag, Donauwörth.
- [4] BLECK-NEUHAUS, J. (2013): Elementare Teilchen. Von den Atomen über das Standard-Modell bis zum Higgs-Boson. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- [5] BÖNSCH, M. (2009): Erfolgreiches Lernen durch Differenzierung im Unterricht. Westermann Schroedel Diesterweg Schöningh Winklers GmbH, Braunschweig.
- [6] BRUNS, B., GAJEWSKI, P. (1999): Multimediales Lernen im Netz. Leitfaden für Entscheider und Planer. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [7] CIEPLIK, D. (2006): Erlebnis Physik 3. Ein Lehr- und Arbeitsbuch 9. Schuljahr. Bildungshaus Schulbuchverlage Westermann Schroedel Diesterweg Schöningh Winklers GmbH, Braunschweig.
- [8] COUGHLAN, G., DOOD, J. (1996): Elementarteilchen. Eine Einführung für Naturwissenschaftler. Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/ Wiesbaden.
- [9] DEMTRÖDER, W. (2017): Experimentalphysik 4. Kern-, Teilchen- und Astrophysik. Springer-Verlag GmbH, Deutschland.
- [10] ELSTER, D. (2007): In welchen Kontexten sind naturwissenschaftliche Inhalte für Jugendliche interessant? Ergebnisse der ROSE-Erhebung in Österreich und Deutschland. In: https://www.univie.ac.at/pluslucis/PlusLucis/073/s2_8.pdf, Stand: 06.03.2018.
- [11] FENGLER, J. (2009): Feedback geben. Strategien und Übungen. Beltz Verlag, Weinheim und Basel.
- [12] FREY, K., FREY-EILING, A. (1993): 4. Lernaufgaben. In: Allgemeine Didaktik. Arbeitsunterlagen zur Vorlesung. Verlag der Fachvereine an den schweizerischen Hochschulen und Techniken AG, Zürich.

- [13] GOETHE, J. W. (2000): Faust. Der Tragödie Erster Teil. Philipp Reclam jun. GmbH & Co., Stuttgart.
- [14] HÄUBLER, P. (U.A.) (1998): Naturwissenschaftsdidaktische Forschung. Perspektiven für die Unterrichtspraxis. Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften, Kiel.
- [15] HELMKE, A. (2012): Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität. Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts. Kallmeyer in Verbindung mit Klett, Seelze-Velber.
- [16] HOPF, M., SCHECKER, H., WIESNER, H. (HRSG.) (2011): Physikdidaktik kompakt. Aulis Verlag der Stark Verlagsgesellschaft.
- [17] JANK, W., MEYER, H. (1991): Didaktische Modelle. Cornelsen Verlag Scriptor GmbH und Co KG, Berlin.
- [18] KERRES, M. (2001): Multimediale und telemediale Lernumgebungen. Konzeption und Entwicklung. Oldenbourg Verlag, München.
- [19] KERRES, M. (2013): Mediendidaktik. Konzeption und Entwicklung mediengestützter Lernangebote. Oldenbourg Verlag, München.
- [20] KIRCHER, E., GIRWIDZ, R., HÄUBLER, P. (HRSG.) (2015): Physikdidaktik. Theorie und Praxis. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- [21] KLISMA, P., ISSING, L. J. (HRSG.) (2011): Online-Lernen. Handbuch für Wissenschaft und Praxis. Oldenbourg Verlag, München.
- [22] KOBEL, M. (U.A.) (2017): Teilchenphysik. Unterrichtsmaterial ab Klasse 10. Ladungen Wechselwirkungen und Teilchen. Joachim Herz Stiftung.
- [23] KULTUSMINISTERKONFERENZ (2004): Beschlüsse der Kultusministerkonferenz. Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004. In: https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Physik-Mittleren-SA.pdf, Stand: 12.03.2018.
- [24] LANGER, I., SCHULZ VON THUN, F., TAUSCH, R. (2011): Sich verständlich ausdrücken. Ernst Reinhardt Verlag, München Basel.
- [25] LEHRKE, M., HOFFMANN, L. (HRSG.) (1987): Schülerinteressen am naturwissenschaftlichen Unterricht. Untersuchungen und Erklärungen. Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln.
- [26] LEMMER, B. (2014): Bis(s) ins Innere des Protons. Ein Science Slam durch die Welt der Elementarteilchen, der Beschleuniger und Supernerds. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

- [27] LINDENAU, P. (2015): Entwicklung von Unterrichtsmaterialien zur Auswertung von Daten aus Experimenten an modernen Teilchenbeschleunigern. Masterarbeit im Fach Physik, Technische Universität Dresden.
- [28] Lutz, B., Bader, H. J. (2003): Naturwissenschaftliches Arbeiten. In: Naturwissenschaften im Unterricht-Chemie 14. Jg., Nr. 76/77, S. 4-6. In: http://www.sinus-bayern.de/userfiles/3_Nat_Arbeiten/Nat_Arbeiten.pdf. Stand: 09.05.2018.
- [29] MEDIENZENTRUM TU DRESDEN (2016): Digitales Lehren und Lernen in der Hochschule. Heft 1: Flexibilität und Vielseitigkeit mit digitalen Lehr- und Lernmaterialien erhöhen.
- [30] MEYER, L., SCHMIDT, G.-D. (HRSG.) (2006): Level 9 Physik. Lehrbuch für die Klasse 9 Gymnasium Sachsen. Duden Paetec Schulbuchverlag, Berlin.
- [31] MIETZEL, G. (2007): Pädagogische Psychologie des Lernens und Lehrens. Hogrefe Verlag, Göttingen.
- [32] MÜLLER, R., WODZINSKI, R., HOPF, M. (HRSG.) (2007): Schülervorstellungen in der Physik. Aulis Verlag Deubner, Köln.
- [33] NE'EMAN, Y., KIRSH, Y. (1995): Die Teilchenjäger, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- [34] NORTHEIM, T. (U.A.) (2006): Spektrum Physik. Gymnasium Klasse 9. Bildungshaus Schulbuchverlage Westermann Schroedel Diesterweg Schöningh Winklers GmbH, Braunschweig.
- [35] NORTHEIM, T. (U.A.) (2004): Spektrum Physik. Gymnasium Klasse 7. Bildungshaus Schulbuchverlage Westermann Schroedel Diesterweg Schöningh Winklers GmbH, Braunschweig.
- [36] PEIERLS, R. E. (1966): Die Kernmaterie. In: Physikalische Blätter 22. Jg., Nr. 2, S. 57-65. In: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/phbl.19660220202>, Stand: 14.05.2018.
- [37] PETERBEN, W. H. (1999): Kleines Methoden-Lexikon. Oldenbourg Schulbuchverlag GmbH, München.
- [38] PETSCHENKA, A., OJSTERSEK, N., KERRES, M. (2004): Lernaufgaben gestalten. Lerner aktivieren mit didaktisch sinnvollen Lernaufgaben. In: https://learninglab.uni-due.de/sites/default/files/lernaufgaben-ke-pet1a_0.pdf, Stand: 05.03.2018.
- [39] POVH, B. (U.A.) (2009): TEILCHEN UND KERNE. Eine Einführung in die physikalischen Konzepte. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

- [40] RABE, T. (2010): PIKO-Brief Nr. 2. Affektive Aspekte und Lernen von Physik. In: PIKO-Briefe. Der fachdidaktische Forschungsstand kurzgefasst. In: https://www.ipn.uni-kiel.de/de/das-ipn/abteilungen/didaktik-der-physik/piko/pikobriefe032010.pdf/at_download/file, Stand: 06.03.2018.
- [41] Riedl, A. (2008): Innere Differenzierung – Herausforderung für modernen Unterricht. In: Wirtschaft und Linguistik: Wege einer Wechselwirkung. Eine Sammlung von Materialien einer internationalen wissenschaftlich-praktischen Konferenz von Studierenden und Doktoranden. Föderale Ausbildungsagentur, Staatliche Technische Uraler Universität – USTU-UPI (Hrsg.). Jekaterinburg 2008, S. 122 – 128. In: <http://www.bpaed.edu.tum.de/fileadmin/tueds02/www/pdfs/publikationen/riedl/2008innere-differenzierungriedl.pdf>, Stand: 14.05.2018.
- [42] RESAG, J. (2010): Die Entdeckung des Unteilbaren. Quanten, Quarks und der LHC. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- [43] SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR KULTUS (HRSG.) (2004/ 2007/ 2009/ 2011): Lehrplan Gymnasium. Physik. In: https://www.schule.sachsen.de/lpdb/web/downloads/lp_gy_physik_2011.pdf?v2, Stand: 27.03.2018.
- [44] SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR KULTUS (HRSG.) (2004/ 2009): Lehrplan Mittelschule. Physik. In: https://www.schule.sachsen.de/lpdb/web/downloads/lp_ms_physik_2009.pdf?v2, Stand: 09.04.2018.
- [45] SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR KULTUS (HRSG.) (2004/ 2007/ 2009/ 2011): Lehrplan Gymnasium. Chemie. In: https://www.schule.sachsen.de/lpdb/web/downloads/lp_gy_chemie_2011.pdf?v2, Stand: 27.03.2018.
- [46] SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR KULTUS (HRSG.) (2004/ 2009): Lehrplan Mittelschule. Chemie. In: https://www.schule.sachsen.de/lpdb/web/downloads/lp_ms_chemie_2009.pdf?v2, Stand: 09.04.2018.
- [47] TAUSCH, R., TAUSCH, A.-M. (1991): Erziehungspsychologie. Begegnung von Person zu Person. Hogrefe Verlag für Psychologie, Göttingen.
- [48] Woithe, J. (2014): Teilchenphysik in den deutschen Lehrplänen. In: https://indico.cern.ch/event/247728/contributions/1569942/attachments/426303/591728/JW_lehrplaene_TP.pdf, Stand: 16.05.2018.

Anmerkung zu den Bildquellen:

Die Bildquellen der Abbildungen sind in der Arbeit direkt unter den Abbildungen angegeben. Die Quellen der Abbildungen und Animationen des Online-Vorbereitungskurses sind unter dem letzten Gliederungspunkt des Kurses zu finden.

Anhang

Auf den folgenden Seiten ist der erstellte Online-Vorbereitungskurs der Teilchenphysik-Masterclass in einer Druckversion zu finden. Der Kurs ist chronologisch nach den Kapiteln geordnet. Falls ein Abschnitt mehr als eine Seite in Anspruch nimmt, wurde diese in der Mitte getrennt. Die Fortführung ist dann auf der nächsten Seite zu finden.

1. Willkommen	ii
2. Hilfe und Support	iii
3. Aufbau der Materie	iv
3.1. Bausteine der Materie	v
3.2. Übung einschließlich Lösung	vii
4. Die vier fundamentalen Wechselwirkungen	xi
4.1. Gravitation	xii
4.2. Elektromagnetische Wechselwirkung	xiv
Zusatzinformationen	xvi
4.3. Starke Wechselwirkung	xviii
Zusatzinformationen	xx
4.4. Schwache Wechselwirkung	xxi
Zusatzinformationen	xxiii
4.5. Übung einschließlich Lösung	xxiv
5. Ladungen	xxviii
5.1. Eigenschaften von Ladungen	xxix
5.2. Was machen Ladungen?	xxx
5.3. Übung einschließlich Lösung	xxxi
6. Elementarteilchen	xxxiii
6.1. Elementarteilchen der Materie	xxxiv
6.2. Anti-Materie-Teilchen	xxxv
6.3. Übung einschließlich Lösung	xxxvii
7. Abschlussquiz einschließlich Lösung	xli
8. Bildquellen	lviii

1. Willkommen

OPAL

Startseite Kursangebote Vorbereitungskurs Teil...
Vorbereitungskurs Teilchenphysik Masterclass

Suche Login

Sie dürfen Inhalte lesen.

1 Willkommen

Willkommen im Online-Vorbereitungskurs der Teilchenphysik Masterclass.

Bald nimmst du gemeinsam mit deiner Klasse an der Teilchenphysik Masterclass teil. Der vorliegende Online-Kurs hilft dir bei der Vorbereitung auf dieses Projekt. Er wurde entwickelt, um dir einen Einblick in die fundamentalen Wechselwirkungen der Physik und den Aufbau der Materie zu geben.

Auf der linken Seite findest du die Gliederung des Kurses, so kannst du jederzeit sehen, welchen Baustein du gerade bearbeitest. Der Kurs ist in vier Abschnitte gegliedert. Zu Beginn jedes Abschnitts erfährst du, welche Inhalte dich erwarten. Anschließend wird Wissen durch Informationstexte, Bilder und Animationen vermittelt. Die Inhalte kannst du im Anschluss mit Übungen zum jeweiligen Abschnitt wiederholen. Um Feedback zu deinen gegebenen Antworten zu erhalten, musst du nachdem du die Aufgabe beantwortet hast, auf „Antworten abgeben“ klicken. Am Ende des Kurses gibt es ein Quiz mit Fragen über das erlernte Wissen und Schätzfragen, welche erst in der Masterclass beantwortet werden. Du benötigst ca. 70 Minuten für den gesamten Kurs. An ein paar Stellen hast du die Möglichkeit, dir noch weitere Informationen durchzulesen. Diese sind keine Voraussetzung, um die anderen Inhalte zu verstehen.

- 1 Willkommen
- 2 Hilfe und Support
- 3 Aufbau der Materie
 - 3.1 Bausteine der Materie
 - 3.2 Übung
- 4 Die vier fundamentalen Wechselwirkungen
 - 4.1 Gravitation
 - 4.2 Elektromagnetische Wechselwirkung
 - 4.3 Starke Wechselwirkung
 - 4.4 Schwache Wechselwirkung
 - 4.5 Übung
- 5 Ladungen
 - 5.1 Eigenschaften von Ladungen
 - 5.2 Was machen Ladungen?
 - 5.3 Übung
- 6 Elementarteilchen
 - 6.1 Elementarteilchen der Materie
 - 6.2 Anti-Materie-Teilchen
 - 6.3 Übung
- 7 Abschlussquiz

Ich wünsche dir viel Vergnügen mit ersten Einblicken in die Teilchenphysik.

Viele Grüße
Carolin

2. Hilfe und Support

Suche

Login

Startseite Kursangebote Vorbereitungskurs Teil...
Vorbereitungskurs Teilchenphysik Masterclass

Sie dürfen Inhalte lesen.

2 Hilfe und Support

Bei Fragen und Anmerkungen melde dich bitte bei Carolin Diesel.
E-Mail: carolin.diesel@tu-dresden.de

- Vorbereitungskurs Teilchenphysik Ma
- Einschreibung
- 1 Willkommen
- 2 Hilfe und Support
- 3 Aufbau der Materie
 - 3.1 Bausteine der Materie
 - 3.2 Übung
- 4 Die vier fundamentalen Wechselwirk
 - 4.1 Gravitation
 - 4.2 Elektromagnetische Wechselwirk
 - 4.3 Starke Wechselwirkung
 - 4.4 Schwache Wechselwirkung
 - 4.5 Übung
- 5 Ladungen
 - 5.1 Eigenschaften von Ladungen
 - 5.2 Was machen Ladungen?
 - 5.3 Übung
- 6 Elementarteilchen
 - 6.1 Elementarteilchen der Materie
 - 6.2 Antit-Materie-Teilchen
 - 6.3 Übung
 - 7 Abschlussquiz
 - Bibliquellen

Datenschutz Nutzungsbedingungen Impressum Über OPAL 11.0.6 | N8 Powered by BFS

3. Aufbau der Materie

Opal

Startseite Kursangebote Vorbereitungskurs Teil...
Vorbereitungskurs Teilchenphysik Masterclass

Suche Login

Vorbereitungskurs Teilchenphysik Ma

- Einschreibung
- 1 Willkommen
- 2 Hilfe und Support
- 3 Aufbau der Materie
 - 3.1 Bausteine der Materie
 - 3.2 Übung
- 4 Die vier fundamentalen Wechselwirkungen
 - 4.1 Gravitation
 - 4.2 Elektromagnetische Wechselwirkung
 - 4.3 Starke Wechselwirkung
 - 4.4 Schwache Wechselwirkung
 - 4.5 Übung
- 5 Ladungen
 - 5.1 Eigenschaften von Ladungen
 - 5.2 Was machen Ladungen?
 - 5.3 Übung
- 6 Elementarteilchen
 - 6.1 Elementarteilchen der Materie
 - 6.2 Antit-Materie-Teilchen
 - 6.3 Übung
- 7 Abschlussquiz
- Bibliquellen

Sie dürfen Inhalte lesen.

3 Aufbau der Materie

- Woraus besteht unsere Materie?
- Gibt es Bausteine, aus denen alle Körper zusammengesetzt sind?
- Was sind die kleinstmöglichen Bausteine, die es gibt?

Ziel des ersten Abschnittes ist es, diese Fragen zu erkunden. Hierzu zoomen wir in ein Eis am Stiel hinein und erkennen die Bausteine, aus denen es zusammensetzt ist.

3.1. Bausteine der Materie

Vorbereitungskurs Teil...

Vorbereitungskurs Teilchenphysik Masterclass

Sie dürfen [Inhalte lesen](#).

- Vorbereitungskurs Teilchenphysik Ma
- Einschreibung
- 1 Willkommen
- 2 Hilfe und Support
- 3 Aufbau der Materie
- 3.1 Bausteine der Materie
- 3.2 Übung
- 4 Die vier fundamentalen Wechselwirkung
- 4.1 Gravitation
- 4.2 Elektromagnetische Wechselwirk
- 4.3 Starke Wechselwirkung
- 4.4 Schwache Wechselwirkung
- 4.5 Übung
- 5 Ladungen
- 5.1 Eigenschaften von Ladungen
- 5.2 Was machen Ladungen?
- 5.3 Übung
- 6 Elementarteilchen
- 6.1 Elementarteilchen der Materie
- 6.2 Anti-Materie-Teilchen
- 6.3 antim...

3.1. Bausteine der Materie

Zunächst wollen wir uns mit dem Aufbau der Materie, aus der wir Menschen und unsere Umwelt bestehen, beschäftigen. Bitte beachte, dass alle Bilder Modelle und keine korrekten Abbilder der genannten Bausteine sind. Die verwendeten Farben und Formen dienen nur der Anschaulichkeit. Am rechten Rand siehst du, wie groß die jeweiligen Bausteine ungefähr sind.

Betrachten wir zunächst ein Eis am Stiel.

Zoomen wir etwas in das Eis hinein, so ist erkennbar, dass es aus vielen **Kristallen** zusammengesetzt ist.

Untersuchen wir den Kristall weiter, können wir feststellen, dass er aus **Molekülen** aufgebaut ist, beispielsweise Wassermolekülen.

- 5.3 Übung
- 6 Elementarteilchen
 - 6.1 Elementarteilchen der Materie
 - 6.2 Anti-Materie-Teilchen
 - 6.3 Übung
- 7 Abschlussquiz
- Bildquellen

Untersuchen wir den Kristall weiter, können wir feststellen, dass er aus **Molekülen** aufgebaut ist, beispielsweise Wassermolekülen.

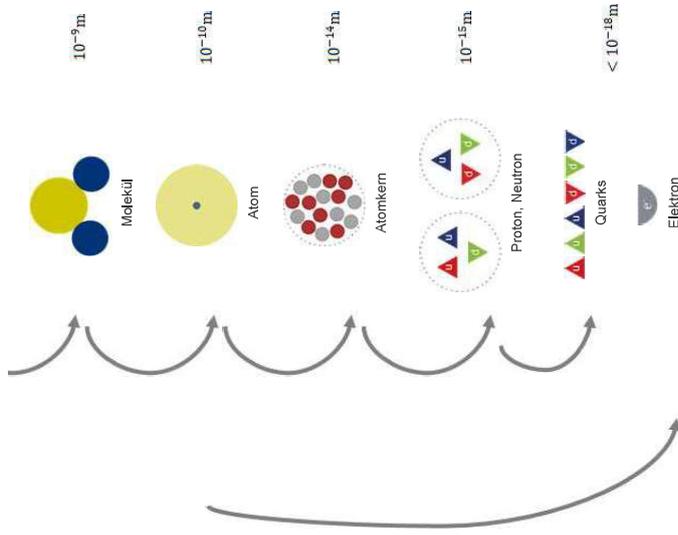
Jedes Molekül setzt sich weiter aus **Atomen** zusammen. Das Wassermolekül aus Sauerstoff- und Wasserstoffatomen.

Jedes Atom besteht aus einem **Atomkern** und je nach Art des Atoms unterschiedlich vielen **Elektronen**.

Zoomen wir in den Atomkern hinein, erkennen wir **Protonen** und **Neutronen**.

Schauen wir uns Proton und Neutron näher an, stellen wir fest, dass sie sich aus sogenannten **Quarks** zusammensetzen. Ein Neutron besteht aus einem Up- und zwei Down-Quarks, ein Proton aus zwei Up- und einem Down-Quark.

Quarks und Elektronen sind kleiner als 10^{-18}m . Bisher geht man davon aus, dass sie keine Unterstruktur besitzen. Deshalb nennt man Quarks und Elektronen Elementarteilchen. Aus drei dieser **Elementarteilchen** setzt sich die gesamte stabile Materie zusammen. Diese sind **Elektron**, **Up-Quark** und **Down-Quark**.



3.2. Übung einschließlich Lösung

3.2 Übung

Neue Sektion

Aufgabe 1: Materiebausteine

Aufgabe 2: Lückentext

Aufgabe 1: Materiebausteine ordnen

Ordne die gegebenen Objekte nach ihrer Größe (von groß (1) nach klein (5)).

1

2

3

4

5

Atom

Proton

Atomkern

Molekül

Elektron

Test abschließen

Kein Antwortversuch bisher

Punkte: 5

Kommentar zur Aufgabe hinterlegen

Datenschutz Nutzungsbedingungen Impressum Über Contact Us Powered by BPS

3.2 Übung

Neue Sektion

Aufgabe 1: Materiebausteine Erreicht: 5 von 5 Punkt(en)

Aufgabe 2: Lückentext

Aufgabe 1: Materiebausteine ordnen Punkte: 5 1 Antwortversuche bisher

Test abschließen

Ordne die gegebenen Objekte nach ihrer Größe (von groß (1) nach klein (5)).

	Molekül		<input type="text"/>
	Atom		<input type="text"/>
	Atomkern		<input type="text"/>
	Proton		<input type="text"/>
	Elektron		<input type="text"/>

© 2017

Datenschutz Nutzungsbedingungen Impressum Über Contact | 100% Test Powered by BPS

3.2 Übung

Neue Sektion

Aufgabe 1: Materiebausteine or

Aufgabe 2: Lückentext

Aufgabe 2: Lückentext

Punkte: 5

Kein Antwortversuch bisher

Test abschließen

Benenne die Elementarteilchen, aus welchen die Materie aufgebaut ist.

Welche Elementarteilchen befinden sich in der Atomhülle?

Aus welchen Elementarteilchen bestehen Neutronen und Protonen?

Kommentar zur Aufgabe hinterlegen

Antworten abgeben

Zurück

Frage 2/2

Test abschließen

ONYX 8,1,1,3

Suchen
Logg
✕

3.2 Übung

Neue Sektion

Test abschließen

Aufgabe 2: Lückentext

1 Antwortversuche bisher

Punkte: 5

Aufgabe 1: Materiebausteine or

?

Erreicht: 5 von 5 Punkt(en)

Aufgabe 2: Lückentext

?

Benenne die Elementarteilchen, aus welchen die Materie aufgebaut ist. ✓ Up-Quark (Elektron) , ✓ Down-Quark (Up-Quarks) , ✓ Elektron (Down-Quarks)

Welche Elementarteilchen befinden sich in der Atomhülle? ✓ Elektron (Elektronen)

Aus welchen Elementarteilchen bestehen Neutronen und Protonen? ✓ Quark (Quarks)

Richtig!

Du hast alle Fragen zu den Elementarteilchen der Materie korrekt beantwortet.

🔄 Frage noch einmal beantworten

🏠 Zurück
Frage 2/2
Test abschließen

ONYX 8.1.1.2

4. Die vier fundamentalen Wechselwirkungen

Vorbereitungskurs Teilchenphysik Ma

- Einschreibung
- 1 Willkommen
- 2 Hilfe und Support
- 3 Aufbau der Materie
 - 3.1 Bausteine der Materie
 - 3.2 Übung
- 4 Die vier fundamentalen Wechselwirkung
 - 4.1 Gravitation
 - 4.2 Elektromagnetische Wechselwirkung
 - 4.3 Starke Wechselwirkung
 - 4.4 Schwache Wechselwirkung
 - 4.5 Übung
 - 5 Ladungen
 - 5.1 Eigenschaften von Ladungen
 - 5.2 Was machen Ladungen?
 - 5.3 Übung
 - 6 Elementarteilchen
 - 6.1 Elementarteilchen der Materie
 - 6.2 Anti-Materie-Teilchen
 - 6.3 Übung
 - 7 Abschlussquiz
 - 8 Blöquellen

Sie dürfen Inhalte lesen.

4 Die vier fundamentalen Wechselwirkungen

Warum bewegt sich der Mond um die Erde und fliegt nicht einfach davon? 	Warum ist es möglich, dass ein Atomkern aus mehreren sich elektrisch abstoßenden Protonen besteht? 	Warum halten Elektronen und der Atomkern als Atom zusammen? 	Wie ist die Umwandlung eines Neutrons in ein Proton erklärbar? 
--	--	---	--

Verantwortlich für die beschriebenen Phänomene sind die sogenannten **vier fundamentalen Wechselwirkungen der Natur**. Sie heißen Gravitation, elektromagnetische Wechselwirkung, starke Wechselwirkung und schwache Wechselwirkung. Alle ablaufenden Prozesse können durch mindestens eine dieser Wechselwirkungen erklärt werden. Beispielsweise beschreiben die vier Wechselwirkungen die Kräfte, mit denen Objekte aufeinander einwirken oder begründen, wie Umwandlungen von Teilchen in andere Teilchen ablaufen.

Die vier Wechselwirkungen sollen in diesem Abschnitt des Vorbereitungskurses vorgestellt werden.



Ziel des Abschnitts ist es, dass du den Wechselwirkungen Beispielprozesse zuordnen kannst. Du lernst auch die Ursachen der Wechselwirkung kennen.

4.1. Gravitation



Startseite | Kursangebote | Vorbereitungskurs Teil...

Vorbereitungskurs Teilchenphysik Ma

- ↳ Einschreibung
- ↳ 1 Willkommen
- ↳ 2 Hilfe und Support
- ↳ 3 Aufbau der Materie
- ↳ 3.1 Bausteine der Materie
- ↳ 3.2 Übung
- ↳ 4 Die vier fundamentalen Wechselwirkungen
- ↳ 4.1 Gravitation
- ↳ 4.2 Elektromagnetische Wechselwirkung
- ↳ 4.3 Starke Wechselwirkung
- ↳ 4.4 Schwache Wechselwirkung
- ↳ 4.5 Übung
- ↳ 5 Ladungen
- ↳ 5.1 Eigenschaften von Ladungen
- ↳ 5.2 Was machen Ladungen?
- ↳ 5.3 Übung
- ↳ 6 Elementarteilchen
- ↳ 6.1 Elementarteilchen der Materie
- ↳ 6.2 Antit-Materie-Teilchen
- ↳ 6.3 Übung
- ↳ 7 Abschlussquiz
- ↳ Bildquellen

Sie dürfen Inhalte lesen.

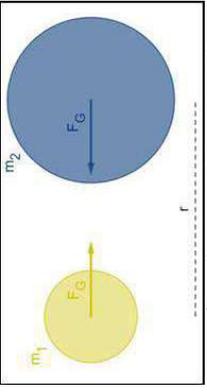


4.1. Gravitation

Als erste der vier Wechselwirkungen wird die Gravitation vorgestellt.

Welche Beispiele gibt es für die Gravitation?
Phänomene, verursacht durch die Gravitation sind uns allen aus dem Alltag bekannt. Durch die Gravitation lässt sich erklären, warum Äpfel von Bäumen oder Handys von Tischen fallen. Auch ist die Gravitation die Ursache, weshalb sich Planeten um die Sonne bewegen oder der Mond um die Erde kreist, ohne davonzufliegen.

Wie kann die Gravitation erklärt werden?
Gravitation wirkt zwischen den Massen von Objekten.
Betrachten wir einmal ganz allgemein zwei Körper mit den Massen m_1 und m_2 . Sie befinden sich in einem Abstand r .



Veranschaulichung Gravitationskraft zwischen zwei Körpern

Die **Gravitationskraft F_G** beschreibt, die Wirkung der Gravitation auf zwei Körper. Diese Wirkung ist immer **anziehend**. Mathematisch ausgedrückt gilt für die Gravitationskraft folgende Proportionalität: $F_G \propto \frac{(m_1 \cdot m_2)}{r^2}$.

▢ Bildquellen

Veranschaulichung Gravitationskraft zwischen zwei Körpern

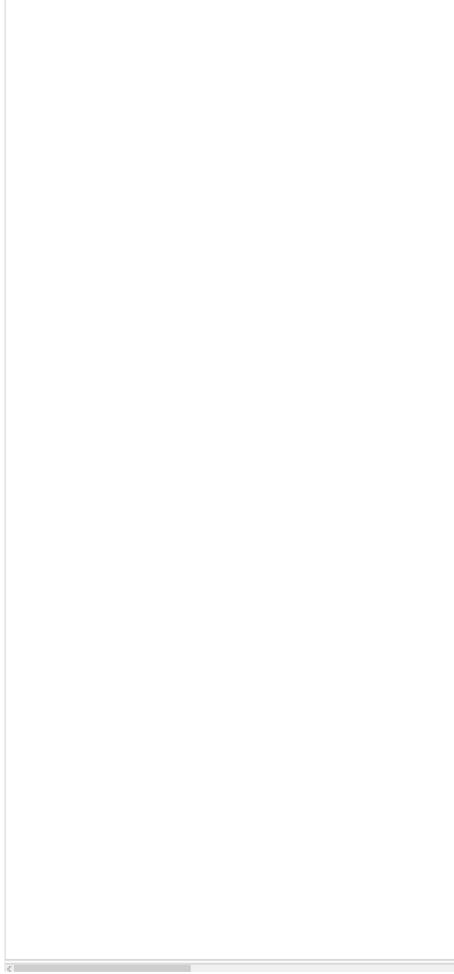
Die **Gravitationskraft** F_G beschreibt, die Wirkung der Gravitation auf zwei Körper. Diese Wirkung ist immer **anziehend**. Mathematisch ausgedrückt gilt für die Gravitationskraft

folgende Proportionalität: $F_G \propto \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$.
Was sagt uns diese Formel?

Die Gravitationskraft ist umso größer, je massereicher die beiden wechselwirkenden Körper sind. Sie ist auch umso größer, je kleiner der Abstand r zwischen den Körpern ist. Aber auch bei großen Abständen r gibt es immer noch eine, vielleicht auch kleine, Gravitationskraft. Man spricht davon, dass die Gravitation eine unendliche Reichweite hat.

Wie in der Abbildung oben, siehst du in der folgenden Animation zwei Körper in einem bestimmten Abstand r zueinander. Du hast die Möglichkeit den Abstand r der Teilchen oder ihre Massen m_1 und m_2 zu ändern, indem die die Schieberegler verstellst. Anschließend kannst du beobachten, wie sich die Länge und Richtung der resultierenden Gravitationskraft verändern.

Animation Gravitationskraft



Obwohl die Gravitation im Alltag eine große Rolle spielt, ist sie für Elementarteilchen vernachlässigbar. Das liegt vor allem daran, dass die Massen der Elementarteilchen sehr klein sind und Effekte der Gravitation dadurch ebenfalls sehr klein sind. Daher sind sie im Vergleich zu den Prozessen der anderen Wechselwirkungen vernachlässigbar. Deshalb wird die Gravitation in den folgenden Kapiteln nicht weiter berücksichtigt.

4.2. Elektromagnetische Wechselwirkung

Startseite Kursangebote Vorbereitungskurs Teil...

Vorbereitungskurs Teilchenphysik Masterclass

Vorbereitungskurs Teilchenphysik-Ma Sie dürfen Inhalte lesen.



4.2. Elektromagnetische Wechselwirkung

Als Zweites wollen wir uns mit der elektromagnetischen Wechselwirkung beschäftigen. Auch diese Wechselwirkung spielt in unserem Alltag eine große Rolle.

Welche Beispiele gibt es für die elektromagnetische Wechselwirkung?

Beispielsweise lässt sich mit Hilfe der elektromagnetischen Wechselwirkung erklären, warum sich eine Kompassnadel Richtung Norden ausrichtet oder weshalb wir Radio hören können. Neben den alltäglichen Beispielen ist die elektromagnetische Wechselwirkung Ursache von Phänomenen auf atomarer Ebene. Sie ist die Ursache, weshalb Elektronen und Atomkerne als Atom zusammenhalten. Sie erklärt auch die chemische Bindung zwischen Atomen in Molekülen.

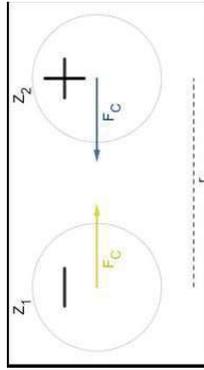
Wie kann die elektromagnetische Wechselwirkung erklärt werden?

Ursache der elektromagnetischen Wechselwirkung ist die **elektrische Ladung** von Teilchen. Diese ist dir aus der Schule bekannt. Die elektrische Ladung Q eines Teilchens ist das Produkt der Elementarladung e und der elektrischen Ladungszahl Z des Teilchens: $Q = Z \cdot e$. Die elektrische Ladungszahl eine charakteristische Teilcheneigenschaft. Beispielsweise besitzt das Elektron die elektrische Ladungszahl $Z_e = -1$, damit ist die elektrische Ladung des Elektrons $Q = -1 \cdot e$. Ein Up Quark besitzt eine elektrische Ladungszahl von

$$Z_{up} = \frac{2}{3} \text{ und damit eine elektrische Ladung von } Q = \frac{2}{3} \cdot e.$$

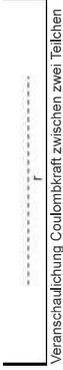
Wie verhalten sich Teilchen, die eine elektrische Ladung besitzen?

Betrachten wir nun (ähnlich wie bei der Gravitation) zwei Teilchen, die sich im Abstand r voneinander befinden. Die Teilchen besitzen die elektrischen Ladungszahlen Z_1 und Z_2 .



Veranschaulichung Coulombkraft zwischen zwei Teilchen

Für die elektromagnetische Wechselwirkung gibt es, analog zur Gravitationskraft bei der Gravitation, auch eine Kraft. Sie wird **Coulombkraft** genannt. Mathematisch gilt eine



Veranschaulichung Coulombkraft zwischen zwei Teilchen

Für die elektromagnetische Wechselwirkung gibt es, analog zur Gravitationskraft bei der Gravitation, auch eine Kraft. Sie wird **Coulombkraft** genannt. Mathematisch gilt eine

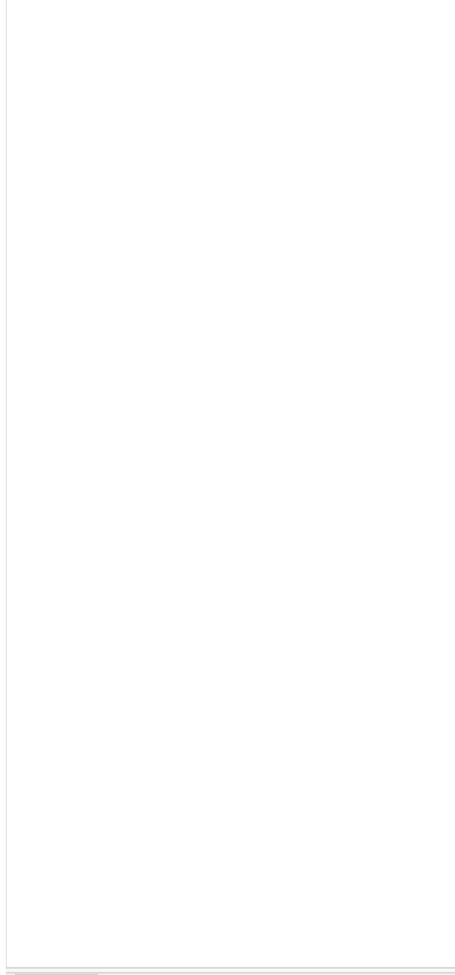
ähnliche Proportionalität wie bei der Gravitationskraft: $F_C \propto \frac{z_1 z_2}{r^2}$.

Was sagt uns diese Formel jetzt?

Die Coulombkraft ist umso größer, je größer der Betrag der elektrischen Ladungszahl eines Körpers ist. Sie ist auch umso größer, je kleiner der Abstand der Teilchen ist. Die Reichweite der elektromagnetischen Wechselwirkung ist wie bei der Gravitation unendlich.

Wie in der Abbildung oben, siehst du in der folgenden Animation zwei Teilchen in einem bestimmten Abstand r zueinander. Du hast die Möglichkeit den Abstand r der Teilchen oder ihre elektrischen Ladungszahlen z_1 und z_2 zu ändern, indem die die Schieberegler verstellst. Anschließend kannst du beobachten, wie sich die Länge und Richtung der resultierenden Coulombkraft verändern.

Animation Coulombkraft



Was ist der Unterschied von Coulombkraft und Gravitationskraft?

Die Masse ist eine Größe, welche immer positiv ist. Dies ist der Grund, weshalb die Gravitationskraft zwischen zwei Körpern immer anziehend wirkt. Die elektrische Ladungszahl kann positive und negative Werte annehmen. Dies ist die Ursache dafür, dass die Coulombkraft eine **anziehende** und eine **abstoßende Wirkung** haben kann. Beispielsweise hat ein Proton die elektrische Ladungszahl $Z = +1$ und ein Elektron die elektrische Ladungszahl $Z = -1$.

Aus der Schule ist dir bekannt, dass sich Teilchen mit dem gleichen Ladungsvorzeichen abstoßen und Teilchen mit unterschiedlichen Vorzeichen anziehen.

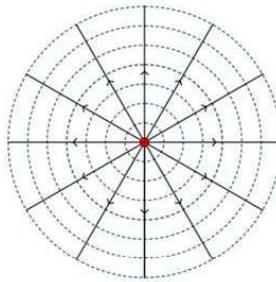
Außerdem nimmt die elektrische Ladungszahl Z nur ganz bestimmte Werte an, während die Masse m beliebig Werte haben kann. Dies ist in der gezeigten Animation noch nicht berücksichtigt. Mehr dazu erfährst du in Kapitel 5.

Zusatzinformationen

Zusatzinformationen

Wie kann man sich die Wirkung der elektromagnetischen Wechselwirkung vorstellen?

Eine mögliche Vorstellung der Wirkung der elektromagnetischen Wechselwirkung ist dir aus der Schule bekannt, ohne dass sie dir vielleicht bewusst ist. Gemeint ist die Vorstellung des elektrischen Feldes mit Hilfe des **Feldlinienmodells**.



Feldlinienbild eines elektrisch positiv geladenen Teilchens

Mit Hilfe des Feldlinienmodells wird die Kraftwirkung auf ein Teilchen beschrieben, welches sich im elektrischen Feld eines anderen Teilchens befindet.

Was heißt das auf unser Beispiel angewandt? Dargestellt ist das elektrische Feld eines elektrisch positiv geladenen Teilchens. Bringt man nun ein weiteres elektrisch positiv geladenes Teilchen in das elektrische Feld des ersten Teilchens ein, so wirkt auf das neue Teilchen eine abstoßende Kraft in Richtung der Feldlinien. Bringt man ein elektrisch negativ geladenes Teilchen ein, so wirkt eine anziehende Kraft entlang der Feldlinien. (Natürlich wirkt auch auf das ursprünglich dargestellte Teilchen eine Kraft. Bei der Beschreibung konzentriert man sich meist nur auf das im Feld befindliche Teilchen.)

Die Kraft, die dabei wirkt, ist umso größer, je dichter die Feldlinien sind. Das heißt, die Kraft ist umso größer, je dichter die Teilchen zusammen sind.

Die Vorstellung mit Hilfe des Feldlinienbildes eignet sich für die elektromagnetische Wechselwirkung sehr gut. Auf die gleiche Art und Weise kann man sich ein Gravitationsfeld für die Gravitation vorstellen. Für die anderen beiden Wechselwirkungen, die noch vorgestellt werden, funktionieren diese Feldvorstellung nicht.

Was heißt das und wie kann man sich Botenteilchen vorstellen?

Deshalb gibt es eine weitere Vorstellung, die auf alle Wechselwirkungen angewendet werden kann. Man stellt sich die Wechselwirkung mit sogenannten **Botenteilchen** vor. Die Vorstellung beschreibt, dass Teilchen, die miteinander wechselwirken, ein weiteres Teilchen austauschen.

Wie kann man mit dieser Vorstellung erklären, dass zwischen zwei Teilchen eine abstoßende Kraft wirkt?

Man kann sich dies mit folgender Analogie vorstellen: Die Teilchen verhalten sich wie Menschen auf einem Boot. Das Botenteilchen ist ein Ball, den sie sich zuwerfen. Die Menschen entfernen sich voneinander.

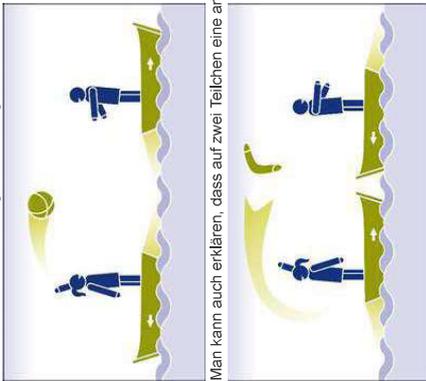
Deshalb gibt es eine weitere Vorstellung, die auf alle Wechselwirkungen angewendet werden kann. Man stellt sich die Wechselwirkung mit sogenannten **Botenteilchen** vor.

Was heißt das und wie kann man sich Botenteilchen vorstellen?

Die Vorstellung beschreibt, dass Teilchen, die miteinander wechselwirken, ein weiteres Teilchen austauschen.

Wie kann man mit dieser Vorstellung erklären, dass zwischen zwei Teilchen eine abstoßende Kraft wirkt?

Man kann sich dies mit folgender Analogie vorstellen: Die Teilchen verhalten sich wie Menschen auf einem Boot. Das Botenteilchen ist ein Ball, den sie sich zuwerfen. Die Menschen entfernen sich voneinander.



Man kann auch erklären, dass auf zwei Teilchen eine anziehende Kraft wirkt. Das kann man sich vorstellen, als ob sich die Menschen einen Bumerang zuwerfen würden. Die Boote nähern sich an.

Jede Wechselwirkung hat eigene Botenteilchen, das der elektromagnetischen Wechselwirkung ist das **Photon**.



Symbol des Photons

Zurück zum Vorbereitungskurs

4.3. Starke Wechselwirkung

Opal

Startseite Kursangebote Vorbereitungskurs Teil... Login

Vorbereitungskurs Teilchenphysik Masterclass

Suche

Vorbereitungskurs Teilchenphysik-Ma

- Einschreibung
- 1 Willkommen
- 2 Hilfe und Support
- 3 Aufbau der Materie
- 4 Die vier fundamentalen Wechselwirkungen
 - 4.1 Gravitation
 - 4.2 Elektromagnetische Wechselwirkung
 - 4.3 Starke Wechselwirkung
 - 4.4 Schwache Wechselwirkung
 - 4.5 Übung
- 5 Ladungen
- 6 Elementarteilchen
- 7 Abschlussquiz
- Bildquellen

Sie dürfen Inhalte lesen.



4.3. Starke Wechselwirkung

Nun beschäftigen wir uns mit den Wechselwirkungen, welche wir aus unserem Alltag nicht kennen. Vermutlich hast du deshalb von diesen Wechselwirkungen bisher noch nichts oder erst wenig gehört.

Welche Beispiele gibt es für die starke Wechselwirkung?

Bei der Einführung der vier fundamentalen Wechselwirkungen wurden vier Fragen gestellt. Eine davon hieß: „Warum ist es möglich, dass ein Atomkern aus mehreren sich elektrisch abstoßenden Protonen besteht?“

Dass sich die Protonen abstoßen, kannst du mit der elektromagnetischen Wechselwirkung begründen:

Protonen besitzen eine positive elektrische Ladungszahl, das heißt, sie stoßen sich ab. Warum hält ein Atomkern mit mehreren Protonen dennoch zusammen?

Es muss eine Wechselwirkung geben, die die Protonen im Atomkern zusammenhält. Diese heißt **starke Wechselwirkung**.

Es gibt ein weiteres Beispiel für die starke Wechselwirkung. Im ersten Kapitel hast du gelernt, dass ein Proton sich aus zwei Up-Quarks und einem Down-Quark zusammensetzt.



Veranschaulichung eines Protons

Das Up-Quark hat eine elektrische Ladungszahl von $Z = +\frac{2}{3}$ und das Down-Quark von $Z = -\frac{1}{3}$. Auch in diesem Fall gilt, dass sich die Up-Quarks wegen der elektromagnetischen Wechselwirkung abstoßen. Die Anziehung der Gravitation ist geringer als diese Abstoßung. Die starke Wechselwirkung ist verantwortlich dafür, dass die Quarks zu einem Proton zusammenhalten.

Die starke Wechselwirkung ist dir aus dem Alltag nicht bekannt, weil sie eine sehr kurze Reichweite hat. Sie wirkt nur auf kurzen Distanzen, welche ungefähr der Größe eines Protons entsprechen.

Wie kann die starke Wechselwirkung erklärt werden?

Erinnere dich bitte daran, dass die Ursache der elektromagnetischen Wechselwirkung die elektrische Ladung von Teilchen ist. Analog dazu besitzen manche Teilchen eine **starke**

Zusatzinformationen

Wie kann man sich die Wirkung der starken Wechselwirkung vorstellen?

Die Wirkung der starken Wechselwirkung kann man sich mit **Botenteilchen** vorstellen. Die Botenteilchen der starken Wechselwirkung heißen **Gluonen**. Es gibt 8 verschiedene Gluonen, mit unterschiedlichen Farbladungskombinationen. Du siehst unten ein Beispiel für ein Symbol eines Gluons. Neben den Farbladungen rot, grün und blau gibt es auch Anti-Farbladungen. Sie heißen anti-rot, anti-grün und anti-blau. Anti-Farbladungen werden mit einer schwarz gestrichelten Umrandung gekennzeichnet. Mehr zu den Anti-Farbladungen erfährst du in Kapitel 6.

Gluonen können die Farbladung von Quarks umwandeln. Vorstellen kannst du dir dies wieder mit den Booten und den Bällen wie bei der elektromagnetischen Wechselwirkung.



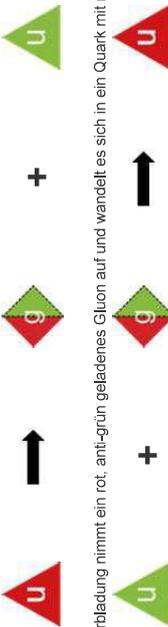
Symbol eines Gluons

In der folgenden Animation siehst du ein Beispiel für eine Umwandlung von Quarks. Es wird ein Quark mit roter Farbladung in ein Quark mit grüner Farbladung umgewandelt.



Dabei geschehen folgende Umwandlungen:

Ein Quark mit roter Farbladung gibt ein rot, anti-grün geladenes Gluon ab und wandelt sich in ein Quark mit grüner Farbladung um.



Ein Quark mit grüner Farbladung nimmt ein rot, anti-grün geladenes Gluon auf und wandelt es sich in ein Quark mit roter Farbladung um.

Zurück zum Vorbereitungskurs

4.4. Schwache Wechselwirkung



Startseite | Kursangebote | Vorbereitungskurs Teil...

Vorbereitungskurs Teilchenphysik Masterclass

- Vorbereitungskurs Teilchenphysik-1Ma
 - Einschreibung
 - 1 Willkommen
 - 2 Hilfe und Support
 - 3 Aufbau der Materie
 - 4 Die vier fundamentalen Wechselwirkungen
 - 4.1 Gravitation
 - 4.2 Elektromagnetische Wechselwirkung
 - 4.3 Starke Wechselwirkung
 - 4.4 Schwache Wechselwirkung
 - 4.5 Übung
 - 5 Ladungen
 - 6 Elementarteilchen
 - 7 Abschlussquiz
 - Blitquellen

Sie dürfen Inhalte lesen.



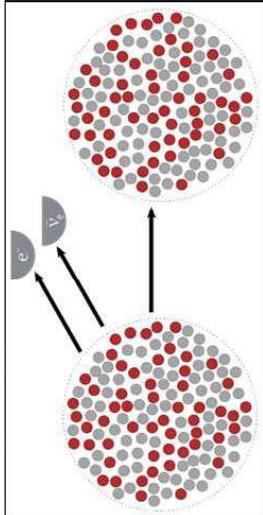
4.4. Schwache Wechselwirkung

Nun sind wir bei der vierten fundamentalen Wechselwirkung angelangt. Auch diese kennst du nicht aus deinem Alltag.

Welche Beispiele gibt es für die schwache Wechselwirkung?

Bei der Einführung der vier fundamentalen Wechselwirkungen wurden vier Fragen gestellt. Die letzte hieß: „Wie ist die Umwandlung eines Neutrons in ein Proton erklärbar?“ Betrachten wir einen Prozess, den du so oder so ähnlich aus der Schule kennen solltest. Hierbei handelt es sich um eine Beta-Umwandlung (auch Beta-Zerfall genannt):

$${}_{55}^{137}\text{Cs} \rightarrow {}_{56}^{137}\text{Ba} + {}_{-1}^0\text{e} + \bar{\nu}_e$$



Beta-Umwandlung eines Cäsiumkerns in einen Bariumkern, Protonen sind rot und Neutronen grau dargestellt

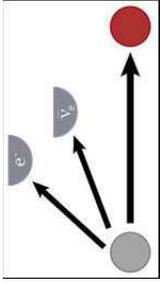
Ein Cäsiumkern wandelt sich in einen Bariumkern um und sendet dabei β^- -Strahlung aus. β^- -Strahlung besteht aus Elektronen. Folgender Prozess läuft dabei ab: Ein Neutron im



Beta-Umwandlung eines Cäsiumkerns in einen Bariumkern, Protonen sind rot und Neutronen grau dargestellt

Ein Cäsiumkern wandelt sich in einen Bariumkern um und sendet dabei β^- -Strahlung aus. β^- -Strahlung besteht aus Elektronen. Folgender Prozess läuft dabei ab: Ein Neutron im Cäsiumkern wandelt sich in ein Proton um. Neben dem Proton entstehen noch ein Elektron und ein Anti-Neutrino. In der Schule wird das Anti-Neutrino meist ignoriert.

Man kann den Prozess also folgendermaßen allgemein formulieren: $n \rightarrow e^- + p + \bar{\nu}$.



Umwandlung eines Neutrons (grau) in ein Proton (rot)

Das **Anti-Neutrino** $\bar{\nu}$ ist genau wie die Quarks und das Elektron ein Elementarteilchen. Es ist elektrisch neutral und besitzt keine Farbladung. Außerdem hat es nahezu keine Masse.

Es stellt sich nun die Frage: Welche Wechselwirkung ist für den β^- -Umwandlung verantwortlich?

Die bisher vorgestellten Wechselwirkungen können die Umwandlung von Neutron in Proton nicht erklären.

Es gilt: Ein Teilchen unterliegt nur dann der elektromagnetischen Wechselwirkung, wenn es eine elektrische Ladung besitzt. Das gleiche gilt für die starke Wechselwirkung. Ein Teilchen wechselwirkt nur dann stark, wenn es eine starke Ladung besitzt. Gleiches gilt für die Teilchen, die bei Umwandlungsprozessen entstehen. Bei der β^- -Umwandlung entstehen ein Anti-Neutrino und ein Elektron. Beide Teilchen besitzen keine starke Ladung. Daher kann die Starke Wechselwirkung nicht für die Entstehung verantwortlich sein. Außerdem ist das Anti-Neutrino elektrisch neutral. Das schließt auch die elektromagnetische Wechselwirkung als Ursache für die Umwandlung aus.

Somit muss es eine vierte fundamentale Wechselwirkung geben, die Ursache der β^- -Umwandlung ist. Diese Wechselwirkung heißt **schwache Wechselwirkung**. Sie ist auch Ursache des β^+ -Umwandlung, also der Umwandlung von Protonen in Neutronen unter der Aussendung eines Positrons und eines Neutrinos. Dieser Prozess findet in der Sonne statt.

Die schwache Wechselwirkung hat genau wie die starke Wechselwirkung eine sehr geringe Reichweite. Deshalb kennst du die sie nicht aus deinem Alltag.

Wie kann die schwache Wechselwirkung erklärt werden?

Erinnere dich bitte, die Ursache der elektromagnetischen Wechselwirkung ist die elektrische Ladung von Teilchen und Ursache der starken Wechselwirkung ist die starke Ladung von Teilchen. Alle Materieteilchen besitzen eine **schwache Ladung**. Diese ist die Ursache der schwachen Wechselwirkung.

Wie kann die schwache Ladung beschrieben werden?

Alle bisher gefundenen Materieteilchen besitzen eine schwache Ladungszahl $I = \frac{1}{2}$ oder $I = -\frac{1}{2}$.

Zusatzinformationen

Zusatzinformationen

Wie kann man sich die Wirkung der schwachen Wechselwirkung vorstellen?

Die Wirkung der schwachen Wechselwirkung kann man sich auch mit Botenteilchen vorstellen. Die Botenteilchen der schwachen Wechselwirkung sind W^+ , W^- - und Z -Teilchen.



Symbole Botenteilchen der schwachen Wechselwirkung

In der Masterclass wirst du diese Botenteilchen genauer untersuchen und herausfinden, welche Rolle sie bei der Suche nach dem Higgs-Teilchen gespielt haben.

[Zurück zum Vorbereitungskurs](#)

4.5. Übung einschließlich Lösung

4.5 Übung

Neue Sektion

Aufgabe 1: Beispiele Wechselwirkungen

Aufgabe 2: Fehlersuche

Test abschließen

Punkte: 8

Ordnung den gegebenen Aussagen die Wechselwirkung zu, welche für den beschriebenen Prozess verantwortlich ist.

	Gravitation	Elektromagnetische Wechselwirkung	Starke Wechselwirkung	Schwache Wechselwirkung
Ein Proton wird durch drei Quarks gebildet.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sterne bilden Galaxien.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Beta-Strahlung wird von einem radioaktiven Atomkern ausgesendet.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Umwandlung eines Protons in ein Neutron bei der Kernfusion in der Sonne.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zwei Down-Quarks und ein Up-Quark schließen sich zusammen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Eine Kompassnadel richtet sich in Nord-Süd-Richtung aus.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nervenimpulse werden von den Füßen ins Gehirn geleitet.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Planeten bewegen sich auf Bahnen um die Sonne.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Antworten abgeben

Frage 1/2

Weiter

ONYX 8.1.1.3

5 Neue Sektion

1 Aufgabe 1: Beispiele Wechsel

1 Aufgabe 2: Fehlersuche

Test abschließen

Ordne den gegebenen Aussagen die Wechselwirkung zu, welche für den beschriebenen Prozess verantwortlich ist.

	Gravitation	Elektromagnetische Wechselwirkung	Starke Wechselwirkung	Schwache Wechselwirkung
Ein Proton wird durch drei Quarks gebildet.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sterne bilden Galaxien.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Beta-Strahlung wird von einem radioaktiven Atomkern ausgesendet.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Umwandlung eines Protons in ein Neutron bei der Kernfusion in der Sonne.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Zwei Down-Quarks und ein Up-Quark schließen sich zusammen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Eine Kompassnadel richtet sich in Nord-Süd-Richtung aus.	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nervenimpulse werden von den Füßen ins Gehirn geleitet.	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Planeten bewegen sich auf Bahnen um die Sonne.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Richtig!

Du hast allen Aussagen die jeweils verantwortliche Wechselwirkung zugeordnet.

Frage 1/2 Weiter

ONYX 8.1.1.3

Datenschutz Nutzungsbedingungen Impressum Über ONYX | 1058 | Web Powered by BPS

4.5 Übung

Neue Sektion

Aufgabe 1: Beispiele Wechselw...

Aufgabe 2: Fehlersuche

Aufgabe 2: Fehlersuche Punkte: 4

Entscheide für die markierten Felder, ob diese richtig oder falsch sind. Markiere die richtigen Felder, indem du sie anklickst. Du bekommst je einen Punkt, für ein korrekt markiertes Feld. Markierst du ein Feld falsch, wird ein Punkt abgezogen.

Die Gravitation und die starke Wechselwirkung sind aus dem Alltag bekannte Wechselwirkungen. Die Gravitation und die elektromagnetische Wechselwirkung haben eine unendliche Reichweite.

Die Wirkung der Gravitation ist stets anziehend. Wechselwirken zwei Teilchen elektromagnetisch miteinander, so ziehen sie sich bei gleichen Vorzeichen an und bei verschiedenen Vorzeichen stoßen sie sich ab. Die starke Ladung wird auch als Farbladung bezeichnet. Sie kann die Ausprägungen rot, blau und gelb annehmen.

Frage 2/2

ONYX 8.1.1.3

Datenschutz | Nutzungsbedingungen | Impressum | Über GYM | Jobs | Wir | Powered by BPS

4.5 Übung

Neue Sektion

Aufgabe 1: Beispiele Wechselw...

Aufgabe 2: Fehlersuche

Aufgabe 2: Fehlersuche

Erreicht: 4 von 4 Punkt(en)

Punkte: 4

Test abschließen

Entscheide für die markierten Felder, ob diese richtig oder falsch sind. Markiere die richtigen Felder, indem du sie anklickst. Du bekommst je einen Punkt, für ein korrekt markiertes Feld. Markierst du ein Feld falsch, wird ein Punkt abgezogen.

Die Gravitation und die starke Wechselwirkung sind aus dem Alltag bekannte Wechselwirkungen. Die Gravitation und die elektromagnetische Wechselwirkung haben eine Reichweite.

Die Wirkung der Gravitation ist stets anziehend . Wechselwirken zwei Teilchen elektromagnetisch miteinander, so ziehen sie sich bei Vorzeichen an und bei Vorzeichen stoßen sie sich ab. Die starke Ladung wird auch als Farbladung bezeichnet. Sie kann die Ausprägungen annehmen.

Richtig!

Du hast alle korrekte Aussagen erkannt

Zurück

Frage 2/2

Test abschließen

ONYX 8.1.1.3

Datenschutz | Nutzungsbedingungen | Impressum | Über ONYX | Jobs | Wir | Powered by BPS

5. Ladungen

Opal

Startseite Kursangebote Vorbereitungskurs Teil... Login Suche

Vorbereitungskurs Teilchenphysik Masterclass

Sie dürfen Inhalte lesen.

5 Ladungen

Bisher kennst du aus der Schule vermutlich nur die elektrische Ladung, welche dort häufig schlicht als „Ladung“ bezeichnet wird. Bei der Vorstellung der vier fundamentalen Wechselwirkungen wurden dir noch zwei weitere Ladungen kurz vorgestellt. Es gibt insgesamt drei verschiedene Arten von Ladung:

- Elektrische Ladung
- Starke Ladung
- Schwache Ladung

Ziel dieses Abschnittees ist es zu erkunden, welche Eigenschaften Ladungen haben. Außerdem soll der Zusammenhang zwischen Ladungen und Wechselwirkungen untersucht werden.



- Vorbereitungskurs Teilchenphysik Ma
- Einschreibung
- 1 Willkommen
- 2 Hilfe und Support
- 3 Aufbau der Materie
 - 3.1 Bausteine der Materie
 - 3.2 Übung
- 4 Die vier fundamentalen Wechselwirk
 - 4.1 Gravitation
 - 4.2 Elektromagnetische Wechselwir
 - 4.3 Starke Wechselwirkung
 - 4.4 Schwache Wechselwirkung
 - 4.5 Übung
- 5 Ladungen
 - 5.1 Eigenschaften von Ladungen
 - 5.2 Was machen Ladungen?
 - 5.3 Übung
 - 6 Elementarteilchen
 - 6.1 Elementarteilchen der Materie
 - 6.2 Ant-Materie-Teilchen
 - 6.3 Übung
 - 7 Abschlussquiz
 - Bibliquellen

5.1. Eigenschaften von Ladungen

Vorbereitungskurs Teilchenphysik Ma

- Einschreibung
- 1 Willkommen
- 2 Hilfe und Support
- 3 Aufbau der Materie
 - 3.1 Bausteine der Materie
 - 3.2 Übung
- 4 Die vier fundamentalen Wechselwirkungen
 - 4.1 Gravitation
 - 4.2 Elektromagnetische Wechselwirkung
 - 4.3 Starke Wechselwirkung
 - 4.4 Schwache Wechselwirkung
 - 4.5 Übung
- 5 Ladungen
 - 5.1 Eigenschaften von Ladungen
 - 5.2 Was machen Ladungen?
 - 5.3 Übung
 - 6 Elementarteilchen
 - 6.1 Elementarteilchen der Materie
 - 6.2 Anti-Materie-Teilchen
 - 6.3 Übung
 - 7 Abschlussquiz
 - Bibliquellen

Sie dürfen Inhalte lesen.

5.1. Eigenschaften von Ladungen

Betrachten wir zunächst die Fakten über Ladungen, die du bereits erfahren hast.

- Für die elektrische Ladung eines Teilchens gilt: $Q = e \cdot Z$. Dabei ist e die Elementarladung und Z die elektrische Ladungszahl des Teilchens.
- Die starke Ladung wird auch als Farbladung bezeichnet. Man unterscheidet zwischen den Farbladungen rot, grün, blau, anti-rot, anti-grün und anti-blau.
- Die bisher gefundenen Materieteilchen besitzen eine schwache Ladung mit den schwachen Ladungszahlen $I = \frac{1}{2}$ oder $I = -\frac{1}{2}$.

Betrachtet man diese Fakten, so kann man feststellen, dass alle Ladungen nur bestimmte Werte annehmen können. In der Fachsprache nutzt man für diese Ladungseigenschaft das Wort **gequantelt**.

Angenommen man gibt dir den Auftrag die elektrische Ladung eines zusammengesetzten Teilchens aus einem Up-Quark mit blauer Farbladung, einem Down-Quark mit grüner Farbladung und einem Down-Quark mit roter Farbladung zu berechnen. Wie würdest du vorgehen? Vermutlich machst du es intuitiv richtig. Du addierst die elektrischen Ladungszahlen der einzelnen Teilchen.

$$Z_{\text{Gesamt}} = Z_{\text{Up-Quark blau}} + Z_{\text{Down-Quark grün}} + Z_{\text{Down-Quark rot}} = +\frac{2}{3} + \left(-\frac{1}{3}\right) + \left(-\frac{1}{3}\right) = 0$$

Das zusammengesetzte Teilchen, es ist übrigens ein Neutron, ist elektrisch neutral, da es die elektrische Ladungszahl 0 besitzt. Möchte man die anderen Ladungen des Neutrons berechnen, geht man auf die gleiche Art und Weise vor. Man addiert jeweils die einzelnen Ladungen der Teilchen, aus denen das Neutron zusammengesetzt ist. In der Fachsprache heißt dies, dass Ladungen **additiv** sind.

Für die starke Ladung ergibt sich also: $\vec{C} = \text{blau} + \text{grün} + \text{rot} = \text{farblos}$.

$$\text{Für die schwache Ladung ergibt sich: } I = \frac{1}{2} + \left(-\frac{1}{2}\right) + \left(-\frac{1}{2}\right) = -\frac{1}{2}$$

Die dritte Eigenschaft von Ladungen ist, dass sie **erhalten** sind. Dies meint, dass die Summe der jeweiligen Ladung aller Teilchen vor einer Wechselwirkung gleich der Summe der Ladungen der Teilchen nach der Wechselwirkung ist. Es müssen immer alle drei Ladungen erhalten bleiben, damit ein Prozess überhaupt ablaufen kann.

Ladungen sind also immer gequantelt, additiv und erhalten.

5.2. Was machen Ladungen?


Startseite Kursangebote Vorbereitungskurs Teil... Login Suche

Vorbereitungskurs Teilchenphysik Masterclass

Vorbereitungskurs Teilchenphysik Ma

- Einschreibung
- 1 Willkommen
- 2 Hilfe und Support
- 3 Aufbau der Materie
 - 3.1 Bausteine der Materie
 - 3.2 Übung
- 4 Die vier fundamentalen Wechselwirk
 - 4.1 Gravitation
 - 4.2 Elektromagnetische Wechselwir
 - 4.3 Starke Wechselwirkung
 - 4.4 Schwache Wechselwirkung
 - 4.5 Übung
 - 5 Ladungen
 - 5.1 Eigenschaften von Ladungen
 - 5.2 Was machen Ladungen?
 - 5.3 Übung
 - 6 Elementarteilchen
 - 6.1 Elementarteilchen der Materie
 - 6.2 Anti-Materie-Teilchen
 - 6.3 Übung
 - 7 Abschlussquiz
 - 8 Quellen

Sie dürfen Inhalte lesen.

5.2. Was machen Ladungen?

Ladungen sind **Ursachen von Wechselwirkungen**: die elektrische Ladung für die elektromagnetische Wechselwirkung, die starke Ladung für die starke Wechselwirkung und die schwache Ladung für die schwache Wechselwirkung.
 Wie ist der Satz: „Ladungen sind Ursachen von Wechselwirkungen.“ genau zu verstehen? Er meint, sobald ein Teilchen eine Ladung besitzt, nimmt es an der jeweiligen Wechselwirkung teil. Es gilt also auch, besitzt ein Teilchen eine Ladung nicht, so nimmt es nicht an der zugehörigen Wechselwirkung teil.

Für die elektromagnetische Wechselwirkung kann man dies mit Hilfe des Coulombkraft, die du erst kennengelernt hast, begründen. Für diese gilt folgende Proportionalität: $F_C \sim \frac{Z_1 Z_2}{r^2}$.
 Betrachten wir ein elektrisch neutrales Teilchen. Somit gilt $Z = 0$. Setzt man dies in die Formel ein, so folgt für die Coulombkraft $F_C = 0$. Also wirkt auf das Teilchen keine Kraft. Es wechselwirkt nicht elektromagnetisch. Für die anderen Wechselwirkungen kann man dies auf die gleiche Weise erklären.

Betrachten wir als Beispiel das Elektron. Ein Elektron hat folgende Ladungen: $Z = -1$, $\vec{C} = \text{farblos}$ und $I = \frac{1}{2}$. Also besitzt das Elektron eine elektrische und eine schwache Ladung. Somit kann es elektromagnetisch und schwach wechselwirken. Da es keine starke Ladung besitzt, kann es auch nicht stark wechselwirken.

Als zweites Beispiel sehen wir uns ein Up-Quark mit grüner Farbladung an. Dieses besitzt folgende Ladungen: $Z = \frac{2}{3}$, $\vec{C} = \text{grün}$ und $I = \frac{1}{2}$. Es besitzt alle drei Ladungen, also nimmt es an allen drei Wechselwirkungen teil.

Die elektrische Ladungszahl, die schwache Ladungszahl und der Farbladungsvektor sind auch **charakteristische Eigenschaften von Teilchen**. Das heißt, betrachtet man eine bestimmte Art von Teilchen, besitzen diese immer die gleiche Kombination der drei Ladungen. Beispielsweise gilt für jedes Elektron: $Z = -1$, $\vec{C} = \text{farblos}$ und $I = \frac{1}{2}$. Umgekehrt gilt auch: Betrachtet man ein unbekanntes Teilchen und kennt die drei Ladungen und die Masse des Teilchens, so kann man sicher sagen, zu welcher Art von Teilchen es gehört.

Ladungen werden also genutzt, um Teilchen zu sortieren. Wie dies genau aussieht, erfährst du im nächsten Kapitel.

5.3. Übung einschließlich Lösung

Suche

Logout

Test abschließen

Punkte: 3

Aufgabe 1: Ladungseigenschaften

Ordne die Eigenschaften der Ladung der jeweils zutreffenden Erklärung zu.
(Beachte, dass bei den möglichen Antworten fehlerhafte Aussagen enthalten sind.)

Elektromagnetische, starke und schwache Ladung sind für ein Teilchen alle gleich.	Korrektes Element hier ablegen	additiv
Ladungserhaltung gilt nur für spezielle Prozesse.	Korrektes Element hier ablegen	gequantelt
Die Ladung eines Systems aus mehreren Teilchens entspricht der Summe Ladung der einzelnen Teilchen.	Korrektes Element hier ablegen	erhalten
Ladungen nehmen nur bestimmte Werte an.		
Ladungen können beliebige Werte annehmen.		
Die Summe der Ladung der Teilchen vor einer Umwandlung entspricht der Summe der Ladungen der Teilchen nach der Umwandlung.		

Antworten abgeben

Datenschutz Nutzungsbedingungen Impressum Über Contact Us Powered by BPS

Opal

Test abschließen

Punkte: 3

Aufgabe 1: Ladungseigenschaften

Erreicht: 3 von 3 Punkt(en)

Ordne die Eigenschaften der Ladung der jeweils zutreffenden Erklärung zu.
(Beachte, dass bei den möglichen Antworten fehlerhafte Aussagen enthalten sind.)

Elektromagnetische, starke und schwache Ladung sind für ein Teilchen alle gleich.		Die Ladung eines Systems aus mehreren Teilchens entspricht der Summe Ladung der einzelnen Teilchen.	additiv
Ladungserhaltung gilt nur für spezielle Prozesse.		Ladungen nehmen nur bestimmte Werte an.	gequantelt
Ladungen können beliebige Werte annehmen.		Die Summe der Ladung der Teilchen vor einer Umwandlung entspricht der Summe der Ladungen der Teilchen nach der Umwandlung.	erhalten

Datenschutz Nutzungsbedingungen Impressum Über Opal 31103 | 108 - Powered by EPS

6. Elementarteilchen

Suche

Login

Vorbereitungskurs Teilchenphysik Masterclass

Vorbereitungskurs Teilchenphysik Ma

- Einschreibung
- 1 Willkommen
- 2 Hilfe und Support
- 3 Aufbau der Materie
 - 3.1 Bausteine der Materie
 - 3.2 Übung
- 4 Die vier fundamentalen Wechselwirkungen
 - 4.1 Gravitation
 - 4.2 Elektromagnetische Wechselwirkung
 - 4.3 Starke Wechselwirkung
 - 4.4 Schwache Wechselwirkung
 - 4.5 Übung
- 5 Ladungen
 - 5.1 Eigenschaften von Ladungen
 - 5.2 Was machen Ladungen?
 - 5.3 Übung
- 6 Elementarteilchen
 - 6.1 Elementarteilchen der Materie
 - 6.2 Anti-Materie-Teilchen
 - 6.3 Übung
 - 7 Abschlussquiz
 - Bibliquellen

Sie dürfen Inhalte lesen.

6 Elementarteilchen

Im Verlauf des Online-Kurses wurden folgende Teilchen erwähnt: Elektron, Up-Quark, Down-Quark, Proton, Neutron und Anti-Neutrino.

Ziel dieses letzten Kapitels ist es Ordnung in diese Vielzahl an Teilchen zu bringen. Außerdem wollen wir erkunden, welche Ladungen die Elementarteilchen besitzen und an welchen Wechselwirkungen sie deshalb teilnehmen.



Datenschutz

Nutzungsbedingungen

Impressum

Über OPAL 11.0.6 | N8

Powered by BFS

6.1. Elementarteilchen der Materie

Suche Login

Startseite Kursangebote Vorbereitungskurs Teil...

Vorbereitungskurs Teilchenphysik Masterclass

- Vorbereitungskurs Teilchenphysik Ma
- 1 Einschreibung
- 1 Willkommen
- 2 Hilfe und Support
- 3 Aufbau der Materie
- 3.1 Bausteine der Materie
- 3.2 Übung
- 4 Die vier fundamentalen Wechselwirk
- 4.1 Gravitation
- 4.2 Elektromagnetische Wechselwir
- 4.3 Starke Wechselwirkung
- 4.4 Schwache Wechselwirkung
- 4.5 Übung
- 5 Ladungen
- 5.1 Eigenschaften von Ladungen
- 5.2 Was machen Ladungen?
- 5.3 Übung
- 6 Elementarteilchen
- 6.1 Elementarteilchen der Materie
- 6.2 Anti-Materie-Teilchen
- 6.3 Übung
- 7 Abschlussquiz
- 8 Bildquellen

Sie dürfen Inhalte lesen.

6.1. Elementarteilchen der Materie

Am Anfang dieses Kurses haben wir in die Materie hineingezoomt. Dabei hast du erfahren, dass die gesamte Materie aus **Up-Quarks**, **Down-Quarks** und **Elektronen** aufgebaut ist. Diese Teilchen werden **Elementarteilchen** genannt. Elementarteilchen sind Teilchen, welche keine Unterstruktur besitzen. Dies meint, dass sie sich nicht weiter aus anderen, kleineren Teilchen zusammensetzen. Sie sind untrennbar.

Neben den drei genannten Elementarteilchen gibt es noch **Neutrinos** als weitere Art von Elementarteilchen. Dies entsteht zum Beispiel bei der β^+ -Umwandlung in der Sonne.

Die Ladungen dieser vier Teilchen werden in der folgenden Tabelle zusammengestellt. (Zur Erinnerung: **I** steht für die schwache Ladungszahl, **Z** für die elektrische Ladungszahl und \vec{C} für den Farbladungsvektor.)

1. Generation	I	Z	\vec{C}
	$+\frac{2}{3}$	0	farblos
	$-\frac{1}{3}$	-1	farblos
	$+\frac{2}{3}$	$+\frac{1}{3}$	blau rot grün
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	blau rot grün

starke Wechselwirkung
elektromagnetische Wechselwirkung
schwache Wechselwirkung

Übersicht: Ladungen der Elementarteilchen der Materie

Betrachte die Tabelle: Welche Teilchen besitzen welche Ladungen? Welche Teilchen nehmen an welcher Wechselwirkung teil? Zunächst fällt auf **alle Teilchen** nehmen an der **schwachen Wechselwirkung** teil, weil alle Teilchen eine schwache Ladungszahl besitzen. Alle Teilchen außer dem Neutrino können elektromagnetisch wechselwirken. Nur die Quarks besitzen eine Farbladung und nehmen deshalb als einzige Elementarteilchensorte an der starken Wechselwirkung teil.

Im Abschnitt über Ladungen hast du erfahren, dass Ladungen charakteristische Eigenschaften von Teilchen sind. Um ein Teilchen genau zu bestimmen benötigt man neben den Ladungen noch die Masse des Teilchens. Beispielsweise gibt es ein zweites Teilchen, welches die gleichen drei Ladungen wie das Elektron besitzt. Auch für das Myon gilt: $Z = -1$

$\vec{C} = \text{farblos}$ und $I = -\frac{1}{2}$. Der Unterschied zwischen Myon und Elektron ist die Masse. Das Myon ist mehr als 200mal schwerer als das Elektron. Trotzdem handelt es sich bei dem Myon um ein weiteres Elementarteilchen. Man bezeichnet es als den „schweren Bruder“ des Elektrons. Auch die anderen vorgestellten Elementarteilchen besitzen noch „schwere Geschwister“.

6.2. Anti-Materie-Teilchen

Suche

Login

Startseite Kursangebote Vorbereitungskurs Teil... ✕

Vorbereitungskurs Teilchenphysik Masterclass

Vorbereitungskurs Teilchenphysik Ma

- 1 Einschreibung
- 1 Willkommen
- 2 Hilfe und Support
- 3 Aufbau der Materie
 - 3.1 Bausteine der Materie
 - 3.2 Übung
- 4 Die vier fundamentalen Wechselwirkungen
 - 4.1 Gravitation
 - 4.2 Elektromagnetische Wechselwirkung
 - 4.3 Starke Wechselwirkung
 - 4.4 Schwache Wechselwirkung
 - 4.5 Übung
- 5 Ladungen
 - 5.1 Eigenschaften von Ladungen
 - 5.2 Was machen Ladungen?
 - 5.3 Übung
- 6 Elementarteilchen
 - 6.1 Elementarteilchen der Materie

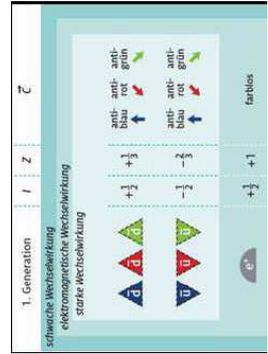
6.2. Anti-Materie-Teilchen

Sicherlich ist dir der Begriff Anti-Materie schon einmal begegnet, beispielsweise in dem Film *Interstellar*. Aber was ist das eigentlich: „Anti-Materie“? Zu jedem Elementarteilchen gibt es ein Anti-Elementarteilchen. Diese beiden haben exakt die **gleiche Masse** und genau **entgegengesetzte Ladungen**. Das heißt, aus dem „+“ bei der elektrischen und bei den schwachen Ladungszahlen wird ein „-“ und umgekehrt. Aus den Farbladungen der starken Ladung wird die Anti-Farbladung: aus rot wird anti-rot, aus grün wird anti-grün und aus blau wird anti-blau. Anti-Farbladungen werden mit einer schwarz gestrichelten Umrandung gekennzeichnet. Außerdem zeigen die Farbladungsvektoren der Anti-Farbladungen in die entgegengesetzte Richtung als die Vektoren der Farbladungen.

Wie heißen die Anti-Teilchen zu unseren Elementarteilchen und welche Ladungen besitzen sie? Betrachte dazu folgende Tabellen:

Teilchen	Anti-Teilchen
Up-Quark	Anti-Up-Quark
Down-Quark	Anti-Down-Quark
Elektron	Positron
Neutrino	Anti-Neutrino

Teilchen und zugehörigen Anti-Teilchen

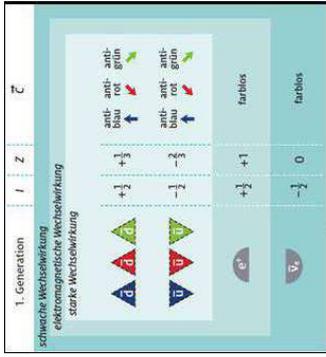


- 4. Wie vier fundamentalen Wechselwirkungen
 - 4.1 Gravitation
 - 4.2 Elektromagnetische Wechselwirkung
 - 4.3 Starke Wechselwirkung
 - 4.4 Schwache Wechselwirkung
 - 4.5 Übung
- 5. Ladungen
 - 5.1 Eigenschaften von Ladungen
 - 5.2 Was machen Ladungen?
 - 5.3 Übung
- 6. Elementarteilchen
 - 6.1 Elementarteilchen der Materie
 - 6.2 Anti-Materie-Teilchen
 - 6.3 Übung
 - 7. Abschlussquiz
 - 8. Bildquellen

Teilchen	Anti-Teilchen
Up-Quark	Anti-Up-Quark
Down-Quark	Anti-Down-Quark
Elektron	Positron
Neutrino	Anti-Neutrino

Teilchen und zugehörigen Anti-Teilchen

Wie heißen die Anti-Teilchen zu unseren Elementarteilchen und welche Ladungen besitzen sie? Betrachte dazu folgende Tabellen:

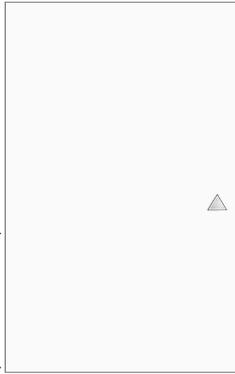


Übersicht: Ladungen der Anti-Elementarteilchen

Die Anti-Materie-Teilchen besitzen genau die entgegengesetzten Ladungen zu den zugehörigen Materie-Teilchen. Sie nehmen also an den gleichen Wechselwirkungen teil.

Was passiert, wenn ein Materieteilchen auf sein zugehöriges Anti-Materieteilchen trifft? Sicherlich hast du schon von der berühmten Formel von Einstein $E = mc^2$ gelesen oder gehört. Diese Formel meint, dass Masse eine Form von Energie ist, genau wie auch Bewegungsenergie oder potentielle Energie sind. Alle diese Energieformen können ineinander umgewandelt werden.

Treffen nun ein Materieteilchen und ein Anti-Materieteilchen aufeinander, vernichten sie sich und ihre Masse wird in eine andere Form von Energie umgewandelt. In der Sonne vernichten sich beispielsweise Elektronen und Positronen. Die Energie, die dabei entsteht wird zum Beispiel in Form von Licht (Photonen) für uns sichtbar oder in Form von Wärme spürbar. Dieses Beispiel wird in der Animation veranschaulicht.



Dieser Prozess ist auch umgekehrt möglich. Wenn Photonen mit einer ausreichend großen Energie aufeinander treffen, können z.B. ein Elektron und ein Positron oder ein anderes Teilchen-Anti-Teilchen-Paar entstehen. Die Bewegungsenergie der Photonen wird unter anderem in die Massen von Elektron und Positron umgewandelt.

6.3. Übung einschließlich Lösung

The screenshot shows a web-based learning management system interface. At the top, there is a navigation bar with icons for search, login, and a close button. Below this, a blue header bar contains the text "6.3 Übung" and a "Test abschließen" button. The main content area is titled "Aufgabe 1: Lückentext" and is worth 4 points. It contains three questions, each with a text input field:

- Question 1: "Wie heißt das Anti-Teilchen des Elektrons?"
- Question 2: "Wie heißt das Anti-Teilchen des Neutrinos?"
- Question 3: "Vergleicht man die Eigenschaften von beliebigen Teilchen mit ihrem jeweiligen Anti-Teilchen, so gilt stets: Die [] ist gleich, die [] sind entgegengesetzt."

At the bottom of the question area is an "Antworten abgeben" button. Below the question area, a grey bar indicates "Frage 1/2" and a "Weiter" button. The footer of the page contains the text "ONYX 8.1.1.3" and a footer bar with links for "Datenschutz", "Nutzungshinweise", "Impressum", "Über ONYX 8.1.1.3", and "Powered by JPS".

6.3 Übung

Neue Sektion

Aufgabe 1: Lückentext

Aufgabe 2: Elementarteilchen u

Erreicht: 4 von 4 Punkt(en)

Punkte: 4

Test abschließen

Wie heißt das Anti-Teilchen des Elektrons? ✓

Wie heißt das Anti-Teilchen des Neutrinos? ✓

Vergleicht man die Eigenschaften von beliebigen Teilchen mit ihrem jeweiligen Anti-Teilchen, so gilt stets: Die ist gleich, die sind entgegengesetzt.

Richtig!

Du hast alle Fragen über Elementarteilchen und deren Anti-Teilchen korrekt beantwortet.

Frage 1/2

Weiter

ONYX 8.1.1.3

Datenschutz Nutzungsbedingungen Impressum Über ONYX 8.1.1.3 Help Powered by JPS

6.3 Übung

Neue Sektion

Aufgabe 1: Lückentext

Aufgabe 2: Elementarteilchen

Aufgabe 2: Elementarteilchen und deren Ladungen

Wähle zu jedem gegebenen Elementarteilchen die Ladungen aus, welche es besitzt.

Punkte: 6

	Elektrische Ladung	Starke Ladung	Schwache Ladung
Elektron	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Positron	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Myon	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Down-Quark	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anti-Up-Quark	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Neutrino	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Antworten abgeben

Zurück

Frage 2/2

Test abschließen

ONYX 8.1.1.3

6.3 Übung
Neue Sektion
Aufgabe 1: Lückentext
Aufgabe 2: Elementarteilchen

Suche
Logout
Test abschließen

Aufgabe 2: Elementarteilchen und deren Ladungen

Erreicht: 6 von 6 Punkt(en)

Punkte: 6

Test abschließen

Wähle zu jedem gegebenen Elementarteilchen die Ladungen aus, welche es besitzt.

	Elektrische Ladung	Starke Ladung	Schwache Ladung
Elektron	✓	<input type="checkbox"/>	✓
Positron	✓	<input type="checkbox"/>	✓
Myon	✓	<input type="checkbox"/>	✓
Down-Quark	✓	✓	✓
Anti-Up-Quark	✓	✓	✓
Neutrino	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	✓

Richtig!
Du hast allen Elementarteilchen ihre korrekten Ladungen zugeordnet.

Zurück
Frage 2/2
Test abschließen

ONYX 8.1.1.3

7. Abschlussquiz

Suche

Login

Startseite

Kursangebote

Vorbereitungskurs Teil...

Vorbereitungskurs Teilchenphysik Masterclass

7 Abschlussquiz

Test starten

- Vorbereitungskurs Teilchenphysik Ma:
 - Einschreibung
 - 1 Willkommen
 - 2 Hilfe und Support
 - 3 Aufbau der Materie
 - 3.1 Bausteine der Materie
 - 3.2 Übung
 - 4 Die vier fundamentalen Wechselwirkun
 - 4.1 Gravitation
 - 4.2 Elektromagnetische Wechselwirk
 - 4.3 Starke Wechselwirkung
 - 4.4 Schwache Wechselwirkung
 - 4.5 Übung
 - 5 Ladungen
 - 5.1 Eigenschaften von Ladungen
 - 5.2 Was machen Ladungen?
 - 5.3 Übung
 - 6 Elementarteilchen
 - 6.1 Elementarteilchen der Materie
 - 6.2 Anti-Materie-Teilchen
 - 6.3 Übung
 - 7 Abschlussquiz
 - Bildquellen

Datenschutz

Nutzungsbedingungen

Impressum

Über OPAL 11.0.6 | N8

Powered by BPS

7 Abschlussquiz

Neue Sektion

Frage 1

Elementarteilchen sind kleine, unteilbare Teilchen.
Bei welchen Teilchen handelt es sich um Elementarteilchen?

- Neutrino
- Neutron
- Up-Quark
- Proton

Antworten abgeben

Frage 1/8

Weiter

Punkte: 1

Test abschließen

ONYX 8.1.1.2

Datenschutz Nutzungsbedingungen Impressum Über ONYX 8.1.1.2 Powered by EPS

7 Abschlussquiz

Neue Sektion

Frage 1
Frage 2
Frage 3
Frage 4
Frage 5
Frage 6
Frage 7
Frage 8

Test abschließen

Punkte: 1

Erreicht: 1 von 1 Punkt(en)

Elementarteilchen sind kleine, unteilbare Teilchen.
Bei welchen Teilchen handelt es sich um Elementarteilchen?

Neutron
 Proton
 Up-Quark
 Neutrino

Richtig!
Du hast die Elementarteilchen erkannt.

Frage 1/8

Weiter

ONYX 8.1.1.3

7 Abschlussquiz

Neue Sektion

Frage 1

Frage 2

Frage 3

Frage 4

Frage 5

Frage 6

Frage 7

Frage 8

Frage 2

Der menschliche Körper setzt sich aus den verschiedenen Elementarteilchen zusammen, wie auch die gesamte andere Materie. Welches Elementarteilchen kommt am häufigsten in unserem Körper vor?

- Elektron
- Down-Quark
- Neutrino
- Up-Quark

Antworten abgeben

Zurück

Frage 2/8

Weiter

Punkte: 1

Test abschließen

ONYX 8.1.1.3

Datenschutz Nutzungsbedingungen Impressum Über ONYX 8.1.1.38 Powered by EPS

7 Abschlussquiz

Neue Sektion

Frage 1

Frage 2

Frage 3

Frage 4

Frage 5

Frage 6

Frage 7

Frage 8

Test abschließen

Punkte: 1

Erreicht: 1 von 1 Punkt(en)

Der menschliche Körper setzt sich aus den verschiedenen Elementarteilchen zusammen, wie auch die gesamte andere Materie. Welches Elementarteilchen kommt am häufigsten in unserem Körper vor?

Elektron
 Down-Quark
 Neutrino
 Up-Quark

Richtig!

Das Up-Quark kommt am häufigsten in unserem Körper vor.
 Begründung: Unser Körper besteht aus Atomen, bei denen die Protonenzahl gleich oder höher als die Neutronenzahl ist. Ein Proton besteht aus zwei Up-Quarks und nur einem Down Quark.

Zurück Frage 2/8 Weiter

ONYX 8.1.1.2

7 Abschlussquiz

Neue Sektion

Frage 1

Frage 2

Frage 3

Frage 4

Frage 5

Frage 6

Frage 7

Frage 8

Frage 3

Es gibt 4 fundamentale Wechselwirkungen mit denen man alle in der Natur ablaufenden Prozesse erklären kann.

Welche der genannten Wechselwirkungen gehören zu diesen 4 fundamentalen Wechselwirkungen?

- Gravitation
- Anziehende Wechselwirkung
- Kräftige Wechselwirkung
- Schwache Wechselwirkung

Antworten abgeben

Zurück

Frage 3/8

Weiter

Punkte: 1

Test abschließen

ONYX 8.1.1.2

Datenschutz Nutzungsbedingungen Impressum Über ONYX 8.1.1.2 Powered by EPS

7 Abschlussquiz

Neue Sektion

Frage 1

Frage 2

Frage 3

Frage 4

Frage 5

Frage 6

Frage 7

Frage 8

Test abschließen

Punkte: 1

Erreicht: 1 von 1 Punkt(en)

Es gibt 4 fundamentale Wechselwirkungen mit denen man alle in der Natur ablaufenden Prozesse erklären kann. Welche der genannten Wechselwirkungen gehören zu diesen 4 fundamentalen Wechselwirkungen?

Gravitation

Anziehende Wechselwirkung

Kräftige Wechselwirkung

Schwache Wechselwirkung

Richtig!

Du hast du Wechselwirkungen benannt, die es wirklich gibt.

Antworten abgeben

Zurück

Frage 3/8

Weiter

ONYX 8.1.1.3

7 Abschlussquiz

Neue Sektion

Frage 1
Frage 2
Frage 3
Frage 4
Frage 5
Frage 6
Frage 7
Frage 8

Frage 4

Das CERN ist eine große Forschungseinrichtung für Teilchenphysik in der Schweiz. Hier werden Grundlagen der Teilchenphysik mit verschiedenen Experimenten untersucht. Beispielsweise werden Protonen in Kreisbeschleunigern beschleunigt und aufeinandergeschossen.

Wie groß ist der Umfang des weltweit größten Teilchenbeschleunigers am CERN?

27 km
 108 km
 1,5 km
 11 km

Antworten abgeben

Test abschließen

Punkte: 1

Zurück

Weiter

Frage 4/8

ONYX 8.1.1.3

Datenschutz Nutzungsbedingungen Impressum Über ONYX 8.1.1.3 Powered by EPS

7 Abschlussquiz

Neue Sektion

Frage 1

Frage 2

Frage 3

Frage 4

Frage 5

Frage 6

Frage 7

Frage 8

Test abschließen

Punkte: 1

Frage 4

Erreicht: 1 von 1 Punkt(en)

Das CERN ist eine große Forschungseinrichtung für Teilchenphysik in der Schweiz. Hier werden Grundlagen der Teilchenphysik mit verschiedenen Experimenten untersucht. Beispielsweise werden Protonen in Kreisbeschleunigern beschleunigt und aufeinandergeschossen.

Wie groß ist der Umfang des weltweit größten Teilchenbeschleunigers am CERN?

27 km

108 km

1,5 km

11 km

Richtig!

Der größte Teilchenbeschleuniger ist 27 km lang und verläuft in der Nähe von Genf unter der Erde.

Zurück

Frage 4/8

Weiter

ONYX 8.1.1.2

7 Abschlussquiz

Neue Sektion

Frage 1

Frage 2

Frage 3

Frage 4

Frage 5

Frage 6

Frage 7

Frage 8

Frage 5

Die Protonen werden in dem Beschleuniger am CERN auf fast Lichtgeschwindigkeit beschleunigt.

Wie viele Runden fliegt ein Proton pro Sekunde im größten Beschleuniger am CERN?

- ca. 10 000 Runden
- ca. 5000 Runden
- ca. 100 Runden
- ca. 1000 Runden

Antworten abgeben

Zurück

Frage 5/8

Weiter

Punkte: 1

Test abschließen

ONYX 8.1.1.2

Datenschutz Nutzungsbedingungen Impressum Über ONYX 8.1.1.2 Powered by EPS

7 Abschlussquiz

Neue Sektion

Frage 1
Frage 2
Frage 3
Frage 4
Frage 5
Frage 6
Frage 7
Frage 8

Test abschließen

Punkte: 1

Erreicht: 1 von 1 Punkt(en)

Die Protonen werden in dem Beschleuniger am CERN auf fast Lichtgeschwindigkeit beschleunigt. Wie viele Runden fliegt ein Proton pro Sekunde im größten Beschleuniger am CERN?

ca. 10 000 Runden
 ca. 5000 Runden
 ca. 100 Runden
 ca. 1000 Runden

Richtig!

Die Geschwindigkeit der Protonen beträgt rund $300000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$. Eine Runde ist ca. 30km lang. Also fliegen die Protonen pro Sekunde 10000 Runden.

Zurück Frage 5/8 Weiter

ONYX 8.1.1.3

7 Abschlussquiz

Neue Sektion

Frage 1

Frage 2

Frage 3

Frage 4

Frage 5

Frage 6

Frage 7

Frage 8

Frage 6

Neben vielen physikalischen Entdeckungen und Experimenten, wurden am CERN auch andere, "alltägliche" Dinge entwickelt. Schätze, welche Dinge von Teilchenphysiker/innen am CERN noch entwickelt worden?

- Touchscreen
- World Wide Web
- Positron-Emission-Tomograph
- Computer

Antworten abgeben

Zurück

Frage 6/8

Weiter

Punkte: 1

Test abschließen

ONYX 8.1.1.3

Datenschutz Nutzungsbedingungen Impressum Über ONYX 8.1.1.3 Powered by EPS

Opal

7 Abschlussquiz

Neue Sektion

Frage 1

Frage 2

Frage 3

Frage 4

Frage 5

Frage 6

Frage 7

Frage 8

Test abschließen

Punkte: 1

Frage 6

Erreicht: 1 von 1 Punkt(en)

Neben vielen physikalischen Entdeckungen und Experimenten, wurden am CERN auch andere, "alltägliche" Dinge entwickelt. Schätze, welche Dinge von Teilchenphysiker/innen am CERN noch entwickelt worden?

Touchscreen

World Wide Web

Positron-Emission-Tomograph

Computer

Richtig!

Du hast alle drei Erfindungen benannt.

Zurück

Frage 6/8

Weiter

ONYX 8.1.1.3

Datenschutz Nutzungsbedingungen Impressum Über Opal 7116 | 148 Powered by EPS

7 Abschlussquiz

Neue Sektion

Frage 1

Frage 2

Frage 3

Frage 4

Frage 5

Frage 6

Frage 7

Frage 8

Frage 7

Atome sind weiter teilbare Objekte.
Aus welchen Bestandteilen sind sie zusammengesetzt?

- Elektronen
- Neutrinos
- Protonen
- Up-Quarks

Antworten abgeben

Zurück

Frage 7/8

Weiter

Punkte: 1

Test abschließen

ONYX 8.1.1.3

Datenschutz Nutzungsbedingungen Impressum Über ONYX 8.1.1.3 Powered by BPS

Opal

7 Abschlussquiz

Neue Sektion

Frage 1

Frage 2

Frage 3

Frage 4

Frage 5

Frage 6

Frage 7

Frage 8

Test abschließen

Punkte: 1

Frage 7

Erreicht: 1 von 1 Punkt(en)

Atome sind weiter teilbare Objekte.

Aus welchen Bestandteilen sind sie zusammengesetzt?

Elektronen

Neutrinos

Protonen

Up-Quarks

Richtig!

Du hast du Atombausteine korrekt benannt.

Zurück

Frage 7/8

Weiter

ONYX 8.1.1.3

Datenschutz Nutzungsbedingungen Impressum Über Opal 7 | 108 | 108 Powered by EPS

7 Abschlussquiz

Neue Sektion

Frage 1

Frage 2

Frage 3

Frage 4

Frage 5

Frage 6

Frage 7

Frage 8

Frage 8

Man kann zwischen elektrischer, starker und schwacher Ladung unterscheiden.

Welche der folgenden Aussagen sind für Ladungen wahr?

- Die Ladungen von Teilchen und zugehörigen Anti-Teilchen sind gleich.
- Ladungen bleiben bei Umwandlungsprozessen erhalten.
- Ladungen sind immer positiv.
- Ladungen sind charakteristische Eigenschaften von Teilchen.

Antworten abgeben

Zurück

Frage 8/8

Test abschließen

Punkte: 1

Test abschließen

ONYX 8.1.1.2

Datenschutz Nutzungsbedingungen Impressum Über ONYX 8.1.1.2 Powered by BPS

Opal

7 Abschlussquiz

Neue Sektion

- Frage 1
- Frage 2
- Frage 3
- Frage 4
- Frage 5
- Frage 6
- Frage 7
- Frage 8**

Frage 8

Erreicht: 1 von 1 Punkt(en)

Punkte: 1

Man kann zwischen elektrischer, starker und schwacher Ladung unterscheiden. Welche der folgenden Aussagen sind für Ladungen wahr?

- Die Ladungen von Teilchen und zugehörigen Antiteilchen sind gleich.
- Ladungen bleiben bei Umwandlungsprozessen erhalten.
- Ladungen sind immer positiv.
- Ladungen sind charakteristische Eigenschaften von Teilchen.

Richtig!

Du hast alle wahren Aussagen über Ladungen erkannt.

Zurück

Frage 8/8

Test abschließen

ONYX 8.1.1.3

8. Bildquellen


Startseite Kursangebote Vorbereitungskurs Teil... Login Suche

Vorbereitungskurs Teilchenphysik Masterclass

Sie dürfen Inhalte lesen.

Quellen der Bilder und Animationen

Die im Vorbereitungskurs verwendeten Abbildungen und Animationen sind den folgenden Quellen entnommen. Die Abbildungen und Animationen werden nach der im Kurs eingesezten Reihenfolge aufgeführt.

Zielscheibe: <https://pixabay.com/de/eis-am-stiel-lutscher-eis-sommer-155205/>, Stand: 23.05.2018.

Eis am Stiel: <https://pixabay.com/de/ziel-dart-erfolg-spiel-dartscheibe-1414788/>, Stand: 23.05.2018.

Kristall: In: Kobel (u.a.) (2017): Teilchenphysik. Unterrichtsmaterial ab Klasse 10. Ladungen, Wechselwirkungen und Teilchen. Abbildung 3. S. 13.

Quarks: In: Netzwerk Teilchenwelt: Teilchensteckbriefe. In: http://www.teilchenwelt.de/fileadmin/user_upload/Redaktion/Netzwerk_Teilchenwelt/Downloads/Teilchensteckbriefe.pdf, Stand: 23.05.2018, S. 2,3.

Elektron: Ebd. S. 4.

Bild zur Gravitation: In: Netzwerk Teilchenwelt: Die vier Wechselwirkungen. In: http://www.teilchenwelt.de/fileadmin/user_upload/Redaktion/Netzwerk_Teilchenwelt/Material_Lehkraefte/Wechselwirkungen.pdf, Stand: 23.05.2018, S. 1.

Bild zur schwachen Wechselwirkung: ebd. S. 1.

2 Menschen werfen sich einen Ball zu: In: Kobel (u.a.) (2017): Teilchenphysik. Unterrichtsmaterial ab Klasse 10. Ladungen, Wechselwirkungen und Teilchen. Abbildung 25, S. 39.

2 Menschen werfen sich einen Bumerang zu: ebd. Abbildung 26, S. 39.

Photon: In: Netzwerk Teilchenwelt: Teilchensteckbriefe. In: http://www.teilchenwelt.de/fileadmin/user_upload/Redaktion/Netzwerk_Teilchenwelt/Downloads/Teilchensteckbriefe.pdf, Stand: 23.05.2018, S. 1.

Farbladungsvektoren: In: Kobel (u.a.) (2017): Teilchenphysik. Unterrichtsmaterial ab Klasse 10. Ladungen, Wechselwirkungen und Teilchen. Abbildung 18, S. 32.

Anti-Farbladungsvektoren: In: ebd., Abbildung 18, S. 32.

Glukonen: In: Netzwerk Teilchenwelt: Teilchensteckbriefe. In: http://www.teilchenwelt.de/fileadmin/user_upload/Redaktion/Netzwerk_Teilchenwelt/Downloads/Teilchensteckbriefe.pdf, Stand: 23.05.2018, S. 8.

Animation starke Wechselwirkung zweier Quarks: Unkelbach, T.: Starke Wechselwirkung – Beispiel (Animation). In: <https://www.leifiphysik.de/kern-physik/teilchenphysik/downloads/starke-wechselwirkung-beispiel-animation>, Stand: 23.05.2018.

Anti-Neutrino: In: Netzwerk Teilchenwelt: Teilchensteckbriefe. In: http://www.teilchenwelt.de/fileadmin/user_upload/Redaktion/Netzwerk_Teilchenwelt/Downloads/Teilchensteckbriefe.pdf, Stand: 23.05.2018, S. 7.

W-Teilchen: ebd. S. 1.

Z-Teilchen: ebd. S. 1.

Übersicht Antielementarteilchen der Materie: In: Kobel (u.a.) (2017): Teilchenphysik. Unterrichtsmaterial ab Klasse 10. Ladungen, Wechselwirkungen und Teilchen. Abbildung 22, S. 36.

Übersicht Antielementarteilchen der Materie: In: ebd. Abbildung 23, S. 36.

Animation Paarvernichtung: Unkelbach, T.: Teilchen und Anti-Teilchen – Paarvernichtung (Animation). In: <https://www.leifiphysik.de/kern-physik/teilchenphysik/downloads/teilchen-und-anti-teilchen-paarvernichtung-animation>, Stand: 23.05.2018.

Alle Bilder und Animationen, welche nicht aufgeführt sind, wurden von Carolin Diesel erstellt.