

Bonner Zentrum für Lehrerbildung (BZL)

**Erprobung und Evaluierung des  
Vorbereitungskurses für die  
Teilchenphysik-Masterclass des  
Netzwerks Teilchenwelt**

Bachelorarbeit im Fach Physik

vorgelegt von Inga Gisela Woeste

Matrikelnummer: 3019490

Erstbetreuerin: Dr. Barbara Valeriani-Kaminski

Bonn, den 2. September 2019

„Ich versichere hiermit, dass die Bachelorarbeit mit dem Titel „Erprobung und Evaluierung des Vorbereitungskurses für die Teilchenphysik-Masterclass des Netzwerks Teilchenwelt“ von mir selbst und ohne jede unerlaubte Hilfe selbstständig angefertigt wurde, dass sie noch an keiner anderen Hochschule zur Prüfung vorgelegen hat und dass sie weder ganz noch in Auszügen veröffentlicht worden ist. Die Stellen der Arbeit – einschließlich Tabellen, Karten, Abbildungen usw. –, die anderen Werken dem Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, habe ich in jedem einzelnen Fall kenntlich gemacht.“

Bonn, den 2. September 2019

Inga Woeste

# Danksagung

Ich möchte mich ganz herzlich bei Frau Dr. Barbara Valeriani-Kaminski und Herrn Priv. Doz. Dr. Philip Bechtle für die Unterstützung und die Möglichkeit bedanken, dass ich im Rahmen meiner Bachelorarbeit direkt mit Schüler\*innen arbeiten und wichtige Erfahrungen für meinen späteren Beruf als Lehrerin sammeln konnte. Die Weitergabe meiner Begeisterung für die Physik, insbesondere die der Teilchenphysik liegt mir sehr am Herzen.

Mein Dank gilt darüber hinaus auch meiner Familie und meinen Freunden für das fleißige Korrekturlesen, ihre motivierenden Worte und Umarmungen und dafür, dass sie mich in dieser Zeit begleitet haben.



---

# Inhaltsverzeichnis

---

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>Vorstellung des Online-Vorbereitungskurses</b>  | <b>3</b>  |
| 2.1      | Intention und Zielsetzung im Rahmen der Masterclass . . . . .  | 3         |
| 2.2      | Aufbau, Inhalt und eingebettete Didaktik . . . . .   | 4         |
| <b>3</b> | <b>Material für die Evaluation</b>   | <b>7</b>  |
| 3.1      | Evaluationsmaterial und Fragebögen für den Vorbereitungskurs . . . . .                               | 7         |
| 3.2      | Test- und Feedbackbögen für die Masterclass . . . . .  | 8         |
| <b>4</b> | <b>Durchführung des Vorbereitungskurses an Schulen im Rahmen der Masterclass</b>                     | <b>9</b>  |
| 4.1      | Block 1 - Beobachtung der Masterclass . . . . .  | 9         |
| 4.2      | Block 2 - Detaillierte Evaluation des Vorbereitungskurses . . . . .                                  | 11        |
| 4.3      | Block 3 - Direkter Gruppenvergleich in der Masterclass . . . . .                                     | 12        |
| 4.4      | Block 4 - Teilweise außerunterrichtliche Durchführung des Vorbereitungskurses . . . . .              | 13        |
| 4.5      | Block 5 - Vergleich von Leistungskurs und Grundkurs bei der Einführung des Arbeitsblattes . . . . .  | 14        |
| <b>5</b> | <b>Untersuchung der Effektivität des Vorbereitungskurses</b>   | <b>17</b> |
| 5.1      | Überprüfung des Lernerfolges durch den Vorbereitungskurs . . . . .                                   | 17        |
| 5.2      | Erörterung der Vorteile der Teilnahme am Vorbereitungskurs im Hinblick auf die Masterclass . . . . . | 18        |
| 5.3      | Überprüfung der Wirksamkeit des Arbeitsblattes zum Vorbereitungskurs . . . . .                       | 20        |
| <b>6</b> | <b>Diskussion der Durchführungsvariante und des Zeitkontingents</b>                                  | <b>23</b> |
| <b>7</b> | <b>Evaluation des Online-Vorbereitungskurses</b>   | <b>25</b> |
| 7.1      | Befragung der Vermittler*innen . . . . .   | 25        |
| 7.2      | Gesamtbewertung durch die Schüler*innen . . . . .  | 26        |
| <b>8</b> | <b>Optimierungspotenzial und Verbesserungsvorschläge</b>   | <b>29</b> |
| <b>9</b> | <b>Abschließendes Fazit der Bachelorarbeit</b>   | <b>33</b> |
|          | <b>Literaturverzeichnis</b>  | <b>35</b> |

## Inhaltsverzeichnis

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| <b>A</b> | <b>Material</b>   | <b>37</b>  |
| A.1      | Material für den Vorbereitungskurs . . . . .  | 38         |
| A.2      | Material für die Masterclass . . . . .  | 51         |
| A.3      | Fragebogen für die Vermittler*innen . . . . .   | 54         |
| A.4      | Arbeitsblatt zum Online-Vorbereitungskurs . . . . .   | 57         |
| <b>B</b> | <b>Datenerhebung</b>  | <b>61</b>  |
| B.1      | Ergebnisse der Evaluation des Vorbereitungskurses durch die Vermittler*innen . . .                | 62         |
| B.2      | Ergebnisse der detaillierten Evaluation des Vorbereitungskurses durch die Schüler*innen . . . . . | 66         |
| B.3      | Wissensstandsvergleich der Schüler*innen vor und nach dem Vorbereitungskurs . . .                 | 84         |
| <b>C</b> | <b>Inhaltliche Zusammenfassung der Teilchenphysik-Masterclass</b>                                 | <b>105</b> |
|          | <b>Abbildungsverzeichnis</b>  | <b>107</b> |
|          | <b>Tabellenverzeichnis</b>  | <b>109</b> |

---

## Einleitung

---

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wird eine Evaluation des Online-Vorbereitungskurses für die Teilchenphysik-Masterclass des „Netzwerk Teilchenwelt“ durchgeführt. Dies geschieht auf der Grundlage der Erprobung dieses Konzeptes mit Schulklassen.

Dabei wird zunächst der Online-Vorbereitungskurs im Hinblick auf seine Zielsetzung, seinen Inhalt und die darin eingebettete Didaktik vorgestellt. Des Weiteren wird auf die für die Evaluation entwickelten Materialien, wie Evaluations- und Testbögen, sowie auf das für die schriftliche Ergebnissicherung entworfene Arbeitsblatt zum Online-Vorbereitungskurs eingegangen.

Im Rahmen der Evaluation des Online-Vorbereitungskurses werden einerseits die Umfrage unter den Vermittler\*innen des Standortes Bonn und andererseits die Durchführung des Vorbereitungskurses im Rahmen der Masterclass an Schulen im Raum Bonn dargelegt und ausgewertet. Die Erprobung orientiert sich an fünf Schwerpunkten: der Beobachtung einer Masterclass, der detaillierten Evaluation des Online-Vorbereitungskurses, dem direkten Schülergruppenvergleich bei der Masterclass in Abhängigkeit von der Teilnahme am Vorbereitungskurs, der außerunterrichtlichen Durchführung des Vorbereitungskurses und dem Vergleich von Leistungs- und Grundkurs bei der Einführung des Arbeitsblattes.

Die Auswertung umfasst die Ergebnisse der Kursevaluation im Gesamtüberblick. Hierzu wird die Evaluation durch die Schüler\*innen betrachtet, bei der ermittelt wird, ob die Inhalte des Online-Vorbereitungskurses für Schüler\*innen vollständig verständlich und nachvollziehbar sind und ob an das Vorwissen der Lernenden angeknüpft wird. Außerdem wird die Effektivität des Kurses anhand der Überprüfung des Lernerfolges und der Wirksamkeit des entworfenen Arbeitsblattes untersucht. Zusätzlich werden die Vorteile der Teilnahme am Vorbereitungskurs im Hinblick auf die Masterclass dargelegt sowie die möglichen Durchführungsvarianten und das notwendige Zeitkontingent des Kurses diskutiert. Aus den gesammelten Erkenntnissen der Evaluationen werden Verbesserungsvorschläge für den Online-Vorbereitungskurs gewonnen.





---

# Vorstellung des Online-Vorbereitungskurses

---

## 2.1 Intention und Zielsetzung im Rahmen der Masterclass

Das „Netzwerk Teilchenwelt“ setzt sich deutschlandweit für die Vermittlung der Teilchenphysik und die Begeisterung Jugendlicher für die mit dem Thema verbundenen physikalischen Phänomene und Experimente ein. Die Schüler\*innen erhalten somit die Möglichkeit, im Physikunterricht und darüber hinaus an unterschiedlichen Veranstaltungsformaten teilzunehmen. Im Rahmen der sog. „Teilchenphysik-Masterclass“ [1] werten die Schüler\*innen echte Daten vom CERN aus. Hierbei lernen sie nicht nur die am CERN stattfindenden Experimente anhand der Funktionsweise von Teilchenbeschleunigern und -detektoren kennen, sondern erfahren durch die Einbindung der Promovierenden als Vermittler\*innen, wie der Alltag eines/r Teilchenphysikers/in aussieht.

Die Intention des Online-Vorbereitungskurses ist die Vermittlung von Grundlagen im Bereich der Teilchenphysik. Die Notwendigkeit für die Masterclass ergibt sich aus der Betrachtung folgender Aspekte: Die Einführungsvorträge der Vermittler\*innen im Rahmen der Masterclass behandeln Inhalte, welche für die Schüler\*innen nahezu ausschließlich neu sind, die sie sich aber erst aneignen müssen, um die praktischen Aufgaben der Masterclass lösen zu können. Da das Thema „Teilchenphysik“ im Lehrplan der gymnasialen Oberstufe ein Randthema ist und darüber hinaus die dort vorgesehenen Lehrinhalte nicht alle für die Masterclass relevanten Grundlagen abdecken, fehlt den Schüler\*innen oftmals ein hinreichendes Vorwissen in diesem Bereich der Physik. Somit besteht die Gefahr, dass sich der Schwerpunkt des Veranstaltungsformats der Masterclass hin zu der Vermittlung von physikalischen Grundlagen verschiebt und daher für die Auswertung der CERN-Daten zu wenig Zeit zur Verfügung steht. Indem sowohl versucht wird, den Schüler\*innen ein ausreichendes Vorwissen zu vermitteln und ihnen gleichzeitig zu zeigen, wie Teilchenphysiker\*innen wissenschaftlich arbeiten, entsteht während der Masterclass ein Zeit- und Leistungsdruck. Das Ziel des Online-Vorbereitungskurses ist daher die inhaltliche Entlastung der Masterclass.

Durch den Online-Vorbereitungskurs werden den Schüler\*innen die relevanten Grundlagen der Teilchenphysik vermittelt, diese Aufgabe wird im Hinblick auf die Masterclass also „outsourced“. Das Format eines Online-Kurses ermöglicht es den Schüler\*innen, sich eigenständig und nach individuellem Tempo mit dem Thema „Teilchenphysik“ auseinanderzusetzen und sich das relevante Vorwissen

anzueignen. Durch die parallele Bearbeitung des Arbeitsblattes zum Online-Vorbereitungskurs findet eine schriftliche Sicherung des neu gewonnenen Wissens statt, die in der Masterclass als Hilfestellung genutzt werden kann.

Aufgrund des Online-Vorbereitungskurses als abgeschlossenes Lernpaket haben die Vermittler\*innen die Möglichkeit, in der Masterclass auf ein bekanntes Vorwissenskontingent der Schüler\*innen zurückzugreifen und den Fokus auf die Vermittlung weiterführenden Wissens und die praktischen Einblicke in die Arbeit von Teilchenphysiker\*innen zu legen.

Zudem kann der Online-Vorbereitungskurs auch unabhängig von der Masterclass, zum Beispiel im Rahmen des Schulunterrichtes, von den Fachlehrer\*innen individuell als Plattform zur Vermittlung der teilchenphysikalischen Grundlagen eingesetzt werden.

### 2.2 Aufbau, Inhalt und eingebettete Didaktik

Der Online-Vorbereitungskurs befindet sich auf der „Online-Plattform für Akademisches Lehren und Lernen (OPAL)“<sup>1</sup> [2], [3] und wurde im Rahmen einer Masterarbeit von Carolin Diesel entwickelt [4]. Er unterteilt sich in die vier Kapitel „Aufbau der Materie“, „Die vier fundamentalen Wechselwirkungen“, „Ladungen“ und „Elementarteilchen“. Zu Beginn eines jeden Kurskapitels gibt es eine kurze Einleitung in das neue Thema, die Motivation zur Auseinandersetzung mit den Inhalten wird dargelegt und die Neugierde der Schüler\*innen wird beispielsweise durch das Aufwerfen von Fragestellungen geweckt. Außerdem wird in einem Merkkasten ein klares Ziel formuliert, welches der Orientierung dient.

Im ersten Kurskapitel „Aufbau der Materie“ werden die Elementarteilchen als kleinste Bausteine der Materie vorgestellt. Dabei werden schrittweise die Zusammensetzung und Substrukturen eines Stieleises untersucht. Bei der Betrachtung des Atomkerns wird schließlich erklärt, dass dieser aus Protonen und Neutronen gebildet wird, die wiederum aus Up- und Down-Quarks bestehen. Da Quarks und Elektronen keine Unterstruktur besitzen, werden sie als Elementarteilchen vorgestellt, aus denen sich die gesamte stabile Materie zusammensetzt.

Das zweite Kurskapitel „Die vier fundamentalen Wechselwirkungen“ beschäftigt sich mit der Gravitation, der elektromagnetischen, der starken und der schwachen Wechselwirkung, die die Vorgänge in der Natur beschreiben. Zu jeder Art werden, neben einer ausführlichen Erklärung, ihre Ursache (elektrische, starke oder schwache Ladung) und Beispiele für ihre Wirkung, insbesondere in der Teilchenphysik, erläutert. Außerdem gibt es zu der elektromagnetischen, der starken und der schwachen Wechselwirkung jeweils eine „Zusatzinformation“, in welcher deren Austauschteilchen (Photon, Gluon oder W-/Z-Boson) vorgestellt werden. Im Kurskapitel zur Gravitation wird auf ihre Vernachlässigbarkeit in der Teilchenphysik hingewiesen, da, aufgrund der kleinen Elementarteilchenmassen, die gravitativen Effekte in der Teilchenphysik sehr gering sind. Zusätzlich unterstützen Grafiken und interaktive Animationen das Verständnis der Inhalte und werten den Online-Vorbereitungskurs didaktisch auf. Inhaltlich wird wiederholt der Bezug zur Schule hergestellt und versucht, an das Vorwissen der Schüler\*innen anzuknüpfen (s. Kurskapitel 4.2 „Wie kann die elektromagnetische Wechselwirkung erklärt werden?“ und Einleitung des Kurskapitels 5).

<sup>1</sup><https://bildungsportal.sachsen.de/opal/auth/RepositoryEntry/17635573762?1>, Passwort: Teilchenphysik!

## 2.2 Aufbau, Inhalt und eingebettete Didaktik

Im dritten Kurskapitel steht das Thema „Ladungen“ im Fokus. Anhand der Ladungsarten „elektrische“, „starke“ und „schwache“ Ladung und mithilfe von Beispielrechnungen werden die drei Eigenschaften von Ladungen dargelegt: die Quantelung, die Additivität und die Erhaltung. Darüber hinaus werden die Begriffe „Ladung“ und „Wechselwirkung“ in Beziehung gesetzt, die schwache und elektrische Ladungszahl sowie der Farbladungsvektor kurz vorgestellt und festgestellt, dass die Werte der Ladungen eines unbekanntes Teilchens dieser einer bestimmten Teilchenart zuordnen.

Das vierte Kurskapitel „Elementarteilchen“ stellt eine Ordnung der im Laufe des Vorbereitungskurses kennengelernten Elementarteilchen Elektron, Neutrino, Up- und Down-Quark vor. Die Teilchen werden in einer ersten Grafik nach ihren Ladungen und ihrer Teilnahme an den Wechselwirkungen sortiert. Nachdem zusätzlich zu den Teilchen deren Anti-Teilchen erklärt wurden, wird eine zu der ersten Grafik analoge Ordnung der Anti-Teilchen vorgenommen. Außerdem wird in diesem Kurskapitel das Myon als weiteres Elementarteilchen vorgestellt.

Am Ende eines jeden Kapitels haben die Schüler\*innen die Möglichkeit, die neu dazugelernten Informationen in einer kurzen Übung zu festigen. Die Übungen setzen sich aus Anwendungsaufgaben zusammen, in denen Antworten angekreuzt, markiert oder selbstständig schriftlich gegeben und Elemente in die richtige Reihenfolge gebracht werden müssen. Nach der Bearbeitung der Aufgaben haben die Schüler\*innen die Möglichkeit, diese von dem Programm auf ihre Richtigkeit überprüfen zu lassen.

Zum Abschluss des Online-Vorbereitungskurses gibt es noch ein Quiz, in dem zusammenfassend acht Fragen zu den Inhalten aller Kurskapitel gestellt werden und zusätzlich Schätzfragen über das CERN vorkommen.



---

# Material für die Evaluation

---

Bisher wurde der Online-Vorbereitungskurs mit drei Schüler\*innen am Ende ihrer 9. Jahrgangsstufe, unabhängig von der Teilnahme an der Masterclass, durchgeführt. Im Rahmen dieser Bachelorarbeit soll die Einsetzbarkeit und Effektivität des Online-Vorbereitungskurses als Vorbereitung auf die Masterclass mit einer gesamten Klasse anhand von mehreren Durchläufen getestet werden. Dabei orientiert sich die Evaluation an den folgenden Anregungen Carolin Diesels [4] für eine praktische Durchführung:

Zum einen soll überprüft werden, „wie die Umsetzung des Online-Vorbereitungskurses mit einer gesamten Klasse, die an der Masterclass teilnehmen möchte, gelingt“ (s. Kapitel 4), kontrolliert werden, „ob der Vorbereitungskurs die gewünschten Vorteile für die Masterclass mit sich bringt“ und getestet werden, „ob den Lernenden die Inhalte aus dem Vorbereitungskurs beim Verständnis der Masterclass helfen“ (s. Kapitel 5.2). Außerdem soll überprüft werden, „ob die Schüler/innen die Inhalte aus dem Vorbereitungskurs behalten haben“ (s. Kapitel 5.1), oder „sich eine ergänzende Ergebnissicherung in schriftlicher Form, beispielsweise auf einem Arbeitsblatt, als vorteilhaft erweisen würde“ (s. Kapitel 5.3) und ermittelt werden, „welche Durchführungsvariante, als Hausaufgabe oder in der Schule, sich als vorteilhafter erweist“ (s. Kapitel 6).

Die im Folgenden vorgestellten Materialien für die Evaluation umfassen Materialbögen für die Ermittlung des Vorwissens und des Unterrichtsinhaltes zum Thema „Teilchenphysik“, die Evaluation des Online-Vorbereitungskurses, das Arbeitsblatt zum Online-Vorbereitungskurs, die schriftliche Überprüfung des Lernerfolges durch den Vorbereitungskurs zu Beginn der Masterclass und die abschließende Bewertung des Kurses als Vorbereitung auf die Masterclass sowie Beobachtungsbögen zum Vorbereitungskurs und zur Masterclass. Zu Beginn eines jeden Bogens wurden Alter, Geschlecht (weiblich, männlich, divers) und Klassenstufenzugehörigkeit der Schüler\*innen abgefragt, um gegebenenfalls später bei der Auswertung auf diese Parameter Bezug nehmen zu können.

### 3.1 Evaluationsmaterial und Fragebögen für den Vorbereitungskurs

Um den Lernerfolg durch den Online-Vorbereitungskurs feststellen zu können, muss vorher das Vorwissen der Schüler\*innen im Bereich der Teilchenphysik ermittelt werden. Dazu wurde eine

## Kapitel 3 Material für die Evaluation

schriftliche Überprüfung in Form eines Fragebogens (s. S. 40) unter Hinzunahme des Kernlehrplans [5] entworfen, die die wichtigsten Inhalte des Online-Vorbereitungskurses und der Teilchenphysik umfasst. Sie besteht aus neun Fragen über den Aufbau des Atoms, Elementarteilchen, Wechselwirkungen und Experimente am CERN, die unterschiedliche Schwierigkeitsgrade aufweisen. Dieses Spektrum ermöglicht es, jeden Grad des Vorwissens zu erfassen. Nach dem ersten Einsatz des Fragebogens beim Vorbereitungskurs am Berufskolleg in Hennef wurde dieser überarbeitet.

Zusätzlich zum Fragebogen für die Schüler\*innen wurde ein weiterer zum Thema „Teilchenphysik in der Schule“ für die Fachlehrer\*innen erstellt (s. S. 41). So kann auch auf diesem Weg das spezifische Vorwissen und der generelle Wissensstand der Schüler\*innen im Fach Physik erfasst werden. Von den Fachlehrer\*innen soll zudem beurteilt werden, ob eine Durchführung des Kurses sowohl im Rahmen einer Hausaufgabe als auch im Unterricht umsetzbar ist.

Für die ausführliche Evaluation des Online-Vorbereitungskurses wurde ein sechsseitiger Bewertungsbogen (s. S. 42 ff.) ausgearbeitet. Die Schüler\*innen sollten, parallel zur Bearbeitung des Kurses Fragen zu Form, Darstellung, Funktionalität und Verständlichkeit der einzelnen Kapitel und Übungen beantworten sowie ihre Probleme oder Schwierigkeiten mit dem Inhalt und der Handhabung formulieren. Außerdem sollte in Form von Abschlussfragen der gesamte Kurs bewertet und dazu Stellung genommen werden, ob eine eigenständige Durchführung des Vorbereitungskurses im Rahmen einer Hausaufgabe möglich wäre.

Für die schriftliche Wissenssicherung im Hinblick auf die Masterclass wurde ein Arbeitsblatt (s. S. 58) zum Online-Vorbereitungskurs entworfen. Auf diesem sollen die wichtigsten Inhalte des Kurses gesammelt werden, um in der Masterclass als Hilfestellung zu dienen.

Zusätzlich wurde für die Durchführung des Vorbereitungskurses und der Masterclass in der Schule ein Beobachtungsbogen (s. S. 50) erarbeitet. Auf diesem können die Bearbeitungszeiten der Schüler\*innen für die einzelnen Kurskapitel dokumentiert, aber auch auftretende Probleme bei der Durchführung sowie Fragen der Schüler\*innen notiert werden.

Um den Online-Vorbereitungskurs zusätzlich aus der Sicht der Vermittler\*innen evaluieren zu lassen, wurde hierfür ein weiterer Fragebogen entworfen (s. S. 55 f.). Es ist wichtig, die Gedanken und Einschätzungen der Vermittler\*innen mit in diese Arbeit einzubeziehen, da diese schon über einen längeren Zeitraum im Rahmen der Masterclass mit den Schüler\*innen zusammen arbeiten und somit einen weitaus größeren Erfahrungsschatz mit sich tragen.

### **3.2 Test- und Feedbackbögen für die Masterclass**

Zu Beginn der Masterclass, die eine Woche nach dem Vorbereitungskurs stattfand, wurden mithilfe eines Testbogens (s. S. 52) die zentralen Inhalte des Online-Vorbereitungskurses abgefragt, um den Lernerfolg der Schüler\*innen durch den Vorbereitungskurs festzustellen. Im Laufe der stattfindenden Masterclasses wurde der Testbogen überarbeitet und durch eine Zusatzinformation bei der neunten Frage ergänzt.

Am Ende der Masterclass sollten die Schüler\*innen außerdem einen Feedbackbogen (s. S. 53) zum Vorbereitungskurs im Rahmen der Masterclass ausfüllen.

---

# Durchführung des Vorbereitungskurses an Schulen im Rahmen der Masterclass

---

Im Rahmen der Evaluation des Online-Vorbereitungskurses wurde dieser insgesamt sechsmal an verschiedenen Schulen durchgeführt und dann jeweils eine Woche später in der Masterclass auf seine Effektivität hin untersucht. Bei jeder Durchführung wurde ein anderer Schwerpunkt gesetzt, um eine differenziertere Auswertung zu ermöglichen. In diesem Kapitel wird sich mit der Erprobung des Vorbereitungskurses an Schulen im Rahmen der Masterclass und den dabei aufgetretenen praktischen Problemen befasst, wohingegen auf die Evaluationsergebnisse (s. S. 66) in Kapitel 7 eingegangen wird.

Die Tabelle 4.1 zeigt eine Übersicht über die fünf „Blöcke“ der praktischen Arbeit an den Schulen, wobei bei jedem eine andere Schule besucht und eine andere Zielsetzung verfolgt wurde. Zu Beginn eines Vorbereitungskurses wurde eine schriftliche Überprüfung des Vorwissens der Schüler\*innen im Bereich der Teilchenphysik vorgenommen, die Schüler\*innen dann bei der Durchführung und Evaluation des Online-Vorbereitungskurses betreut und die Fachlehrer\*innen zum Thema „Teilchenphysik im Unterricht“ befragt. In der Masterclass fand anfangs eine schriftliche Überprüfung des Lernerfolges der Schüler\*innen durch den Vorbereitungskurs statt, und am Ende wurde von den Schüler\*innen Feedback zum Konzept des Vorbereitungskurses im Rahmen der Masterclass eingeholt.

### 4.1 Block 1 - Beobachtung der Masterclass

Am 13. März wurde an der „Europaschule“, einem Gymnasium in Kerpen, mit 18 Schüler\*innen eines Physik-Leistungskurses der Qualifikationsphase 2 eine Masterclass durchgeführt. Die Intention des ersten „Blocks“ im Rahmen dieser Arbeit ist die Beobachtung der Masterclass ohne die vorherige Durchführung des Online-Vorbereitungskurses, um sich mit dem bisherigen Aufbau und den Inhalten einer Masterclass (s. S. 105) als separate Veranstaltung auseinanderzusetzen.

Im Rahmen der Beobachtungen dieser Masterclass wurde festgestellt, dass allgemeines Interesse seitens der Schüler\*innen für die Inhalte vorhanden war, es aber aufgrund der verdichteten

Kapitel 4 Durchführung des Vorbereitungskurses an Schulen im Rahmen der Masterclass

| Block | Schulform                  | Kurs  | Veranstaltung  | Inhalt   |
|-------|----------------------------|---|--|--|
| 1     | Gymnasium                  | LK 12<br>(18 SuS)                                   | Masterclass  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Beobachtung, um mit Inhalten vertraut zu werden</li> </ul>  |
| 2 / 3 | Berufskolleg/<br>Gymnasium | GK 11<br>(17 SuS)<br>(10 SuS)/<br>GK 11<br>(28 SuS) | Vorbereitungskurs<br>(Block 3: nur<br>Kurshälfte (14 SuS)) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• schriftliche Überprüfung des Vorwissens der Schüler*innen</li> <li>• zeitgleiche Durchführung und detaillierte Evaluation des Vorbereitungskurses</li> <li>• Befragung der Fachlehrer*innen</li> </ul>  |
|       |                            |   | Masterclass  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• schriftliche Überprüfung des Lernerfolges der Schüler*innen durch den Vorbereitungskurs</li> <li>• Beobachtung der Schüler*innen</li> <li>• Feedback der Schüler*innen zum Konzept von Masterclass und Vorbereitungskurs</li> </ul>   |
| 4     | Gymnasium                  | Klasse 9<br>Diff.-Kurs<br>(16 SuS)                  | Vorbereitungskurs  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Feedback des Fachlehrers zur teilweise außerunterrichtlichen Durchführung</li> </ul>  |
|       |                            |   | Masterclass  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Feedback der Vermittler*innen zur Aktivität der Schüler*innen</li> </ul>  |
| 5     | Gymnasium                  | LK 11<br>(5 SuS)<br>GK 11<br>(21 SuS)               | Vorbereitungskurs  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• schriftliche Überprüfung des Vorwissens der Schüler*innen</li> <li>• zeitgleiche Durchführung des Vorbereitungskurses und Bearbeitung des Arbeitsblattes</li> <li>• im Anschluss kurze Evaluation des Vorbereitungskurses und Besprechung des Arbeitsblattes</li> <li>• Befragung der Fachlehrer*innen</li> </ul> |
|       |                            |   | Masterclass  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• schriftliche Überprüfung des Lernerfolges der Schüler*innen durch den Vorbereitungskurs</li> <li>• Beobachtung der Schüler*innen</li> <li>• Feedback der Schüler*innen zum Konzept von Arbeitsblatt, Vorbereitungskurs und Masterclass</li> </ul>   |

Tabelle 4.1: Konzeptionelle Übersicht der Durchführung und Evaluation des Vorbereitungskurses im Rahmen der Masterclass an unterschiedlichen Schulen



## 4.2 Block 2 - Detaillierte Evaluation des Vorbereitungskurses

Informationsmasse während der Einführungsvorträge zu einer nachlassenden Aufmerksamkeit und zunehmender Müdigkeit unter den Schüler\*innen kam. Verständnisfragen traten primär im Zusammenhang mit dem Standardmodell der Teilchenphysik zu Quarks, Leptonen, Anti-Teilchen, den Austauschteilchen und unterschiedlichen Wechselwirkungen, aber auch zu Feynman-Diagrammen und der Bedienung der Software „Minerva“ auf. Die meisten Schüler\*innen hatten insbesondere Schwierigkeiten, zu verstehen, warum das Standardmodell der Teilchenphysik so viele Teilchen umfasst, woran sich die Teilchen unterscheiden lassen, wie genau eine Wechselwirkung beschrieben werden kann, wie sich deren Wirkung mit Botenteilchen vorgestellt werden kann und wie die Teilchen und Wechselwirkungen einander zugeordnet werden. Verstärktes Interesse und weiterführende Fragen seitens der Schüler\*innen waren bei der Auseinandersetzung mit dem Thema „Kosmologie“ zu beobachten, als es um die Entstehung und Zukunft des Universums ging.

Der zuständige Fachlehrer, der bereits mehrere Masterclasses begleitet hat, bestätigte außerdem, dass er das Angebot eines Online-Vorbereitungskurses nutzen und in eine Doppelstunde einbauen würde. Seiner Meinung nach sei die Idee eines Vorbereitungskurses aufgrund des hohen Informationsgehalts der Masterclass sinnvoll, um den Schüler\*innen die Möglichkeit zu geben, sich im Vorhinein Basiswissen im Bereich der Teilchenphysik anzueignen (s. S. 98).

### 4.2 Block 2 - Detaillierte Evaluation des Vorbereitungskurses

Am Berufskolleg in Hennef wurde der Vorbereitungskurs am 30. April mit 17 Schüler\*innen und am 6. Mai mit 10 Schüler\*innen zweier Physik-Grundkurse der 11. Jahrgangsstufe durchgeführt und evaluiert. Die zugehörige Masterclass, an der die beiden Kurse gemeinsam teilnahmen, fand am 10. Mai statt. Die Intention des zweiten „Blocks“ im Rahmen dieser Arbeit ist die detaillierte Evaluation des Online-Vorbereitungskurses durch die Schüler\*innen. Im Folgenden werden der Ablauf beider Vorbereitungskurse und die dabei auftretenden Probleme beschrieben. Die Ergebnisse der detaillierten Evaluation (s. S. 66) werden in Form von Verbesserungsvorschlägen in Kapitel 8 dargelegt.

Zu Beginn des Vorbereitungskurses am 30. April fand eine fünfminütige schriftliche Überprüfung zur Einschätzung des Vorwissens der Schüler\*innen statt. Danach führten die Schüler\*innen innerhalb von ca. 75 Minuten den Online-Vorbereitungskurs durch und evaluierten diesen zeitgleich auf dem dafür entworfenen sechsseitigen Evaluationsbogen (s. S. 42 ff.). Dabei wurden die Schüler\*innen beobachtet und betreut, um bei Verständnisschwierigkeiten, technischen Problemen oder sonstigen Fragen helfen zu können.

Die Durchführung des Online-Vorbereitungskurses konnte insgesamt nur auf vier Laptops stattfinden und musste ansonsten über Smartphones der Schüler\*innen realisiert werden. Letzteres gestaltete sich als schwierig, da manche Grafiken, Animationen und Übungen nicht für das Format der Smartphones ausgelegt und daher teilweise nicht zu erkennen oder zu bedienen waren. Diesbezüglich gibt es also noch Optimierungspotenzial, auf das in Kapitel 8 eingegangen wird.

Aufgrund der schlechten Internetverbindung über das WLAN der Schule und der Tatsache, dass wegen der gleichzeitigen Bedienung des Online-Vorbereitungskurses durch die 17 Schüler\*innen die entsprechenden Internetseiten nur sehr langsam bis gar nicht luden, wurden die Schüler\*innen zur Bearbeitung des Kurses in Zweiergruppen aufgeteilt. Somit konnte die Anzahl der gleichzeitigen Zugriffe auf das Kursportal halbiert, das Laden der Seiten beschleunigt und das Arbeitsklima deutlich verbessert werden. Insgesamt hat die Partnerarbeit gut funktioniert, obwohl sich die jeweiligen Partner

leichter voneinander ablenken ließen und teilweise unkonzentrierter arbeiteten als bei der Einzelarbeit zu Beginn.

Aufgrund einer 15 minütigen Verspätung der Schüler\*innen, wurde zu Beginn des zweiten Vorbereitungskurses am 6. Mai darauf verzichtet, eine schriftliche Überprüfung des Vorwissens durchzuführen, und direkt mit der Bearbeitung und Evaluation des Online-Vorbereitungskurses begonnen. Dafür standen nach einer einleitenden Vorstellung des Konzepts von Vorbereitungskurs und Masterclass und hinsichtlich der geplanten Bearbeitung der Abschlussfragen am Ende der Doppelstunde nur 60 Minuten zur Verfügung. Das Vorwissen der 10 Schüler\*innen kann auf der Grundlage der Ergebnisse des Fragebogens für Fachlehrer\*innen eingeschätzt werden.

Um die oben erwähnten Probleme zu vermeiden, wurden die Schüler\*innen in Zweiergruppen eingeteilt, die diesmal alle einen mitgebrachten Laptop zur Verfügung hatten. Die Schüler\*innen wurden gegen Ende der Doppelstunde dazu aufgefordert, nur noch das Abschlussquiz des Online-Vorbereitungskurses und die Abschlussfragen des Evaluationsbogens zu bearbeiten, da die Zeit für die zusätzliche Bearbeitung des sechsten Kurskapitels zu knapp gewesen wäre.

Insgesamt erwies sich die Form der Partnerarbeit als vorteilhafter, um die Internetverbindung zu entlasten, und das Arbeiten an Computern, im Vergleich zu der auf Smartphones, als effektiver und praktikabler.

### **4.3 Block 3 - Direkter Gruppenvergleich in der Masterclass**

Die Intention des dritten „Blocks“ im Rahmen dieser Arbeit ist der direkte Vergleich der Schüler\*innen in Abhängigkeit von der Teilnahme am Vorbereitungskurs. Am 14. Mai wurde am „Städtischen Gymnasium Rheinbach“ der Online-Vorbereitungskurs mit der Hälfte der Schüler\*innen eines Physik-Grundkurses der Qualifikationsphase 1 durchgeführt und von diesen insgesamt 14 Schüler\*innen evaluiert. Die zugehörige Masterclass, an der der gesamte Grundkurs teilnahm, fand am 22. Mai statt. Im Folgenden werden neben dem Ablauf auch die bei der Durchführung des Vorbereitungskurses auftretenden praktischen Probleme beschrieben. Die Ergebnisse des direkten Schülergruppenvergleichs bei der Masterclass werden in Kapitel 5.2 vorgestellt.

Bei der Auswahl der Schüler\*innen, die am Vorbereitungskurs teilnehmen durften, verwendete der zuständige Fachlehrer die Klassenliste und nannte die ersten 14 Schüler\*innen. Daher ist davon auszugehen, dass beide Schülergruppen vor dem Stattfinden des Vorbereitungskurses bezüglich der Leistungen im Fach Physik heterogen und hinsichtlich des Vorwissens im Bereich der Teilchenphysik vergleichbar waren. Aus der Befragung des Fachlehrers geht zudem hervor, dass im Unterricht das Thema „Teilchenphysik“ bisher nicht durchgenommen wurde, aber gemäß des Kerncurriculums für Grundkurse in der Qualifikationsphase 1 Photonen und Elektronen im Kontext des Themas „Quantenobjekte“ behandelt wurden (s. S. 98). Nach Angaben des Fachlehrers haben außerdem die nicht am Vorbereitungskurs teilnehmenden Schüler\*innen bis zur Masterclass keine Inhalte zum Thema „Teilchenphysik“ im Unterricht behandelt. Daher kann untersucht werden, welche Vorteile die Teilnahme an einem Vorbereitungskurs für die Masterclass mit sich bringt und ob eine Teilnahme an der Masterclass ohne vorherige Aneignung der Inhalte des Online-Vorbereitungskurses zu empfehlen ist.

Zu Beginn des Vorbereitungskurses wurde zuerst das Vorwissen der Schüler\*innen schriftlich überprüft und dann mit der Bearbeitung des Online-Vorbereitungskurses in Partnerarbeit an Com-

#### 4.4 Block 4 - Teilweise außerunterrichtliche Durchführung des Vorbereitungskurses

putern begonnen. Wie im zweiten „Block“ wurde parallel dazu eine ausführliche Bewertung des Online-Vorbereitungskurses auf dem sechsseitigen Evaluationsbogen vorgenommen. Die häufigsten Antworten der Schüler\*innen der ersten beiden Vorbereitungskurse zu den Abschlussfragen des Evaluationsbogens waren zusätzlich als Ankreuzmöglichkeiten aufgelistet worden, um allgemeine Tendenzen feststellen zu können. Die Partnerarbeit fand ohne größere Unruhe statt, und die Schüler\*innen hatten insgesamt weniger technische und inhaltliche Fragen zum Online-Vorbereitungskurs als die der ersten beiden Kurse.

Im Rahmen der Masterclass wurde eine erste Einbettung des Vorbereitungskurses vorgenommen, indem der erste Einführungsvortrag zusammen mit dem zuständigen Vermittler angepasst und die Schüler\*innen, die am Vorbereitungskurs teilgenommen hatten, durch Fragestellungen zu den Inhalten des Online-Vorbereitungskurses stärker mit einbezogen wurden. Auf diese Einbettung wird in Kapitel 5.2 eingegangen.

#### **4.4 Block 4 - Teilweise außerunterrichtliche Durchführung des Vorbereitungskurses**

Am Gymnasium „Zum Altenforst“ in Troisdorf wurde der Vorbereitungskurs vor dem Startfinden der Masterclass am 17. Juni mit 16 Schüler\*innen des Physik-Differenzierungskurses der 9. Jahrgangsstufe durchgeführt und von dem entsprechenden Fachlehrer betreut. Die Intention des vierten „Blocks“ im Rahmen dieser Arbeit ist die Durchführung eines Probedurchlaufs des Vorbereitungskurses ohne zusätzliche Betreuung der Schüler\*innen, außer durch den eingesetzten Fachlehrer. Außerdem soll untersucht werden, ob sich die Durchführung im Unterricht oder in Form einer Hausaufgabe als vorteilhafter erweist. Diese Fragestellung soll unter Einbezug der Ergebnisse der Befragung von Schüler\*innen und Fachlehrer\*innen in Kapitel 6 behandelt werden.

Außerdem wurde von den Vermittler\*innen Feedback über die Aktivität der Schüler\*innen bei der Masterclass eingeholt. Im Folgenden werden die Rückmeldungen des für den Testdurchlauf verantwortlichen Fachlehrers (s. S. 100) und die der Vermittler\*innen zur zugehörigen Masterclass dargelegt.

Für die eigenständige Bearbeitung des Online-Vorbereitungskurses hatten die Schüler\*innen des Physik-Differenzierungskurses im Unterricht 60 Minuten Zeit. Die Hausaufgabe bestand darin, den Kurs fertigzustellen, wofür die Schüler\*innen zusätzlich noch maximal 20 Minuten benötigten. Nach Angaben des Fachlehrers gab es insgesamt keine nennenswerten Schwierigkeiten oder Probleme, weder mit dem Verständnis des Kursinhaltes noch mit dessen technischer Bedienung. Den Schüler\*innen haben die Grafiken, Animationen und die Übungsaufgaben gut gefallen, und sie haben keine expliziten Verbesserungsvorschläge oder Kritikpunkte geäußert. Vor dem Vorbereitungskurs hatten die Schüler\*innen „Elektronen im Aufbau“ besprochen, und nach der Masterclass wird das Thema „Beschleunigung von Elektronen“ durchgenommen. Obwohl die Schüler\*innen, wie oben beschrieben, gut mit dem Online-Vorbereitungskurs zurecht gekommen sind, rät der Fachlehrer zu einer Durchführung dieses Kurses im Unterricht. Hier bestünde die Möglichkeit, Fragen der Schüler\*innen zu klären. Die Fertigstellung des Kurses als Hausaufgabe aufzugeben, sei dennoch erfolgreich möglich gewesen.

Dem Feedback der Vermittler\*innen über die Aktivität der Schüler\*innen in der Masterclass zufolge waren diesen bereits grundlegende Sachverhalte aus dem Vorbereitungskurs bekannt. Somit fiel es den Vermittler\*innen entsprechend leichter, eine Beteiligung seitens der Schüler\*innen anzustoßen, diese in die Masterclass mit einzubinden und die Veranstaltung interaktiver zu gestalten.

### **4.5 Block 5 - Vergleich von Leistungskurs und Grundkurs bei der Einführung des Arbeitsblattes**

Am „Alexander-von-Humboldt-Gymnasium“ in Bornheim wurde der Vorbereitungskurs am 17. Juni mit den fünf Schülern des Physik-Leistungskurses und am 18. Juni mit 21 Schüler\*innen des Physik-Grundkurses der Qualifikationsphase 1 durchgeführt und evaluiert. Die zugehörige Masterclass, an der die beiden Kurse gemeinsam teilnahmen, fand am 27. Juni statt. Die Intention des fünften „Blocks“ im Rahmen dieser Arbeit ist der Vergleich von Leistungs- und Grundkurs bei der Einführung des Arbeitsblattes zum Online-Vorbereitungskurs im Rahmen der Masterclass. Im Folgenden wird der Ablauf beider Vorbereitungskurse beschrieben und diese hinsichtlich der Bearbeitung des Vorbereitungskurses und des Arbeitsblattes sowie der Aktivität bei der Masterclass verglichen.

Zu Beginn des Vorbereitungskurses am 17. Juni fand eine fünfminütige schriftliche Überprüfung zur Einschätzung des vorhandenen Vorwissens der fünf Leistungskursschüler statt. Im Anschluss daran führten die Schüler innerhalb von ca. 65 Minuten den Online-Vorbereitungskurs einzeln an Computern durch, bearbeiteten währenddessen das zugehörige Arbeitsblatt (s. S. 58) und evaluierten danach den Vorbereitungskurs durch die Beantwortung der Abschlussfragen (s. S. 47). Am Ende der Doppelstunde wurde das Arbeitsblatt, das die Schüler für ihre Unterlagen behalten durften, gemeinsam besprochen.

Am 18. Juni sollte der Vorbereitungskurs in der Form durchgeführt werden, wie er für die Einbettung in den Rahmen der Masterclass vorgesehen ist. Um diesen zeitlich realisieren zu können, wurde auf eine schriftliche Überprüfung des Vorwissens der Schüler\*innen verzichtet. Dieses kann auf der Grundlage der Ergebnisse des Fachlehrer\*innen-Fragebogens eingeschätzt werden (s. S. 99). Ca. 80 Minuten lang führten die Schüler\*innen den Online-Vorbereitungskurs wahlweise einzeln oder in Partnerarbeit an Computern durch und bearbeiteten jeweils parallel dazu das zugehörige Arbeitsblatt. Dieses wurde im Anschluss daran innerhalb von ca. 5 Minuten gemeinsam besprochen. Da am Ende noch etwas Zeit blieb, fand zusätzlich eine kurze Evaluation des Online-Vorbereitungskurses und des Arbeitsblattes durch die Schüler\*innen statt. Probleme mit der Internetverbindung oder dem langsamen Laden von Kursseiten gab es im Vergleich zu den ersten Durchführungen des Vorbereitungskurses nicht, vermutlich aufgrund der Verbindung der Computer mit dem Modem über ein LAN-Kabel.

Im Vergleich zu den Grundkursschüler\*innen waren die Leistungskursschüler mit der Bearbeitung des Online-Vorbereitungskurses und des Arbeitsblattes schneller fertig und arbeiteten insgesamt sehr viel konzentrierter und erfolgreicher. Grund dafür ist sicherlich die geringe Schüleranzahl, das verstärkte Interesse am Fach Physik und das vorhandene Vorwissen im Leistungskurs. Im Gegensatz zum Grundkurs, der bisher nur den Atomaufbau besprochen hatte, waren im Leistungskurs bereits die starke und schwache Wechselwirkung, die Austauschteilchen, Farbladungen, das

#### 4.5 Block 5 - Vergleich von Leistungskurs und Grundkurs bei der Einführung des Arbeitsblattes

Confinement, Feynman-Diagramme, der „Teilchenzoo“ und der Beta-Zerfall thematisiert worden (s. S. 99). Beim Vergleich ist hier zu beachten, dass im Leistungskurs insgesamt 11 Unterrichtsstunden und im Grundkurs nur 1 bis 2 Stunden in der Qualifikationsphase 1, dafür aber 3 Wochen in der Qualifikationsphase 2 vorgesehen sind. Die Leistungskurschüler hatten zudem eher Verständnisfragen, die über den im Vorbereitungskurs behandelten Stoff hinausführten. Sie interessierten sich beispielsweise für die Ursache der Anzahl der Gluonenzustände, fragten sich, wieso die ihnen teilweise bekannten Austauschteilchen erst in der Zusatzinformation erklärt werden und wollten etwas über die aktuellen Forschungen am CERN wissen. Das erste Kurskapitel war für den Leistungskurs eher uninteressant, wohingegen das Feedback des Grundkurses dazu sehr positiv war.

In der Masterclass wurde beobachtet, dass die Leistungskurschüler anfangs sehr viel mehr und tiefer gehende Fragen stellten und allgemein aktiver und wissbegieriger als die Grundkurschüler\*innen waren. Im Laufe des ersten Einführungsvortrages fingen aber auch die Grundkurschüler\*innen an, Fragen zu stellen und Interesse an den Inhalten der Teilchenphysik zu zeigen. Dabei bezogen sich die Fragestellungen aller Schüler\*innen primär auf das Thema „Kosmologie“. Beispielsweise wollten sie wissen, wie die Zukunft des Universums aussieht, wie seine Expansion bestimmt wird und ob das Universum einen Mittelpunkt besitzt. Andererseits interessierte sie, ob es auch ein Teilchen gibt, das Ursache der Gravitation ist.

Das im Vorbereitungskurs ausgefüllte Arbeitsblatt hatten die Schüler\*innen als Hilfestellung in die Masterclass mitgenommen und dessen Wirksamkeit abschließend noch einmal evaluiert. Die Ergebnisse werden in Kapitel 5.3 ausgewertet.



---

# Untersuchung der Effektivität des Vorbereitungskurses

---

Um die Effektivität des Vorbereitungskurses zu analysieren, wird im Folgenden der Lernerfolg anhand des dazugewonnenen Wissens überprüft und die Wirksamkeit des Arbeitsblattes zum Online-Vorbereitungskurs untersucht. Darüber hinaus werden anhand der Aktivität der Schüler\*innen in der Masterclass, die am Vorbereitungskurs teilgenommen haben, die Vorteile einer Teilnahme erörtert. Dazu werden die Ergebnisse des Wissensstandsvergleiches zwischen den Schüler\*innen eines Grundkurses in Abhängigkeit von der Teilnahme am Vorbereitungskurs herangezogen.

## 5.1 Überprüfung des Lernerfolges durch den Vorbereitungskurs

Um den Lernerfolg durch den Vorbereitungskurs zu überprüfen, wurden die Ergebnisse der Ermittlung des Vorwissens jeweils zu Beginn des Vorbereitungskurses und der Masterclass miteinander verglichen (s. S. 84 f.). Die Kenntnis einiger Elementarteilchen wurde durch den Vorbereitungskurs dazugewonnen und damit die Vorstellung des Atoms als kleinster Baustein der stabilen Materie revidiert. Durch das Kennenlernen der Substruktur des Protons und Neutrons wurden diese beiden nicht mehr als Elementarteilchen aufgefasst. Außerdem machten sich die Schüler\*innen erfolgreich mit den vier fundamentalen Wechselwirkungen vertraut. Allerdings gelang es nicht, die Austauschteilchen, insbesondere das Photon als Austauschteilchen der elektromagnetischen Wechselwirkung, nachhaltig zu vermitteln. Hier besteht noch Optimierungspotenzial.

Beim Vergleich von Grundkurs- und Leistungskursschüler\*innen konnte festgestellt werden, dass allen die Bestandteile des Atoms bereits vor dem Vorbereitungskurs bekannt waren. Bei den Grundkursschüler\*innen fiel der Wissenszuwachs jedoch deutlicher aus, da bei diesen ansonsten kein weiteres Vorwissen im Bereich der Teilchenphysik vorlag.

Aus der Gesamtbetrachtung kann geschlussfolgert werden, dass der Vorbereitungskurs eine effektive Methode ist, um Schüler\*innen mit wenig Vorwissen in der Teilchenphysik das nötige Grundwissen für die Masterclass zu vermitteln. Da der Kurs kein Vorwissen voraussetzt, sollte er zu Beginn der entsprechenden Unterrichtsreihe eingesetzt werden. Die Übungen können jedoch von Schüler\*innen jedes Wissensstandes bearbeitet werden. Die zusätzliche Einführung des Arbeitsblattes zum Online-

Vorbereitungskurs kann genutzt werden, um die oben genannten Schwierigkeiten zu beheben und einen gesteigerten Lernerfolg zu erreichen. Die Wirksamkeit des Arbeitsblattes wird in Kapitel 5.3 erläutert.

## **5.2 Erörterung der Vorteile der Teilnahme am Vorbereitungskurs im Hinblick auf die Masterclass**

Im Folgenden werden die Vorteile einer Teilnahme am Vorbereitungskurs bezüglich der Aktivität in der Masterclass erörtert. Dies geschieht auf der Grundlage der Beobachtung der Schüler\*innen in der Masterclass sowie durch den Vergleich des Wissensstandes von Schüler\*innen in Abhängigkeit von der Teilnahme am Vorbereitungskurs.

Die festgestellte, zumeist erfolgreiche Vermittlung der Grundlagen der Teilchenphysik durch den Vorbereitungskurs hatte positive Auswirkungen auf die Mitarbeit der Schüler\*innen in der Masterclass. Beobachtet wurde, dass die Schüler\*innen auf der Grundlage des erworbenen Wissens und der damit verbundenen Kenntnis der Fachbegriffe weniger inhaltliche Verständnisschwierigkeiten aufwiesen und in der Lage waren, Fragen zu neuen Themen zu stellen sowie auch gezielter zu formulieren. Dadurch konnten die Schüler\*innen die Masterclass zu einer für sie interessanten Veranstaltung aufwerten. Ein Schüler fragte beispielsweise nach der Unterscheidungsmöglichkeit von Neutrino und Antineutrino, da sie doch eine gleiche Masse und auch eine gleiche Ladung aufweisen. Um diese Frage stellen zu können, musste ihm einerseits bekannt sein, dass Neutrinos keine elektrische Ladung tragen und andererseits, dass Teilchen verglichen mit ihren Antiteilchen die gleiche Masse, aber eine entgegengesetzte Ladung haben.

Die Vermittler\*innen hatten zudem die Möglichkeit, auf einem bekanntem Vorwissenskontingent aufzubauen, Fragen zu den Kursinhalten zu stellen und die Schüler\*innen somit stärker in die Masterclass einzubinden. Dadurch war eine interaktivere Gestaltung möglich.

Die beiden Einführungsvorträge lassen sich darüber hinaus inhaltlich kürzen und der Rückgriff auf das bereits im Vorbereitungskurs vermittelte Wissen auf den Beginn der Masterclass beschränken. So bleibt mehr Zeit für eine weiterführende Wissensvermittlung und die praktischen Aufgaben, und es kann dem von Schüler\*innen und Vermittler\*innen kritisierten Leistungs- und Zeitdruck entgegengewirkt werden. Im Rahmen der zweiten Masterclass wurde ein erster Versuch der Abstimmung der Inhalte auf die des Vorbereitungskurses vorgenommen, indem an dessen Ende angeknüpft wurde. Außerdem wurde die, als veraltet wahrgenommene, Einleitung über die Entdeckung des Higgs-Teilchens 2012 durch das Thema „Wer sind Physiker?“ ersetzt.

Die in Kapitel 4.1 beschriebenen Verständnisschwierigkeiten der Schüler\*innen ohne Vorbereitungskurs traten im Vergleich zu denen mit eher selten auf. Lediglich die Bedienung des Programms „Minerva“ und das Thema „Feynman-Graphen“ bereitete den meisten Schüler\*innen noch Probleme. Nach der Einführung des Arbeitsblattes führte dieses als zusätzliche Hilfestellung in der letzten Masterclass zu einer gesteigerten Mitarbeit der Schüler\*innen. Insgesamt bewerteten die Schüler\*innen den Online-Vorbereitungskurs hinsichtlich der Vorbereitung auf die Masterclass mit einer Durchschnittsnote von 2,1 (1 = sehr gut bis 4 = schlecht). 81% gaben an, dass die Bearbeitung des



## 5.2 Erörterung der Vorteile der Teilnahme am Vorbereitungskurs im Hinblick auf die Masterclass

Vorbereitungskurses ihnen dabei geholfen hat, die Inhalte der Masterclass besser zu verstehen. Fast alle empfehlen anderen Schüler\*innen, den Vorbereitungskurs vor der Masterclass durchzuführen.

In der Tabelle 5.1 wird der Wissensstand der Schüler\*innen eines Physik-Grundkurses zu Beginn der Masterclass verglichen, wobei die Hälfte am Vorbereitungskurs teilgenommen, dabei aber kein Arbeitsblatt bearbeitet hat. Insgesamt kann festgestellt werden, dass durch die Kursteilnahme ein grundlegendes Vorwissen im Bereich der Teilchenphysik erworben wurde, jedoch sind noch nicht alle Werte zufrieden stellend.

| <b>Korrekte Antworten auf die Wissensabfrage</b>  | <b>Ohne Vorkurs</b> | <b>Mit Vorkurs</b> |
|---|---------------------|--------------------|
| Elementarteilchen als kleinste Bausteine der Materie  | 0% (60% Atom)       | 17% (0% Atom)      |
| Nennung des Elektrons / der Quarks als Elementarteilchen  | 60% / 30%           | 50% / 42%          |
| Substruktur des Protons besteht aus Up- und Down-Quarks   | 0%                  | 75%                |
| Gravitation, elektromagnetische/starke/schwache Wechselwirkung als die vier fundamentalen Wechselwirkungen  | 0%                  | 67%                |
| Drei Farbladungen als Ursache der starken Wechselwirkung  | 0%                  | 50%                |
| Photon als Austauschteilchen der elektromagnetischen Wechselwirkung   | 0%                  | 8%                 |
| Additivität, Quantelung und Erhaltung als die drei Eigenschaften von Ladungen                               | 0%                  | 8%                 |
| Positron als Anti-Teilchen des Elektrons  | 20%<br>(60% Proton) | 33%<br>(0% Proton) |
| Teilchen haben die gleiche Masse und entgegengesetzte Ladung im Vergleich zu ihren jeweiligen Anti-Teilchen | 10%                 | 50%                |

Tabelle 5.1: Vergleich der Schüler\*innen eines Grundkurses mit und ohne Teilnahme am Vorbereitungskurs zu Beginn der Masterclass

Ähnlich wie in Kapitel 5.1 bereits festgestellt, konnte die Vorstellung des Atoms als „kleinster Baustein der Materie“ korrigiert und der Begriff des „Elementarteilchens“ vertieft werden. Letzteres wird durch das erneuerte Verständnis des Protons als Teilchen mit Substruktur bestätigt. Obwohl nur 17% der Kursteilnehmer\*innen explizit den Begriff „Elementarteilchen“ nannten, gaben 67% „Quarks“ als „kleinste Bausteine der Materie“ an (s. S. 96). Verwunderlich ist, dass die Nennung des Elektrons als Elementarteilchen verstärkter bei den Schüler\*innen ohne Vorkurs auftrat. Zu beachten ist, dass diese jedoch auch zu 20% fälschlicherweise Proton und Neutron angaben. Hingegen war die Vielfalt der genannten Elementarteilchen bei den Schüler\*innen mit Vorkurs größer (s. S. 96). Bei der Vermittlung des Photons als Austauschteilchen der elektromagnetischen Wechselwirkung und den Eigenschaften von Ladungen besteht noch Optimierungsbedarf. Diese Werte kommen dadurch zustande, dass die Austauschteilchen in Form einer Zusatzinformation vorgestellt werden, die von eher wenigen Schüler\*innen gelesen wurde. Außerdem gaben 39% der Schüler\*innen

Verständnisschwierigkeiten hinsichtlich des Textes über die Ladungseigenschaften an (s. S. 73). Auf mögliche Verbesserungsvorschläge wird diesbezüglich in Kapitel 8 eingegangen.

### 5.3 Überprüfung der Wirksamkeit des Arbeitsblattes zum Vorbereitungskurs

Zur langfristigen Sicherung des im Online-Vorbereitungskurs erworbenen Wissens wurde ein Arbeitsblatt erstellt (s. S. 58), welches die Schüler\*innen parallel zu den Kurskapiteln bearbeiten und später jederzeit als Hilfestellung nutzen können. Wie in Kapitel 3 bereits beschrieben, regte schon Carolin Diesel eine Überprüfung an, „ob [...] sich eine ergänzende Ergebnissicherung in schriftlicher Form, beispielsweise auf einem Arbeitsblatt, als vorteilhaft erweisen würde“ [4].

Im Folgenden wird der Wissensstand der Kursteilnehmer\*innen zu Beginn der Masterclass in Abhängigkeit von der Bearbeitung des Arbeitsblattes zum Online-Vorbereitungskurs verglichen (s. S. 91 ff.). Dabei werden nur die Grundkursschüler\*innen betrachtet. Bei den Leistungskursschülern war zwar das Arbeitsblatt Bestandteil des Vorbereitungskurses, dennoch werden sie in den nachfolgenden Vergleich nicht miteinbezogen, da sie im Gegensatz zu den Grundkursschüler\*innen zu Beginn des Vorbereitungskurses bereits über Vorwissen im Bereich der Teilchenphysik verfügten. Anhand der Tabelle 5.2 ist ersichtlich, dass schon der Online-Vorbereitungskurs alleine, aber insbesondere in Kombination mit dem Arbeitsblatt zu einem Lernerfolg führt.

Besonders auffällig ist der gesteigerte Lernerfolg hinsichtlich der Nennung des Photons als Austauscheteilchen der elektromagnetischen Wechselwirkung. Auf dem Arbeitsblatt zum Vorbereitungskurs wurden die Schüler\*innen dazu aufgefordert die jeweiligen Austauscheteilchen der verschiedenen Wechselwirkungen aufzuschreiben. Für die Ermittlung dieser musste aber in die Zusatzinformationen geschaut werden. Dass nur ein geringer Anteil der Schüler\*innen ohne Arbeitsblatt die betrachteten Fragestellungen richtig beantwortet hatte, kann daran liegen, dass nur ca. 40% die Zusatzinformation gelesen haben.

Der geringste Einfluss des Arbeitsblattes ist im Zusammenhang mit den Farbladungen und der starken Wechselwirkung zu erkennen. Da hier zudem der Anteil der korrekten Antworten noch nicht zufriedenstellend ist, musste diesbezüglich analysiert werden, welchen Anteil daran der Online-Vorbereitungskurs und welchen das Arbeitsblatt hatte. Auf dem Arbeitsblatt werden die Anzahl der Farbladungen und deren Ursache von den Schüler\*innen notiert, so dass spätestens bei der Besprechung des Arbeitsblattes dies alle korrekt aufgeschrieben haben müssten. Daher ist dessen Potenzial ausgeschöpft. Bei der Besprechung kann aber zumindest dieser Zusammenhang verstärkt betont werden. Das Optimierungspotenzial des Online-Vorbereitungskurses ist hingegen als weitaus größer einzustufen. So äußerten 14% der Schüler\*innen Verständnisschwierigkeiten bei dem Kurskapitel über die starke Wechselwirkung und die meisten gaben an, dass insbesondere die dortige Behandlung des Farbladungsvektors sie bei der Fokussierung auf die grundlegenden Inhalte störte. Die Vorschläge zur Realisierung dieses Optimierungspotenzials sind Teil des 8. Kapitels.

Ein unbefriedigendes Wissensniveau ist auch für die Eigenschaften von Ladungen zu beobachten. Da hier jedoch die Steigerungsraten durch das Arbeitsblatt im Bereich der übrigen Themen liegen, ist die Ursache dafür eher beim Online-Vorbereitungskurs zu suchen. Diesbezüglich wird wieder auf Kapitel 8 verwiesen.

### 5.3 Überprüfung der Wirksamkeit des Arbeitsblattes zum Vorbereitungskurs

Die letzten beiden Fragestellungen der Wissensabfrage beziehen sich nicht auf Inhalte des Online-Vorbereitungskurses. Dementsprechend wurde hierbei das individuelle Vorwissen der Schüler\*innen ermittelt. Das Arbeitsblatt beinhaltet zu diesen Themen eine Eigenrecherche. Dieses Element hat den Schüler\*innen gefallen und zu einem erhöhten Lernerfolg geführt. Dieser fiel bezogen auf das CERN deutlich niedriger aus, was auf den Bekanntheitsgrad des CERN zurückgeführt werden kann.

Durch die Eigenrecherche im Vorbereitungskurs kann das Interesse der Schüler\*innen auch im Hinblick auf die Masterclass geweckt werden. Da diese beiden Aufgaben im Rahmen des Vorbereitungskurses aber nicht obligatorisch zu bearbeiten sind, besteht die Möglichkeit, sie als Zusatzaufgaben für Schüler\*innen zu nutzen, welche bereits früher mit dem Online-Vorbereitungskurs fertig sind.

| <b>Korrekte Antworten auf die Wissensabfrage</b>  | <b>Ohne Arbeitsblatt</b> | <b>Mit Arbeitsblatt</b> |
|---|--------------------------|-------------------------|
| Elementarteilchen als kleinste Bausteine der Materie  | 28%                      | 56%                     |
| Nennung des Elektrons / der Quarks als Elementarteilchen  | 39% / 67%                | 76% / 76%               |
| Substruktur des Protons besteht aus Up- und Down-Quarks   | 58%                      | 88%                     |
| Gravitation, elektromagnetische/starke/schwache Wechselwirkung als die vier fundamentalen Wechselwirkungen  | 61%                      | 76%                     |
| Drei Farbladungen als Ursache der starken Wechselwirkung  | 22%                      | 27%                     |
| Photon als Austauscheteilchen der elektromagnetischen Wechselwirkung  | 3%                       | 50%                     |
| Additivität, Quantelung und Erhaltung als die drei Eigenschaften von Ladungen                               | 3%                       | 29%                     |
| Positron als Anti-Teilchen des Elektrons  | 25%                      | 94%                     |
| Teilchen haben die gleiche Masse und entgegengesetzte Ladung im Vergleich zu ihren jeweiligen Anti-Teilchen | 31%                      | 88%                     |
| Erklärung des Zusammenhangs von Teilchenbeschleunigern und Detektoren                                       | 17%                      | 35%                     |
| Erklärung, was das CERN ist   | 81%                      | 88%                     |

Tabelle 5.2: Vergleich der Grundkursschüler\*innen mit und ohne Arbeitsblatt als Bestandteil des Vorbereitungskurses zu Beginn der Masterclass

Von den Schüler\*innen wurde die Möglichkeit, auf dem Arbeitsblatt Informationen in Form einer Zusammenfassung der wichtigsten Kursinhalte langfristig sichern und in die Masterclass mitnehmen zu können als besonders positiv aufgefasst. Zudem gaben einige an, dass sie sich bei der Bearbeitung des Arbeitsblattes intensiver mit den Kursinhalten auseinandergesetzt und diese verstärkt reflektiert haben. Daher ist das Arbeitsblatt eine gute Ergänzung zum Online-Vorbereitungskurs, insbesondere aber auch eine hilfreiche Unterstützung beim Verständnis der Inhalte in der Masterclass.



---

# Diskussion der Durchführungsvariante und des Zeitkontingents

---

In diesem Kapitel erfolgt eine Abwägung des für den Vorbereitungskurs benötigten Zeitrahmens und eine Diskussion über die möglichen Durchführungsvarianten.

Der Vorbereitungskurs kann von den Schüler\*innen im Rahmen des Unterrichts, vollständig Zuhause oder teilweise in Form einer Hausaufgabe durchgeführt werden. Aus den Notizen auf den Beobachtungsbögen zur Durchführung der Vorbereitungskurse (s. S.101) geht hervor, dass der Kurs durchschnittlich einen Zeitraum von 70 Minuten in Anspruch nimmt. Bearbeiten die Schüler\*innen parallel dazu das Arbeitsblatt, sollten zusätzlich ca. 10 Minuten dafür und weitere 5 bis 10 Minuten für dessen abschließende Besprechung eingeplant werden. Des Weiteren ist zu beachten, dass die Schüler\*innen für jede Einzelaufgabe unterschiedlich viel Zeit benötigten. Das vierte Kurskapitel nahm als längstes ca. 27 Minuten in Anspruch.

Die Bearbeitungszeit des Kurses variiert in Abhängigkeit von der Arbeitsatmosphäre, der Motivation und der Konzentration der Schüler\*innen. Insgesamt sollte eine 90-minütige Doppelstunde ausreichen.

Für die Feststellung der vorteilhaftesten Durchführungsvariante wurden sowohl die Meinungen der Schüler\*innen als auch der Fachlehrer\*innen betrachtet. Eine Bearbeitung des Vorbereitungskurses im Rahmen einer Hausaufgabe favorisierten knapp über die Hälfte der Schüler\*innen. Dafür sprach die Verständlichkeit und Bedienbarkeit des Kurses, der dafür benötigte angemessene Zeitumfang und die Aussicht, sich Zuhause besser konzentrieren zu können. Gegenargumente waren der zu große Zeitaufwand, fehlendes Interesse und Motivation im Grundkurs sowie die Tatsache, dass die Schüler\*innen bei technischen und inhaltlichen Problemen keine sofortige Hilfestellung erhalten würden. Die Meinung unter den Schüler\*innen ist also divergent.

Die Ergebnisse der Fragebögen für Fachlehrer\*innen zum Thema „Teilchenphysik in der Schule“ ergaben ebenso ein geteiltes Meinungsbild. Drei der sechs befragten Fachlehrer favorisierten eine Durchführung im eigenen Unterricht, der Rest sprach sich für eine teils im Unterricht teils im Rahmen einer Hausaufgabe stattfindende Bearbeitung des Kurses aus. Eine Durchführung im Unterricht

## Kapitel 6 Diskussion der Durchführungsvariante und des Zeitkontingents

ermöglicht allerdings eine direkte Klärung von Schülerfragen. Im Probedurchlauf am Gymnasium „Zum Altenforst“ (s. Kapitel 4.4) wurde der Online-Vorbereitungskurs 60 Minuten im Unterricht und danach maximal 20 Minuten Zuhause von den Schüler\*innen der 9. Jahrgangsstufe bearbeitet. Das Arbeitsblatt war hier aber noch nicht eingeführt worden. Nach Aussagen aller befragten Fachlehrer sei der Kurs „aufgrund des hohen Informationsgehalts der Masterclass sinnvoll“ und das „gut zugeschnittene Material zur Vorbereitung [...] eine Erleichterung“.

Der Online-Vorbereitungskurs kann zusammen mit dem Arbeitsblatt auch unabhängig von der Masterclass von den Fachlehrer\*innen als Mittel genutzt werden, um den Schüler\*innen die Grundlagen der Teilchenphysik näher zu bringen. Dabei ist es, wie in Abbildung 6.1 veranschaulicht, am sinnvollsten, beides in einer Doppelstunde von den Schüler\*innen bearbeiten und im Rahmen einer Hausaufgabe fertigstellen zu lassen. Zu Beginn der nächsten Unterrichtsstunde kann dann das Arbeitsblatt besprochen, so die Leistung der Schüler\*innen überprüft und gegebenenfalls deren Antworten korrigiert werden. Wichtig ist, dass der/die zuständige/r Fachlehrer/in auf Verständnisfragen seitens der Schüler\*innen eingeht oder diese im Zusammenhang mit der Masterclass für deren Klärung an die jeweiligen Vermittler\*innen weitergibt. So haben die Vermittler\*innen die Möglichkeit, die Inhalte der Masterclass an die Schülergruppe anzupassen.

Vermittlung der Grundlagen der Teilchenphysik

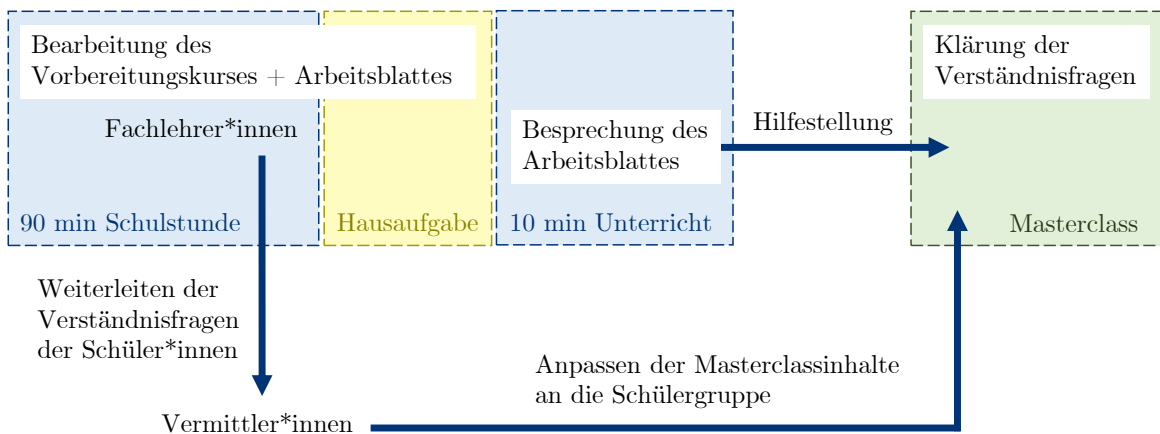


Abbildung 6.1: Empfohlene Durchführungsvariante

---

# Evaluation des Online-Vorbereitungskurses

---

Im Folgenden werden die Gesamtbewertung des Online-Vorbereitungskurses durch die Schüler\*innen und die Einschätzungen zu dessen Rahmenbedingungen durch die Vermittler\*innen kurz vorgestellt. Die ausführlichen Ergebnisse beider detaillierten Evaluationen werden im Anhang (s. S. 62 ff. und 66 ff.) aufgeführt und die daraus resultierenden technischen, inhaltlichen und didaktischen Verbesserungsvorschläge für den Online-Vorbereitungskurs werden in Kapitel 8 gesammelt vorgestellt.

## 7.1 Befragung der Vermittler\*innen

Anhand von vorgegebenen Fragestellungen wurden die Rahmenbedingungen für den Vorbereitungskurs aus Sicht der Vermittler\*innen im Raum Bonn hinsichtlich notwendigem Vorwissen, den Kernaspekten der Masterclass und potenziellen Verständnisproblemen identifiziert (s. S. 62 f.).

Die gemachten Angaben zum Vorwissen lassen sich gemäß Kernlehrplan des Ministeriums für Schule und Bildung vom Schulstoff der Sekundarstufe I [5] und von den Inhalten des Online-Vorbereitungskurses abdecken. Bezüglich der Kernaspekte nannten die Vermittler\*innen das Aufzeigen der Arbeitsweise von Teilchenphysiker\*innen, die Erklärung des Aufbaus und der Funktionsweise eines „modernen Großexperiments“, die Vermittlung der Tatsache, dass Wissenschaft spannend sein kann, und das Verständnis des Standardmodells der Teilchenphysik. Die Kernaspekte können in der Masterclass nur dann umfassend behandelt werden, wenn möglichst wenig Zeit für die Vermittlung von dafür benötigtem Grundlagenwissen in Anspruch genommen wird. Der Vorbereitungskurs ist demnach notwendig, wenn die entsprechenden Inhalte nicht ausreichend im Unterricht behandelt worden sind, und sinnvoll, da eine Entlastung der Masterclass auf inhaltlicher Ebene erreicht wird. Außerdem sollte festgestellt werden, bei welchen Inhalten die Schüler\*innen in der Masterclass Schwierigkeiten haben und welche Gründe dazu führen. Bei der Teilchenvielfalt im Standardmodell der Teilchenphysik, den Wechselwirkungsarten, dem Begriff des Austauschteilchens und beim Umgang mit dem Programm „Minerva“ gab es Verständnisschwierigkeiten. Die Vermittler\*innen sehen die Probleme darin begründet, dass in den Einführungsvorträgen zu viele neue Informationen auf einmal vermittelt werden und dies die Schüler\*innen überfordert. Damit die Aufmerksamkeit der Schüler\*innen nicht abnimmt, müssen die Einführungsvorträge inhaltlich gekürzt, insgesamt interaktiver

gestaltet und für die Schüler\*innen interessanter und verständlicher aufbereitet werden. Zu beachten ist aber, dass die oben genannten Schwierigkeiten bei Schüler\*innen auftraten, die vor der Masterclass nicht den Vorbereitungskurs absolviert hatten. In Kapitel 5.2 wurde untersucht, inwieweit die Teilnahme am Vorbereitungskurs zu einer Reduzierung der genannten Verständnisprobleme führt.

### 7.2 Gesamtbewertung durch die Schüler\*innen

Die Ergebnisse der in der Evaluation seitens der Schüler\*innen enthaltenen Abschlussfragen sind in Abbildung 7.1 dargestellt. Insgesamt ergab sich eine, von der Masterclass unabhängige, Bewertung des Online-Vorbereitungskurses von 1,8 (1 = sehr gut bis 4 = schlecht).

Das Layout wurde von fast allen Schüler\*innen als zufriedenstellend bewertet, dennoch wünschen sich 40% eine motivierendere Gestaltung.

Die von den Schüler\*innen genannten technischen Probleme bezogen sich hauptsächlich auf das wiederholte Neuladen der Seite und die damit verbundene Aufforderung, erneut das Passwort einzugeben. Außerdem haben bei einigen wenigen Schüler\*innen die Animationen und Übungen nicht funktioniert. Dies war primär bei den Schüler\*innen des ersten Vorbereitungskurses der Fall, die zur Durchführung des Kurses teilweise Smartphones verwendeten, auf denen die Bearbeitung der Übungen und Animationen unhandlich ist und anscheinend manchmal nicht funktionierte.

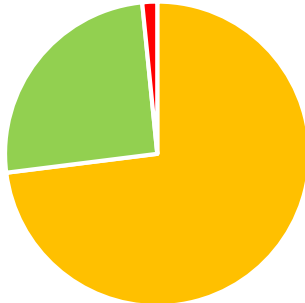
Aus den ersten beiden Grafiken in Abbildung 7.1 ergeben sich nahezu 60% der Verbesserungsvorschläge, die sich in einer einmaligen Passworтеingabe, einer motivierenderen Gestaltung und dem Wunsch nach einer smartphonekompatiblen Version äußern. Die übrigen 40% bezogen sich auf die Darstellung von Bildern und die Übersichtlichkeit und Länge von Texten.

Am häufigsten bewerteten die Schüler\*innen das Abschlussquiz und die Idee hinter dem Vorbereitungskurs als positiv. Außerdem wurden die Aufgaben mit Lösungen, die Animationen und die Erklärung der Inhalte sowie die verständlichen Texte und der Bezug zur Realität gelobt.



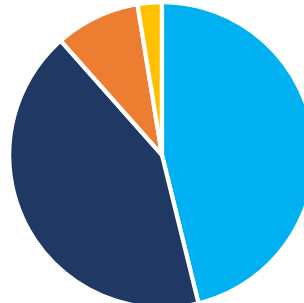
## 7.2 Gesamtbewertung durch die Schüler\*innen

Bewertung des Layouts



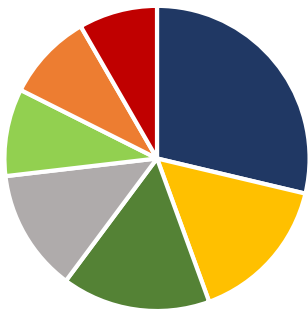
- Layout ok
- Layout ansprechend
- Layout schlecht

Aufgetretene Probleme



- wiederholtes Neuladen der Seite
- mehrmalige Passworteingabe
- Animationen haben nicht funktioniert
- Übungen haben nicht funktioniert

Verbesserungsvorschläge



- einmalige Passworteingabe
- Layout motivierender gestalten
- beim Anklicken Bilder groß anzeigen
- Kurs-Version für das Smartphone
- Bilder größer/schärfer
- mehr Absätze in Texten
- lange Texte kürzen

Positive Bewertung



- Quiz
- die Idee dahinter
- Aufgaben mit Lösungen
- Animationen
- gut erklärt
- verständliche Texte
- Bezug zur Realität
- viele Bilder
- viele Infos in kurzer Zeit

Abbildung 7.1: Ergebnisse der Abschlussfragen der Evaluation



---

# Optimierungspotenzial und Verbesserungsvorschläge

---

Im Folgenden werden die bei der Auswertung der Evaluationsbögen der Vermittler\*innen (s. S. 63 ff.) und Schüler\*innen (s. S. 66 ff.) erarbeiteten Verbesserungsvorschläge zum Online-Vorbereitungskurs gesammelt und nach den Kurskapiteln geordnet dargelegt.

Vorteilhaft wäre die Einrichtung einer einmaligen Passwortheingabe zu Beginn des Kurses, die nur beim Verlassen der Seite der Plattform „OPAL“ wiederholt werden muss. Nach der Anmeldung sollte zudem direkt zur Seite „Willkommen“ und nicht erst zu einer Übersichtsseite über alle Kurskapitel weitergeleitet werden. Außerdem kann die Bedienung durch die Beseitigung der Scrolloptionen (z.B. bei den Animationen), eine dauerhafte Einblendung eines Inhaltsverzeichnisses und die Implementierung der Funktion, die Bilder durch Anklicken vergrößert ansehen zu können, vereinfacht werden. Das Layout sollte durch das Einfügen von mehr Absätzen, eine einheitliche Formatierung der Zusatzinformationen analog zu den Kurskapiteln, das Einrahmen der Bilder durch den Textfluss sowie eine höhere Bildauflösung der eingefügten Variablen, Formeln und Grafiken aufgewertet und kompakter gemacht werden. Eine motivierendere und interaktivere Gestaltung ist durch die Vergrößerung der Bilder, das inhaltlich sinnvolle Kürzen zu langer Texte und den vermehrten Einsatz von Grafiken und Animationen möglich. Außerdem sollte gemäß dem Wunsch der Schüler\*innen eine Kursversion für Smartphones eingerichtet und handhabbar gemacht werden.

Im dritten Kurskapitel müssen die Beschriftungen „Proton“ und „Neutron“ der jeweiligen Abbildung zugeordnet, der auf das Elektron zeigende Pfeil auf die rechte Seite der Grafik platziert und alle Pfeile in der Grafik ortsfest eingebunden werden. Zudem sollen die Elektronen in der Abbildung des Atoms in der Atomhülle ergänzt, die Zugehörigkeit von Up- und Down-Quark zur Familie der Quarks erläutert und auf deren Erklärung im Kurskapitel 4.3 hingewiesen werden. Der Abschnitt „Schauen wir uns Proton und Neutron näher an [...]“ könnte beispielsweise um den Zusatz „Up- und Down-Quark gehören zu der Familie der Quarks und werden im Kurskapitel 4.3 näher beschrieben.“ ergänzt werden. Darüber hinaus wäre es vorteilhaft, die elektrische Ladung von Proton und Neutron im Text zu nennen und den Satz über den Atomkern und die Atomhülle in „Jedes Atom besteht aus einem Atomkern und je nach Zustand des Atoms aus unterschiedlich vielen Elektronen, die sich in der

## Kapitel 8 Optimierungspotenzial und Verbesserungsvorschläge

Hülle des Atoms befinden.“ umzuformulieren. Für ein besseres Verständnis muss in den Übungen der Button „Antwort abgeben“ in „Antwort kontrollieren lassen“ umbenannt und auf die Kontrollmöglichkeit zu Beginn der Aufgabe 1 der Übung 3.2 aufmerksam gemacht werden. Außerdem sollte die Möglichkeit, eine Übungsaufgabe bei einer Angabe einer als falsch angezeigten Antwort wiederholen zu können, bevor die korrekte Lösung vollständig angegeben wird, durch die Einrichtung des Buttons „Frage noch einmal beantworten“ bei allen Übungsaufgaben möglich gemacht werden (analog zu Übung 3.2 Aufgabe 1).

Zu Beginn des vierten Kurskapitels sollten die zweite und dritte Tabellenspalte getauscht und die Schieberegler der Animationen im gesamten Kurskapitel fixiert werden. Der Fehler, dass sich bei der „Animation Gravitationskraft“ der Abstand  $r$  auf dem Schieberegler ändert, wenn die Masse verstellt wird, muss behoben, die Farbgebung der Animation, die Bedeutung der Pfeile und deren Längenänderungen erklärt und die Kräftepfeile größer und dicker dargestellt werden. Außerdem darf der letzte Satz unter der „Animation Gravitationskraft“ nicht übersehen und muss deshalb entweder über oder neben die Animation platziert werden. Da es vielen Schüler\*innen schwer fällt, den Begriff und das Konzept des Austauschteilchens zu verstehen, sollten die Austauschteilchen nicht nur in den Zusatzinformationen vermittelt, sondern zumindest im Text erwähnt werden. Daher muss das Kurskapitel 4.2 um den Zusatz „Jede Wechselwirkung hat eigene Botenteilchen, das der elektromagnetischen Wechselwirkung ist das Photon. Was genau Botenteilchen sind und wie man sich die Wirkung der elektromagnetischen Wechselwirkung vorstellen kann, erfährst du in der Zusatzinformation.“ ergänzt werden. Bei der „Animation Coulombkraft“ könnte eine Beschriftung des positiven und negativen Bereichs der Schiebereglerachse der Ladung hilfreich sein. Die von den Schüler\*innen gewünschte Kürzung des Textes des Kurskapitels 4.2 kann vorerst realisiert werden, indem das Bild und die Animation in den Textfluss einbettet werden. In der zugehörigen Zusatzinformation muss zusätzlich erwähnt werden, dass die Boote durch den Wurf eines Bumerang einen Rückstoß und somit eine Kraft aufeinander zu und durch den Wurf des Balls eine Kraft voneinander weg erfahren. Eine Platzierung der beiden Grafiken nebeneinander würde zu einer besseren Übersichtlichkeit führen. Im Kurskapitel 4.3 müssen einige inhaltliche Änderungen vorgenommen werden, um den Text zu kürzen. Das Gluon sollte als Austauschteilchen der starken Wechselwirkung erwähnt und die Erklärung des Farbladungsvektors in die Zusatzinformation verschoben werden. In der Zusatzinformation würden dann die Fragen „Wie kann die starke Ladung von Teilchen genau beschrieben werden?“ und „Wie kann man sich die Wirkung der starken Wechselwirkung genauer vorstellen?“ behandelt werden (s. Textvorschlag S. 102 f. u. [6]). In der Grafik „Veranschaulichung eines Protons“ sollten darüber hinaus die Abkürzungen „d“ und „u“ sowie die gewählte Farbgebung erläutert werden. Im Kurskapitel 4.4 muss bei der Erwähnung des Anti-Neutrinos auf eine Erklärung der Anti-Materie-Teilchen im Kurskapitel 6.2 hingewiesen und die sehr kurze Zusatzinformation über die Austauschteilchen W- und Z-Bosonen in das Kurskapitel eingegliedert werden. In der Übung 4.5 sollte die Formulierung „rot, blau, gelb“ weggelassen oder durch die richtige „rot, blau und grün“ ersetzt werden. Zur besseren Übersicht sollte außerdem die Aufgabenstellung vom Aufgabentext abgerückt, der Arbeitsauftrag „Markiere die richtigen Felder“ unterstrichen und bei einer Markierung das Feld grün einfärbt werden.

Im Kurskapitel 5 sollte die Addition elektrischer Ladungszahlen anhand einer Grafik des Neutrons analog zu der Grafik „Veranschaulichung eines Protons“ (s. Kurskapitel 4.3) erklärt und der Text durch den korrekten Gebrauch von Absätzen und das Einrücken von Formeln kompakter gestaltet

und so aufgewertet werden.

Im Kurskapitel 6 müssen die Grafiken „Übersicht: Ladungen der Elementarteilchen der Materie“ und „Übersicht: Ladungen der Anti-Elementarteilchen“ größer und vor allem schärfer abgebildet und um eine Auflistung der in den Grafiken verwendeten Abkürzungen und Variablen in Form einer übersichtlichen Tabelle neben dem jeweiligen Bild ergänzt werden. Die Aufgabe 2 der Übung 6.3 könnte zudem durch den Zusatz „Du kannst pro Teilchen mehrere Haken setzen.“ präziser formuliert werden.

Am Ende des Kurskapitels 6.2 kann zusätzlich ein Ausblick zum Standardmodell der Teilchenphysik gegeben werden. Dazu sollte die im Vorhinein hierfür leicht modifizierte Abbildung 8.1 [7] sowie der folgende Text ergänzt werden: „Im Laufe des Kurses hast du die Teilchen Elektron, Up-Quark, Down-Quark, Neutrino und deren Anti-Teilchen Positron, Anti-Up-Quark, Anti-Down-Quark, Anti-Neutrino sowie das Myon und die Austauscheteilchen Photon, Gluon, W- und Z- Bosonen kennengelernt. In der Teilchenphysik wird diese Vielzahl an Teilchen im sogenannten Standardmodell der Teilchenphysik zusammengefasst.“

Neben den oben genannten Veränderungen, die am Online-Vorbereitungskurs vorgenommen werden sollten oder sogar vorgenommen werden müssen, bleibt die Aufgabe, den Online-Vorbereitungskurs zusammen mit dem Arbeitsblatt in den Rahmen der Masterclass einzubetten. Dazu müssen die Einführungsvorträge der Vermittler\*innen gekürzt und an die Inhalte des Vorbereitungskurses angepasst werden, um sich in der Masterclass auf die von den Vermittler\*innen formulierten Kernaspekte, der Vermittlung weiterführenden Wissens und den praktischen Aufgaben, fokussieren zu können.

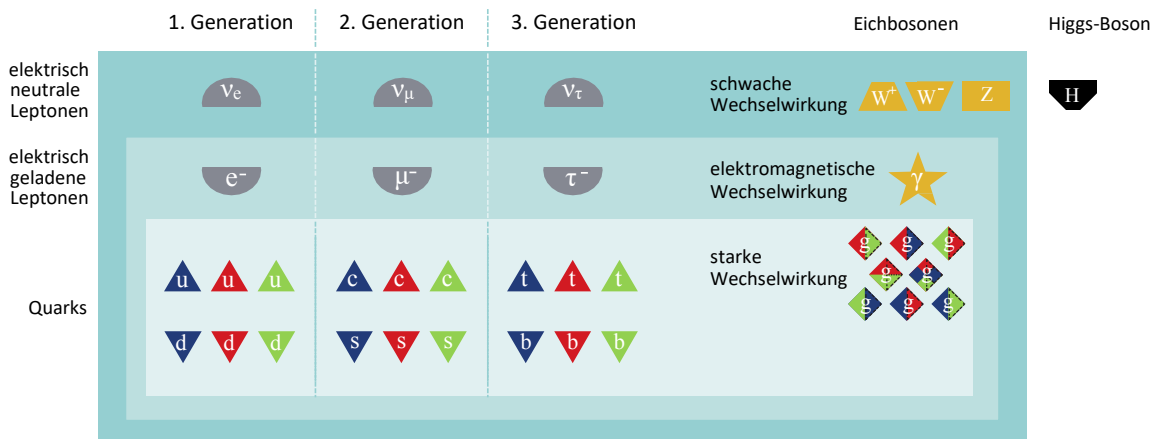


Abbildung 8.1: Das Standardmodell der Teilchenphysik (modifiziert [7])



---

# Abschließendes Fazit der Bachelorarbeit

---

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde eine Evaluation des Online-Vorbereitungskurses für die Teilchenphysik-Masterclass des „Netzwerk Teilchenwelt“ vorgenommen. Es wurde festgestellt, dass eine Durchführung des Vorbereitungskurses mit Schulklassen möglich und im Hinblick auf die Masterclass als Vorbereitung notwendig ist, wenn die Schüler\*innen kein oder nur wenig Vorwissen im Bereich der Teilchenphysik mitbringen.

Auf der Grundlage der Evaluationsergebnisse der Schüler\*innen, Vermittler\*innen und Fachlehrer\*innen konnten Verbesserungsvorschläge zum Online-Vorbereitungskurs erarbeitet und geschlussfolgert werden, dass der Kurs insgesamt eine effektive und erfolgreiche Methode ist, um Schüler\*innen das nötige Grundwissen für die Masterclass zu vermitteln. Die Kursteilnahme hatte zudem positive Auswirkungen auf die Aktivität und Mitarbeit der Schüler\*innen in der Masterclass und ermöglichte eine interaktivere Gestaltung.

Zur langfristigen Sicherung des im Vorbereitungskurs erworbenen Wissens wurde ein Arbeitsblatt erstellt, dessen Wirksamkeit hinsichtlich einer Steigerung des Lernerfolges der Schüler\*innen bestätigt werden konnte. Im Durchschnitt wurde für den Vorbereitungskurs ein notwendiges Zeitkontingent von 70 Minuten ermittelt. Am sinnvollsten ist es, den Vorbereitungskurs inklusive des Arbeitsblattes in einer Doppelstunde von den Schüler\*innen bearbeiten und im Rahmen einer Hausaufgabe fertigstellen zu lassen.

Das Arbeitsblatt und der Online-Vorbereitungskurs können darüber hinaus unabhängig von der Masterclass von den Fachlehrer\*innen als Mittel genutzt werden, um den Schüler\*innen die Grundlagen der Teilchenphysik näher zu bringen und deren Interesse und Begeisterung für diesen Bereich der Physik zu wecken.





---

## Literaturverzeichnis

---

- [1] Institut für Kern- und Teilchenphysik und TU Dresden (Hrsg.). Masterclasses – Teilchenforscher für einen Tag, 2019. In: <https://www.teilchenwelt.de/angebote/masterclasses/>; [12.08.2019].
- [2] Institut für Kern- und Teilchenphysik und TU Dresden (Hrsg.). Besser vorbereitet auf die Teilchenphysik-Masterclass, 2019. In: <https://www.teilchenwelt.de/aktuelles/aktuelles-aus-dem-netzwerk/2019/damit-die-jugendlichen-besser-auf-die-masterclass-vorbereitet-sind-hat-die-angehende-lehrerin-carolin-diesel-einen-vorbereitungskurs-entwickelt/>; [18.08.2019].
- [3] Institut für Kern- und Teilchenphysik und TU Dresden (Hrsg.). Online-Vorbereitungskurs der Teilchenphysik-Masterclass für Gäste, 2019. In: <https://bildungsportal.sachsen.de/opal/auth/RepositoryEntry/17635573762?1>; [18.08.2019].
- [4] C. Diesel. Entwicklung und Umsetzung eines Online-Vorbereitungskurses für die Teilchenphysik-Masterclass. Masterarbeit, TU Dresden, (S. 72 f.), 2018. In: <https://www.teilchenwelt.de/material/materialien-fuer-lehrkraefte/weitere-unterrichtsmaterialien/>; [10.08.2019].
- [5] Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.). Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium Nordrhein-Westfalen Physik, 2019. In: <https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplannavigator-s-i/gymnasium-aufsteigend-ab-2019-20/index.html>; [12.08.2019].
- [6] Joachim Herz Stiftung (Hrsg.). LEIFI Physik, Teilchenphysik, Grundwissen Starke Wechselwirkung, 2019. In: <https://www.leifiphysik.de/kern-teilchenphysik/teilchenphysik/grundwissen/starke-wechselwirkung-0>; [21.08.2019].
- [7] Joachim Herz Stiftung (Hrsg.). Teilchenphysik. Unterrichtsmaterial ab Klasse 10. Ladungen, Wechselwirkungen und Teilchen. addprint AG, Bannewitz, 2018. 3. Auflage.



---

### Material

---

- Fragebogen für Schüler\*innen zum Thema „Teilchenphysik“ für den Vorbereitungskurs (S. 40)
- Fragebogen für Fachlehrer\*innen zum Thema „Teilchenphysik in der Schule“ (S. 41)
- Evaluationsbögen für Schüler\*innen zum Online-Vorbereitungskurs der Masterclass des „Netzwerk Teilchenwelt“ (S. 42 ff.)
- Beobachtungsbögen zum Vorbereitungskurs und zur Masterclass (S. 50)
- Fragebogen für Schüler\*innen zum Thema „Teilchenphysik“ für die Masterclass (S. 52)
- Feedbackbogen für Schüler\*innen zum Online-Vorbereitungskurs und zur Masterclass des „Netzwerk Teilchenwelt“ (S. 53)
- Fragebogen für Vermittler\*innen der Masterclass des „Netzwerk Teilchenwelt“ (S. 55 f.)
- Arbeitsblatt zum Online-Vorbereitungskurs (S. 58)
- Musterlösung des Arbeitsblattes zum Online-Vorbereitungskurs (S. 59)

## A.1 Material für den Vorbereitungskurs

Der Fragebogen für die schriftliche Überprüfung des Vorwissens (s. S. 40) umfasst sowohl einfachere Fragen (Frage 1 und 2), die die Schüler\*innen mit ihrem Schulwissen aus den Bereichen Chemie und Physik beantworten können sollten, als auch schwierigere Fragen, mit denen die Existenz von spezialisiertem Wissen (Frage 4 und 7) überprüft wird. Dieses Spektrum ermöglicht es, jeden Grad des Vorwissens zu erfassen. Nach dem ersten Einsatz des Fragebogens beim Vorbereitungskurs am Berufskolleg in Hennef wurde dieser überarbeitet. Die erste Frage „Was befindet sich in der Atomhülle?“ wurde mit der zweiten Frage „Woraus besteht der Atomkern?“ getauscht, da die meisten Schüler\*innen in der ersten Frage zusätzlich zur korrekten Antwort „Elektronen“ bereits die Antwort „Atomkern mit Protonen und Neutronen“ angegeben hatten, die eigentlich erst bei der zweiten Frage erwünscht war. Dabei fassten sie die Atomhülle nicht nur als Hülle, sondern als Volumenssphäre des Atoms auf. Außerdem wurde auf Nachfrage festgestellt, dass bei vielen Schüler\*innen der Begriff „Bausteine der Materie“ mit dem des „Atoms“ äquivalent verknüpft ist. Um folglich davon unabhängig zu überprüfen, ob das Atom für die Schüler\*innen der kleinste Bestandteil ist, aus dem Materie besteht, ohne dabei explizit nach dem Atom zu fragen, wurde die Frage „Was sind die kleinsten Bausteine der Materie, die du kennst?“ durch die Formulierung „Was sind die kleinsten Objekte aus denen die Materie besteht?“ ersetzt. Außerdem wurden die sechste und siebte Fragen aufgrund des inhaltlichen Zusammenhangs getauscht und die Frage „Was sind Elementarteilchen?“ um den Zusatz „... und welche kennst du?“ erweitert, um das vorliegende Vorwissen expliziter zu ermitteln.

Auf dem Fragebogen zum Thema „Teilchenphysik in der Schule“ (s. S. 41) werden die Fachlehrer\*innen gebeten, Auskunft über die Inhalte zum Thema „Teilchenphysik“ zu geben, welche bis zum Vorbereitungskurs mit den Schüler\*innen im Unterricht behandelt wurden und welche im Anschluss noch behandelt werden sollen. So kann auch auf diesem Weg das spezifische Vorwissen und der generelle Wissensstand der Schüler\*innen im Fach Physik erfasst werden. Des Weiteren soll auf dem Fragebogen die Gesamtzahl der Unterrichtsstunden bezüglich des Themas „Teilchenphysik“ genannt und allgemein zum Konzept des Vorbereitungskurses im Rahmen der Masterclass Stellung genommen werden. Zudem soll von den Fachlehrer\*innen beurteilt werden, ob eine Durchführung des Kurses sowohl im Rahmen einer Hausaufgabe als auch im Unterricht umsetzbar ist.

Für die ausführliche Evaluation des Vorbereitungskurses wurde ein sechsseitiger Bewertungsbogen (s. S. 42 ff.) entworfen. Dieser besteht sowohl aus Bewertungsteilen zu den einzelnen Kurskapiteln, als auch zu den jeweils dazugehörigen Übungen und dem Abschlussquiz. Die Schüler\*innen sollten, parallel zur Bearbeitung des Kurses, nach jedem Kurskapitel Fragen zu diesem über dessen Form, Darstellung, Funktionalität, Verständlichkeit sowie ihre Probleme oder Schwierigkeiten mit dem Inhalt und der Handhabung beantworten. Es handelt sich sowohl um Multiple-Choice-Fragen als auch um Fragen, auf die die Schüler\*innen eine eigenständig formulierte Antwort finden müssen. Beispielsweise wurde neben der Textlänge auch dessen Verständlichkeit sowie diejenige von Bildern und Animationen bewertet. So kann überprüft werden, ob die Grafiken und Texte für Schüler\*innen vollständig erschließbar sind und somit lückenlos an das Vorwissen der Lernenden anschließen. Am Ende des Bewertungsbogens wird in Form von Abschlussfragen der gesamte Kurs bewertet. Dabei nehmen die Schüler\*innen Stellung zum Layout und zum Kurs an sich und haben die Möglichkeit, ihre Probleme oder Schwierigkeiten sowie mögliche Verbesserungsvorschläge mitzuteilen. Im Laufe der Testdurchläufe an den Schulen wurden häufige Antworten zu den Fragen „Welche Verbesserungs-

## A.1 Material für den Vorbereitungskurs

vorschläge fallen Dir insgesamt zu diesem Onlinekurs ein?“, „Was hat bei Dir nicht funktioniert und wo hattest Du Probleme mit der Seite?“ und „Was findest Du an dem Onlinekurs gut?“ gesammelt und für die nächste Evaluation zusätzlich als Möglichkeit zum Ankreuzen aufgelistet. Außerdem wurde abgefragt, ob eine eigenständige Durchführung des Vorbereitungskurses im Rahmen einer Hausaufgabe aus Sicht der Schüler\*innen möglich wäre.

Bei der Einführung des Arbeitsblattes wurde der Evaluationsbogen für den Vorbereitungskurs aus Zeitgründen auf die Abschlussfragen reduziert (s. S. 49), um den Fokus auf die Bearbeitung und Bewertung des Arbeitsblattes zu legen. Zusätzlich wurde die neunte Frage ergänzt, in der das Arbeitsblatt an sich im Hinblick auf die Masterclass evaluiert wird.

Am Gymnasium „Zum Altenforst“ wurde der Vorbereitungskurs von den Schüler\*innen eines Physikkurses der 9. Jahrgangsstufe zum einen Teil unter Aufsicht des Fachlehrers und zum anderen Teil außerunterrichtlich als Hausaufgabe selbstständig durchgeführt. Hierfür wurde für die Evaluation und Einschätzung der Umsetzbarkeit im Unterricht oder in Form einer Hausaufgabe ein Feedbackbogen (s. S. 48) erstellt. Dieser umfasst nicht nur die Fragen des Fragebogens für Fachlehrer\*innen, sondern weitere über die Art und Weise der Durchführung, die gegebenenfalls damit verbundenen Probleme oder Schwierigkeiten der Schüler\*innen mit den Inhalten sowie deren Gesamtbewertung des Kurses und mögliche konzeptionelle Kritikpunkte oder Verbesserungsvorschläge.

Für die Durchführung des Online-Vorbereitungskurses und der Masterclass in der Schule wurde außerdem ein Beobachtungsbogen (s. S. 50) entworfen. Auf diesem können die Bearbeitungszeiten der Schüler\*innen für die einzelnen Kurskapitel dokumentiert, aber auch auftretende Probleme bei der Durchführung sowie Fragen der Schüler\*innen notiert werden.

## Fragebogen für Schüler\*innen zum Thema „Teilchenphysik“ (VK 1, 3 und 5)

Klasse/Kurs: \_\_\_\_\_ Alter: \_\_\_\_\_ Geschlecht:  weiblich  männlich  divers

Dieser anonyme Fragebogen soll dazu dienen das Vorwissen von Dir und Deinen Mitschüler\*innen einzuschätzen. Bitte beantworte so viele der unten aufgeführten Fragen, wie Du kannst. Du musst nicht in ganzen Sätzen, sondern kannst auch in Stichpunkten antworten. Es sollte aber deutlich werden, was Du meinst.

1. Woraus besteht der Atomkern?                      2. Was befindet sich in der Atomhülle?

-----

2. Was sind die kleinsten Bausteine/Objekte, aus denen die Materie besteht?

-----

3. Was ist das Austauschteilchen der elektromagnetischen Wechselwirkung?

-----

4. Welche Wechselwirkungen kennst Du noch?

-----  
-----  
-----  
-----

5. Was sind Elementarteilchen und welche kennst Du?

-----  
-----

6. Was haben Teilchenbeschleuniger und Detektoren miteinander zu tun?

-----  
-----

7. Woraus besteht ein Proton?

-----

8. Was ist das CERN?

-----

## Fragebogen für Fachlehrer\*innen zum Thema „Teilchenphysik in der Schule“

Schule: \_\_\_\_\_

Klasse/Stufe: \_\_\_\_\_

Anzahl der Schüler\*innen: \_\_\_\_\_

1. Welche Inhalte zum Thema „Teilchenphysik“ haben Sie bis jetzt mit Ihrem Kurs im Unterricht behandelt?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

2. Welche Inhalte zum Thema „Teilchenphysik“ planen Sie mit Ihrem Kurs noch im Unterricht durchzunehmen?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

3. Wie viele Unterrichtsstunden umfasst bei Ihnen das Thema „Teilchenphysik“ (ohne die Masterclass/den Vorkurs)?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

4. Nach der Evaluation und Überarbeitung des Online-Vorbereitungskurses, soll dieser als Online-Angebot für Schulen zur Verfügung stehen. Halten Sie eine selbstständige Durchführung des Kurses (max. 90 min) im Rahmen einer Hausaufgabe oder im Unterricht vor dem Stattfinden der Masterclass für sinnvoll/umsetzbar? Der Kurs umfasst Texte und Übungen zu den Themen „Bausteine der Materie“, „Wechselwirkungsarten (Gravitation, elektromagnetisch, stark, schwach)“, „Eigenschaften von Ladungen“ und „Elementarteilchen und Anti-Teilchen“.

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

# Evaluationsbogen für Schüler\*innen zum Online-Vorbereitungskurs der Masterclass des „Netzwerk Teilchenwelt“ (VK 1, 2 und 3)

Klasse/Kurs: \_\_\_\_\_ Alter: \_\_\_\_\_ Geschlecht:  weiblich  männlich  divers

Vielen Dank, dass Du an dem Online-Vorbereitungskurs der Masterclass teilnimmst!

Über den folgenden Link gelangst Du zum Kurs:

<https://bildungsportal.sachsen.de/opal/auth/RepositoryEntry/17635573762?5>

Da sich dieser Vorbereitungskurs noch in der Erprobungsphase befindet, kann es sein, dass Du manchmal nach längerer Zeit das Passwort erneut eingeben musst. Wenn zu Beginn die Texte nicht angezeigt werden, sondern unter dem Kapitel 1. Willkommen steht: „Bitte melden Sie sich an. OPAL“, dann schließ die Seite und öffne sie erneut über den Link. Passwort: Teilchenphysik!

Damit dieser Onlinekurs bald deutschlandweit angeboten werden kann, würde ich mich sehr freuen, wenn Du Dir die Zeit nimmst, die unten aufgeführten Fragen parallel zum Kurs zu beantworten und diesen ehrlich zu bewerten. Lies Dir die jeweilige Seite online durch, bearbeite dort die Aufgaben und kreuze danach hier an, was zutrifft.

Ich musste die Seite zweimal öffnen, da dort „Bitte melden Sie sich an. OPAL“ stand und ich keine Texte sehen konnte.

## 3. Aufbau der Materie

### 3.1. Bausteine der Materie

Text  zu kurz  passende Länge  zu lang  
 verständlich  unverständlich, nicht verstanden habe ich: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Bilder Folgendes war zu klein/unscharf: \_\_\_\_\_  
Dieses Bild habe ich nicht verstanden: \_\_\_\_\_  
 Die Bilder haben mich beim Verständnis der Inhalte unterstützt.

### 3.2. Übung

#### Aufgabe 1: Materiebausteine ordnen

Test  Ich konnte den Test nicht starten.  
Aufgabe  Ich habe zuerst nicht verstanden, was ich machen soll.  
 Die Aufgabe ist verständlich.  
 Ich habe zuerst nicht gewusst, wie man die Objekte verschieben kann.  
 Das Verschieben der Objekte mit der Maus hat nicht funktioniert.  
 Ich konnte die Bilder nicht erkennen, sie waren zu klein.  
 Ich habe zuerst nicht gefunden, wo ich meine Antwort kontrollieren lassen kann.  
 Ich habe die Korrektur meiner Antwort nicht verstanden.  
 Ich habe die Aufgabe beim ersten Versuch richtig gelöst.  
 Ich habe noch einmal in die Texte und Bilder geschaut und die Aufgabe erneut gemacht.

#### Aufgabe 2: Lückentext

Aufgabe  Die Aufgabe ist verständlich.  
 Ich habe zuerst nicht verstanden, was ich machen soll.  
 Das Ausfüllen der leeren Felder hat nicht funktioniert.  
 Ich habe die Korrektur meiner Antwort nicht verstanden.  
 Ich habe die Aufgabe beim ersten Versuch richtig gelöst.  
 Ich habe noch einmal in die Texte und Bilder geschaut und die Aufgabe erneut gemacht.

Sonstige Probleme/Anmerkungen:

-----



4. Die vier fundamentalen Wechselwirkungen

Text             zu kurz         passende Länge         zu lang  
                   verständlich  unverständlich, nicht verstanden habe ich: \_\_\_\_\_

Bilder            Folgendes war zu klein/unscharf: \_\_\_\_\_  
                  Dieses Bild habe ich nicht verstanden: \_\_\_\_\_  
                   Die Bilder haben mich beim Verständnis der Inhalte unterstützt.

4.1. Gravitation

Text             zu kurz         passende Länge         zu lang  
                   verständlich  unverständlich, nicht verstanden habe ich: \_\_\_\_\_

Bilder            Folgendes war zu klein/unscharf: \_\_\_\_\_  
                  Dieses Bild habe ich nicht verstanden: \_\_\_\_\_  
                   Die Bilder haben mich beim Verständnis der Inhalte unterstützt.

Animation         Die Animation hat nicht funktioniert.  
                   Ich habe die Animation nicht verstanden.  
                   Die Animation hat mir geholfen die Inhalte zu verstehen.

4.2. Elektromagnetische Wechselwirkung

Text             zu kurz         passende Länge         zu lang  
                   verständlich  unverständlich, nicht verstanden habe ich: \_\_\_\_\_

Bilder            Folgendes war zu klein/unscharf: \_\_\_\_\_  
                  Dieses Bild habe ich nicht verstanden: \_\_\_\_\_  
                   Die Bilder haben mich beim Verständnis der Inhalte unterstützt.

Animation         Die Animation hat nicht funktioniert.  
                   Ich habe die Animation nicht verstanden.  
                   Die Animation hat mir geholfen, die Inhalte zu verstehen.

Zusatz             Ich habe die Zusatzinformation gelesen (die Zusatzinformation ist freiwillig).  
                   Sie war verständlich.         nicht verstanden habe ich: \_\_\_\_\_

                  Folgendes Bild war zu klein/unscharf: \_\_\_\_\_  
                  Dieses Bild habe ich nicht verstanden: \_\_\_\_\_

Sonstige Probleme/Anmerkungen:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

#### 4.3. Starke Wechselwirkung

Text             zu kurz         passende Länge         zu lang  
                  verständlich  unverständlich, nicht verstanden habe ich: \_\_\_\_\_

Bilder            Folgendes war zu klein/unscharf: \_\_\_\_\_  
                 Dieses Bild habe ich nicht verstanden: \_\_\_\_\_  
                  Die Bilder haben mich beim Verständnis der Inhalte unterstützt.

Zusatz             Ich habe die Zusatzinformation gelesen (die Zusatzinformation ist freiwillig).  
                  Sie war verständlich.         nicht verstanden habe ich: \_\_\_\_\_

                 Folgendes Bild war zu klein/unscharf: \_\_\_\_\_  
                 Dieses Bild habe ich nicht verstanden: \_\_\_\_\_

#### 4.4. Schwache Wechselwirkung

Text             zu kurz         passende Länge         zu lang  
                  verständlich  unverständlich, nicht verstanden habe ich: \_\_\_\_\_

Bilder            Folgendes war zu klein/unscharf: \_\_\_\_\_  
                 Dieses Bild habe ich nicht verstanden: \_\_\_\_\_  
                  Die Bilder haben mich beim Verständnis der Inhalte unterstützt.

Zusatz             Ich habe die Zusatzinformation gelesen (die Zusatzinformation ist freiwillig).  
                  Sie war verständlich.         nicht verstanden habe ich: \_\_\_\_\_

                 Folgendes Bild war zu klein/unscharf: \_\_\_\_\_  
                 Dieses Bild habe ich nicht verstanden: \_\_\_\_\_

#### 4.5. Übung

##### Aufgabe 1: Beispiele Wechselwirkungen

- Test             Ich konnte den Test nicht starten.
- Aufgabe         Die Aufgabe ist verständlich.  
                  Ich habe zuerst nicht verstanden, was ich machen soll.  
                  Das Markieren der Felder für meine Antworten in der Tabelle hat nicht funktioniert.  
                  Ich habe die Korrektur meiner Antwort nicht verstanden.  
                  Ich habe die Aufgabe beim ersten Versuch richtig gelöst.  
                  Ich habe noch einmal in die Texte und Bilder geschaut und die Aufgabe erneut gemacht.

##### Aufgabe 2: Fehlersuche

- Aufgabe         Die Aufgabe ist verständlich.  
                  Ich habe zuerst nicht verstanden, was ich machen soll.  
                  Das Anklicken der Felder hat nicht funktioniert.  
                  Ich habe die Korrektur meiner Antwort nicht verstanden.  
                  Ich habe die Aufgabe beim ersten Versuch richtig gelöst.  
                  Ich habe noch einmal in die Texte und Bilder geschaut und die Aufgabe erneut gemacht.

Sonstige Probleme/Anmerkungen:

## 5. Ladungen

### 5.1. Eigenschaften von Ladungen

Text  zu kurz  passende Länge  zu lang  
 verständlich  unverständlich, nicht verstanden habe ich: \_\_\_\_\_  
-----  
Folgendes war zu klein/unscharf: \_\_\_\_\_

### 5.2. Was machen Ladungen?

Text  zu kurz  passende Länge  zu lang  
 verständlich  unverständlich, nicht verstanden habe ich: \_\_\_\_\_  
-----  
Folgendes war zu klein/unscharf: \_\_\_\_\_

### 5.3. Übung

#### Aufgabe 1: Ladungseigenschaften

Test  Ich konnte den Test nicht starten.  
Aufgabe  Die Aufgabe ist verständlich.  
 Ich habe zuerst nicht verstanden, was ich machen soll.  
 Das Verschieben der Objekte mit der Maus hat nicht funktioniert.  
 Ich habe die Korrektur meiner Antwort nicht verstanden.  
 Ich habe die Aufgabe beim ersten Versuch richtig gelöst.  
 Ich habe noch einmal in die Texte und Bilder geschaut und die Aufgabe erneut gemacht.

## 6. Elementarteilchen

### 6.1. Elementarteilchen der Materie

Text  zu kurz  passende Länge  zu lang  
 verständlich  unverständlich, nicht verstanden habe ich: \_\_\_\_\_  
-----  
Bilder Folgendes war zu klein/unscharf: \_\_\_\_\_  
Dieses Bild habe ich nicht verstanden: \_\_\_\_\_  
 Die Bilder haben mich beim Verständnis der Inhalte unterstützt.

### 6.2. Antimaterieteilchen

Text  zu kurz  passende Länge  zu lang  
 verständlich  unverständlich, nicht verstanden habe ich: \_\_\_\_\_  
-----  
Bilder Folgendes war zu klein/unscharf: \_\_\_\_\_  
Dieses Bild habe ich nicht verstanden: \_\_\_\_\_  
 Die Bilder haben mich beim Verständnis der Inhalte unterstützt.

Animation  Die Animation hat nicht funktioniert.  
 Ich habe die Animation nicht verstanden.  
 Die Animation hat mir geholfen, die Inhalte zu verstehen.

Sonstige Probleme/Anmerkungen:  
-----

### 6.3. Übung

#### Aufgabe 1: Lückentext

- Test  Ich konnte den Test nicht starten.
- Aufgabe  Die Aufgabe ist verständlich.  
 Ich habe zuerst nicht verstanden, was ich machen soll.  
 Das Ausfüllen der leeren Felder hat nicht funktioniert.  
 Ich habe die Korrektur meiner Antwort nicht verstanden.  
 Ich habe die Aufgabe beim ersten Versuch richtig gelöst.  
 Ich habe noch einmal in die Texte und Bilder geschaut und die Aufgabe erneut gemacht.

#### Aufgabe 2: Elementarteilchen und deren Ladungen

- Aufgabe  Die Aufgabe ist verständlich.  
 Ich habe zuerst nicht verstanden, was ich machen soll.  
 Das Markieren der Felder für meine Antworten in der Tabelle hat nicht funktioniert.  
 Ich habe die Korrektur meiner Antwort nicht verstanden.  
 Ich habe die Aufgabe beim ersten Versuch richtig gelöst.  
 Ich habe noch einmal in die Texte und Bilder geschaut und die Aufgabe erneut gemacht.

### 7. Abschlussquiz

Ich konnte den Test nicht starten

Folgende Fragen habe ich zuerst nicht verstanden:

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

Bei der Frage \_\_\_\_\_ hatte ich folgendes Problem: \_\_\_\_\_

-----

Bei der Frage \_\_\_\_\_ habe ich die Korrektur meiner Antwort nicht verstanden.

Folgende Fragen habe ich beim ersten Versuch richtig gelöst:

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

Sonstige Probleme/Anmerkungen:

-----

-----

-----

### Abschlussfragen (VK 1, 2 und 3)

1. Findest Du das Layout der Seite des Kurses ansprechend?

O Ja, sehr. O Es ist ok. O Nein, finde ich nicht.

2. Wie bewertest Du den Online-Vorbereitungskurs?                    sehr gut    O    O    O    O    schlecht

3. Welche Verbesserungsvorschläge fallen Dir insgesamt zu diesem Onlinekurs ein?

-----  
-----  
-----

- O eine Kurs-Version für das Handy erstellen    O einmalige Passworteingabe    O mehr Absätze in Texten  
O Layout motivierender gestalten                    O beim Anklicken der Bilder, diese groß anzeigen  
O Bilder größer und schärfer darstellen            O lange Texte kürzen (insbesondere folgende Texte: \_\_\_\_ )

4. Was hat bei Dir nicht funktioniert und wo hattest Du Probleme mit der Seite?

-----  
-----  
-----

- O wiederholtes Neuladen der Seite    O langsames Internet    O Übungen haben nicht funktioniert  
O Animationen haben nicht funktioniert

5. Wie oft musstest Du insgesamt das Passwort eingeben?    einmal    O    O    O    O    sehr oft

6. Was findest Du an dem Onlinekurs gut?

-----  
-----  
-----

- O viele Bilder    O Animationen    O die Idee dahinter    O Bezug zur Realität    O verständliche Texte  
O Aufgaben mit Lösungen                    O Quiz                    O gut erklärt                    O viele Infos in kurzer Zeit

7. Glaubst Du, dass eine eigenständige Durchführung des Online-Kurses im Rahmen einer Hausaufgabe möglich wäre?

O ja, weil -----

O nein, weil -----

## Feedbackbogen zum Online-Vorbereitungskurs der Masterclass des „Netzwerk Teilchenwelt“ (VK 4)

Schule: \_\_\_\_\_

Klasse/Stufe: \_\_\_\_\_

Anzahl der Schüler\*innen: \_\_\_\_\_

1. Welche Inhalte zum Thema Teilchenphysik haben Sie bis jetzt mit Ihrem Kurs im Unterricht behandelt?

\_\_\_\_\_

2. Welche Inhalte zum Thema Teilchenphysik planen Sie mit Ihrem Kurs noch im Unterricht durchzunehmen?

\_\_\_\_\_

3. Wie viele Unterrichtsstunden umfasst bei Ihnen das Thema Teilchenphysik (ohne die Masterclass/den Vorkurs)?

\_\_\_\_\_

4. Wie haben die Schüler\*innen den Online-Vorbereitungskurs durchgeführt? Zuhause oder im Unterricht?

\_\_\_\_\_

5. Womit hatten die Schüler\*innen Schwierigkeiten oder Probleme bei der Durchführung des Vorbereitungskurses? Hat etwas nicht funktioniert? Haben sie bestimmte Inhalte oder Bilder nicht verstanden?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

6. Was hat den Schüler\*innen an dem Vorbereitungskurs gut gefallen?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

7. Was hat den Schüler\*innen an dem Vorbereitungskurs nicht gefallen? Waren bestimmte Texte zu lang oder bestimmte Bilder zu klein und unscharf? Haben sie explizite Verbesserungsvorschläge geäußert?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

8. Nach der Evaluation und Überarbeitung des Online-Vorbereitungskurses, soll dieser als Online-Angebot für Schulen zur Verfügung stehen. Was finden Sie am geeignetsten, eine Durchführung in Form einer Hausaufgabe oder eine Durchführung im Unterricht?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

# Evaluationsbogen für Schüler\*innen zum Online-Vorbereitungskurs der Masterclass des „Netzwerk Teilchenwelt“ (VK 5 und 6)

Klasse/Kurs: \_\_\_\_\_ Alter: \_\_\_\_\_ Geschlecht:  weiblich  männlich  divers

Vielen Dank, dass Du an dem Online-Vorbereitungskurs der Masterclass teilnimmst!

Über den folgenden Link gelangst Du zum Kurs:

<https://bildungsportal.sachsen.de/opal/auth/RepositoryEntry/17635573762?5> Passwort: Teilchenphysik!

Da sich dieser Vorbereitungskurs noch in der Erprobungsphase befindet, kann es sein, dass Du manchmal nach längerer Zeit das Passwort erneut eingeben musst. Wenn zu Beginn des Kurses die Texte nicht angezeigt werden, sondern unter dem Kapitel 1. Willkommen steht: „Bitte melden Sie sich an. OPAL“, dann schließ die Seite und öffne sie erneut über den Link.

Während der Durchführung des Online-Kurses füllst Du parallel Dein Arbeitsblatt aus, um Dein neu gewonnenes Wissen für die Masterclass zu sichern. Bei der Masterclass kannst Du dann Dein Arbeitsblatt zur Hilfe mitnehmen.

Wenn Du mit dem Online-Vorbereitungskurs durch bist und Du Dein Arbeitsblatt fertig ausgefüllt hast, dann beantworte bitte zur Bewertung des Kurses die folgenden Abschlussfragen.

## Abschlussfragen:

1. Findest Du das Layout der Seite des Kurses ansprechend?

Ja, sehr.  Es ist ok.  Nein, finde ich nicht.

2. Wie bewertest Du den Online-Vorbereitungskurs?  sehr gut     schlecht

3. Welche Verbesserungsvorschläge fallen Dir insgesamt zu diesem Onlinekurs ein?

- 
- eine Kurs-Version für das Handy erstellen  einmalige Passwortheingabe  mehr Absätze in Texten  
 Layout motivierender gestalten  beim Anklicken der Bilder, diese groß anzeigen  
 Bilder größer und schärfer darstellen  lange Texte kürzen (insbesondere folgende Texte: \_\_\_\_\_)

4. Was hat bei Dir nicht funktioniert und wo hattest Du Probleme mit der Seite?

- 
- wiederholtes Neuladen der Seite  langsames Internet  Übungen haben nicht funktioniert  
 Animationen haben nicht funktioniert

5. Wie oft musstest Du insgesamt das Passwort eingeben?  einmal     sehr oft

6. Was findest Du an dem Onlinekurs gut?

- 
- viele Bilder  Animationen  die Idee dahinter  Bezug zur Realität  verständliche Texte  
 Aufgaben mit Lösungen  Quiz  gut erklärt  viele Infos in kurzer Zeit

7. Glaubst Du, dass eine eigenständige Durchführung des Online-Kurses im Rahmen einer Hausaufgabe möglich wäre?

ja, weil \_\_\_\_\_

nein, weil \_\_\_\_\_

8. Wie fandest Du das Arbeitsblatt? Was fandest Du gut, was nicht so gut und was würdest Du ändern? Glaubst Du es ist sinnvoll parallel zum Vorbereitungskurs sein Wissen für die Masterclass auf einem Arbeitsblatt zu sichern?

-----

## Beobachtungsbogen zum Vorbereitungskurs

Datum:

Schule:

Anzahl Schüler\*innen:

Anzahl w:

Anzahl m:

Klasse/Stufe:

Beginn der Durchführung des Vorbereitungskurses und der Evaluation:

Kapitel 3 fertiggestellt:erste Schüler\*innen:                      Mittelteil:                      letzte Schüler\*innen:

Kapitel 4 fertiggestellt:erste Schüler\*innen:                      Mittelteil:                      letzte Schüler\*innen:

Kapitel 5 fertiggestellt:erste Schüler\*innen:                      Mittelteil:                      letzte Schüler\*innen:

Kapitel 6 fertiggestellt:erste Schüler\*innen:                      Mittelteil:                      letzte Schüler\*innen:

Kapitel 7 fertiggestellt:erste Schüler\*innen:                      Mittelteil:                      letzte Schüler\*innen:

Abschlussfragen:

allgemeine Probleme:

Fragen der Schüler\*innen:

-----

## Beobachtungsbogen zur Masterclass

Datum:

Schule:

Anzahl Schüler\*innen:

Anzahl w:

Anzahl m:

Klasse/Stufe:

allgemeine Probleme:

Fragen der Schüler\*innen:



## A.2 Material für die Masterclass

Zu Beginn der Masterclass wurden mithilfe eines Testbogens (s. S. 52) die zentralen Inhalte des Online-Vorbereitungskurses abgefragt. Da sich die Fragen zum Großteil mit denen über das Vorwissen der Schüler\*innen decken, besteht die Möglichkeit, den Lernerfolg der Schüler\*innen durch den Vorbereitungskurs mithilfe eines Vergleiches der Ergebnisse beider Fragebögen festzustellen. Um Schüler\*innen, die nicht am Vorbereitungskurs, aber an der Masterclass teilgenommen haben, für die Auswertung kenntlich zu machen, wird zu Beginn des Testbogens nachgefragt, ob am Vorbereitungskurs teilgenommen wurde. Diese Frage war primär bei der Masterclass am Gymnasium Rheinbach von Bedeutung, da im Voraus nur die Hälfte des Physikkurses am Vorbereitungskurs teilgenommen hatte und die Intention der Durchführung ein Vergleich beider Gruppen war. Im Laufe der stattfindenden Masterclasses wurde der Testbogen überarbeitet und dabei die neunte Frage über die Eigenschaften von Ladungen durch eine Zusatzinformation ergänzt. Die Antwort der Schüler\*innen auf die Frage „Welche drei Eigenschaften hat Ladung?“ lautete oftmals „positiv, negativ und neutral“. Dabei wurde aber nicht auf die Eigenschaften von Ladungen, sondern auf die Form eingegangen, in der Ladung vorliegen kann. Um diese Verständnisschwierigkeit zu verhindern, wurde die Fragestellung um den Zusatz „Gefragt wird hier nicht nach den möglichen Vorzeichen von Ladungen, wie neutral, positiv oder negativ.“ erweitert.

Am Ende der Masterclass sollten die Schüler\*innen außerdem einen Feedbackbogen (s. S. 53) über den Vorbereitungskurs im Rahmen der Masterclass ausfüllen. Dabei waren Fragen wie „Hat Dir der Online-Kurs geholfen, die Inhalte der Masterclass besser zu verstehen?“, „Welche Inhalte der Masterclass hast Du nicht verstanden bzw. mit welchen hattest Du Schwierigkeiten?“ oder „Würdest Du anderen Schülerinnen und Schülern empfehlen, den Online-Vorbereitungskurs vor der Masterclass durchzuführen?“ Bestandteil der Evaluation. Die Effektivität der Vorbereitung auf die Masterclass durch den Vorbereitungskurs sollte zusätzlich auf einer vierteiligen Skala zwischen „schlecht“ und „sehr gut“ eingeschätzt werden. Die Schüler\*innen, die nicht am Vorbereitungskurs teilgenommen haben, konnten dennoch die dritte Frage „Welche Inhalte der Masterclass hast Du nicht verstanden bzw. mit welchen hattest Du Schwierigkeiten?“ und die sechste Frage „[...] glaubst Du ein Vorbereitungskurs zum Thema Teilchenphysik hätte Dir bei der Vorbereitung auf die Masterclass geholfen?“ beantworten. Nach der Einführung des Arbeitsblattes zum Online-Vorbereitungskurs wurde der Feedbackbogen außerdem um die Frage nach der Sinnhaftigkeit und Wirksamkeit dieser ergänzenden Ergebnissicherung erweitert.

# Fragebogen für Schüler\*innen zum Thema „Teilchenphysik“ (MC 1, 2 und 4)

Klasse/Stufe: \_\_\_\_\_ Alter: \_\_\_\_\_ Geschlecht:  weiblich  männlich  divers

Dieser anonyme Fragebogen soll dazu dienen Deinen derzeitigen Wissenstand einzuschätzen. Bitte versuche so viele der unten aufgeführten Fragen zu beantworten, wie Du kannst. Du musst nicht in ganzen Sätzen, sondern kannst auch in Stichpunkten/ mit einzelnen Wörtern antworten. Es sollte aber deutlich werden, was Du meinst. Vielen Dank, dass Du Dir dafür Zeit nimmst!

1. Hast Du an dem Online-Vorbereitungskurs teilgenommen?  ja  nein
2. Was befindet sich in der Atomhülle? Und woraus besteht der Atomkern?  
-----
3. Was sind die kleinsten Objekte, aus denen sich die Materie zusammensetzt?  
-----
4. Woraus besteht ein Proton?  
-----
5. Welche Elementarteilchen kennst Du?  
-----
6. Die Vorgänge in der Natur können mithilfe von vier grundlegenden Wechselwirkungen beschrieben werden. Welche sind das?  
-----  
-----
7. Wie viele Farbladungen gibt es und von welcher grundlegenden Wechselwirkung sind sie die Ursache?  
-----
8. Was ist das Austauschteilchen der elektromagnetischen Wechselwirkung?  
-----
9. Welche drei Eigenschaften hat Ladung?  
(Gefragt wird hier nicht nach den möglichen Vorzeichen von Ladungen, wie neutral, positiv oder negativ.)  
-----
10. Wie heißt das Anti-Teilchen des Elektrons und welche Ladung hat es?  
-----
11. Vergleicht man die Eigenschaften von beliebigen Teilchen mit ihrem jeweiligen Anti-Teilchen, so gilt:  
Die \_\_\_\_\_ ist gleich, die \_\_\_\_\_ ist entgegengesetzt.
12. Was haben Teilchenbeschleuniger und Detektoren miteinander zu tun?  
-----
13. Was ist das CERN?  
-----

## Feedbackbogen für Schüler\*innen zum Online-Vorbereitungskurs und zur Masterclass des „Netzwerk Teilchenwelt“ (MC 1, 2 und 4)

Klasse/Stufe: \_\_\_\_\_ Alter: \_\_\_\_\_ Geschlecht:  weiblich  männlich  divers

1. Hast Du an dem Online-Vorbereitungskurs teilgenommen?  
 ja  nein (dann musst Du nur noch die Fragen 3 und 6 beantworten)
  
2. Hat Dir der Online-Kurs geholfen, die Inhalte der Masterclass besser zu verstehen?  
 Ja, weil \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
 Nein, weil \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
  
3. Welche Inhalte der Masterclass hast Du nicht verstanden bzw. mit welchen hattest Du Schwierigkeiten?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
  
4. Welche Inhalte haben Dir im Online-Kurs gefehlt, um die Masterclass besser zu verstehen?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
  
5. Wie gut hat Dich der Online-Kurs insgesamt auf die Masterclass vorbereitet?  
sehr gut     schlecht
  
6. Würdest Du anderen Schüler\*innen empfehlen, den Online-Vorbereitungskurs vor der Masterclass durchzuführen?  
Oder wenn Du nicht an dem Online-Kurs teilgenommen hast, glaubst Du ein Vorbereitungskurs zum Thema „Teilchenphysik“ hätte Dir bei der Vorbereitung auf die Masterclass geholfen?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

### *Zusätzliche Fragestellung in Masterclass 4:*

7. Hat Dir das Arbeitsblatt zum Vorbereitungskurs bei der Masterclass geholfen und wie sinnvoll fandest Du es im Hinblick auf die Masterclass oder für Dich persönlich?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

### **A.3 Fragebogen für die Vermittler\*innen**

Auf dem Evaluationsfragebogen für die Vermittler\*innen (s. S. 55 f.) werden diese nach dem notwendigen Vorwissen der Schüler\*innen für die Masterclass, nach den drei Kernaspekten, die in der Masterclass vermittelt werden, und nach öfters auftretenden Schwierigkeiten oder Verständnisproblemen der Schüler\*innen gefragt. In einem zweiten Teil des Fragebogens sollten die Vermittler\*innen angeben, was sie an dem Vorbereitungskurs gut finden, wo sie potenzielle Schwierigkeiten beim Verständnis der Texte, Inhalte und Grafiken oder im Aufbau des Kurses sehen und ob sie Verbesserungsvorschläge haben. Abschließend soll der gesamte Vorbereitungskurs als Vorbereitung auf die Masterclass bewertet und hinsichtlich der Erreichbarkeit dieses angestrebten Ziels beurteilt werden.

## Fragebogen für Vermittler\*innen der Masterclass des „Netzwerk Teilchenwelt“

Liebe Vermittlerin/lieber Vermittler der Masterclass des „Netzwerk Teilchenwelt“,  
in meiner Bachelorarbeit erprobe und evaluiere ich den neuen, zu der Masterclass gehörenden Online-Vorbereitungskurs. Dessen Ziel ist es, den Schüler\*innen ein grundlegendes Vorwissen im Bereich der Teilchenphysik zu vermitteln, damit sie besser vorbereitet sind und für die Auswertung der Daten im Rahmen der Masterclass mehr Zeit zur Verfügung steht.

Ich selbst werde die Schüler\*innen eine Woche vor der Masterclass bei der Durchführung dieses Online-Kurses betreuen, um Fragen zu beantworten und den Kurs von den Schüler\*innen evaluieren zu lassen.

Für meine Arbeit würde ich auch gerne Deine Erfahrungen, Gedanken und Einschätzungen einbeziehen. Aus diesem Grund würde ich mich sehr freuen, wenn Du Dir kurz Zeit nimmst die unten aufgeführten Fragen zu beantworten und den Online-Vorbereitungskurs durchzuführen.

Dazu findest Du hier den Link, der Dich zum Online-Vorbereitungskurs führt (PW: Teilchenphysik!):

<https://bildungsportal.sachsen.de/preview/opal/auth/RepositoryEntry/17635573762?3>

Bei Fragen kannst Du mich über [s6inwoes@uni-bonn.de](mailto:s6inwoes@uni-bonn.de) erreichen.

Liebe Grüße,

Inga

1. Welches *Vorwissen* sollten die Schüler\*innen mitbringen, um an der Masterclass teilzunehmen?

-----  
-----

2. Welche drei *Kernaspekte* vermittelt die Masterclass? Was sollten die Schüler\*innen Deiner Meinung nach auf jeden Fall für sich mitnehmen?

1. -----

-----

2. -----

-----

3. -----

-----

3. Welche *Schwierigkeiten* kennst Du aus Erfahrung, die beim Durchführen der Masterclass mit Schüler\*innen auftreten? Wo gibt es Verständnisprobleme und -fragen?

-----  
-----  
-----  
-----

4. Welche Inhalte der Masterclass fallen den Schüler\*innen leichter und werden von ihnen schnell verstanden?

-----  
-----  
-----

5. Was findest Du an dem Online-Vorbereitungskurs gut?

-----  
-----  
-----

6. Wo siehst Du potenzielle *Schwierigkeiten* beim Verständnis der Texte und Inhalte, der visuellen Darstellung der Sachverhalte oder der Struktur und des Aufbaus des Online-Vorbereitungskurses? Hat etwas nicht funktioniert? Welche *Verbesserungsvorschläge* fallen Dir ein?

-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----

7. Wie bewertest Du insgesamt den Online-Vorbereitungskurs als Vorbereitung auf die Masterclass? Inwieweit wird der angestrebte Zweck erfüllt?

-----  
-----  
-----

## A.4 Arbeitsblatt zum Online-Vorbereitungskurs

Für die schriftliche Wissenssicherung im Hinblick auf die Masterclass wurde ein Arbeitsblatt (s. S. 58) zum Online-Vorbereitungskurs entworfen, auf welchem die wichtigsten Inhalte des Kurses gesammelt werden sollen. Dabei orientiert sich das Arbeitsblatt inhaltlich an der Reihenfolge der Kapitel des Online-Vorbereitungskurses, so dass die Schüler\*innen während der Bearbeitung des Kurses das Arbeitsblatt ausfüllen können. Den Schwerpunkt bilden hierbei die vierte und fünfte Frage, die sich auf die Kurskapitel über die Wechselwirkungsarten und die Elementarteilchen beziehen. In einer ersten Tabelle sollen die Schüler\*innen Ursache, Austauscheteilchen und Wirkung in der Teilchenphysik jeweils zur „elektromagnetischen“, „starken“ und „schwachen“ Wechselwirkung mithilfe des Vorbereitungskurses sammeln. Die Darstellungsform der Tabelle ermöglicht es, eine strukturierte Übersicht über die Wechselwirkungsarten zu gewinnen. In einer weiteren Tabelle sollen die Schüler\*innen die Elementarteilchen, die sie im Laufe des Vorbereitungskurses kennengelernt haben, zusammen mit ihrer jeweiligen elektrischen Ladung, notieren. Die neunte und zehnte Frage sind nicht Inhalt des Vorbereitungskurses und können durch Eigenrecherche beantwortet werden. Die Schüler\*innen informieren sich hier über den Zusammenhang zwischen Teilchenbeschleunigern und Detektoren und über das CERN, um sich den Anwendungen und der Aktualität des Themas „Teilchenphysik“ bewusst zu werden. Zusätzlich wurde eine Musterlösung des Arbeitsblattes zum Online-Vorbereitungskurs erstellt (s. S. 59).

# ARBEITSBLATT ZUM ONLINE-VORBEREITUNGSKURS



Dieses Arbeitsblatt ist dazu da, dass Du die wichtigsten Inhalte des Vorbereitungskurses für Dich persönlich aufschreibst. Du kannst dieses Arbeitsblatt dann zur Masterclass mitbringen, damit Du dort während der Vorträge und praktischen Aufgaben dein gesammeltes Wissen nachschauen kannst. Die Fragen 9 und 10 sind nicht Inhalt des Online-Vorbereitungskurses. Versuche sie aber, so gut es geht, durch Eigenrecherche zu beantworten.

1. Was befindet sich in der Atomhülle? Und woraus besteht der Atomkern?  
\_\_\_\_\_

2. Was sind die kleinsten Objekte aus denen sich die Materie zusammensetzt?  
\_\_\_\_\_

3. Woraus besteht ein Proton? Welche elektr. Ladung haben jeweils seine Bestandteile und das Proton selber?  
\_\_\_\_\_

4. Die Vorgänge in der Natur können mithilfe der Gravitation und drei anderen fundamentalen Wechselwirkungen beschrieben werden. Welche sind das, was sind ihre Ursachen und Austauschteilchen (Botenteilchen) und wo wirken diese in der Teilchenphysik?

| Wechselwirkung | Ursache | Austauschteilchen | Wirkung in der Teilchenphysik |
|----------------|---------|-------------------|-------------------------------|
|                |         |                   |                               |
|                |         |                   |                               |
|                |         |                   |                               |

5. Welche Elementarteilchen hast Du im Laufe des Kurses kennengelernt? Welche elektr. Ladungen haben diese?

|                   |  |  |  |  |  |
|-------------------|--|--|--|--|--|
| Elementarteilchen |  |  |  |  |  |
| elektr. Ladung    |  |  |  |  |  |

6. Welche drei Eigenschaften hat Ladung?  
\_\_\_\_\_

7. Vergleicht man die Eigenschaften von beliebigen Teilchen mit ihrem jeweiligen Anti-Teilchen, so gilt:

Die \_\_\_\_\_ ist gleich, die \_\_\_\_\_ ist entgegengesetzt.

8. Wie heißt das Anti-Teilchen des Elektrons? Welche elektr. Ladung hat es?  
\_\_\_\_\_

Wie heißt das Antiteilchen des Myons? Welche elektr. Ladung hat es?  
\_\_\_\_\_

9. Was haben Teilchenbeschleuniger und Detektoren miteinander zu tun?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

10. Was ist das CERN?  
\_\_\_\_\_



# MUSTERLÖSUNG DES ARBEITSBLATTES ZUM ONLINE-VORBEREITUNGSKURS



NETZWERK  
TEILCHENWELT

Dieses Arbeitsblatt ist dazu da, dass Du die wichtigsten Inhalte des Vorbereitungskurses für Dich persönlich aufschreibst. Du kannst dieses Arbeitsblatt dann zur Masterclass mitbringen, damit Du dort während der Vorträge und praktischen Aufgaben dein gesammeltes Wissen nachschauen kannst. Die Fragen 9 und 10 sind nicht Inhalt des Online-Vorbereitungskurses. Versuche sie aber, so gut es geht, durch Eigenrecherche zu beantworten.

1. Was befindet sich in der Atomhülle? Und woraus besteht der Atomkern?  
Elektronen Neutronen, Protonen (diese wiederum aus Up- und Down-Quarks)

2. Was sind die kleinsten Objekte aus denen sich die Materie zusammensetzt?  
Elementarteilchen (besitzen keine Unterstruktur, unteilbar)

3. Woraus besteht ein Proton? Welche elektr. Ladung haben jeweils seine Bestandteile und das Proton selber?  
Ein Proton (+ 1 e) besteht aus zwei Up-Quarks (jeweils + 2 / 3 e) und einem Down-Quark (- 1 / 3 e).

4. Die Vorgänge in der Natur können mithilfe der Gravitation und drei anderen fundamentalen Wechselwirkungen beschrieben werden. Welche sind das, was sind ihre Ursachen und Austauschteilchen (Botenteilchen) und wo wirken diese in der Teilchenphysik?

| Wechselwirkung    | Ursache                    | Austauschteilchen      | Wirkung in der Teilchenphysik                             |
|-------------------|----------------------------|------------------------|---|
| elektromagnetisch | elektrische Ladung         | Photon                 | Elektronen und Atomkern halten als Atom zusammen          |
| stark             | starke Ladung (Farbladung) | Gluon                  | Protonen halten im Atomkern und Quarks im Proton zusammen |
| schwach           | schwache Ladung            | $W^+ / W^- / Z$ -Boson | $\beta^+$ und $\beta^-$ Umwandlung                        |

5. Welche Elementarteilchen hast Du im Laufe des Kurses kennengelernt? Welche elektr. Ladungen haben diese?

|                   |          |           |            |          |       |
|-------------------|----------|-----------|------------|----------|-------|
| Elementarteilchen | Elektron | Up-Quark  | Down-Quark | Neutrino | Myon  |
| elektr. Ladung    | - 1 e    | + 2 / 3 e | - 1 / 3 e  | 0 e      | - 1 e |

6. Welche drei Eigenschaften hat Ladung?  
Ladungen sind gequantelt, additiv und erhalten.

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

8. Wie heißt das Anti-Teilchen des Elektrons? Wie heißt das Antiteilchen des Myons?  
 Welche elektr. Ladung hat es? Welche elektr. Ladung hat es?  
Positron (+ 1 e) Anti-Myon (+ 1 e)

9. Was haben Teilchenbeschleuniger und Detektoren miteinander zu tun?  
 In Teilchenbeschleunigern werden geladene Teilchen mittels elektrischer Felder beschleunigt und dann zur Kollision gebracht. Bei den Kollisionen entstehen viele neue Teilchen. Diese oder ihre Zerfallsprodukte können mithilfe von Detektoren nachgewiesen werden.

10. Was ist das CERN?  
 Das CERN ist die Europäische Organisation für Kernforschung und das weltweit größte Forschungszentrum auf dem Gebiet der Teilchenphysik.



---

### Datenerhebung

---

- Ergebnisse der Evaluation des Vorbereitungskurses durch die Vermittler\*innen (S. 62 ff.)
- Ergebnisse der detaillierten Evaluation des Vorbereitungskurses durch die Schüler\*innen (S. 66 ff.)
- Wissensstandsvergleich der Schüler\*innen vor und nach dem Vorbereitungskurs (S. 84 ff.)
- Vergleich der Ergebnisse der schriftlichen Überprüfung aller Schüler\*innen mit Teilnahme an einem Vorbereitungskurs zu Beginn der Masterclass (S. 91 ff.)
- Vergleich der Ergebnisse der schriftlichen Überprüfung der Schüler\*innen mit und ohne Teilnahme am Vorbereitungskurs 3 zu Beginn der Masterclass (S. 96 f.)
- Ergebnisse der Fragebögen für Fachlehrer\*innen zum Thema „Teilchenphysik in der Schule“ (S. 98 ff.)
- Übersicht über die von den Schüler\*innen benötigte Bearbeitungszeit für die einzelnen Kapitel des Vorbereitungskurses und Abschätzung des für den gesamten Kurs durchschnittlich notwendigen Zeitkontingents (S. 101)
- Textvorschlag für das Kapitel 4.3 des Online-Vorbereitungskurses (S. 102 f.)

## **B.1 Ergebnisse der Evaluation des Vorbereitungskurses durch die Vermittler\*innen**

Der Fragebogen für die Vermittler\*innen (s. S. 55 f.) umfasste insgesamt sieben Fragen, die im Folgenden anhand der Antworten der sieben Vermittler\*innen behandelt werden.

### **Welches Vorwissen sollten die Schüler\*innen mitbringen, um an der Masterclass teilzunehmen?**

Um zu überprüfen, ob die Inhalte des Vorbereitungskurses beim Verständnis der Masterclass helfen, müssen diese mit dem, von den Vermittler\*innen genannten, für die Masterclass notwendigen Vorwissen abgeglichen werden. Dieses wird zum einen laut Kernlehrplan des Ministeriums für Schule und Bildung vom Schulstoff der Sekundarstufe I abgedeckt [5]. Darunter fallen die Lorentzkraft, das Verhalten von geladenen Teilchen in Magnetfeldern und elektrischen Feldern, Grundkenntnisse in Mechanik (Masse, Energie, Impuls) und über Zerfälle, Radioaktivität und den Aufbau eines Atoms, aber auch der Umgang mit Einheiten, physikalischen Sachverhalten und Problemstellungen. Zum anderen seien nach Aussagen der Vermittler\*innen Vorkenntnisse im Bereich der Teilchenphysik, wie die Teilchenarten (Elektron, Photon etc.) und die unterschiedlichen Kräfte und Wechselwirkungen zwischen den Teilchen sinnvoll, da aufgrund der Kenntnis der Teilchennamen die „Fülle an neuen Begriffen nicht so gewaltig“ ist. Diese Grundlagen werden im Vorbereitungskurs thematisiert.

Ein weiterer von den Vermittler\*innen genannter Punkt ist die Kenntnis von Detektorprinzipien, wie Spurdetektor oder Kalorimeter. Diese werden jedoch ausführlich im Rahmen des zweiten Einführungsvortrages in der Masterclass besprochen und müssen somit nicht unbedingt Bestandteil des Vorbereitungskurses sein. Im Rahmen der Auswertung der Evaluation der Schüler\*innen wird deutlich, dass niemand explizit Schwierigkeiten beim Verständnis des Detektoraufbaus hatte. Die Antworten der Vermittler\*innen auf die vierte Frage „Welche Inhalte der Masterclass fallen den SchülerInnen leichter und werden von ihnen schnell verstanden?“ beziehen sich fast immer auf den Aufbau und die Funktionsweise von Detektor und Beschleunigern. Aus diesem Grund ist ein Vorwissen in diesem Bereich vielleicht von Vorteil, aber für das Verständnis der Masterclass nicht unbedingt notwendig.

### **Welche drei Kernaspekte vermittelt die Masterclass? Was sollten die Schüler\*innen auf jeden Fall für sich mitnehmen?**

Die Intention dieser Frage ist, festzustellen, worauf der Schwerpunkt in der Masterclass gesetzt werden sollte und für welche anderen Themen somit weniger Zeit zur Verfügung stehen könnte. Letztere müssten dann eher im Vorbereitungskurs behandelt werden, damit in der Masterclass kein Zeitdruck entsteht. Die von den Vermittler\*innen am häufigsten genannten Kernaspekte der Masterclass lassen sich in vier Punkten zusammenfassen.

Der erste und am meisten vertretene ist, den Schüler\*innen zu zeigen, wie Teilchenphysiker\*innen arbeiten und forschen. Hierbei geht es darum, die wissenschaftliche Methodik, also die Verknüpfung von Teilchenphysik und Statistik sowie von vorausgehenden theoretischen Überlegungen oder Erwartungen mit den dann ermittelten Ergebnissen eines Experiments, vorzustellen.

Der zweite Aspekt betrachtet den Aufbau und die Funktionsweise eines „modernen Großexperiments“ (z.B. LHC, ATLAS) sowie die damit verbundenen Herausforderungen, beispielsweise bei technischen Realisierungen. Den Schüler\*innen sollen Erzeugung und Nachweis von Teilchen erläutert und die Unterscheidung von Teilchen im Detektor bei einer Datenauswertung einer Messung erklärt werden.

## B.1 Ergebnisse der Evaluation des Vorbereitungskurses durch die Vermittler\*innen

Als drittes sollen die Schüler\*innen verstehen, dass Teilchenphysik etwas „Reales“ und nicht etwas „Abgehobenes“ ist und dass Wissenschaft spannend sein kann. Die Schüler\*innen sollen eigenständig wissenschaftliche Messungen durchführen und auswerten und die Teilchenphysik als erfahrbar und greifbar wahrnehmen.

Der letzte genannte Kernaspekt ist das Verständnis des Standardmodells der Teilchenphysik. Eine „relativ kleine Anzahl von Elementarteilchen kann sehr viele Phänomene und Teilchen auf kleinen Skalen beschreiben“. Dabei handelt es sich um ein theoretisches Konzept, das auch Grenzen hat.

Um sich in der Masterclass auf diese Kernaspekte fokussieren zu können, sollten die Schüler\*innen daher bereits Vorwissen mitbringen, an das angeknüpft werden kann. Das Standardmodell der Teilchenphysik oder der Detektoraufbau können viel einfacher und schneller erklärt werden, wenn zentrale Grundlagen und Fachbegriffe der Teilchenphysik den Schüler\*innen aus dem Vorbereitungskurs bekannt sind.

### **Welche Schwierigkeiten kennst Du aus Erfahrung, die beim Durchführen der Masterclass mit Schüler\*innen auftreten? Wo gibt es Verständnisprobleme und -fragen?**

Verständnisschwierigkeiten haben die Schüler\*innen laut den Vermittler\*innen damit, zu verstehen, warum das Standardmodell der Teilchenphysik eine so hohe Anzahl an Teilchen umfasst und wie man diese unter anderem bei einer Messung unterscheidet. Außerdem fällt es den meisten Schüler\*innen schwer, sowohl die Art und Weise der Wechselwirkungen zu begreifen und deren Beschreibung und Wirkung nachzuvollziehen als auch den Begriff und das Konzept des Austauschteilchens zu verstehen und die Teilchen den Kräften zuzuordnen. Den bisher genannten Verständnisproblemen kann durch eine Teilnahme am Vorbereitungskurs entgegengewirkt werden, da die den Schüler\*innen schwer fallenden Inhalte dort ausführlich eigenständig bearbeitet werden können. Die Vermittler\*innen sehen die Schwierigkeiten darin begründet, dass in den Einführungsvorträgen zu viele neue Informationen auf einmal vermittelt werden und dies die Schüler\*innen überfordert. Die nachlassende Aufmerksamkeit und zunehmende Müdigkeit während der beiden Vorträge führt zu notwendigen Wiederholungen von Inhalten bei der Auswertung der Messdaten. Die wichtigen Informationen beispielsweise zur Bedienung von „Minerva“ oder der Unterscheidung von Teilchen bei einer Messung wurden meistens erst am Ende der Vorträge behandelt, wenn die meisten Schüler\*innen nicht mehr aufmerksam waren. Aus diesem Grund liegen auch Verständnisprobleme beim Unterschied zwischen Transversalimpuls von Teilchen und fehlendem Transversalimpuls eines Ereignisses (MET) oder bei den Feynman-Diagrammen vor.

### **Was findest Du an dem Online-Vorbereitungskurs gut?**

Positiv wurden hier die Struktur und der Aufbau des Kurses, die Art und Weise der Erklärung wichtiger Aspekte anhand guter Beispiele aus dem Alltag sowie die Idee der Übungsaufgaben und des Abschlussquiz bewertet. Weiterhin wurden die Veranschaulichungen der Sachverhalte in Form von Grafiken, die Animationen im Kurskapitel über die Wechselwirkungen, die gelungene Einführung in das Standardmodell der Teilchenphysik und das Auftauchen wichtiger Schlüsselbegriffe als gut aufgefasst.

**Wo siehst Du potenzielle Schwierigkeiten beim Verständnis der Texte und Inhalte, der visuellen Darstellung der Sachverhalte oder der Struktur und des Aufbaus des Vorbereitungskurses? Hat etwas nicht funktioniert? Welche Verbesserungsvorschläge fallen Dir ein?**

Es wurde angemerkt, dass nach der Anmeldung eine Weiterleitung zu einer Übersichtsseite über alle Kurskapitel erfolgt, die sich aus unterschiedlichen Fenstern mit „irritierenden“ Scroll-Optionen zusammensetzt. Da der Kursinhalt bereits im ortsfesten Inhaltsverzeichnis am linken Rand aufgeführt ist und deshalb keine zusätzliche Übersicht benötigt wird, kann die Weiterleitung nach der Anmeldung direkt auf die Seite „Willkommen“ erfolgen. Die Navigation wurde allseits wegen der unterschiedlichen Scroll-Optionen aufgrund der Einbettung von Fenstern in weiteren Fenstern als „nicht intuitiv“ aufgefasst. Dies ist beispielsweise in den Kurskapiteln 4.1 und 4.2 bei den Fenstern zur „Animation Coulombkraft“ und zur „Animation Gravitationskraft“ der Fall, wobei bei letzterer aufgrund des unnötigen Scrollbars der wichtige letzte Satz des Kurskapitels 4.1 leicht übersehen werden könnte. Insgesamt wurde außerdem die wiederholte Aufforderung der Passwordeingabe während der Kursbearbeitung, das notwendige mehrfache Neuladen der Seite aufgrund der sich verbergenden Kurskapitelübersicht oder Inhalte sowie die teilweise auf Englisch angezeigten Steuerelemente der Übungen kritisiert. Letzteres kann nach Angabe der Vermittler\*innen aber auch an den Browsereinstellungen liegen. Gewünscht wird im Allgemeinen, wenn möglich, eine vermehrte Einbindung von Animationen oder Filmen und eine Kürzung der als „zu viel“ angesehenen Texte.

Zu der Grafik im Kurskapitel 3.1 „Bausteine der Materie“ wurde angemerkt, dass die Beschriftung „Proton, Neutron“ geteilt und jeweils deutlicher der zugehörigen Abbildung zugeordnet werden sollte. Außerdem würde die Platzierung des grauen Pfeils, der auf das Elektron zeigt, auf der rechten Seite der Grafik diese übersichtlicher gestalten. Insgesamt verschieben sich jedoch die grauen Pfeile bei einer Änderung der Fenstergröße des Kurses, so dass es von Vorteil wäre, die Pfeile in die Grafik ortsfest einzubinden. Darüber hinaus wäre es aus der Sicht der Vermittler\*innen sinnvoll, die elektrische Ladung des Protons und des Neutrons zusätzlich im Text zu nennen, da so der Grund für die zu Beginn des Kurskapitels 4 gestellte Frage „Warum ist es möglich, dass ein Atomkern aus mehreren sich elektrisch abstoßenden Protonen besteht?“ klarer wird. Außerdem wird die Textstelle „Jedes Atom besteht aus einem Atomkern und je nach Art des Atoms unterschiedlich vielen Elektronen.“ als „irritierend“ wahrgenommen, da sie suggerieren könnte, dass Elektronen im Atomkern vorkommen. Ein Vorschlag wäre die Formulierung in „Jedes Atom besteht aus einem Atomkern und je nach Zustand des Atoms aus unterschiedlich vielen Elektronen, die sich in der Hülle des Atoms befinden.“ zu ändern und den Sachverhalt durch eine Grafik visuell zu unterstützen.

Aus der Befragung der Vermittler\*innen geht zudem hervor, dass in den Lückentexten der Übungsaufgaben (vgl. Übung 3.2 Aufgabe 2, 6.3 Aufgabe 1) nur „exakte“ Antworten zugelassen werden und inhaltlich richtige Antworten bereits dann als falsch eingestuft werden, wenn die Einzahl anstelle der Mehrzahl oder die Kleinschreibung anstelle der Großschreibung verwendet wurde. Darüber hinaus wurde herausgefunden, dass es in der Übung 3.2 bei der Aufgabe 2 möglich ist, als Antwort dreimal „Elektron“ anzugeben, obwohl hier die eigentlich korrekte Antwort „Elektron“, „Up-Quark“ und „Down-Quark“ wäre. Die Möglichkeit, die Übung bei der Angabe einer als falsch angezeigten Antwort zu wiederholen, bevor die korrekte Lösung vollständig angegeben wird, besteht im Gegensatz zu allen anderen Übungsaufgaben nur in Übung 3.2 bei der Aufgabe 1. Es müsste folglich untersucht werden, ob die Art und Weise der Korrektur, wie sie in Aufgabe 1 vorliegt, auf die anderen Übungsaufgaben übertragen werden kann.

## B.1 Ergebnisse der Evaluation des Vorbereitungskurses durch die Vermittler\*innen

Im Kurskapitel 4 wird von den Vermittler\*innen gewünscht, die zweite und dritte Spalte der Tabelle zu tauschen, damit die Reihenfolge der Wechselwirkungsarten in der Tabelle der des Kapitelaufbaus und der Aufzählung im Text unter der Tabelle entspricht. Ein weiterer genannter Grund für diese Änderung ist, dass das Verständnis der elektromagnetischen Kraft Voraussetzung für die Frage ist „Warum ist es möglich, dass ein Atomkern aus mehreren sich elektrisch abstoßenden Protonen besteht?“. Festgestellt wurde außerdem, dass sich im Kurskapitel 4.1 bei der „Animation Gravitationskraft“ der Abstand  $r$  auf dem Schieberegler ebenfalls ändert, wenn man die Masse verstellt, und sich die Schieberegler als Gesamtkonstrukt im Fenster der Animation bewegen lassen. Hilfreich wäre zudem laut den Vermittler\*innen eine Beschriftung des positiven und negativen Bereichs an der Achse des Schiebereglers der Ladung im Kurskapitel 4.2 bei der „Animation Coulombkraft“. Außerdem sollten die Austauschteilchen der Wechselwirkungen nicht nur in Form einer Zusatzinformation vorgestellt werden, damit alle Schüler\*innen diese Teilchen vor der Masterclass bereits kennengelernt oder zumindest einmal gehört haben. Angemerkt wurde zusätzlich, dass im Kurskapitel 4.3 zum einen die starke Ladung als Ursache der starken Wechselwirkung genannt wird, die die Protonen im Atomkern zusammenhält, aber auf der anderen Seite auch, dass Protonen die starke Ladung Null haben. Nach der Ansicht eines Vermittlers wäre es sinnvoll, noch ein oder zwei Sätze zu ergänzen, um mögliche Fragestellungen dazu zu verhindern (s. Textvorschlag S. 102 f.). Außerdem wird im Kurskapitel 4.4 angemerkt, dass bei der Erwähnung des Anti-Neutrinos auf eine Erklärung der Anti-Materie-Teilchen im Kurskapitel 6.2 hingewiesen werden könnte und in der Übung 4.5. bei der Aufgabe 2 die Formulierung „rot, blau, gelb“ vielleicht für Verwirrung sorgen wird.

Das Kurskapitel 5 zu „Ladungen“ sowie die Übung 5.3 wird aus der Sicht der Vermittler\*innen als „wahrscheinlich zu schwer“ für die Schüler\*innen wahrgenommen. Darüber hinaus sollte bei Kurskapitel 6 mehr zu der 2. und 3. Generation der Elementarteilchen, insbesondere zum Myon als wichtigem Teilchen der in der Masterclass stattfindenden Messung, erwähnt werden. Eine Ergänzung des Kurskapitels um eine Grafik über das Standardmodell der Teilchenphysik würde den Schüler\*innen bereits einen ersten Überblick über die unterschiedlichen Teilchen verschaffen. Eine andere Idee der Vermittler\*innen zu der Gestaltung eines Ausblicks ist das Hinarbeiten auf die für den Detektor relevanten Konzepte. Ohne Vorbereitung könnte der „Schritt zum Detektor“ in der Masterclass „noch etwas weit“ sein. Die Lorentzkraft sollte zwar an sich nicht neu sein, aber das Verständnis des Detektors wäre aus Sicht eines Vermittlers sicherlich besser, wenn sie im Vorbereitungskurs Anwendung findet. Seiner Meinung nach sei das Standardmodell der Teilchenphysik in einem Vortrag ohne Vorwissen besser zu verstehen als das Detektorkonzept. Bei der Formulierung eines Ausblicks divergieren folglich die Meinungen der Vermittler\*innen. Es bleibt zu untersuchen, ob und inwieweit eine der hier vorgeschlagenen Formen eines Ausblicks sinnvoll, notwendig und umsetzbar wäre. Da nach Angaben der meisten Vermittler\*innen die Schüler\*innen aber eher Verständnisschwierigkeiten mit dem Standardmodell der Teilchenphysik als mit dem Detektorkonzept haben, wäre ein Ausblick zum Thema „Standardmodell der Teilchenphysik“ sinnvoller. Ein Vorteil wäre, dass sich das sechste Kurskapitel mit den Elementarteilchen befasst und die Überleitung zum Standardmodell der Teilchenphysik hier einfacher einzubetten ist.

### **Wie bewertest Du insgesamt den Online-Vorbereitungskurs als Vorbereitung auf die Masterclass? Inwieweit wird der angestrebte Zweck erfüllt?**

Zum Abschluss wurden die Vermittler\*innen gefragt, wie sie den Vorbereitungskurs an sich als Vorbereitung auf die Masterclass bewerten und inwieweit der damit angestrebte Zweck erfüllt wird. Die

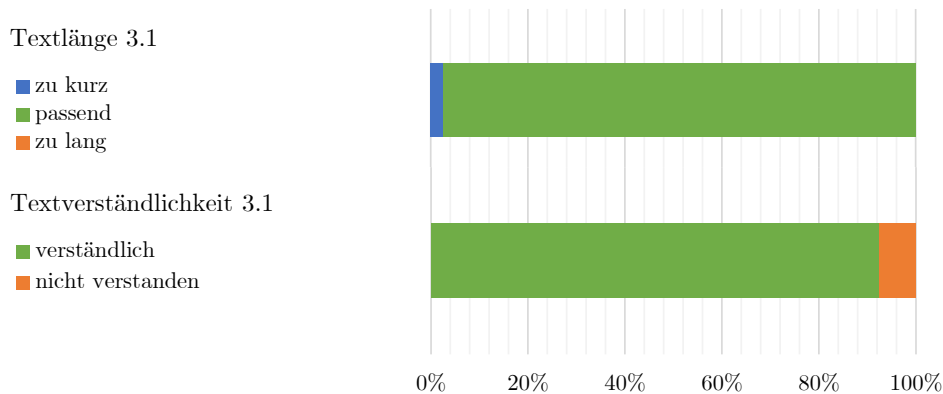
Idee eines Vorbereitungskurses wird positiv und die Inhalte werden als für die Masterclass wichtig und zu deren Verständnis beitragend wahrgenommen. Das Wissen über Experimente würde „getriggert“ und durch den Online-Vorbereitungskurs sei erstmals irgendeine Form der Vorbereitung auf die Masterclass möglich. Aus Sicht der Vermittler\*innen hätten die Schüler\*innen die Möglichkeit, sich in Eigenarbeit Zeit zu lassen, die Themen zu erarbeiten, und der Theorieteil der Einführungsvorträge würde so nicht mehr als „harte Kost“ wahrgenommen. Kritisiert wird hingegen, dass die Texte stellenweise „zu eintönig“ und „zu lang“ seien und der Kurs deshalb dahingehend noch Optimierungspotenzial hätte.

## B.2 Ergebnisse der detaillierten Evaluation des Vorbereitungskurses durch die Schüler\*innen

In diesem Kapitel werden die Evaluationsbögen aller Vorbereitungskurse ausgewertet. In den ersten drei Vorbereitungskursen wurde hierzu ein besonders ausführlicher Bogen (s. S. 42 ff.) an die 40 Schüler\*innen ausgeteilt, auf welchem eine differenzierte Betrachtung der einzelnen Kurskapitel erfolgte. Jedoch haben nicht alle Schüler\*innen alle Fragen beantwortet, sodass bezüglich eines jedem Kurskapitels eine andere Grundgesamtheit für die Berechnung vorliegt. Zur Bewertung des Gesamtkonzeptes des Vorbereitungskurses wurden die von allen 66 Teilnehmer\*innen beantworteten Abschlussfragen (s. S. 47) herangezogen, deren Ergebnisse in Kapitel 7.2 besprochen wurden.

Das erste und zweite Kapitel des Online-Vorbereitungskurses, die den Begrüßungstext und eine Kontaktadresse für „Hilfe und Support“ umfassen, waren nicht Gegenstand der Evaluation.

### Ergebnisse der Evaluation des Kapitels 3.1



"Die Bilder waren zu klein oder unscharf."

2 von 39

"Die Bilder haben mich beim Verständnis der Inhalte unterstützt"

85 %

Anmerkungen  
seitens der Schüler\*innen

"Was sind Up-/Down-Quarks?"

"Wo finde ich im Bild die Elektronen im Atom wieder?"



## B.2 Ergebnisse der detaillierten Evaluation des Vorbereitungskurses durch die Schüler\*innen

Die Länge des Textes „Bausteine der Materie“ im dritten Kurskapitel wurde von den Schüler\*innen als passend und der Inhalt als verständlich bewertet. 85% gaben an, dass die zugehörige Grafik dies unterstützte. Die genaue Definition von Up- und Down-Quarks sowie die Frage, wo die Elektronen in der Abbildung des Atoms zu finden sind, blieben manchen von ihnen jedoch weiterhin unklar. Aus diesem Grund müssen die Elektronen in der Grafik des Atoms in der Atomhülle ergänzt, die Zugehörigkeit der Up- und Down-Quarks zur Familie der Quarks erläutert und hierbei auf eine Erklärung in Kurskapitel 4.3 hingewiesen werden.

### Ergebnisse der Evaluation der Übung 3.2 Aufgabe 1

|   |          |
|---|----------|
| "Der Test konnte nicht starten."  | 1 von 39 |
| "Ich habe zuerst nicht verstanden, was ich machen soll."                                | 5 %      |
| "Die Aufgabe ist verständlich."   | 79 %     |
| "Ich habe zuerst nicht gewusst, wie man die Objekte verschieben kann."                  | 1 von 38 |
| "Das Verschieben der Objekte mit der Maus hat nicht funktioniert."                      | 0 von 38 |
| "Ich konnte die Bilder nicht erkennen, sie waren zu klein."                             | 0 von 38 |
| "Ich habe zuerst nicht gefunden, wo ich meine Antwort kontrollieren lassen kann."       | 42%      |
| "Ich habe die Korrektur meiner Antwort nicht verstanden."                               | 0 von 38 |
| "Ich habe die Aufgabe beim ersten Versuch richtig gelöst."                              | 63 %     |
| "Ich habe noch einmal in die Texte und Bilder geschaut und die Aufgabe erneut gemacht." | 8 %      |

Anmerkungen  
seitens der Schüler\*innen

- "Man muss scrollen, um zum Kontrollbutton zu kommen."
- "Es ist verwirrend, dass nach der 1. Aufgabe schon Antwort abgeben steht."
- "Mir fehlt die Beschreibung, dass die Quarks jeweils zu dritt auf sog. Strings sitzen."
- "Es gab ein Problem beim Wechsel der Aufgaben."

79% fanden die erste Übungsaufgabe (vgl. Übung 3.2) verständlich, wobei 42% zuerst nicht gefunden haben, an welcher Stelle sie ihre Antwort kontrollieren lassen können. Zudem bezeichnete ein Schüler den Wortlaut „Antwort abgeben“ nach der ersten Aufgabe als „verwirrend“. Der Button „Antwort abgeben“ sollte daher in „Antwort kontrollieren lassen“ umbenannt und die Kontrollmöglichkeit zu Aufgabenbeginn erwähnt werden, damit Schüler\*innen, die sich den Text vergrößert haben, nach unten scrollen und den entsprechenden Button finden können. Nach dem Bearbeiten dieser Aufgabe haben einige Schüler\*innen die Aufgabe wiederholt. Somit ist die angebotene Möglichkeit, die Frage noch einmal zu beantworten, an dieser Stelle angebracht.

## Anhang B Datenerhebung

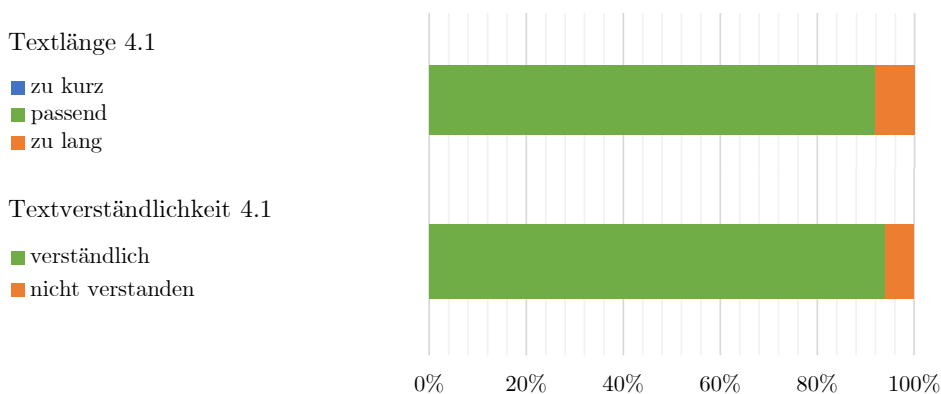
### Ergebnisse der Evaluation der Übung 3.2 Aufgabe 2

|   |          |
|---|----------|
| "Ich habe zuerst nicht verstanden, was ich machen soll."                                | 8 %      |
| "Die Aufgabe ist verständlich."   | 81 %     |
| "Das Ausfüllen der leeren Felder hat nicht funktioniert."                               | 1 von 36 |
| "Ich habe die Korrektur meiner Antwort nicht verstanden."                               | 2 von 36 |
| "Ich habe die Aufgabe beim ersten Versuch richtig gelöst."                              | 28 %     |
| "Ich habe noch einmal in die Texte und Bilder geschaut und die Aufgabe erneut gemacht." | 3 von 36 |

|  |   |
|--|---|
| Anmerkungen<br>seitens der Schüler*innen | "Beim Lückentext wären Multiple Choice Antworten besser."   |
|  | "Es wird nicht klar, ob Quarks im Allgemeinen gemeint sind, oder eine genauere Beschreibung verlangt wird." |
|  | "Up-/Down-Quarks wird nicht als Lösung akzeptiert, sondern nur Quarks."                                     |
|  | "Die Lösungen waren zuerst komisch dargestellt."  |
|  | "Die Korrektur ist wegen Rechtschreibfehlern falsch."   |

81% bewerteten die zweite Übungsaufgabe als verständlich und ein paar haben die Aufgabe wiederholt. Bei der Frage „Aus welchen Elementarteilchen bestehen Neutronen und Protonen?“ wird laut den Schüler\*innen „nicht klar, ob Quarks im Allgemeinen gemeint sind oder eine genauere Beschreibung verlangt wird“. Die Antwort „Up- und Down-Quarks“ wird als falsch gewertet und nur „Quarks“ werden als richtige Lösung akzeptiert. Dies sollte korrigiert werden. Der Vorschlag der Schüler\*innen, den Lückentext durch eine Multiple-Choice-Aufgabe zu ersetzen, würde ihnen zwar die Aufgabe vereinfachen, wäre aber aus didaktischer Sicht nicht angebracht, da so keine umfassende Kontrolle des Gelernten erfolgen kann.

### Ergebnisse der Evaluation des Kapitels 4.1



## B.2 Ergebnisse der detaillierten Evaluation des Vorbereitungskurses durch die Schüler\*innen

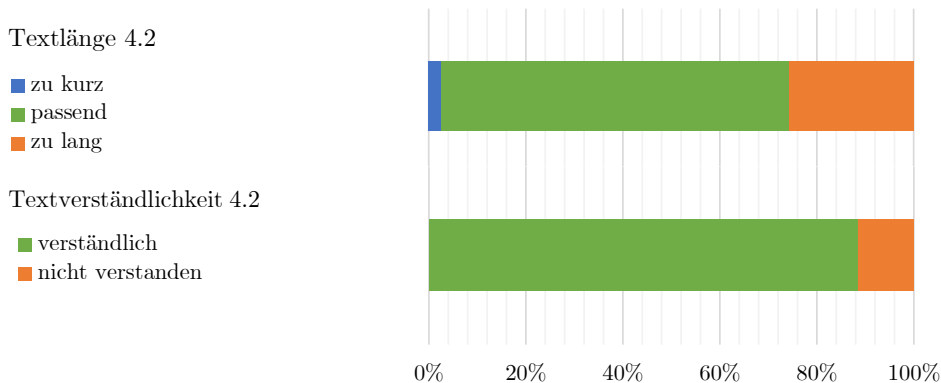
|  |          |
|--|----------|
| "Die Bilder waren zu klein oder unscharf."                       | 0 von 37 |
| "Die Bilder haben mich beim Verständnis der Inhalte unterstützt" | 68 %     |
| "Die Animation hat nicht funktioniert."                          | 16 %     |
| "Ich habe die Animation nicht verstanden."                       | 13 %     |
| "Die Animation hat mir geholfen, die Inhalte zu verstehen."      | 81 %     |

|  |   |
|--|---|
| Anmerkungen<br>seitens der Schüler*innen | "Die Animation lässt sich verschieben."   |
|  | "Die Elemente der Animation lassen sich verschieben."   |
|  | "Wo sehe ich Änderungen der Gravitation?"   |
|  | "Es ist eine gute Animation."   |
|  | "Die Kräfte in der Animation haben sich teilweise überlappt und waren schwer auseinander zu halten."  |
|  | "Der Begriff der Animation ist verwirrend, da erwartet wurde, dass die Abbildung sich von selbst bewegt, vielleicht wäre der Begriff Simulation passender." |
|  | "Abstand $r$ nicht gefunden"  |

Die Einleitung in das vierte Kurskapitel „Die vier fundamentalen Wechselwirkungen“ sowie das erste Kurskapitel 4.1 „Gravitation“ waren für die meisten Schüler\*innen von der Länge her akzeptabel und inhaltlich verständlich.

Bei 16% hat jedoch die Animation nicht funktioniert und 13% haben diese nicht verstanden. Dies waren allerdings primär Schüler\*innen des ersten Vorbereitungskurses, sodass man die Probleme auf die schlechte Internetverbindung und die Nutzung der Smartphones (s. Kapitel 4.2) zurückführen kann. Durch eigene Tests konnte jedoch bestätigt werden, dass die Animationen auf dem Smartphone funktionieren. Zudem waren ein paar Schüler\*innen aufgrund des Begriffs „Animation“ zuerst fälschlicherweise davon ausgegangen, dass ein Film abläuft oder sich etwas ohne ihr Zutun bewegt. Die aufgrund der Scrollbars unhandliche Bedienung der Animationen sollte durch eine Fixierung aller Animationen auf der Oberfläche der jeweiligen Seite vereinfacht werden. Selbiges gilt für die Einstellbalken der Parameter, die sich in den jeweiligen Fenstern frei verschieben lassen. Für ein besseres Verständnis der Animation sollte der zugehörige Erklärungstext präziser formuliert und auf die verwendete Farbgebung, die Bedeutung der Pfeile und deren Längenänderung eingegangen werden. Außerdem wurde angemerkt, dass sich die Kraftpfeile in der Animation bei bestimmten Einstellungen überlappen und dann schwer zu unterscheiden sind. Es ist daher sinnvoll, die Pfeile zu vergrößern und für eine bessere Erkennbarkeit etwas dicker darzustellen.

**Ergebnisse der Evaluation des Kapitels 4.2**



|   |          |
|---|----------|
| "Die Bilder waren zu klein oder unscharf."                          | 0 von 39 |
| "Die Bilder haben mich beim Verständnis der Inhalte unterstützt"    | 62 %     |
| "Die Animation hat nicht funktioniert."                             | 13 %     |
| "Ich habe die Animation nicht verstanden."                          | 2 von 39 |
| "Die Animation hat mir geholfen, die Inhalte zu verstehen."         | 88 %     |
| "Ich habe die Zusatzinformation gelesen."                           | 46 %     |
| "Die Zusatzinformation war nicht verständlich."                     | 1 von 18 |
| "Die Bilder in der Zusatzinformation waren zu klein oder unscharf." | 1 von 18 |
| "Ich habe die Bilder in der Zusatzinformation nicht verstanden"     | 2 von 18 |

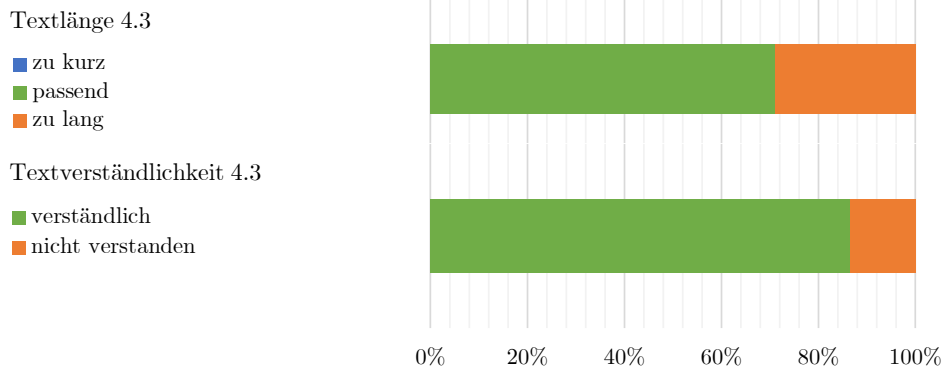
|  |  |
|--|--|
| Anmerkungen<br>seitens der Schüler*innen | "Die Formeln und Variablen waren unscharf abgebildet."       |
|  | "Zu viele Formeln"   |
|  | "Die Zusatzinformation war zu lang."                         |
|  | "Die Zusatzinformation hat nicht geladen."                   |
|  | "Zu kompliziert geschrieben."                                |
|  | "Warum lässt ein Bumerang die zwei Boote zueinander laufen?" |
|  | "Bild und Zusatzinformation eher schwer verständlich."       |

Sowohl die Länge des Textes „Elektromagnetische Wechselwirkung“ im Kurskapitel 4.2 als auch die Auseinandersetzung mit dem Inhalt wurde von den meisten Schüler\*innen als nachvollziehbar bewertet. Da jedoch 26% der Schüler\*innen der Text zu lang war, muss untersucht werden, ob eine Kürzung des Textes ohne einen Informationsverlust vorgenommen werden kann. Zusätzlich sollte die Bildauflösung der eingefügten Variablen und Formeln innerhalb des Textes geprüft werden. Bei vielen Schüler\*innen haben die Animation und die Grafik das Verständnis der Inhalte unterstützt. 46% haben die Zusatzinformation gelesen. Einzelne Schüler\*innen haben diese nicht verstanden oder fanden sie zu lang. Dabei fragte sich ein Schüler, warum sich die zwei Boote durch den Wurf eines Bumerangs auf einander zu bewegen. Im Text muss zusätzlich erläutert werden, dass die Boote einen Rückstoß und somit eine Kraft aufeinander zu erfahren. In beiden Analogien in der Zusatzinformation muss die Krafrichtung im Text beschrieben werden. Um die Seite der Zusatzinformation übersichtlicher zu gestalten, wäre es besser, den Textfluss die Bilder einrahmen zu lassen und die Grafiken

## B.2 Ergebnisse der detaillierten Evaluation des Vorbereitungskurses durch die Schüler\*innen

zur anziehenden und abstoßenden Kraft nebeneinander zu platzieren. So vermeidet man, dass Leere einen Großteil der Seite ausfüllt, und erreicht ein eher kompakteres Layout.

### Ergebnisse der Evaluation des Kapitels 4.3



|   |           |
|---|-----------|
| "Die Bilder waren zu klein oder unscharf."                          | 1 von 39  |
| "Die Bilder haben mich beim Verständnis der Inhalte unterstützt"    | 67 %      |
| "Ich habe die Zusatzinformation gelesen."                           | 41 %      |
| "Die Zusatzinformation war verständlich."                           | 16 von 16 |
| "Die Bilder in der Zusatzinformation waren zu klein oder unscharf." | 0 von 16  |
| "Ich habe die Bilder in der Zusatzinformation nicht verstanden"     | 0 von 16  |

|  |  |
|--|--|
| Anmerkungen<br>seitens der Schüler*innen | "Die Wechselwirkung müssen besser erklärt werden."                 |
|  | "Warum muss die Ladung von Quarks zweidimensional gesehen werden?" |
|  | "Ich habe die Zusammensetzung des Protons nicht verstanden."       |
|  | "Es gab Probleme mit den Kapitelreitern."                          |
|  | "Die Animation war komplett verschiebbar."                         |

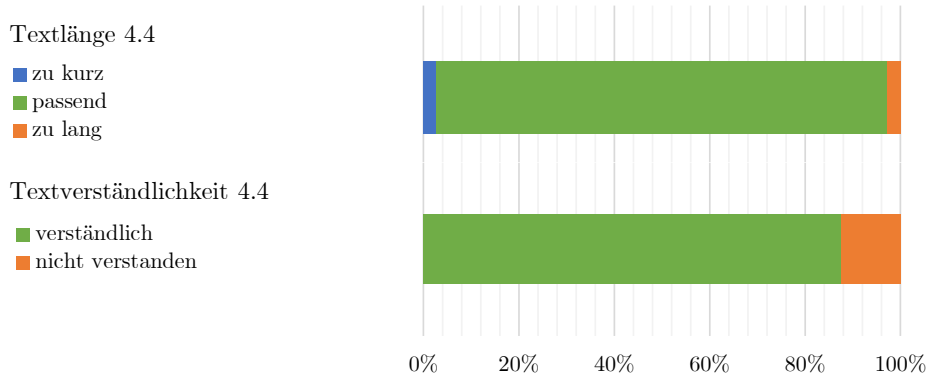
29% der Schüler\*innen empfanden den Text bezüglich Kurskapitel 4.3 „Starke Wechselwirkung“ als zu lang und 14% als unverständlich. Der Abschnitt „Wie kann die starke Wechselwirkung erklärt werden?“ bereitete ein paar Schüler\*innen Probleme. Nicht verstanden wurde die Zusammensetzung des Protons und die Betrachtung der Ladung als zweidimensionale Größe. Um ersteres besser zu erklären, sollten die Abkürzungen „u“ und „d“ in der Grafik „Veranschaulichung eines Protons“ erläutert und bezüglich der Farbgebungen auf den unteren Teil des Textes hingewiesen werden. Der Abschnitt, in dem der Farbladungsvektor erklärt wird, ist für die Masterclass nicht unbedingt relevant. Daher könnte er in Form einer Zusatzinformation für die Schüler\*innen zugänglich gemacht werden. Für den weiteren Inhalt des Kurses ist nur relevant, dass der Farbladungsvektor die Farbladung eines Teilchens beschreibt (s. Textvorschlag S. 102 f.).

Insgesamt haben nur 41% die Zusatzinformation gelesen. Da es aber von Vorteil wäre, dass die Schüler\*innen vor der Masterclass zumindest die Begriffe „Botenteilchen“ oder „Austauschteilchen“,

## Anhang B Datenerhebung

„Gluon“, „Photon“ und „Bosonen“ gehört haben, sollten diese Informationen nicht in Form einer Zusatzinformation vermittelt werden, zumal alle Schüler\*innen, mit vereinzelt Ausnahmen, die drei Zusatzinformationen zu den Austauschteilchen verstanden haben.

### Ergebnisse der Evaluation des Kapitels 4.4



|   |   |
|---|---|
| "Die Bilder waren zu klein oder unscharf."                          | 2 von 36  |
| "Die Bilder haben mich beim Verständnis der Inhalte unterstützt"    | 75 %  |
| "Ich habe die Zusatzinformation gelesen."                           | 42 %  |
| "Die Zusatzinformation war verständlich."                           | 14 von 15   |
| "Die Bilder in der Zusatzinformation waren zu klein oder unscharf." | 1 von 15  |
| "Ich habe die Bilder in der Zusatzinformation nicht verstanden"     | 0 von 15  |
| Anmerkungen<br>seitens der Schüler*innen                            | "Die Zusatzinformation hat nicht geladen"             |
|   | "Die Beta-Umwandlung wurde als Grundwissen benötigt." |
|   | "Zu ungenau geschrieben."                             |

Länge und Inhalt des Textes „Schwache Wechselwirkung“ im Kurskapitel 4.4 wurden von den meisten Schüler\*innen als gut und verständlich angesehen. 13% hatten aber Probleme mit den vermittelten Informationen, insbesondere deshalb, weil der Beta-Zerfall im Unterricht noch nicht behandelt worden war und dessen Erklärung im Vorbereitungskurs diesen Schüler\*innen nicht ausreichte. 75% der Schüler\*innen gaben aber an, dass die Bilder sie beim Verständnis unterstützten.

## B.2 Ergebnisse der detaillierten Evaluation des Vorbereitungskurses durch die Schüler\*innen

### Ergebnisse der Evaluation der Übung 4.5 Aufgabe 1

|   |          |
|---|----------|
| "Der Test konnte nicht starten."  | 8 %      |
| "Die Aufgabe ist verständlich."   | 94 %     |
| "Ich habe zuerst nicht verstanden, was ich machen soll."                                | 0 von 34 |
| "Das Markieren der Felder für meine Antworten in der Tabelle hat nicht funktioniert."   | 1 von 34 |
| "Ich habe die Korrektur meiner Antwort nicht verstanden."                               | 1 von 33 |
| "Ich habe die Aufgabe beim ersten Versuch richtig gelöst."                              | 51 %     |
| "Ich habe noch einmal in die Texte und Bilder geschaut und die Aufgabe erneut gemacht." | 12 %     |

### Ergebnisse der Evaluation der Übung 4.5 Aufgabe 2

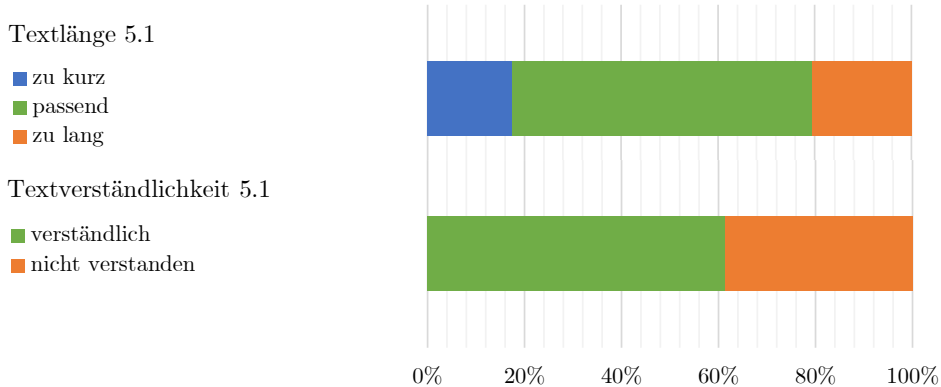
|   |          |
|---|----------|
| "Die Aufgabe ist verständlich."   | 84 %     |
| "Ich habe zuerst nicht verstanden, was ich machen soll."                                | 2 von 37 |
| "Das Anklicken der Felder hat nicht funktioniert."                                      | 2 von 37 |
| "Ich habe die Korrektur meiner Antwort nicht verstanden."                               | 11 %     |
| "Ich habe die Aufgabe beim ersten Versuch richtig gelöst."                              | 46 %     |
| "Ich habe noch einmal in die Texte und Bilder geschaut und die Aufgabe erneut gemacht." | 6 %      |

|  |  |
|--|--|
| Anmerkungen<br>seitens der Schüler*innen | "Es gibt einen Rechtschreibfehler: Du hast alle korrekten Aussagen richtig erkannt." |
|  | "Besser, wenn man alle falschen Aussagen rot markiert müsste."                       |
|  | "Ich habe die Markierungen genau andersherum gesetzt."                               |

94% fanden die erste Übungsaufgabe der Übung 4.5 verständlich. Da 12% der Schüler\*innen diese Übungsaufgabe und 26% die Übung 5.3 wiederholt haben, sollte analog zur Übung 3.2 an dieser Stelle und bei allen anderen Übungen ebenfalls ein Button mit der Aufschrift „Frage noch einmal beantworten“ eingerichtet werden. Bei der zweiten Aufgabe der Übung 4.5 haben mehrere Schüler\*innen die Korrektur ihrer Antwort nicht verstanden. Der Grund dafür war, dass sie die Aufgabenstellung nicht genau gelesen und den Aufgabentitel „Fehlersuche“ so interpretiert hatten, als dass sie die falschen Felder markieren sollten. Es wäre sinnvoll, die Aufgabenstellung von dem betrachteten Aufgabentext abzurücken, den Arbeitsauftrag „Markiere die richtigen Felder“ zu unterstreichen und bei einer Markierung das Feld grün einzufärben, um auf die ihm zugeordnete Richtigkeit hinzuweisen. Oder es wird, dem Vorschlag eines Schülers folgend, die Aufgabe so geändert, dass alle falschen Aussagen rot markiert werden müssen.

## Anhang B Datenerhebung

### Ergebnisse der Evaluation des Kapitels 5.1

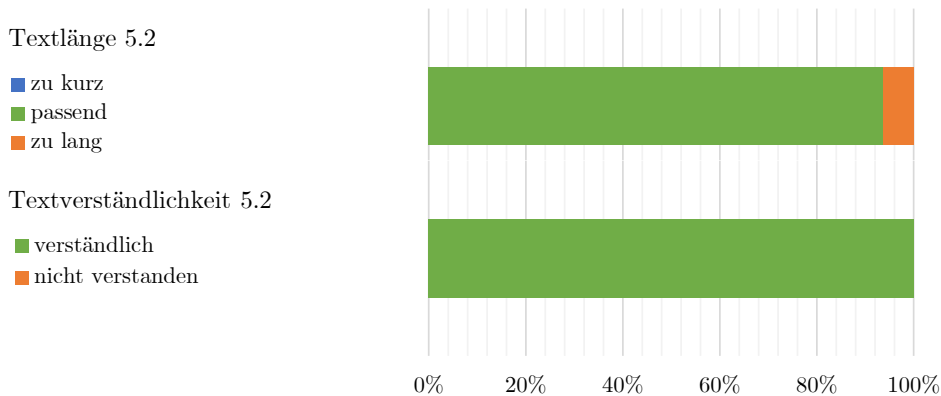


Anmerkungen  
seitens der Schüler\*innen

"Die Addition der Teilchenladungen wurde zu wenig behandelt."  
"Keine Bilder, die beim Verständnis helfen."  
"Formeln bringen einen durcheinander evtl. mit Bildern erklären."

18% der Schüler\*innen empfanden den Text im Kurskapitel 5.1 „Eigenschaften von Ladungen“ als zu lang und 39% als unverständlich. Geäußerte Gründe waren beispielsweise, dass die Addition der Teilchenladungen zu wenig behandelt wurde und dass an dieser Stelle keine Bilder das Verständnis und insbesondere die Bedeutung der Formeln unterstützen. Analog zur Abbildung im Kurskapitel 4.3 „Veranschaulichung eines Protons“ kann hier die Addition elektrischer Ladungszahlen anhand einer Grafik des Neutrons erklärt werden. Insgesamt kann das Layout dieser Seite aufgewertet werden, indem vermehrt Absätze gesetzt und die Formeln eingerückt werden.

### Ergebnisse der Evaluation des Kapitel 5.2





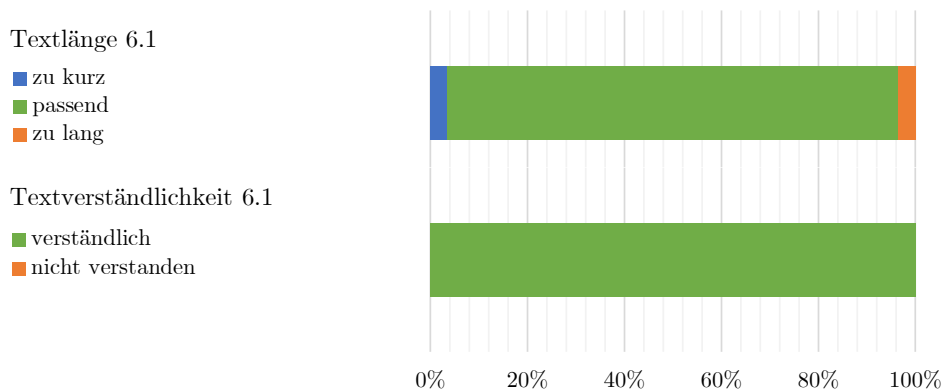
## B.2 Ergebnisse der detaillierten Evaluation des Vorbereitungskurses durch die Schüler\*innen

### Ergebnisse der Evaluation der Übung 5.3

|   |          |
|---|----------|
| "Der Test konnte nicht starten."  | 13 %     |
| "Die Aufgabe ist verständlich."   | 81 %     |
| "Ich habe zuerst nicht verstanden, was ich machen soll."                                | 4 von 27 |
| "Das Verschieben der Objekte mit der Maus hat nicht funktioniert."                      | 0 von 27 |
| "Ich habe die Korrektur meiner Antwort nicht verstanden."                               | 0 von 27 |
| "Ich habe die Aufgabe beim ersten Versuch richtig gelöst."                              | 41 %     |
| "Ich habe noch einmal in die Texte und Bilder geschaut und die Aufgabe erneut gemacht." | 26 %     |

Die Länge der Texte „Was machen Ladungen?“ im Kurskapitel 5.2 und „Elementarteilchen der Materie“ im Kurskapitel 6.1 wurden von fast allen Schüler\*innen als von der Länge her geeignet und von allen als verständlich aufgefasst. 69% haben angegeben, dass die Grafik sie beim Verständnis der Inhalte unterstützte.

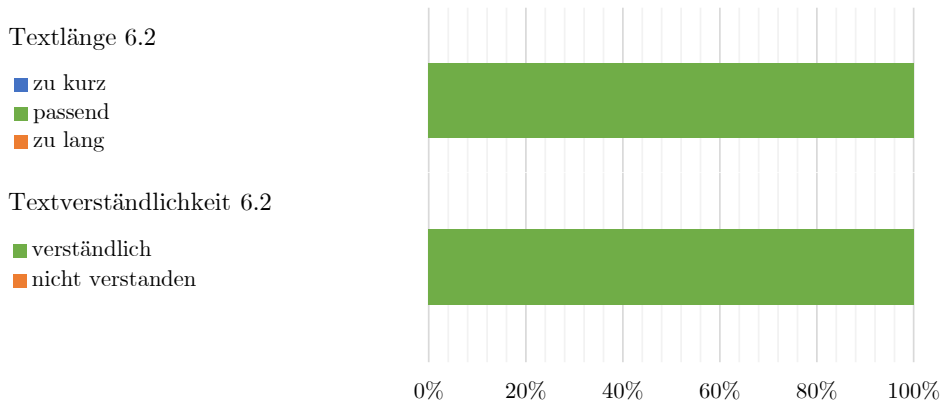
### Ergebnisse der Evaluation des Kapitels 6.1



|   |      |
|---|------|
| "Nach der Übung 5.3. musste ich die Seite erneut laden und das Passwort eingeben, um zu Kapitel 6 zu gelangen." | 10 % |
| "Die Bilder waren zu klein oder unscharf."  | 83 % |
| "Die Bilder haben mich beim Verständnis der Inhalte unterstützt"  | 69 % |

## Anhang B Datenerhebung

### Ergebnisse der Evaluation des Kapitels 6.2



|  |          |
|--|----------|
| "Die Bilder waren zu klein oder unscharf."                       | 81 %     |
| "Die Bilder haben mich beim Verständnis der Inhalte unterstützt" | 81 %     |
| "Die Animation hat nicht funktioniert."                          | 23 %     |
| "Ich habe die Animation nicht verstanden."                       | 2 von 26 |
| "Die Animation hat mir geholfen, die Inhalte zu verstehen."      | 65 %     |

Jedoch waren 83% bzw. 81% die Grafiken „Übersicht: Ladungen der Elementarteilchen der Materie“ und die über die Anti-Teilchen im Kurskapitel 6.2 zu klein oder zu unscharf. Diese müssen folglich größer und vor allem schärfer dargestellt werden. Es bietet sich hier an, eine Funktion zu implementieren, die Bilder durch Anklicken vergrößert darstellt. Die Auflistung der in den Grafiken verwendeten Abkürzungen und Variablen in einer übersichtlichen Tabelle neben dem Bild würde sicherlich zu einem verbesserten Verständnis führen.

Alle Schüler\*innen fanden den Text im Kurskapitel 6.2 verständlich und seine Länge angebracht. 81% hat die Grafik „Übersicht: Ladungen der Anti-Elementarteilchen“ weitergeholfen, die Animation wurde ebenfalls als hilfreich bewertet.

### Ergebnisse der Evaluation der Übung 6.3 Aufgabe 1

|   |          |
|---|----------|
| "Der Test konnte nicht starten."  | 1 von 24 |
| "Die Aufgabe ist verständlich."   | 91 %     |
| "Ich habe zuerst nicht verstanden, was ich machen soll."                                | 2 von 23 |
| "Das Ausfüllen der leeren Felder hat nicht funktioniert."                               | 0 von 23 |
| "Ich habe die Korrektur meiner Antwort nicht verstanden."                               | 0 von 23 |
| "Ich habe die Aufgabe beim ersten Versuch richtig gelöst."                              | 43 %     |
| "Ich habe noch einmal in die Texte und Bilder geschaut und die Aufgabe erneut gemacht." | 9 %      |

## B.2 Ergebnisse der detaillierten Evaluation des Vorbereitungskurses durch die Schüler\*innen

Die meisten Schüler\*innen fanden beide Aufgaben der Übung 6.3 verständlich. In der zweiten war jedoch nicht allen klar, dass mehrere Haken pro Zeile gesetzt werden können. Daher wäre es gut, die Aufgabenstellung um den Zusatz „Du kannst pro Teilchen mehrere Haken setzen.“ zu ergänzen. Außerdem haben bei der zweiten Aufgabe 10% die Korrektur ihrer Antwort nicht verstanden. Deshalb sollte an dieser Stelle im Informationstext nicht nur auf die beiden Tabellen, sondern zusätzlich auch auf die Bildunterschriften und explizit auf das jeweilige Kurskapitel, in dem die Lösungen zu finden sind, hingewiesen werden. Da nur 33% diese Aufgabe beim ersten Mal richtig gelöst haben, ist es umso notwendiger, diese beiden Tabellen stärker hervorzuheben und größer abzubilden.

### Ergebnisse der Evaluation der Übung 6.3 Aufgabe 2

|   |  |
|---|--|
| "Die Aufgabe ist verständlich."   | 73 %   |
| "Ich habe zuerst nicht verstanden, was ich machen soll."                                | 3 von 22   |
| "Das Markieren der Felder für meine Antworten in der Tabelle hat nicht funktioniert."   | 1 von 22   |
| "Ich habe die Korrektur meiner Antwort nicht verstanden."                               | 10 %   |
| "Ich habe die Aufgabe beim ersten Versuch richtig gelöst."                              | 33 %   |
| "Ich habe noch einmal in die Texte und Bilder geschaut und die Aufgabe erneut gemacht." | 10 %   |
| Anmerkungen<br>seitens der Schüler*innen  | "Ich wusste nicht, dass man zwei Sachen gleichzeitig ankreuzen kann."<br>"Der Kapitelreiter funktioniert nicht."<br>"Es musste sich zuerst neu angemeldet werden." |

Im Abschlussquiz gab es bei keiner Frage größere Verständnisprobleme, und die Korrektur der Antworten war immer verständlich. Die ersten beiden Fragen zu den Elementarteilchen sowie die dritte Frage zu den vier fundamentalen Wechselwirkungen wurden am häufigsten richtig beantwortet. Die meisten Schwierigkeiten bereitete hingegen die siebte Frage über die Bestandteile des Atoms. Hier wurde oft vergessen, dass das Proton im Atomkern eine Substruktur besitzt, so dass das Up-Quark ebenfalls Bestandteil des Atoms ist. Bei der vierten, fünften und sechsten Frage wurde angemerkt, dass sich diese Fragestellungen auf Wissen beziehen, das nicht im Kurs behandelt wird. Zu Beginn des Abschlussquiz findet sich jedoch der Hinweis darauf, dass dieses auch ein paar Fragen beinhaltet, deren Antwort geschätzt werden sollen.

## Anhang B Datenerhebung

### Ergebnisse der Evaluation des Abschlussquiz

|   |   |
|---|---|
| "Nach der Übung 6.3. musst ich die Seite erneut laden und das Passwort eingeben, um zum Abschlussquiz zu gelangen." | 6 %   |
| "Der Test konnte nicht starten."  | 2 von 31  |
|   | Frage 1: 1 Mal<br>Frage 2: 0 Mal<br>Frage 3: 1 Mal<br>Frage 4: 0 Mal<br>Frage 5: 0 Mal<br>Frage 6: 0 Mal<br>Frage 7: 2 Mal<br>Frage 8: 0 Mal                  |
| "Folgende Frage habe ich zuerst nicht verstanden:"  |   |
|   | Frage 1: 0 Mal<br>Frage 2: 0 Mal<br>Frage 3: 0 Mal<br>Frage 4: 1 Mal<br>Frage 5: 2 Mal<br>Frage 6: 1 Mal<br>Frage 7: 2 Mal<br>Frage 8: 1 Mal                  |
| "Bei der Frage hatte ich ein Problem:"  |   |
|   | Frage 1: 0 Mal<br>Frage 2: 0 Mal<br>Frage 3: 0 Mal<br>Frage 4: 1 Mal<br>Frage 5: 2 Mal<br>Frage 6: 1 Mal<br>Frage 7: 2 Mal<br>Frage 8: 1 Mal                  |
| "Ich habe die Korrektur meiner Antwort bei einer Frage nicht verstanden."   | 0 von 31  |
|   | Frage 1: 16 Mal<br>Frage 2: 17 Mal<br>Frage 3: 16 Mal<br>Frage 4: 11 Mal<br>Frage 5: 12 Mal<br>Frage 6: 9 Mal<br>Frage 7: 8 Mal<br>Frage 8: 9 Mal             |
| Anmerkungen<br>seitens der Schüler*innen  | "Die Fragen 4,5,6 benötigen nicht im Kurs behandeltes Vorwissen."<br>"Der Teilchenbeschleuniger und das CERN werden im Quiz, aber nicht im Material erwähnt." |

## B.2 Ergebnisse der detaillierten Evaluation des Vorbereitungskurses durch die Schüler\*innen

Das häufigste genannte technische Problem war das wiederholte Neuladen der Seite und die damit verbundene Aufforderung, erneut das Passwort einzugeben. Dies wurde notwendig, wenn der Test nicht gestartet werden konnte, die Animation nicht funktionierte oder sich das Inhaltsverzeichnis nicht mehr einblenden ließ. Manchmal wurden die Schüler\*innen auch beim Wechsel der Kurskapitel erneut zur Passworteingabe aufgefordert. Insgesamt gaben 53% beziehungsweise 37% an, das Passwort entweder sehr oft beziehungsweise oft eingegeben haben zu müssen.

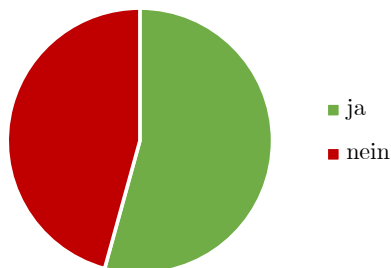
Den Vorschlag, durch Anklicken der Bilder diese zu vergrößern und eine gut bedienbare Version des Kurses für das Smartphone zu realisieren, teilten ebenfalls viele Schüler\*innen. Zusätzlich sprachen sie sich für mehr Absätze, größere und schärfere Bilder und die Kürzung langer Texte aus. Unabhängig von den angegebenen Antwortmöglichkeiten forderten einige Schüler\*innen das Einsetzen von mehr Bildmaterial, ein übersichtlicheres und kompakteres Layout sowie die Formatierung der Zusatzinformation analog zu den Kurskapiteln und ein dauerhaft fixiertes Inhaltsverzeichnis für eine verbesserte Orientierung.

### Zusätzliche Ergebnisse der Abschlussfragen

Bewertung des Online-Vorbereitungskurs insgesamt: 1,8  
(1 = sehr gut, 4 = schlecht, 47 Bewertungen)

Passworteingabe insgesamt: 53 % sehr oft, 37% oft  
(38 Angaben)

Bearbeitung des Vorbereitungskurses im Rahmen einer Hausaufgabe



#### Contra

"Zu zeitaufwändig."  
"Man kann bei technischen und inhaltlichen Problemen keine Rückfragen stellen."  
"Gerade im Grundkurs fehlt das Interesse und die Motivation."  
"Keiner macht Hausaufgaben."  
"Zu viele Hausaufgaben in anderen Fächern."

#### Pro

"Der Kurs ist sehr verständlich und gut machbar."  
"Es ist ein angemessener Zeitumfang."  
"Man kann sich Zuhause besser darauf konzentrieren."  
"Der Kurs ist selbsterklärend."  
"Es gab keine großen Schwierigkeiten bei der Bedienung."

## Tabellarische Übersicht über die Ergebnisse der detaillierten Evaluation des Online-Vorbereitungskurses durch die Schüler\*innen

| Klasse/VK                           | GK 11<br>VK 1 | GK 11<br>VK 2 | GK 11<br>VK 3 | gesamt | Klasse/VK                           | GK 11<br>VK 1 | GK 11<br>VK 2 | GK 11<br>VK 3 | gesamt |
|-------------------------------------|---------------|---------------|---------------|--------|-------------------------------------|---------------|---------------|---------------|--------|
| Durchschnittsalter                  | 17            | 18            | 17            | 17     | 3.2.2.                              | 14            | 9             | 13            | 36     |
| w                                   | 3             |               | 6             | 9      | Aufgabe verständlich                | 9             | 7             | 13            | 29     |
| m                                   | 14            | 10            | 8             | 32     | Aufgabe zuerst nicht verstanden     | 1             | 2             | 0             | 3      |
| d                                   | -             | -             | -             | -      | Ausfüllen hat nicht funktioniert    | 1             | 0             | 0             | 1      |
| 3.1.                                | 16            | 10            | 13            | 39     | Korrektur nicht verstanden          | 0             | 2             | 0             | 2      |
| zu kurz                             | 1             | 0             | 0             | 1      | Aufgabe beim ersten Versuch richtig | 3             | 3             | 4             | 10     |
| passend                             | 15            | 10            | 13            | 38     | Aufgabe erneut gemacht              | 3             | 0             | 0             | 3      |
| zu lang                             | 0             | 0             | 0             | 0      | 4.                                  | 16            | 10            | 13            | 39     |
| verständlich                        | 14            | 10            | 12            | 36     | Seite erneut laden                  | 0             | 0             | 5             | 5      |
| nicht verstanden                    | 0             | 0             | 1             | 1      | zu kurz                             | 1             | 3             | 0             | 4      |
| Bild klein/unscharf                 | 2             | 0             | 0             | 2      | passend                             | 12            | 6             | 13            | 31     |
| Bilder unterstützen Verständnis     | 15            | 7             | 11            | 33     | zu lang                             | 2             | 0             | 0             | 2      |
| 3.2.1.                              | 16            | 10            | 13            | 39     | verständlich                        | 13            | 8             | 13            | 34     |
| Test konnte nicht starten           | 1             | 0             | 0             | 1      | nicht verstanden                    | 0             | 2             | 0             | 2      |
| Aufgabe zuerst nicht verstanden     | 1             | 1             | 0             | 2      | Bild klein/unscharf                 | 1             | 0             | 0             | 1      |
| Aufgabe verständlich                | 12            | 7             | 11            | 30     | Bilder unterstützen Verständnis     | 11            | 5             | 9             | 25     |
| wie Objekte verschieben             | 1             | 0             | 0             | 1      | 4.1.                                | 15            | 9             | 13            | 37     |
| verschieben hat nicht funktioniert  | 0             | 0             | 0             | 0      | zu kurz                             | 0             | 0             | 0             | 0      |
| Bilder zu klein                     | 0             | 0             | 0             | 0      | passend                             | 15            | 10            | 9             | 34     |
| wo Antwort kontrollieren lassen     | 3             | 5             | 8             | 16     | zu lang                             | 0             | 0             | 3             | 3      |
| Korrektur nicht verstanden          | 0             | 0             | 0             | 0      | verständlich                        | 14            | 9             | 9             | 32     |
| Aufgabe beim ersten Versuch richtig | 11            | 6             | 7             | 24     | nicht verstanden                    | 0             | 0             | 2             | 2      |
| Aufgabe erneut gemacht              | 1             | 2             | 0             | 3      | Bild klein/unscharf                 | 0             | 0             | 0             | 0      |
|                                     |               |               |               |        | Bilder unterstützen Verständnis     | 10            | 6             | 9             | 25     |
|                                     |               |               |               |        | Animation hat nicht funktioniert    | 6             | 0             | 0             | 6      |
|                                     |               |               |               |        | Animation nicht verstanden          | 4             | 0             | 0             | 4      |
|                                     |               |               |               |        | Animation unterstützte Verständnis  | 8             | 7             | 10            | 25     |

| Klasse/VK                                      | GK<br>11<br>VK 1 | GK<br>11<br>VK 2 | GK<br>11<br>VK 3 | gesamt |
|--|------------------|------------------|------------------|--------|
| 4.2.   | 16               | 10               | 13               | 39     |
| zu kurz  | 0                | 1                | 0                | 1      |
| passend  | 10               | 9                | 9                | 28     |
| zu lang  | 6                | 0                | 4                | 10     |
| verständlich                                   | 12               | 8                | 11               | 31     |
| nicht<br>verstanden                            | 2                | 0                | 2                | 4      |
| Bild<br>klein/unscharf                         | 0                | 0                | 0                | 0      |
| Bilder<br>unterstützen<br>Verständnis          | 9                | 7                | 8                | 24     |
| Animation<br>hat nicht<br>funktioniert         | 4                | 0                | 1                | 5      |
| Animation<br>nicht<br>verstanden               | 1                | 0                | 1                | 2      |
| Animation<br>unterstützte<br>Verständnis       | 11               | 9                | 10               | 30     |
| Zusatzinfo<br>gelesen                          | 7                | 5                | 6                | 18     |
| Zusatzinfo<br>verständlich                     | 5                | 5                | 4                | 14     |
| Zusatzinfo<br>nicht<br>verstanden              | 0                | 0                | 1                | 1      |
| Bilder in<br>Zusatzinfo<br>klein/unscharf      | 1                | 0                | 0                | 1      |
| Bilder in<br>Zusatzinfo<br>nicht<br>verstanden | 0                | 0                | 2                | 2      |
| 4.3.   | 16               | 10               | 13               | 39     |
| zu kurz  | 0                | 0                | 0                | 0      |
| passend  | 9                | 7                | 11               | 27     |
| zu lang  | 7                | 2                | 2                | 11     |
| verständlich                                   | 13               | 7                | 11               | 31     |
| nicht<br>verstanden                            | 2                | 1                | 2                | 5      |
| Bild<br>klein/unscharf                         | 1                | 0                | 0                | 1      |
| Bilder<br>unterstützen<br>Verständnis          | 9                | 8                | 9                | 26     |
| Zusatzinfo<br>gelesen                          | 8                | 3                | 5                | 16     |
| Zusatzinfo<br>verständlich                     | 8                | 3                | 5                | 16     |
| Z.i. nicht<br>verstanden                       | 0                | 0                | 0                | 0      |
| Bilder in Z.i.<br>klein/unscharf               | 0                | 0                | 0                | 0      |
| Bilder in Z.i.<br>nicht<br>verstanden          | 0                | 0                | 0                | 0      |

| Klasse/VK                                      | GK<br>11<br>VK 1 | GK<br>11<br>VK 2 | GK<br>11<br>VK 3 | gesamt |
|--|------------------|------------------|------------------|--------|
| 4.4.   | 14               | 9                | 13               | 36     |
| zu kurz  | 0                | 1                | 0                | 1      |
| passend  | 12               | 9                | 13               | 34     |
| zu lang  | 1                | 0                | 0                | 1      |
| verständlich                                   | 11               | 7                | 10               | 28     |
| nicht<br>verstanden                            | 1                | 0                | 2                | 4      |
| Bild<br>klein/unscharf                         | 2                | 0                | 0                | 2      |
| Bilder<br>unterstützen<br>Verständnis          | 12               | 7                | 8                | 27     |
| Zusatzinfo<br>gelesen                          | 6                | 5                | 4                | 15     |
| Zusatzinfo<br>verständlich                     | 5                | 5                | 4                | 14     |
| Zusatzinfo<br>nicht<br>verstanden              | 2                | 0                | 0                | 2      |
| Bilder in<br>Zusatzinfo<br>klein/unscharf      | 0                | 0                | 0                | 1      |
| Bilder in<br>Zusatzinfo<br>nicht<br>verstanden | 0                | 0                | 0                | 0      |
| 4.5.1.   | 14               | 10               | 13               | 37     |
| Test konnte<br>nicht starten                   | 3                | 0                | 0                | 3      |
| Aufgabe<br>verständlich                        | 10               | 10               | 12               | 32     |
| Aufgabe<br>zuerst nicht<br>verstanden          | 0                | 0                | 0                | 0      |
| markieren hat<br>nicht<br>funktioniert         | 1                | 0                | 0                | 1      |
| Korrektur<br>nicht<br>verstanden               | 1                | 0                | 0                | 1      |
| Aufgabe beim<br>ersten<br>Versuch<br>richtig   | 2                | 6                | 9                | 17     |
| Aufgabe<br>erneut<br>gemacht                   | 3                | 0                | 1                | 4      |

| Klasse/VK                                    | GK<br>11<br>VK 1 | GK<br>11<br>VK 2 | GK<br>11<br>VK 3 | gesamt |
|--|------------------|------------------|------------------|--------|
| 4.5.2.                                       | 14               | 10               | 13               | 37     |
| Aufgabe<br>verständlich                      | 13               | 8                | 10               | 31     |
| Aufgabe<br>zuerst nicht<br>verstanden        | 0                | 1                | 1                | 2      |
| anklicken hat<br>nicht<br>funktioniert       | 2                | 0                | 0                | 2      |
| Korrektur<br>nicht<br>verstanden             | 1                | 0                | 3                | 4      |
| Aufgabe beim<br>ersten<br>Versuch<br>richtig | 3                | 6                | 7                | 16     |
| Aufgabe<br>erneut<br>gemacht                 | 2                | 0                | 0                | 2      |
| 5.1.   | 12               | 9                | 13               | 40     |
| zu kurz                                      | 0                | 0                | 6                | 6      |
| passend                                      | 12               | 9                | 0                | 21     |
| zu lang                                      | 0                | 0                | 7                | 7      |
| verständlich                                 | 11               | 8                | 0                | 19     |
| nicht<br>verstanden                          | 1                | 0                | 11               | 12     |
| klein/unscharf                               | 0                | 0                | 0                | 0      |
| 5.2.   | 11               | 8                | 13               | 32     |
| zu kurz                                      | 0                | 0                | 0                | 0      |
| passend                                      | 9                | 8                | 13               | 30     |
| zu lang                                      | 2                | 0                | 0                | 2      |
| verständlich                                 | 11               | 7                | 13               | 31     |
| nicht<br>verstanden                          | 0                | 0                | 0                | 0      |
| klein/unscharf                               | 0                | 0                | 0                | 0      |

| Klasse/VK                                    | GK<br>11<br>VK 1 | GK<br>11<br>VK 2 | GK<br>11<br>VK 3 | gesamt |
|--|------------------|------------------|------------------|--------|
| 5.3.   | 11               | 7                | 13               | 31     |
| Test konnte<br>nicht starten                 | 2                | 0                | 2                | 4      |
| Aufgabe<br>verständlich                      | 7                | 6                | 9                | 22     |
| Aufgabe<br>zuerst nicht<br>verstanden        | 2                | 1                | 1                | 4      |
| verschieben<br>hat nicht<br>funktioniert     | 0                | 0                | 0                | 0      |
| Korrektur<br>nicht<br>verstanden             | 0                | 0                | 0                | 0      |
| Aufgabe beim<br>ersten<br>Versuch<br>richtig | 0                | 4                | 7                | 11     |
| Aufgabe<br>erneut<br>gemacht                 | 5                | 2                | 0                | 7      |
| 6.1.   | 10               | 7                | 12               | 29     |
| Seite erneut<br>laden                        | 0                | 0                | 3                | 3      |
| zu kurz                                      | 1                | 0                | 0                | 1      |
| passend                                      | 8                | 5                | 12               | 25     |
| zu lang                                      | 1                | 0                | 0                | 1      |
| verständlich                                 | 9                | 4                | 11               | 24     |
| nicht<br>verstanden                          | 0                | 0                | 0                | 0      |
| Bild<br>klein/unscharf                       | 6                | 6                | 12               | 24     |
| Bilder<br>unterstützen<br>Verständnis        | 9                | 5                | 6                | 20     |
| 6.2.   | 8                | 5                | 13               | 26     |
| zu kurz                                      | 0                | 0                | 0                | 0      |
| passend                                      | 8                | 5                | 13               | 26     |
| zu lang                                      | 0                | 0                | 0                | 0      |
| verständlich                                 | 8                | 4                | 12               | 24     |
| nicht<br>verstanden                          | 0                | 0                | 0                | 0      |
| Bild<br>klein/unscharf                       | 6                | 3                | 12               | 21     |
| Bilder<br>unterstützen<br>Verständnis        | 8                | 5                | 8                | 21     |
| Animation<br>hat nicht<br>funktioniert       | 1                | 0                | 5                | 6      |
| Animation<br>nicht<br>verstanden             | 1                | 1                | 0                | 2      |
| Animation<br>unterstützte<br>Verständnis     | 5                | 4                | 8                | 17     |



| Klasse/VK                                    | GK<br>11<br>VK 1 | GK<br>11<br>VK 2 | GK<br>11<br>VK 3 | gesamt |
|--|------------------|------------------|------------------|--------|
| 6.3.1.                                       | 8                | 3                | 13               | 24     |
| Test konnte<br>nicht starten                 | 1                | 0                | 0                | 1      |
| Aufgabe<br>verständlich                      | 6                | 3                | 12               | 21     |
| Aufgabe<br>zuerst nicht<br>verstanden        | 1                | 0                | 1                | 2      |
| ausfüllen hat<br>nicht<br>funktioniert       | 0                | 0                | 0                | 0      |
| Korrektur<br>nicht<br>verstanden             | 0                | 0                | 0                | 0      |
| Aufgabe<br>beim ersten<br>Versuch<br>richtig | 2                | 2                | 6                | 10     |
| Aufgabe<br>erneut<br>gemacht                 | 1                | 0                | 1                | 2      |
| 6.3.2.                                       | 6                | 3                | 13               | 22     |
| Aufgabe<br>verständlich                      | 4                | 3                | 10               | 17     |
| Aufgabe<br>zuerst nicht<br>verstanden        | 1                | 0                | 2                | 3      |
| markieren<br>hat nicht<br>funktioniert       | 1                | 0                | 0                | 1      |
| Korrektur<br>nicht<br>verstanden             | 2                | 0                | 0                | 2      |
| Aufgabe<br>beim ersten<br>Versuch<br>richtig | 2                | 2                | 3                | 7      |
| Aufgabe<br>erneut<br>gemacht                 | 1                | 0                | 1                | 2      |

### **B.3 Wissensstandsvergleich der Schüler\*innen vor und nach dem Vorbereitungskurs**

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Ermittlung des Vorwissens jeweils zu Beginn des Vorbereitungskurses und der Masterclass miteinander verglichen, um den Lernerfolg durch die Bearbeitung des Vorbereitungskurses zu überprüfen. Die nachstehende Auswertung ergibt sich aus den Antworten der Schüler\*innen (s. S. 87 ff.), die Orientierung erfolgt hierbei an der Reihenfolge der Fragestellungen auf den Fragebögen (s. S. 40 u. 52). Da aus Zeitgründen nicht das Vorwissen aller Schüler\*innen ermittelt werden konnte, werden im Folgenden nur die Fragebögen der Teilnehmer\*innen des ersten, dritten und fünften Vorbereitungskurses betrachtet, da ihr Vorwissen jeweils erfasst worden ist.

In den nachfolgenden Tabellen sind die eigenen Antworten der Schüler\*innen zu den einzelnen Fragestellungen aufgelistet und die dazugehörige Anzahl der Schüler\*innen, die die jeweilige Antwort gaben, aufgeführt.

Der Beginn des Fragebogens beschäftigte sich mit dem Aufbau des Atoms. Dass sich Elektronen in der Atomhülle befinden, wussten die meisten Schüler\*innen schon vor dem Vorbereitungskurs. Die Leistungskursschüler haben alle auf die in diesem Zusammenhang gestellte Frage richtig geantwortet, unter den Grundkursschüler\*innen gab es vor der Teilnahme am Vorbereitungskurs aber Verständnisschwierigkeiten mit dem Begriff der „Atomhülle“. Diese ist als eine Art Begrenzung des Atoms aufgefasst worden, welche sowohl die Elektronen beinhaltet, als auch den Atomkern umfasst. Die Intention der Fragestellung war jedoch, dass die Schüler\*innen Elektronen als Bestandteil der Atomhülle begreifen. Im Vorbereitungskurs findet keine klare Trennung zwischen dem Kern und der Hülle eines Atoms statt. Es findet sich der Satz „Jedes Atom besteht aus einem Atomkern und je nach Art des Atoms unterschiedlich vielen Elektronen.“ (s. Kurskapitel 3.1) und in Übung 3.2. wird gefragt „Welche Elementarteilchen befinden sich in der Atomhülle?“ (s. Übung 3.2). Trotz der scheinbar unpräzisen Formulierung im Vorbereitungskurs gab zu Beginn der Masterclass nur noch ein Schüler an, dass sich der Atomkern in der Atomhülle befindet. Um diesem Verständnisproblem vorzubeugen, werden die Bestandteile von Atomhülle und -kern auch auf dem Arbeitsblatt zum Online-Vorbereitungskurs besprochen.

Die Antwort auf die Frage nach den Bestandteilen des Atomkerns war den meisten Schüler\*innen vorher ebenfalls bekannt. Einzelne ließen aber sowohl vor als auch nach dem Vorbereitungskurs außer Acht, dass sich neben den Protonen auch Neutronen im Atomkern befinden. Den Leistungskursschülern war zuvor bereits bekannt, dass Protonen und Neutronen aus Up- und Down-Quarks bestehen.

Die Frage „Was sind die kleinsten Bausteine/Objekte, aus denen sich die Materie zusammensetzt?“ bereitete fast allen Schüler\*innen Schwierigkeiten. Vor dem Vorbereitungskurs sind 47% der Teilnehmer\*innen des ersten und 21% der Teilnehmer\*innen des dritten Vorbereitungskurses davon ausgegangen, dass Atome die kleinsten Bausteine der Materie sind, und keinem waren die Elementarteilchen ein Begriff. Durch die Bearbeitung des Vorbereitungskurses ist die Vorstellung des Elementarteilchens, insbesondere der Quarks und Elektronen, dazugewonnen worden. Dennoch haben nur 24% der Teilnehmer\*innen des ersten und 17% der Teilnehmer\*innen des dritten Vorbereitungskurses diese Frage zu Beginn der Masterclass richtig beantwortet, indem sie den Begriff des

### B.3 Wissensstandsvergleich der Schüler\*innen vor und nach dem Vorbereitungskurs

Elementarteilchens genannt haben. Anhand der ermittelten Daten kann festgestellt werden, dass zwar die Verknüpfung der einzelnen Teilchen mit dem Überbegriff „Elementarteilchen“ stattgefunden hat, dass aber die Formulierung „kleinste Bausteine der Materie“ nicht mit diesem in Zusammenhang gebracht worden ist. Um dieses im Vorbereitungskurs zu sichern, ist die betrachtete Fragestellung Teil des Arbeitsblattes.

Im Gegensatz zu den Grundkursschüler\*innen kannten zwei der fünf Leistungskursschüler den Begriff des „Elementarteilchens“ bereits vor dem Vorbereitungskurs, und keiner nannte das Atom als kleinstes Objekt der Materie. Zudem war der „Teilchenzoo“ nach Aussage des Fachlehrers Bestandteil des Leistungskursunterrichts gewesen (s. S. 99), sodass die Leistungskursschüler wussten, dass Elementarteilchen keine Unterstruktur besitzen. Die Elementarteilchen Elektron, Neutrino, Positron, Up- und Down-Quark sowie Anti-Up-Quark, Anti-Down-Quark und der Begriff des Leptons, waren ihnen vor dem Kurs ebenfalls bekannt. Nach der Bearbeitung des Vorbereitungskurses waren jedem einzelnen von ihnen jedoch mehr Teilchen geläufig.

Viele Grundkursschüler\*innen konnten erst nach dem Vorbereitungskurs das Elektron und auch Up- und Down-Quark als Elementarteilchen bezeichnen. Das Elektron wurde dennoch trotz seiner Bekanntheit eher selten angegeben. Einzelne Schüler\*innen nannten darüber hinaus Quarks als Überbegriff, einzelne Quarks, wie Anti-Up- und Anti-Down-Quark oder das Neutrino, einer erinnerte sich sogar an die Austauscheteilchen Gluon, Photon und die Bosonen. Durch den Vorbereitungskurs haben die Grundkursschüler\*innen folglich den „Teilchenzoo“ kennengelernt, und es konnte die Vorstellung von Proton und Neutron als Elementarteilchen revidiert werden. Hätten die Schüler\*innen die diversen Elementarteilchen während des Kurses auf dem Arbeitsblatt gesammelt, wären zu Beginn der Masterclass sicherlich mehr Teilchen bekannt gewesen.

Die Substruktur des Protons war vor dem Vorbereitungskurs fast keinem/r der Grundkursschüler\*innen bekannt. Die Teilnehmer\*innen des ersten Vorbereitungskurses gingen vorher teilweise davon aus, dass das Proton aus positiv geladenen Teilchen, positiver Energie oder aus Neutronen besteht. Nach der Teilnahme am Vorbereitungskurs konnten wiederum 47% die einzelnen Bestandteile des Protons korrekt benennen und 71% wussten zumindest, dass es aus Quarks besteht. Dennoch dachten zu Beginn der Masterclass zwei der 17 Schüler\*innen, dass sich das Proton aus Elektronen zusammensetzt, und einer, dass es aus Neutronen besteht. Die Zusammensetzung des Protons wird zwar in der Übung 3.2 des Vorbereitungskurses abgefragt, das Ergebnis wurde in diesem Kurs jedoch nicht auf einem Arbeitsblatt gesichert, sodass ein solcher Fehler immer noch auftreten konnte. Dass eine zusätzliche Ergebnissicherung in Form eines Arbeitsblattes von Vorteil gewesen wäre, wird ebenfalls durch die Betrachtung des dritten Vorbereitungskurses deutlich, in welchem 14% der Teilnehmer\*innen vor, 83% direkt am Ende und nur 75% eine Woche nach dem Vorbereitungskurs die Bestandteile des Protons kannten.

Die vier fundamentalen Wechselwirkungen wurden nach der Kursteilnahme von 60% der Schüler\*innen des ersten und 75% der Schüler\*innen des dritten Vorbereitungskurses korrekt genannt. Diese waren im Vorhinein niemandem bekannt gewesen. Im fünften Vorbereitungskurs kannten alle fünf Leistungskursschüler die starke und schwache Wechselwirkung bereits vorher und zwei nannten sogar das Photon als Austauscheteilchen der elektromagnetischen Wechselwirkung. Zu Beginn der Masterclass gaben alle fünf das Photon sowie die vier Wechselwirkungen an. Obwohl 46% aller Schüler\*innen die Zusatzinformation gelesen haben, in welcher das Photon als Austauscheteilchen der elektromagnetischen Wechselwirkung erklärt wird, war fast keinem der Grundkursschüler\*innen

## Anhang B Datenerhebung

dieser Zusammenhang zu Beginn der Masterclass mehr geläufig. Nur ein Teilnehmer des dritten Vorbereitungskurses nannte das Photon und drei Teilnehmer\*innen des ersten und dritten Vorbereitungskurses nannten stattdessen das Elektron. Die Fehlinterpretation des Namens „elektromagnetische Wechselwirkung“ wäre eine mögliche Erklärung für diesen Fehler. Da die Kenntnis des Photons als Austauschteilchen aber besonders wichtig für das Verständnis der Masterclass ist, sollte sie in Zukunft von den Schüler\*innen auf dem Arbeitsblatt notiert werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass bei beiden betrachteten Grundkursen die Bestandteile des Atoms vor dem Vorbereitungskurs bekannt waren und ansonsten kein Vorwissen im Bereich der Teilchenphysik vorlag. Dieses Wissen konnte durch die Bearbeitung des Vorbereitungskurses erarbeitet und größtenteils auch behalten werden. Schwierigkeiten bestanden für die Schüler\*innen allerdings darin, den Begriff des „Elementarteilchens“ in einen größeren Zusammenhang einzuordnen und sich das Photon als Austauschteilchen der elektromagnetischen Wechselwirkung zu merken. Den Leistungskursschülern war jedoch ein großer Teil des im Vorbereitungskurs vermittelten Wissens bereits vorher bekannt. Durch die Kursteilnahme konnte eine Auffrischung dieses Wissens vorgenommen, aber auch Wissenslücken geschlossen werden.

## Vergleich der Ergebnisse der schriftlichen Überprüfung zu Beginn des Vorbereitungskurses und zu Beginn der Masterclass

| VK/MC  | VK1<br>Vorwissen | MC1<br>(VK1)<br>behalten | VK3<br>Vorwissen | VK3<br>(Ende)<br>gelernt | MC2<br>(VK3)<br>behalten | VK5<br>(LK)<br>Vorwissen | MC5<br>(VK5)<br>behalten |
|--|------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Durchschnittsalter   | 17               | 17                       | 17               | 17                       | 17                       | 17                       | 17                       |
| Anzahl   | 17               | 17                       | 14               | 12                       | 12                       | 5                        | 5                        |
| w  | 3                | 3                        | 6                | 3                        | 5                        | -                        | -                        |
| m  | 14               | 14                       | 8                | 9                        | 7                        | 5                        | 5                        |
| d  | -                | -                        | -                | -                        | -                        | -                        | -                        |
| Was befindet sich in der Atomhülle?  | 16               | 17                       | 13               | 12                       | 12                       | 5                        | 5                        |
| Elektronen   | 16               | 17                       | 12               | 12                       | 12                       | 5                        | 5                        |
| Valenzelektronen   |                  |                          | 1                |                          |                          |                          |                          |
| Atomkern   |                  |                          | 2                | 4                        | 1                        |                          |                          |
| Protonen   |                  |                          | 2                |                          |                          |                          |                          |
| Neutronen  |                  |                          | 2                |                          |                          |                          |                          |
| Quarks   |                  |                          |                  |                          |                          |                          |                          |
| Und woraus besteht der Atomkern?   | 16               | 16                       | 14               | 12                       | 12                       | 5                        | 5                        |
| Protonen   | 16               | 16                       | 12               | 12                       | 12                       | 5                        | 5                        |
| Neutronen  | 13               | 13                       | 11               | 12                       | 11                       | 5                        | 5                        |
| Elektron   |                  |                          | 1                |                          |                          |                          |                          |
| Quanten  |                  |                          | 1                |                          |                          |                          |                          |
| Quarks (in Proton/Neutron)   |                  |                          |                  | 2                        |                          | 1                        | 1                        |
| Neutronen (1 Up-, 2 Down-Quarks)   |                  |                          |                  |                          |                          | 2                        |                          |
| Protonen (2 Up-, 1 Down-Quark)   |                  |                          |                  |                          |                          | 2                        |                          |
| Was sind die kleinsten Objekte/Bausteine aus denen sich die Materie zusammensetzt? | 15               | 16                       | 10               | 8                        | 10                       | 5                        | 5                        |
| Elementarteilchen  |                  | 4                        |                  | 1                        | 2                        | 2                        | 4                        |
| Teilchen   | 1                |                          |                  |                          |                          |                          |                          |
| Elektron   | 2                | 5                        |                  | 2                        | 1                        | 1                        |                          |
| Quarks   | 1                | 7                        | 3                | 3                        | 8                        | 4                        | 1                        |
| Photonen   |                  |                          | 1                |                          |                          |                          |                          |
| Quantenobjekte/<br>Quanten   | 1                |                          | 2                |                          |                          |                          |                          |
| Atome  | 7                |                          | 3                |                          |                          |                          |                          |
| Neutron  | 2                |                          | 1                |                          |                          |                          |                          |
| Proton   |                  |                          |                  |                          |                          |                          |                          |
| Gottteilchen   | 1                |                          |                  |                          |                          |                          |                          |

| VK/MC  | VK1<br>Vorwissen | MC1<br>(VK1)<br>behalten | VK3<br>Vorwissen | VK3<br>(Ende)<br>gelernt | MC2<br>(VK3)<br>behalten | VK5<br>(LK)<br>Vorwissen | MC5<br>(VK5)<br>behalten |
|--|------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Woraus besteht ein Proton?   | 7                | 14                       | 4                | 12                       | 10                       | 5                        | 5                        |
| 2 Up- und 1 Down-Quark   |                  | 8                        | 1                | 2                        | 3                        | 5                        | 5<br>(+1 Mal Ladung)     |
| Up- und Down-Quark   |                  | 2                        | 1                | 8                        | 6                        |                          |                          |
| 1 Up- und 2 Down-Quarks  |                  |                          |                  |                          |                          |                          |                          |
| Quarks   |                  | 2                        |                  | 2                        | 1                        |                          |                          |
| positiv geladene Teilchen  | 4                |                          | 1                |                          |                          |                          |                          |
| positiver Ladung/Energie   | 1                | 1                        | 1                |                          |                          |                          |                          |
| Neutronen  | 2                | 1                        |                  |                          |                          |                          |                          |
| Elektronen   |                  | 2                        |                  |                          |                          |                          |                          |
| Gluonen  |                  |                          | 1                |                          |                          |                          |                          |
| Was sind Elementarteilchen? (VK), Welche Elementarteilchen kennst du? (MC) | 3                | 11                       | 3                | 12                       | 9                        | 5                        | 5                        |
| kleinste Bausteine aus denen die stabile Materie besteht                   |                  |                          |                  |                          |                          | 1                        |                          |
| Teilchen ohne innere Struktur  |                  |                          |                  | 2                        |                          | 2                        |                          |
| Grundbausteine für alles   | 1                |                          |                  |                          |                          | 1                        |                          |
| Elektronen   | 2                | 5                        | 1                | 12                       | 6                        | 2                        | 5                        |
| Quarks   |                  | 2                        | 2                |                          | 4                        | 3                        | 4                        |
| Up-Quarks  |                  | 7                        |                  | 12                       | 5                        | 1                        | 1                        |
| Down-Quarks  |                  | 7                        |                  | 12                       | 5                        | 1                        | 1                        |
| Neutrino   |                  | 3                        |                  |                          | 3                        | 1                        | 2                        |
| Myon   |                  | 2                        |                  | 2                        |                          |                          |                          |
| Higgs  |                  | 1                        |                  | 2                        | 1                        |                          |                          |
| Photon   |                  |                          | 2                |                          | 1                        |                          |                          |
| Boson  |                  | 1                        | 1                | 2                        | 1                        |                          |                          |
| Gluon  |                  |                          |                  | 2                        | 1                        |                          |                          |
| Positron   |                  | 2                        |                  |                          |                          | 1                        | 2                        |
| Anti-Up-Quark  |                  | 3                        |                  |                          |                          | 1                        | 1                        |
| Anti-Down-Quark  |                  | 3                        |                  |                          |                          | 1                        | 1                        |
| Anti-Neutrino  |                  | 1                        |                  |                          |                          |                          |                          |
| Anti-Myon  |                  |                          |                  |                          |                          |                          |                          |
| Leptonen   |                  |                          | 1                |                          |                          | 1                        |                          |
| Proton   | 2                |                          | 1                |                          |                          |                          |                          |
| Neutron  | 2                |                          | 1                |                          |                          |                          |                          |
| Quanten  |                  |                          | 1                |                          |                          |                          |                          |

| VK/MC   | VK1<br>Vorwissen | MC1<br>(VK1)<br>behalten | VK3<br>Vorwissen | VK3<br>(Ende)<br>gelernt | MC2<br>(VK3)<br>behalten | VK5<br>(LK)<br>Vorwissen | MC5<br>(VK5)<br>behalten |
|---|------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Welche Wechselwirkungen kennst du noch? [außer der elektromagnetischen] (VK)<br>Welche sind das [vier Wechselwirkungen]? (MC) | 0                | 12                       | 3                | 8                        | 10                       | 5                        | 5                        |
| Gravitation   |                  | 10                       |                  | 8                        | 9                        |                          | 5                        |
| em WW   | -                | 10                       | -                | 8                        | 8                        | -                        | 5                        |
| schwache WW   |                  | 11                       |                  | 8                        | 9                        | 5                        | 5                        |
| starke WW   |                  | 11                       |                  | 8                        | 9                        | 5                        | 5                        |
| magnetische   |                  |                          |                  |                          |                          |                          |                          |
| elektrische   |                  |                          |                  |                          | 1                        |                          |                          |
| Dipol-Dipol-WW  |                  |                          | 1                |                          |                          |                          |                          |
| WW mit magn. Feld → Strom   |                  |                          | 1                |                          |                          |                          |                          |
| elektrochemische WW   |                  |                          | 1                |                          |                          |                          |                          |
| Was ist das Austauschteilchen der elektromagnetischen Wechselwirkung? (VK+MC)   | 2                | 1                        | 7                | 8                        | 4                        | 3                        | 5                        |
| Photon  |                  |                          |                  | 2                        | 1                        | 2                        | 5                        |
| Botenteilchen   |                  |                          |                  | 2                        |                          |                          |                          |
| Elektron  | 1                | 1                        | 7                | 4                        | 2                        |                          |                          |
| Proton  | 1                |                          |                  |                          |                          |                          |                          |
| Ladungen  |                  |                          |                  |                          | 1                        |                          |                          |
| Was haben Teilchenbeschleuniger und Detektoren miteinander zu tun?  | 2                | 3                        | 4                | 2                        | 2                        | 4                        | 5                        |
| Teilchenbeschleuniger beschleunigt Teilchen   | 2                |                          | 2                |                          | 1                        | 3                        | 3                        |
| Detektor detektiert, erfasst Teilchen   |                  | 1                        | 1                |                          | 1                        | 1                        | 4                        |
| werden im Verbund genutzt/Detektor in Beschleuniger verbaut   | 1                |                          |                  |                          | 1                        |                          |                          |
| Detektor kontrolliert/überprüft   | 1                |                          |                  |                          |                          |                          |                          |
| Detektor misst  |                  | 1                        | 2                | 2                        |                          | 1                        |                          |
| Detektor analysiert   |                  | 1                        |                  |                          |                          |                          |                          |
| Detektor misst nach Zusammenstoß zweier Teilchen die neu entstandenen Teilchen  |                  | 2                        | 1                |                          | 1                        | 3                        | 2                        |

| VK/MC  | VK1<br>Vorwissen | MC1<br>(VK1)<br>behalten | VK3<br>Vorwissen | VK3<br>(Ende)<br>gelernt | MC2<br>(VK3)<br>behalten | VK5<br>(LK)<br>Vorwissen | MC5<br>(VK5)<br>behalten |
|--|------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Was ist das CERN?  | 10               | 16                       | 6                | 12                       | 8                        | 5                        | 5                        |
| Forschungszentrum/<br>-einrichtung für<br>Teilchenphysik |                  | 4                        | 1                | 4                        | 6                        | 2                        | 2                        |
| Europäische<br>Organisation für<br>Kernforschung         |                  |                          |                  | 2                        |                          | 1                        | 2                        |
| Teilchenbeschleuniger                                    | 10               | 10                       | 5                | 6                        | 5                        | 3                        | 2                        |
| 27 km Länge  |                  | 2                        |                  |                          |                          |                          |                          |
| unterirdisch   |                  |                          |                  |                          |                          |                          |                          |
| Detektor   |                  |                          | 1                |                          |                          |                          |                          |
| in Genf  |                  | 1                        |                  | 2                        |                          | 1                        |                          |
| in der Schweiz   | 2                |                          | 1                | 4                        | 4                        |                          | 1                        |
| und in Frankreich  |                  |                          |                  |                          |                          |                          |                          |



## Vergleich der Ergebnisse der schriftlichen Überprüfung aller Schüler\*innen mit Teilnahme an einem Vorbereitungskurs zu Beginn der Masterclass

| MC  | MC1<br>(VK1)<br>behalten | MC1<br>(VK2)<br>behalten | MC2<br>(VK3)<br>behalten | MC5<br>(VK5)<br>behalten | MC5<br>(VK6)<br>behalten | gesamt |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------|
| Durchschnittsalter  | 17                       | 19                       | 17                       | 17                       | 17                       | 17     |
| Anzahl  | 17                       | 7                        | 12                       | 5                        | 17                       | 58     |
| w   | 3                        | -                        | 5                        | -                        | 3                        | 11     |
| m   | 14                       | 7                        | 7                        | 5                        | 14                       | 47     |
| d   | -                        |                          | -                        | -                        | -                        | -      |
| Was befindet sich in der Atomhülle?   | 17                       | 7                        | 12                       | 5                        | 16                       | 57     |
| Elektronen  | 17                       | 7                        | 12                       | 5                        | 15                       | 56     |
| Valenzelektronen  |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| Atomkern  |                          |                          | 1                        |                          | 1                        |        |
| Protonen  |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| Neutronen   |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| Quarks  |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| Und woraus besteht der Atomkern? (VK+MC)  | 16                       | 7                        | 12                       | 5                        | 17                       | 57     |
| Protonen  | 16                       | 7                        | 12                       | 5                        | 17                       | 57     |
| Neutronen   | 13                       | 5                        | 11                       | 5                        | 16                       | 50     |
| Elektron  |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| Quanten   |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| Quarks (in Proton/Neutron)  |                          |                          |                          | 1                        |                          | 1      |
| Neutronen (1 Up-, 2 Down-Quarks)  |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| Protonen (2 Up-, 1 Down-Quark)  |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| Was sind die kleinsten Objekte/<br>Bausteine aus denen sich die Materie zusammensetzt?<br>(VK+MC) | 16                       | 7                        | 10                       | 5                        | 17                       | 55     |
| Elementarteilchen   | 4                        | 4                        | 2                        | 4                        | 10                       | 24     |
| Teilchen  |                          | 1                        |                          |                          |                          | 1      |
| Elektron  | 5                        |                          | 1                        |                          | 3                        | 9      |
| Quarks  | 7                        | 2                        | 8                        | 1                        | 14                       | 32     |
| Photonen  |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| Quantenobjekte/<br>Quanten  |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| Atome   |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| Neutron   |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| Proton  |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| Gottteilchen  |                          |                          |                          |                          |                          |        |

| MC  | MC1<br>(VK1)<br>behalten | MC1<br>(VK2)<br>behalten | MC2<br>(VK3)<br>behalten | MC5<br>(VK5)<br>behalten | MC5<br>(VK6)<br>behalten | gesamt |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------|
| Woraus besteht ein Proton? (VK+MC)  | 14                       | 4                        | 10                       | 5                        | 16                       | 49     |
| 2 Up- und 1 Down-Quark  | 8                        | 2                        | 3                        | 5 (+1 Mal Ladung)        | 13                       | 31     |
| Up- und Down-Quark  | 2                        |                          | 6                        |                          | 2                        | 10     |
| 1 Up- und 2 Down-Quarks   |                          | 1                        |                          |                          |                          | 1      |
| Quarks  | 2                        | 1                        | 1                        |                          |                          | 4      |
| positiv geladene Teilchen   |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| positiver Ladung/Energie  | 1                        |                          |                          |                          |                          | 1      |
| Neutronen   | 1                        |                          |                          |                          |                          | 1      |
| Elektronen  | 2                        |                          |                          |                          |                          | 2      |
| Gluonen   |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| Was sind Elementarteilchen und welche kennst du? (VK), Welche Elementarteilchen kennst du? (MC) | 11                       | 6                        | 9                        | 5                        | 14                       | 45     |
| kleinste Bausteine aus denen die stabile Materie besteht  |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| Teilchen ohne innere Struktur   |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| Grundbausteine für alles  |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| Elektronen  | 5                        | 4                        | 5                        | 5                        | 13                       | 32     |
| Quarks  | 2                        | 2                        | 4                        | 4                        | 6                        | 18     |
| Up-Quarks   | 7                        | 4                        | 5                        | 1                        | 7                        | 24     |
| Down-Quarks   | 7                        | 4                        | 5                        | 1                        | 7                        | 24     |
| Neutrino  | 3                        | 1                        | 3                        | 2                        | 1                        | 10     |
| Myon  | 2                        |                          |                          |                          | 2                        | 4      |
| Higgs   | 1                        |                          | 1                        |                          |                          | 2      |
| Photon  |                          |                          | 1                        |                          | 1                        | 2      |
| Boson   | 1                        |                          | 1                        |                          |                          | 2      |
| Gluon   |                          |                          | 1                        |                          | 1                        | 2      |
| Positron  | 2                        |                          |                          | 2                        |                          | 4      |
| Anti-Up-Quark   | 3                        |                          |                          | 1                        |                          | 4      |
| Anti-Down-Quark   | 3                        |                          |                          | 1                        |                          | 4      |
| Anti-Neutrino   | 1                        |                          |                          |                          |                          | 1      |
| Anti-Myon   |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| Leptonen  |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| Proton  |                          | 1                        |                          |                          |                          | 1      |
| Neutron   |                          | 1                        |                          |                          |                          | 1      |
| Quanten   |                          |                          |                          |                          |                          |        |

| MC  | MC1<br>(VK1)<br>behalten | MC1<br>(VK2)<br>behalten | MC2<br>(VK3)<br>behalten | MC5<br>(VK5)<br>behalten | MC5<br>(VK6)<br>behalten | gesamt |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------|
| Welche Wechselwirkungen kennst du noch? [außer der elektromagnetischen] (VK)<br>Die Vorgänge in der Natur können mithilfe von vier grundlegenden Wechselwirkungen beschrieben werden. Welche sind das? (MC) | 12                       | 5                        | 10                       | 5                        | 16                       | 48     |
| Gravitation   | 10                       | 5                        | 9                        | 5                        | 15                       | 44     |
| em WW   | 10                       | 4                        | 8                        | 5                        | 13                       | 40     |
| schwache WW   | 11                       | 4                        | 9                        | 5                        | 13                       | 42     |
| starke WW   | 11                       | 4                        | 9                        | 5                        | 13                       | 42     |
| magnetische   |                          |                          |                          |                          |                          | 0      |
| elektrische   |                          |                          | 1                        |                          | 1                        | 2      |
| Dipol-Dipol-WW  |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| WW mit magn. Feld → Strom   |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| elektrochemische WW   |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| Wie viele Farbladungen gibt es und von welcher grundlegenden Wechselwirkung sind sie die Ursache? (MC)  | 8                        | 6                        | 11                       | 4                        | 10                       | 39     |
| 3   | 6                        | 5                        | 6                        | 4                        | 8                        | 29     |
| starke WW   | 1                        | 2                        | 5                        | 4                        | 6                        | 18     |
| rot, grün, blau   | 4                        |                          | 2                        | 1                        | 3                        | 10     |
| rot, blau, gelb   |                          |                          | 2                        |                          |                          | 2      |
| Anti-rot, Anti-grün, Anti-blau  | 3                        |                          |                          |                          |                          | 3      |
| schwache WW   | 2                        |                          | 1                        |                          | 3                        | 6      |
| elektromagnetische  |                          |                          |                          |                          | 2                        | 2      |
| 4   |                          |                          | 1                        |                          |                          | 1      |
| Was ist das Austauschteilchen der elektromagnetischen Wechselwirkung? (VK+MC)   | 1                        | 0                        | 4                        | 5                        | 11                       | 21     |
| Photon  |                          |                          | 1                        | 5                        | 9                        | 15     |
| Botenteilchen   |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| Elektron  | 1                        |                          | 2                        |                          |                          | 3      |
| Proton  |                          |                          |                          |                          | 2                        | 2      |
| Ladungen  |                          |                          | 1                        |                          |                          | 1      |

| MC  | MC1<br>(VK1)<br>behalten | MC1<br>(VK2)<br>behalten | MC2<br>(VK3)<br>behalten | MC5<br>(VK5)<br>behalten | MC5<br>(VK6)<br>behalten | gesamt |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------|
| Welche drei Eigenschaften hat Ladung?<br>(Gefragt wird hier nicht nach den möglichen Vorzeichen von Ladungen, wie neutral, positiv, negativ.) (MC)                      | 11                       | 2                        | 2                        | 5                        | 9                        | 29     |
| additiv   |                          |                          | 1                        | 4                        | 7                        | 12     |
| gequantelt  |                          |                          | 1                        | 3                        | 5                        | 9      |
| erhalten  |                          |                          | 1                        | 3                        | 6                        | 10     |
| positiv   | 8                        | 2                        |                          |                          |                          | 10     |
| negativ   | 8                        | 2                        |                          |                          |                          | 10     |
| neutral   | 7                        | 2                        |                          |                          | 2                        | 11     |
| schnell   | 1                        |                          |                          |                          |                          | 1      |
| unsichtbar  | 1                        |                          |                          |                          |                          | 1      |
| anziehend   | 2                        |                          |                          | 1                        | 2                        | 5      |
| abstoßend   | 1                        |                          |                          | 1                        | 2                        | 4      |
| WW mit anderen Ladungen   | 2                        |                          |                          |                          |                          | 2      |
| Farbe   |                          |                          | 1                        |                          |                          | 1      |
| Richtung  |                          |                          | 1                        |                          |                          | 1      |
| fließt  |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| klein   |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| Wie heißt das Anti-Teilchen des Elektrons und welche Ladung hat es? (MC)  | 10                       | 2                        | 6                        | 5                        | 16                       | 39     |
| Positron  | 4                        | 1                        | 4                        | 5                        | 16                       | 30     |
| Anti-Elektron   | 5                        | 1                        | 1                        |                          |                          | 7      |
| Neutron   | 1                        |                          |                          |                          |                          | 1      |
| Antitron  |                          |                          | 1                        |                          |                          | 1      |
| Proton  |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| Vergleicht man das Anti-Teilchen des Elektrons von beliebigen Teilchen mit ihrem jeweiligen Anti-Teilchen, so gilt:<br>Die ___ ist gleich, die ___ ist entgegengesetzt. | 8                        | 2                        | 7                        | 4                        | 15                       | 36     |
| Masse ist gleich  | 5                        |                          | 6                        | 4                        | 15                       | 30     |
| Ladung ist entgegengesetzt  | 7                        | 2                        | 7                        | 4                        | 15                       | 35     |
| Kraft ist gleich  | 1                        |                          |                          |                          |                          | 1      |
| Farbe ist gleich  | 1                        |                          |                          |                          |                          | 1      |
| schwache Ladung ist gleich  | 1                        |                          |                          |                          |                          | 1      |
| Energie gleich  |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| Größe gleich  |                          | 1                        |                          |                          |                          | 1      |

| MC   | MC1<br>(VK1)<br>behalten | MC1<br>(VK2)<br>behalten | MC2<br>(VK3)<br>behalten | MC5<br>(VK5)<br>behalten | MC5<br>(VK6)<br>behalten | gesamt |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------|
| Was haben Teilchenbeschleuniger und Detektoren miteinander zu tun? (VK+MC)     | 3                        | 1                        | 2                        | 5                        | 6                        | 17     |
| Teilchenbeschleuniger beschleunigt Teilchen                                    |                          | 1                        | 1                        | 3                        | 1                        | 6      |
| Detektor detektiert, erfasst Teilchen  | 1                        | 1                        | 1                        | 4                        | 3                        | 10     |
| werden im Verbund genutzt/Detektor in Beschleuniger verbaut                    |                          |                          | 1                        |                          | 2                        | 3      |
| Detektor kontrolliert/überprüft  |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| Detektor misst   | 1                        |                          |                          |                          | 2                        | 3      |
| Detektor analysiert  | 1                        |                          |                          |                          |                          | 1      |
| Detektor misst nach Zusammenstoß zweier Teilchen die neu entstandenen Teilchen | 2                        |                          | 1                        | 2                        | 1                        | 6      |
| Was ist das CERN?  | 16                       | 5                        | 8                        | 5                        | 15                       | 49     |
| Forschungszentrum/-einrichtung für Teilchenphysik                              | 4                        | 1                        | 6                        | 2                        | 8                        | 21     |
| Europäische Organisation für Kernforschung                                     |                          |                          |                          | 2                        | 5                        | 7      |
| Teilchenbeschleuniger  | 10                       | 4                        | 5                        | 2                        | 8                        | 29     |
| 27 km Länge  | 2                        |                          |                          |                          |                          | 2      |
| unterirdisch   |                          |                          |                          |                          |                          |        |
| Detektor   |                          |                          |                          |                          | 1                        | 1      |
| in Genf  | 1                        |                          |                          |                          | 1                        | 2      |
| in der Schweiz   |                          |                          | 4                        | 1                        | 5                        | 10     |
| und in Frankreich  |                          |                          |                          |                          | 4                        | 4      |

## Vergleich der Ergebnisse der schriftlichen Überprüfung der Schüler\*innen mit und ohne Teilnahme am Vorbereitungskurs 3 zu Beginn der Masterclass

| MC 2  | mit VK3<br>(behalten) | ohne VK3<br>(Vorwissen) |
|---|-----------------------|-------------------------|
| Durchschnittsalter  | 17                    | 17                      |
| Anzahl  | 12                    | 10                      |
| w   | 5                     | -                       |
| m   | 7                     | 10                      |
| d   | -                     | -                       |
| Was befindet sich in der Atomhülle?   | 12                    | 10                      |
| Elektronen  | 12                    | 8                       |
| Atomkern  | 1                     | 2                       |
| Protonen  |                       | 1                       |
| Und woraus besteht der Atomkern?  | 12                    | 9                       |
| Protonen  | 12                    | 8                       |
| Neutronen   | 11                    | 8                       |
| Elektron  |                       | 1                       |
| Was sind die kleinsten Objekte/ Bausteine aus denen sich die Materie zusammensetzt? | 10                    | 9                       |
| Elementarteilchen   | 2                     |                         |
| Elektron  | 1                     | 1                       |
| Quarks  | 8                     | 2                       |
| Atome   |                       | 6                       |
| Neutron   |                       | 1                       |
| Proton  |                       | 1                       |
| Woraus besteht ein Proton?  | 10                    | 7                       |
| 2 Up- und 1 Down-Quark  | 3                     |                         |
| Up- und Down-Quark  | 6                     |                         |
| Quarks  | 1                     |                         |
| positiv geladene Teilchen   |                       | 3                       |
| positiver Ladung/Energie  |                       | 4                       |

| MC 2   | mit VK3<br>(behalten) | ohne VK3<br>(Vorwissen) |
|--|-----------------------|-------------------------|
| Welche Elementarteilchen kennst du?  | 9                     | 7                       |
| Elektronen   | 6                     | 6                       |
| Quarks   | 4                     | 3                       |
| Up-Quarks  | 5                     |                         |
| Down-Quarks  | 5                     |                         |
| Neutrino   | 3                     |                         |
| Higgs  | 1                     |                         |
| Photon   | 1                     | 1                       |
| Boson  | 1                     |                         |
| Gluon  | 1                     |                         |
| Proton   |                       | 2                       |
| Neutron  |                       | 2                       |
| Quanten  |                       | 1                       |
| Die Vorgänge in der Natur können mithilfe von vier grundlegenden Wechselwirkungen beschrieben werden. Welche sind das? | 10                    | 2                       |
| Gravitation  | 9                     | 2                       |
| em WW  | 8                     |                         |
| schwache WW  | 9                     |                         |
| starke WW  | 9                     |                         |
| magnetische elektrische  | 1                     | 2                       |
| Wie viele Farbladungen gibt es und von welcher grundlegenden Wechselwirkung sind sie die Ursache?                      | 11                    | 0                       |
| 3  | 6                     |                         |
| starke WW  | 5                     |                         |
| rot, grün, blau  | 2                     |                         |
| rot, blau, gelb  | 2                     |                         |
| schwache WW  | 1                     |                         |
| 4  | 1                     |                         |

| MC 2  | mit VK3<br>(behalten) | ohne VK3<br>(Vorwissen) |
|---|-----------------------|-------------------------|
| Was ist das Austauschteilchen der elektromagnetischen Wechselwirkung?   | 4                     | 0                       |
| Photon  | 1                     |                         |
| Elektron  | 2                     |                         |
| Ladungen  | 1                     |                         |
| Welche drei Eigenschaften hat Ladung? (Gefragt wird hier nicht nach den möglichen Vorzeichen von Ladungen, wie neutral, positiv, negativ.) (MC) | 2                     | 3                       |
| additiv   | 1                     |                         |
| gequantelt  | 1                     |                         |
| erhalten  | 1                     |                         |
| positiv   |                       | 1                       |
| negativ   |                       | 1                       |
| neutral   |                       | 1                       |
| anziehend   |                       | 1                       |
| abstoßend   |                       | 1                       |
| Farbe   | 1                     |                         |
| Richtung  | 1                     |                         |
| fließt  |                       | 1                       |
| klein   |                       | 1                       |
| Wie heißt das Anti-Teilchen des Elektrons und welche Ladung hat es?   | 6                     | 10                      |
| Positron  | 4                     | 2                       |
| Anti-Elektron   | 1                     | 2                       |
| Antitron  | 1                     |                         |
| Proton  |                       | 6                       |

| MC 2   | mit VK3<br>(behalten) | ohne VK3<br>(Vorwissen) |
|--|-----------------------|-------------------------|
| Vergleicht man das Anti-Teilchen des Elektrons von beliebigen Teilchen mit ihrem jeweiligen Anti-Teilchen, so gilt:<br>Die ___ ist gleich, die ____ ist entgegengesetzt. | 7                     | 4                       |
| Masse ist gleich   | 6                     | 1                       |
| Ladung ist entgegengesetzt   | 7                     | 4                       |
| Energie gleich   |                       | 1                       |
| Größe gleich   |                       | 1                       |
| Was haben Teilchenbeschleuniger und Detektoren miteinander zu tun? (VK+MC)   | 2                     | 2                       |
| Teilchenbeschleuniger beschleunigt Teilchen  | 1                     | 2                       |
| Detektor detektiert, erfasst Teilchen  | 1                     |                         |
| werden im Verbund genutzt/Detektor in Beschleuniger verbaut  | 1                     |                         |
| Detektor misst   |                       | 1                       |
| Detektor misst nach Zusammenstoß zweier Teilchen die neu entstandenen Teilchen   | 1                     |                         |
| Was ist das CERN?  | 8                     | 8                       |
| Forschungszentrum /-einrichtung für Teilchenphysik   | 6                     | 2                       |
| Teilchenbeschleuniger  | 5                     | 5                       |
| unterirdisch   |                       | 1                       |
| in der Schweiz   | 4                     | 2                       |

## Ergebnisse der Fragebögen für Fachlehrer\*innen zum Thema „Teilchenphysik in der Schule“

| Schule   | Vorbereitungskurs, Stufe/ Kurs/ Klasse | Welche Inhalte zum Thema „Teilchenphysik“ haben Sie bis jetzt mit Ihrem Kurs im Unterricht behandelt?  | Welche Inhalte zum Thema „Teilchenphysik“ planen Sie mit Ihrem Kurs noch im Unterricht durchzunehmen?   | Wie viele Unterrichtsstunden umfasst bei Ihnen das Thema „Teilchenphysik“ (ohne Masterclass/ Vorkurs)?  | Halten Sie eine selbstständige Durchführung des Vorbereitungskurses im Rahmen einer Hausaufgabe oder im Unterricht vor dem Stattfinden der Masterclass sinnvoll/ umsetzbar? |
|--|--|--|---|---|---|
| <i>Europaschule<br/>Gymnasium<br/>Kerpen</i>   | <i>Beobachtung MC<br/>LK 12</i>        | ---  | ---   | ---   | <i>Ja, aufgrund des hohen Informationsgehalt der Masterclass sinnvoll, würde Angebot im Unterricht nutzen</i>   |
| <i>Berufskolleg<br/>Hennef</i>                 | <i>VK1, VK2<br/>11 GK</i>              | <i>Atommodelle</i>   | <i>Periodensystem, Isotope, Standardmodell, schwache und starke Wechselwirkung</i>  | <i>8 – 10 h</i>   | <i>Ja, aber besser im Unterricht.</i>   |
| <i>Städtisches<br/>Gymnasium<br/>Rheinbach</i> | <i>VK3<br/>11 GK</i>                   | <i>Gemäß dem Kerncurriculum für Grundkurse in der Q1 wurden bisher Photonen und Elektronen im Kontext des Themas „Quantenobjekte“ behandelt.</i> | <i>Ich habe die Unterrichtsreihen der Q2 noch nicht unterrichtet. Die genauen inhaltlichen Schwerpunkte stehen noch nicht fest. Das schulinterne Curriculum legt aber fest, dass das Standardmodell der Elementarteilchen einen Schwerpunkt bildet.</i> | <i>Das Thema Teilchenphysik wurde noch nicht explizit behandelt. Im schulinternen Curriculum sind für das Standardmodell der Elementarteilchen im nächsten Schuljahr 8 Unterrichtsstunden vorgesehen.</i> | <i>Auf jeden Fall! Sowohl im Unterricht, als auch als Hausaufgabe möglich.</i>  |



| Schule   | Vorbereitungskurs, Stufe/ Kurs/ Klasse | Welche Inhalte zum Thema Teilchenphysik haben Sie bis jetzt mit Ihrem Kurs im Unterricht behandelt?  | Welche Inhalte zum Thema Teilchenphysik planen Sie mit Ihrem Kurs noch im Unterricht durchzunehmen?   | Wie viele Unterrichtsstunden umfasst bei Ihnen das Thema Teilchenphysik (ohne die Masterclass/ den Vorkurs)? | Halten Sie eine selbstständige Durchführung des Vorbereitungskurses im Rahmen einer Hausaufgabe oder im Unterricht vor dem Stattfinden der Masterclass sinnvoll/ umsetzbar?  |
|--|--|--|---|--|--|
| <i>Alexander-von-Humboldt-Gymnasium Bornheim</i> | <i>VK5<br/>11 LK</i>                   | <i>starke, schwache WW, Austausch-<br/>teilchen, Farbladungen, Con-<br/>finement, Feynman-<br/>Diagramme, Teilchenzoo<br/>Beta-Zerfall</i> | <i>Virtuelle<br/>Photonen, em. WW,<br/>Austausch-<br/>teilchen vs. Feldkonzept,<br/>Higgsteilchen</i> | <i>11 Stunden im<br/>LK</i>  | <i>Gut zugeschnittenes<br/>Material zur<br/>Vorbereitung der<br/>Masterclass ist eine<br/>Erleichterung. Auch,<br/>weil es im Lehrplan<br/>erst in der Q2<br/>vorgesehen ist, die<br/>Masterclass aber<br/>besser in der Q1 zu<br/>organisieren ist, ist<br/>es vorteilhaft das<br/>Thema mit dem<br/>Vorbereitungskurs<br/>(unabhängig der<br/>Lehrkraft) im<br/>Unterricht oder<br/>Zuhause<br/>vorzubereiten.</i> |
| <i>Alexander-von-Humboldt-Gymnasium Bornheim</i> | <i>VK6<br/>11 GK</i>                   | <i>Aufbau des<br/>Atoms aus<br/>Atomkern<br/>und -hülle,<br/>Bestandteile<br/>des<br/>Atomkerns:<br/>Protonen,<br/>Neutronen</i>           | <i>keine</i>  | <i>In der Q1: 1-2<br/>Stunden<br/>In der Q2: 3<br/>Wochen</i>  | <i>Ja, sinnvoll und eher<br/>im Unterricht<br/>umsetzbar.</i>  |

## Ergebnisse des Feedbackbogens für Fachlehrer\*innen zum Online-Vorbereitungskurs des „Netzwerks Teilchenwelt“

Schule: *Gymnasium Zum Altenforst*

Vorbereitungskurs: *VK4*

Klasse/Stufe: *9*

Anzahl der Schüler\*innen: *16*

1. Welche Inhalte zum Thema Teilchenphysik haben Sie bis jetzt mit Ihrem Kurs im Unterricht behandelt?  
*Elektronen im Atomaufbau*
2. Welche Inhalte zum Thema Teilchenphysik planen Sie mit Ihrem Kurs noch im Unterricht durchzunehmen?  
*Beschleunigung von Elektronen*
3. Wie viele Unterrichtsstunden umfasst bei Ihnen das Thema Teilchenphysik (ohne die Masterclass/den Vorkurs)?  
*5*
4. Wie haben die Schülerinnen und Schüler den Online-Vorbereitungskurs durchgeführt? Zuhause oder im Unterricht?  
*60 Minuten im Unterricht, max. 20 Minuten zu Hause*
5. Womit hatten die Schülerinnen und Schüler Schwierigkeiten oder Probleme bei der Durchführung des Vorbereitungskurses? Hat etwas nicht funktioniert? Haben sie bestimmte Inhalte oder Bilder nicht verstanden?  
*keine*
6. Was hat den Schülerinnen und Schülern an dem Vorbereitungskurs gut gefallen?  
*Bilder/Darstellungen; Geogebra-Animation; die kleinen „Zwischenquizze“*
7. Was hat den Schülerinnen und Schülern an dem Vorbereitungskurs nicht gefallen? Waren bestimmte Texte zu lang oder bestimmte Bilder zu klein und unscharf? Haben sie explizite Verbesserungsvorschläge geäußert?  
*----*
8. Nach der Evaluation und Überarbeitung des Online-Vorbereitungskurses, soll dieser als Online-Angebot für Schulen zur Verfügung stehen. Was finden Sie am geeignetsten, eine Durchführung in Form einer Hausaufgabe oder eine Durchführung im Unterricht?  
*Wegen der Klärung von Fragen lieber im Unterricht, ist aber auch zu Hause möglich.*

**Übersicht über die von den Schüler\*innen benötigte Bearbeitungszeit für die einzelnen Kapitel des Vorbereitungskurses und Abschätzung des für den gesamten Kurs durchschnittlich notwendigen Zeitkontingents**

| VK                       | Zeitraum insgesamt  | Ø Zeit Kap. 3 | Ø Zeit Kap. 4 | Ø Zeit Kap. 5  | Ø Zeit Kap. 6   | Ø Zeit Kap. 7 |
|--------------------------|---|---------------|---------------|--|---|---------------|
| VK 1<br>17 S.            | 70 min<br>(8 von 17 Schüler*innen haben den Kurs beendet) | x             | x             | x  | Bearbeitungszeit wurde vorzeitig beendet<br>(8 von 17 Schüler*innen haben dieses Kapitel beendet) | 5 min         |
| VK 2<br>10 S.            | 60 min<br>(8 von 10 Schüler*innen haben den Kurs beendet) | 9 min         | 27 min        | 15 min,<br>(2 von 10 Schüler*innen haben dieses Kapitel nicht beendet) | Bearbeitungszeit wurde vorzeitig beendet<br>(8 von 10 Schüler*innen haben dieses Kapitel beendet) | 5 min         |
| VK 3<br>14 S.            | 65 min  | 10 min        | 25 min        | 13 min   | 10 min  | 7 min         |
| VK 4<br>16 S.            | 80 min<br>(60 min im Unterricht,<br>20 min Zuhause)       | x             | x             | x  | x   | x             |
| VK 5<br>+<br>AB<br>5 S.  | 65 min  | 7 min         | 27 min        | 15 min   | 8 min   | 8 min         |
| VK 6<br>+<br>AB<br>21 S. | 73 min  | 10 min        | 28 min        | 14 min   | 13 min  | 8 min         |
| Ø<br>Zeit                | 70 min<br>(mit AB im GK eher ca. 75 min)                  | 10 min        | 27 min        | 15 min   | 11 min  | 7 min         |

## Textvorschlag für das Kapitel 4.3 des Online-Vorbereitungskurses

### 4.3. Starke Wechselwirkung

Im Folgenden 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 lautete: "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 alle 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*. Im ersten Kapitel hast du gelernt, dass ein Proton sich aus zwei Up-Quarks und einem Down-Quark zusammensetzt (hier Grafik "Veranschaulichung eines Protons" einfügen). Das Up-Quark hat eine elektrische Ladungszahl von  $Z = +\frac{2}{3}$  und das Down-Quark von  $Z = -\frac{1}{3}$ . Da die Up-Quarks im Proton beide positive elektrische Ladungszahlen aufweisen, stoßen sie sich wegen der elektromagnetischen Wechselwirkung ab. Die Anziehung beider Up-Quarks durch die Gravitation ist geringer als deren Abstoßung durch die elektromagnetische Wechselwirkung. Trotzdem halten die Quarks im Proton zusammen. Dafür verantwortlich ist die starke Wechselwirkung. Die starke Wechselwirkung ist dir aus dem Alltag nicht bekannt, weil sie eine sehr kurze Reichweite hat. Sie wirkt nur auf Distanzen, welche ungefähr der Größe eines Protons entsprechen.

*Wie kann die starke Wechselwirkung erklärt werden?*

Wie du bereits kennengelernt hast, ist die Ursache der elektromagnetischen Wechselwirkung die elektrische Ladung von Teilchen. Analog dazu besitzen manche Teilchen eine *starke Ladung*. Diese ist die Ursache der starken Wechselwirkung. Da Quarks eine starke Ladung besitzen, wirkt zwischen den drei Quarks im Proton die starke Wechselwirkung, die diese zusammenhält. Zu Beginn des Kapitels haben wir festgestellt, dass die starke Wechselwirkung auch die Protonen im Atomkern zusammenhält. Ein einzelnes Proton besitzt aber insgesamt keine starke Ladung. Bringt man jedoch zwei Protonen sehr dicht zusammen, so gibt es eine Restwechselwirkung zwischen den Quarks beider Protonen. Diese ist viel schwächer als die starke Wechselwirkung zwischen den Quarks innerhalb eines Protons, aber immer noch stärker als die elektrische Abstoßung zwischen den Protonen. Auf diese Weise kann man mit der starken Wechselwirkung zwischen den Quarks auch den Zusammenhalt der Protonen im Atomkern erklären.

[Änderungen mithilfe von <https://www.leifiphysik.de/kern-teilchenphysik/teilchenphysik/grundwissen/starke-wechselwirkung-0>, 21.08.2019]

*Wie kann die starke Ladung beschrieben werden?*

In Experimenten wurde festgestellt, dass alle drei Quarks eine starke Ladung mit dem gleichen Betrag besitzen. Man weiß außerdem, dass die starke Ladung drei verschiedene Ausprägungen hat. Sie werden mit den Farben *rot*, *grün* und *blau* bezeichnet. Deshalb wird die starke Ladung auch Farbladung genannt. Die Farbladung eines Teilchens wird durch den sogenannten Farbladungsvektor angegeben. In einem Proton muss jedes der drei Quarks eine der drei Farbladungen besitzen. Mögliche Beispiele für Protonen siehst du in der folgenden Abbildung (hier Grafik "Protonen zusammengesetzt

aus Quarks unterschiedlicher Farbladung" einfügen). Es können nur Teilchen gebildet werden, deren Farbladung insgesamt "weiß" ist, die also *farblos* sind. Farblos erreicht man, wenn *alle drei Farbladungen* rot, grün und blau miteinander kombiniert werden, wie bei der additiven Farbmischung von Licht unterschiedlicher Farbe in unserem Auge. Wie kann man sich die Wirkung der starken Wechselwirkung vorstellen? Die Wirkung der starken Wechselwirkung kann man sich mithilfe von Botenteilchen vorstellen. Teilchen, die miteinander wechselwirken, tauschen ein weiteres Teilchen aus: das *Botenteilchen*. Jede Wechselwirkung hat eigene Botenteilchen, die der starken Wechselwirkung heißen *Gluonen*. Gluonen können die Farbladung von Quarks ändern.

## Zusatzinformation des Kapitels 4.3 des Online-Vorbereitungskurses

*Wie kann die starke Ladung von Teilchen genau beschrieben werden?*

Die entsprechenden Texte könnten folgendermaßen lauten: "Alle drei Quarks besitzen eine starke Ladung mit gleichem Betrag. Da man außerdem weiß, dass das Proton insgesamt keine starke Ladung besitzt, muss, wenn man die starken Ladungen der drei Quarks addiert, "null" herauskommen. Addiert man drei Zahlen, die den gleichen Betrag haben, kann nie Null herauskommen. Daher weiß man, dass die starke Ladung keine eindimensionale, sondern eine zweidimensionale Größe ist. Sie ist nicht nur eine Zahl wie die elektrische Ladungszahl, sondern hat zwei Richtungen. Man stellt sie deshalb mit Pfeilen dar, sogenannten Farbladungsvektoren. Du siehst die Farbladungsvektoren in der folgenden Abbildung. Teilchen die eine starke Ladung, also eine Farbladung besitzen, sind nicht in dieser Farbe "angemalt". Die Farben sind eine Vereinfachung einer komplizierten mathematischen Beschreibung der starken Ladung (hier Grafik "Farbladungsvektoren: rot, blau, grün" einfügen). Es können nur Teilchen gebildet werden, deren Farbladung insgesamt "weiß" ist, die also farblos sind. Im Koordinatensystem für die Farbladungen entspricht dies dem Koordinatenursprung.

*Wie kann man sich die Wirkung der starken Wechselwirkung genauer vorstellen?*

Die Wirkung der starken Wechselwirkung kann man sich mithilfe von Botenteilchen vorstellen. Teilchen, die miteinander wechselwirken, tauschen ein weiteres Teilchen aus: das Botenteilchen. Die Botenteilchen der starken Wechselwirkung heißen Gluonen. Es gibt 8 verschiedene Gluonen, mit unterschiedlichen Farbladungskombinationen. Neben den Farbladungen rot, grün und blau gibt es also auch Anti-Farbladungen. Sie heißen anti-rot, anti-grün und anti-blau. Sechs der acht Gluonen besitzen einen Farbladungsvektor, der sich aus einer Farbe und einer Anti-Farbe zusammensetzt. Bei den verbleibenden Gluonen addieren sich Farben und Anti-Farben jeweils auf komplizierte Art und Weise zum Nullvektor, sie besitzen also keine resultierende Farbladung, ihre Farbladung ist "weiß". Du siehst unten ein Beispiel für ein Symbol eines Gluons. Die 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 das wieder mithilfe der Analogie der Boote und der Bälle wie bei der elektromagnetischen Wechselwirkung (hier Grafik "Symbol eines Gluons" einfügen). In der folgenden Animation siehst du ein Beispiel für eine Umwandlung von Quarks (hier Animation einfügen). 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 sich in ein Quark mit roter Farbladung um (hier entsprechende Grafiken einfügen). [Änderungen mithilfe von <https://www.leifiphysik.de/kern- teilchenphysik/teilchenphysik/grundwissen/starke-wechselwirkung-0>, 21.08.2019]



---

## Inhaltliche Zusammenfassung der Teilchenphysik-Masterclass

---

Der erste Einführungsvortrag stellt das Standardmodell der Teilchenphysik vor. Ausgehend von der Entdeckung des Higgs-Bosons, über das Zusammenspiel von Theorie und Experiment in der Teilchenphysik werden die Teilchen nacheinander durch extreme Vergrößerung der Materie (Quarks als Bestandteile des Protons und Neutrons) und den Beta-Zerfall (Entdeckung des Neutrinos) vorgestellt. Neben den drei Familien der Quarks und der Leptonen werden deren Anti-Teilchen und die Austauschteilchen (Photon, Gluon, W und Z-Boson) behandelt, durch die die Kräfte (elektromagnetische, starke, schwache Kraft) zwischen den Teilchen übertragen werden. Anschließend werden der Higgs-Mechanismus und die Entdeckung des Higgs-Bosons ebenfalls thematisiert. Nach einer praktischen Übung mit dem anfangs an die Schüler\*innen verteilten „Teilchenzoo“, wird die Teilchenphysik mit der Kosmologie verknüpft. Thematisiert werden dabei die Entstehung des Universums und die Realisierung von Umgebungen, wie es sie kurz nach dem Urknall gab, in Teilchenbeschleunigern. Anhand von Materie und Anti-Materie, dunkler Materie und Energie werden den Schüler\*innen die noch offenen Fragen der Teilchenphysik, wie beispielsweise „Was ist dunkle Materie?“, aufgezeigt, deren Beantwortung weiterer Forschung bedarf.

Im zweiten Einführungsvortrag steht das Thema „Experimente und Messung“ im Vordergrund. Basierend auf den Grundprinzipien der Experimente werden der Aufbau und die Funktionsweise von Teilchenbeschleunigern (Linear- und Ringbeschleuniger) und Detektoren erklärt. Dabei wird der LHC und das ATLAS-Experiment mit seinem „zwiebelschalenförmigen“ Detektoraufbau (Spurdetektor, elektromagnetisches und hadronisches Kalorimeter, Myonenkammern) vorgestellt, die Kollision von Teilchen am Beispiel der Protonen besprochen sowie Nachweis und Identifikation von Teilchen mithilfe eines Detektors (Messung von Ort, Energie, Impuls) und der statistischen Analyse erläutert. In Bezug zum Anfangsthema, der Entdeckung des Higgs-Bosons, wird außerdem dessen Entstehung anhand von Feynman-Diagrammen dargelegt. Danach bestimmen die Schüler\*innen bei der Einführung in die Messung auf einem Arbeitsblatt rechnerisch das Verhältnis von  $W^+$  und  $W^-$  bei der Proton-Proton Kollision. Abschließend wird die Ereignisidentifikation mit dem Programm „Minerva“ erklärt, mit dem die Schüler\*innen am Nachmittag selbstständig echte Messdaten vom CERN (W-Pfad) an Computern auswerten und daraus experimentell das Verhältnis von  $W^+$  und  $W^-$  bestimmen.





---

## Abbildungsverzeichnis

---

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 6.1 | Empfohlene Durchführungsvariante, eigene Abbildung . . . . .                | 24 |
| 7.1 | Ergebnisse der Abschlussfragen der Evaluation, eigene Abbildungen . . . . . | 27 |
| 8.1 | Das Standardmodell der Teilchenphysik (modifiziert [7]) . . . . .           | 31 |



---

## Tabellenverzeichnis

---

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 4.1 | Konzeptionelle Übersicht der Durchführung und Evaluation des Vorbereitungskurses im Rahmen der Masterclass an unterschiedlichen Schulen . . . . . | 10 |
| 5.1 | Vergleich der Schüler*innen eines Grundkurses mit und ohne Teilnahme am Vorbereitungskurs zu Beginn der Masterclass . . . . .                     | 19 |
| 5.2 | Vergleich der Grundkursschüler*innen mit und ohne Arbeitsblatt als Bestandteil des Vorbereitungskurses zu Beginn der Masterclass . . . . .        | 21 |