

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover

Fakultät für Mathematik und Physik

Institut für Radioökologie und Strahlenschutz

Erprobung und Vergleich zweier Unterrichtskonzepte für die Verwendung von Nebelkammern im Themenbereich Radioaktivität in der Sekundarstufe I als Schulversuch

Bachelorarbeit

im Studiengang Fächerübergreifender Bachelor Physik

von Josua Elia Potratz

Erstprüfender: Prof. Dr. Clemens Walther

Zweitprüfender: Dr. Dirk Brockmann-Behnsen

Matrikelnummer: 10039298

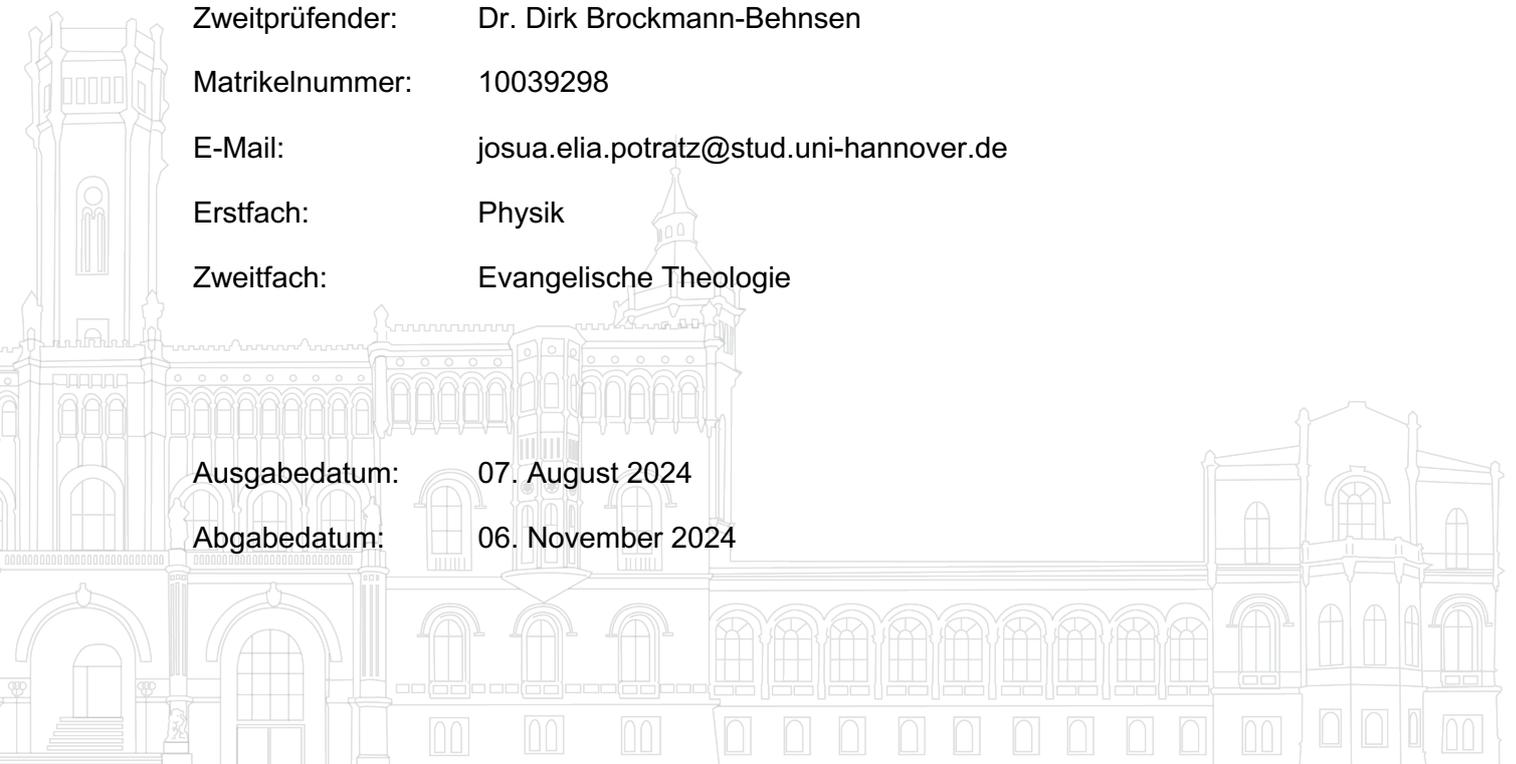
E-Mail: josua.elia.potratz@stud.uni-hannover.de

Erstfach: Physik

Zweifach: Evangelische Theologie

Ausgabedatum: 07. August 2024

Abgabedatum: 06. November 2024



1	Einstieg	1
2	Physikalische Grundlagen	2
2.1	Radioaktivität und Radioaktive Zerfälle	2
2.2	Ionisierende Strahlung	3
2.2.1	Der Alphazerfall	4
2.2.2	Betazerfall	5
2.2.3	Gammastrahlung	7
2.2.4	Kosmische Strahlung	8
2.3	Strahlungsteilchen	9
2.3.1	Alphateilchen	9
2.3.2	Betateilchen	10
2.3.3	Myon	10
2.3.4	Proton	11
2.4	Strahlenschutz	11
3	Nebelkammern	13
3.1	Prinzip einer Nebelkammer	13
3.2	Verwendete Nebelkammer	14
3.2.1	Diffusionsnebelkammer	14
3.2.2	Aufbau der verwendeten Nebelkammer	14
4	Didaktische Grundlagen	16
4.1	Bildungsstandards des Physikunterrichtes	16
4.2	Experimente	17
4.2.1	Schülerexperimente	18
4.3	Gliederung der Unterrichtsstunde im Physikunterricht	19
5	Die getesteten Unterrichtskonzepte	20
5.1	Grundidee der beiden Konzepte	20
5.2	Überarbeitung und Anpassung der beiden Konzepte	21
5.2.1	Motivationsphase	22
5.3	Einbettung der Unterrichtskonzepte in den schulischen Arbeitsraum	23
6	Erprobung	25
6.1	Schulen und Klassen der Erprobung	25
6.2	Aufteilung der Gruppen in die Unterrichtskonzepte	27
6.2.1	Vergleichbarkeit der Gruppen	29

6.3	Erprobungsablauf	30
6.4	Erkenntnisse der Erprobung	30
7	Erhebung von Daten zu erlerntem Wissen und gewonnener	32
7.1	Motivation	32
7.1.1	Art der Erhebung	32
7.1.2	Abfrage von Wissen	33
7.1.3	Abfrage der Wahrnehmung der Schüler:innen	35
7.2	Medium der Abfrage	37
7.2.1	Begründung des verwendeten Mediums	37
7.3	Erhebungsablauf	38
8	Ergebnisse der Datenerhebung	38
8.1	Ergebnisse der Wissensabfrage	39
8.1.1	Erhobene Datensätze	39
8.1.1.1	Konzept I	39
8.1.1.2	Konzept II	43
8.1.2	Vergleich der beiden Konzeptgruppen	45
8.1.3	Untersuchung der Ergebnisse auf statistische Signifikanz	46
8.2	Ergebnisse der Motivationsabfrage	47
8.2.1	Erhobene Datensätze	47
8.2.1.1	Konzept I	48
8.2.1.2	Konzept II	51
8.2.2	Vergleich der beiden Konzeptgruppen	52
8.3	Untersuchung auf statistische Signifikanz	54
8.4	Bedeutung und Bewertung der erhobenen Daten	55
9	Erkenntnisse des Vergleiches	56
9.1	Stärken und Schwächen der Ansätze	56
9.2	Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Erfahrung	58
9.3	Erkenntnisse zur Verbesserung der Konzepte und Nebelkammern	59
10	Fazit und Ausblick	60
11	Literaturverzeichnis	64
12	Bildverzeichnis	66
14	Anhang	67
14.1	Bausteine eines Unterrichtsentwurfs	67

14.2	Langentwurf Unterrichtskonzept I - mit Schülerexperiment	67
14.2.1	Kompetenzangaben – Lernziele I	67
14.2.2	Der Lehrgegenstand I	68
14.2.3	Begründung des Lerngegenstandes	69
14.2.4	Die Lerngruppe I	70
14.2.5	Begründung und Analyse der Aufgaben I	70
14.2.6	Begründung der Methodischen Entscheidungen I	70
14.2.7	Stundenverlauf Konzept I	71
14.2.8	Arbeitsblätter I	73
14.2.9	PowerPoint-Präsentation	78
14.3	Langentwurf Unterrichtskonzept II – Ohne intensive Unterrichtseinheit	86
14.3.1	Kompetenzangaben – Lernziele II	86
14.3.2	Der Lerngegenstand II	86
14.3.3	Begründung des Lehrgegenstandes II	86
14.3.4	Die Lerngruppe II	87
14.3.5	Begründung und Analyse der Aufgabenstellungen II	87
14.3.6	Begründung der Methodischen Entscheidungen II	87
14.3.7	Stundenverlauf Konzept II	87
14.3.8	Arbeitsblätter II	89
14.3.9	PowerPoint-Präsentation	95
15	Datenblätter und Ergebnisse	104
15.1	Testate zur Datenerhebung	104
15.1.1	Testat der Wissensabfrage	104
15.1.2	Testat der Motivationsabfrage	107
15.2	Ergebnisse der Datenerhebungen	108
15.2.1	Ergebnisse der Datenblätter zur Wissensabfrage	108
15.2.3	Ergebnisse der Datenblätter zur Motivationsabfrage	111
	Konzept I	111
	Konzept II	113
16	Eidesstattliche Erklärung	115

1 Einstieg

Die Lehrkräfte der modernen Bildungslandschaft stehen vor der stetigen Herausforderung, abstrakte und komplexe naturwissenschaftliche Phänomene in den eigenen Unterricht zu integrieren und den Schüler:innen ein umfängliches Verständnis für diese zu vermitteln. Gleichzeitig müssen die Lehrkräfte die Vermittlung in einem angemessen motivierenden Rahmen durchführen, um die Schülermotivation nicht einzuschränken und somit eine unangemessene Lernatmosphäre zu schaffen. Eines dieser abstrakten Phänomene ist das der ionisierenden Strahlung, welche omnipräsent ist und sich dennoch den menschlichen Sinnen entzieht und nicht wahrnehmbar ist. Doch diese nicht wahrnehmbare Strahlung hat erhebliche Auswirkungen auf den menschlichen Organismus. Sie kann Leben retten, aber auch gefährden, abhängig von ihrer Verwendung. Um diese komplexen Zusammenhänge zu verstehen, ist ein fundamentales Verständnis in den Grundlagen der Kernphysik und besonders der ionisierenden Strahlung erforderlich.

Die Nebelkammer ist hierfür ein wertvolles didaktisches Werkzeug, um diese bisher nicht erfassbare Strahlung sichtbar zu machen und ihr somit eine visuelle Gestalt zu geben. Die in der Nebelkammer zu erkennenden Tröpfchenspuren, ausgelöst durch die ionisierende Strahlung, können dieses Phänomen in einer visuellen Art sichtbar machen und eine Stütze zum Lernen bieten. Doch die Sinnhaftigkeit der Integration in die Sekundarstufe I konnte bisher nicht praktisch geklärt werden. Auch fehlten bisher Konzepte und eine Erprobung dieser, um die Frage zur Nutzung von Nebelkammern im Unterricht zu beantworten.

Um eine Antwort auf diese Frage finden, wurden im Rahmen einer Abschlussarbeit von Herrn Malte Saathoff zwei Unterrichtskonzepte für die Verwendung der Nebelkammern in der Sekundarstufe I entworfen. Das erste Konzept bindet zehn Nebelkammern als Schülerexperiment in den Unterricht mit ein und folgt einem insgesamt experimentellen Ansatz. Das zweite Konzept folgt einem klassisch exemplarischen Ansatz und betrachtet die Nebelkammern besonders auf einer theoretischen Ebene.

Diese Arbeit möchte die Wirksamkeit der beiden Konzepte in Erprobungen mit Schulklassen der Sekundarstufe I erfassen. Die Wirksamkeit der Konzepte soll dabei auf der didaktischen Ebene der Wissensvermittlung und der Auswirkung auf die Schülermotivation erprobt werden. Um diese Auswirkungen erfassen zu können, wurden im Rahmen dieser Arbeit zwei Abfrage-

bögen erstellt und anhand der Ergebnisse Schlussfolgerungen entnommen, welche die Unterrichtskonzepte in ihrer Eignung bewerten. Dafür werden vier Hypothesen aufgestellt und im weiteren Verlauf überprüft.

Null-Hypothese 1

Der Wissenszuwachs der beiden Konzeptgruppe zeigt keinen Unterschied und ist gleich.

Null-Hypothese 2

Der Motivationszuwachs der beiden Konzeptgruppen zeigt keinen Unterschied und ist gleich.

Alternativ-Hypothese 3

Die Gruppe unterrichtet nach Konzept II reicht stärkere Ergebnisse in der Wissensabfrage ein und hat einen größeren Wissenszuwachs als die nach Konzept I unterrichtete Gruppe.

Alternativ-Hypothese 4

Die Gruppe unterrichtet nach Konzept I reicht positivere Ergebnisse in der Motivationsabfrage ein und hat einen größeren Motivationszuwachs als die nach Konzept II unterrichtete Gruppe.

Die bisherige Annahme ist in der Strukturierung der beiden Unterrichtskonzepte begründet und soll deren vermutete Ausprägungen widerspiegeln.

2 Physikalische Grundlagen

2.1 Radioaktivität und Radioaktive Zerfälle

Materie wird radioaktiv genannt, wenn die Atomkerne durch Energiezufuhr oder eigenständig spontan zerfallen oder eine Kernumwandlung stattfindet. Dabei geht der Atomkern aus einem instabilen in einen stabileren Zustand über [Kri19, S.91]. Dieser Prozess setzt sich fort, bis ein endgültig stabiler Zustand in Form von Blei ($Pb\ 206;207;208$) erreicht wurde. Es wird zwischen natürlicher und künstlicher bzw. anthropogener Radioaktivität unterschieden. Wenn ein Kern spontan und unvorhersehbar zerfällt, so ist dies natürliche Radioaktivität. Ist der Zerfall allerdings induziert, wird er künstlich genannt. Der Begriff der Radioaktivität wird allen Umwandlungen von einem Mutterkern in einen Tochterkern zugeteilt, mit und ohne Massenzahländerung, während die Veränderung des Energiegehalts als Übergang bezeichnet wird. Diese Umwandlungen werden unterschieden in α -, β - und γ -Strahlung, sowie entfernter Neutronenstrahlung [Dem17, S.40f]. Dabei handelt es sich um ionisierende Strahlung, welche Anhand von

Aussendung eigener Teilchen weitere Atome ionisieren kann. Somit beschreibt der Begriff der Radioaktivität einen konkreten Prozess, gegensätzlich zu der Verwendung des Alltagsbegriffs der Radioaktivität, welcher einen Sammelbegriff von Strahlung, Zerfällen oder Gefahr darstellt [Dem17, S.39].

2.2 Ionisierende Strahlung

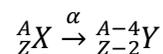
Der Begriff der Strahlung beschreibt in der Physik den Energie- und Massetransport, ohne dabei an Materie gebunden zu sein. Unterschieden werden zwei Arten von Strahlung, die Photonenstrahlung und die Korpuskularstrahlung. Bei Photonenstrahlung ist die in Wellenpaketen transportierte Energie elektromagnetische Energie und die einzelnen Strahlungsquanten werden als Photonen bezeichnet [Kri19, S.17]. Beispiele der Photonenstrahlung ist die Ultraviolett-Strahlung oder die Röntgen- und γ -Strahlung. Diese Strahlungsart besitzt keinen Materietransport. Liegt ein Materietransport vor handelt es sich um Korpuskularstrahlung, die übertragenden Teilchen werden Korpuskeln genannt. Die transportierten Teilchen können sowohl ungeladen als auch geladen sein und bilden komplexe Strukturen, wie Ionen, vollständige Atome und Moleküle. Beispiele dieser Teilchen sind Elektronen, Positronen und Neutronen [Kri19, S.15].

Die bei radioaktiven Zerfällen auftretende Strahlung wird ionisierende Strahlung genannt, aufgrund ihrer Fähigkeit des Ionisierens anderer Atome. Strahlung, welche diese Eigenschaft nicht besitzt, wird schlicht als nichtionisierende Strahlung bezeichnet. Bestimmend für diese Unterscheidung ist die Möglichkeit einer Ionisierung durch die auftretenden Korpuskel- und Photonenenergie, wobei die benötigte Mindestenergie zwischen 10^{-19} und 10^{16} J beträgt [Kri19, S.15].

Zusätzlich wird zwischen indirekt und direkt ionisierender Strahlung unterschieden. Direkt ionisierende Strahlung sind Teilchen, welche bei direktem Kontakt mit einem bestrahlten Medium eine Ionisation erzwingen können [Kri19, S.16]. Dazu zählt die folgend beschriebene α -Strahlung. Bei indirekt ionisierender Strahlung kann das emittierte Teilchen nicht selbst eine Ionisation hervorrufen, da es keine eigene elektrische Ladung besitzt. Für eine Ionisation muss die Energie durch einen Stoß auf ein weiteres Teilchen übertragen werden. Dieser Stoßpartner kann mit der übertragenen Energie weitere Atome ionisieren. Die γ -Strahlung dient als Beispiel der indirekt ionisierenden Strahlung [Kri19, S.17f].

2.2.1 Der Alphazerfall

Bei dem α -Zerfall handelt es sich um die Emission eines zweifach positiv geladenen Heliumkerns, genannt α -Teilchen, aus einem Mutterkern. Ein Heliumkern besteht aus zwei Protonen und zwei Neutronen, weshalb sich bei einem α -Zerfall die Massenzahl A des Mutterkerns um 4 verringert und die Kernladungszahl um 2 [Dem17, S.40]. Besonders schwere Atomkerne ($A > 200$) emittieren vielfach diese α -Teilchen, wesentlich häufiger als die im Vergleich zu leichten Kernen [Vah19, S.4]. Auch findet bei α -teilchen keine Teilchenumwandlung statt, anders als bei Betaumwandlungen oder Elektroneneinfang [Kri19, S.101].



Bei Messungen und Beobachtungen von α -Zerfällen und den daraus resultierenden α -Teilchen stellt sich heraus, dass diese nahezu alle die dieselbe Reichweite besitzen. Dies deutet auf die gleiche kinetische Energie dieser Teilchen hin, auch wenn bei einigen radioaktiven Präparaten diskrete Energieniveaus möglich sind, welche sich in einem diskreten Linienspektrum widerspiegeln. α -Teilchen müssen sich ihre Zerfallsenergie also nicht mit einem weiteren emittierten Teilchen teilen. Die abgegebene kinetische Energie bei solch einem Zerfall hängt von dem Grundzustand des Mutter- und Tochterkerns ab. Tritt der Zerfall im angeregten Zustand des Mutterkerns auf, folgt eine höhere kinetische Energie im Vergleich zu dem Fall, wobei nur der Tochterkern angeregt ist. In diesem Fall fehlt die Anregungsenergie, wodurch die kinetische Energie geringer ist [Dem17, S.41].

α -Teilchen besitzen die höchste Bindungsenergie aller leichten Nuklide bei 18,19 MeV mit einer Bindungsenergie von 7,07 MeV/Nukleon. Aufgrund dessen bilden sich α -Cluster, eine Verbindung von α -Teilchen zu einem Nuklid innerhalb von schweren Atomkernen. Durch den Differenz-Energiebetrag kann dieses Nuklid im Inneren angeregt werden. Dies führt zu einer gewissen Wahrscheinlichkeit, durch welche der Atomkern α -aktiv wird, wodurch sich die Energie der inneren α -Zustände erhöht und somit auch die kinetische Energie. Folgend kann sich die Halbwertszeit dieser Nuklide verkürzen [Kri19, S.102f].

Bei α -Zerfällen gelten zudem alle Energiesätze, allerdings nur bei der Annahme, dass nur ein einzelnes Teilchen emittiert wird und der Mutterkern in einen Tochterkern übergeht. So konnte bei Beobachtungen der Kinematik der Energiesatz, Impulssatz und Drehimpulssatz geltend gemacht werden. Dies ist für die Betrachtung des Rückstoßverhältnisses relevant. Dabei wird der

Mutterkern in Ruhe betrachtet mit einem Gesamtimpuls von 0 vor dem Zerfall. Nach dem Zerfall lässt sich unter Anwendung des Energie- und Impulserhaltungssatzes einfach zeigen, dass die Vektorsumme unverändert bleibt, im Betrag jedoch identisch sind [Dem17, S.41f].

α -Strahlung hat nur eine sehr kurze Reichweite, welche auf die spezifischen Energieverluste der α -Teilchen und die Eigenschaften des Heliumkerns zurückzuführen ist. Aufgrund der Größe und Masse des Heliumkerns wechselwirkt dieser stärker mit anderen Teilchen und erzeugt dadurch häufig Ionen. Dabei wird die kinetische Energie des Teilchens verwendet. Bei der Ionisation wird ein Teil der Energie auf ein Valenzelektron übertragen, wodurch es sich von dem Atom löst und aus der Hülle getrennt wird. Dabei geht ein Teil der ursprünglichen kinetischen Energie verloren. α -Teilchen erzeugen verhältnismäßig viele Ionen, verlieren daher auch schnell an Energie, was die Reichweite scharf begrenzt. Je dichter die Ansammlung an ionisierbaren Atomen ist, desto schneller verliert sich die Energie und das α -Teilchen kommt zum Stillstand. Die Reichweite in Materie ist bei einem α -Zerfall also stark eingeschränkt und kann gut abgeschirmt werden [Dem17, S.84].

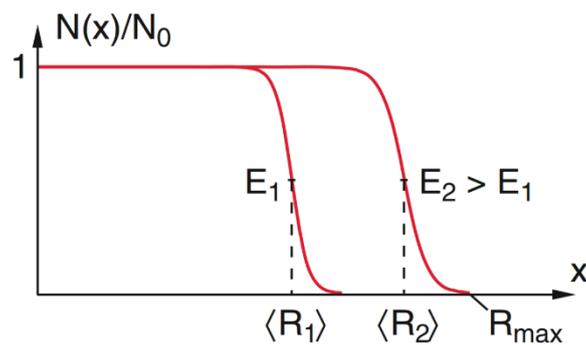


Abbildung 1: Reichweite von Alpha-Teilchen in Luft, dargestellt als Abnahme der relativen Zahl $N(x) / N(x=0)$ [Dem17, S.84 Abb. 4.55]

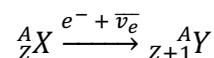
2.2.2 Betazerfall

Die Entdeckung des β -Zerfalls hatte weitreichende Auswirkungen in der Entwicklung von der Vorstellung von Wechselwirkungen in der Natur und hat maßgeblich zur Entdeckung des Neutrinos beigetragen. Es wurde beobachtet, dass einige radioaktive Substanzen zusätzlich zu α -Strahlung auch Elektronen und Positronen emittierten. Diese Eigenschaft konnten allerdings nicht auf den α -Zerfall zurückgeführt werden, da dieser einen Zweikörper-Zerfall darstellt. So wurden sowohl Elektron als auch Tochterkern teilweise in denselben Halbraum emittiert, die kinetische Energie widersprach den zu erwartenden Energiespektren eines Zweikörper-Zerfalls

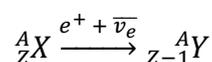
und durch die Umwandlung von einem u - g -Kern zu einem g - u -Kern wurde die Drehimpulserhaltung verletzt. Somit musste es sich dabei um einen anderen Zerfall als den α -Zerfall handeln [Dem17, S.44].

In der Regel erfolgt eine Betaumwandlung, wenn ein Radionuklid einen isobaren Nachbarn mit geringerer Energie als es selbst besitzt. Es wird von Umwandlung gesprochen, da sich im Kern des Mutternuklids unter Ladungsemission die Nukleonen ineinander umwandeln. So wird aus einem Neutron ein Proton mit negativer Ladung und aus einem Proton ein Neutron mit positiver Ladung, wobei die negative Ladung ein Elektron darstellt und die positive Ladung ein Positron. Es ändern sich also die Ordnungszahl und Neutronenanzahl, nicht aber die Massenzahl [Kri19, S.106f].

Bei einem β^- -Zerfall wird die negative Elementarladung emittiert. Dadurch erhöht sich die Kernladungszahl Z um eine Einheit für den Tochterkern und die Neutronenanzahl verringert sich ebenfalls um eine Einheit. Zusätzlich wird ein Elektron-Antineutrino emittiert mit einem $\frac{1}{2}$ Spin. Hierdurch wird der Gesamtspin beibehalten und so der Energieerhaltungssatz erfüllt [Dem17, S.45].



Wandelt sich ein Proton unter Aussendung eines Positron und eines Neutrinos in ein Neutron um, wird von dem β^+ -Zerfall gesprochen. Die Ordnungszahl wird um eine Einheit kleiner und die Neutronenanzahl steigt um eine Einheit. Auch dabei wird ein weiteres Teilchen in Form eines einfachen Elektronen-Neutrinos emittiert. Eine Besonderheit des β^+ -Zerfalls ist das Phänomen, dass es beim Durchgang von Materie, sollte das Positron auf ein Elektron treffen, zu einer gegenseitigen Vernichtung kommt, woraus sogenannte Vernichtungsquanten entstehen. Diese besitzen die Summe der Ruheenergien der beiden Teilchen [Dem17, S.45f].



Da die emittierten Teilchen eines β -Zerfalls wesentlich kleiner sind als die des α -Zerfalls und eine geringe Masse haben, wechselwirken β -Teilchen nicht so stark mit anderen Teilchen und haben auch geringeres Ionisationspotenzial. Dadurch steigen die Reichweite und Eindringtiefe in Materie deutlich. Während es sich bei der Reichweite in der Luft für den α -Zerfall nur um wenige Zentimeter handelt, sind es bei einem β -Zerfall mehrere Meter. Die Abschirmung von β -Strahlung ist somit komplexer und benötigt einen größeren Aufwand. In Nebelkammern ist

die Flugbahn von β -Teilchen häufig mit Krümmungen sichtbar, da die Streuung bei diesen höher ist [Dem17, S85f].

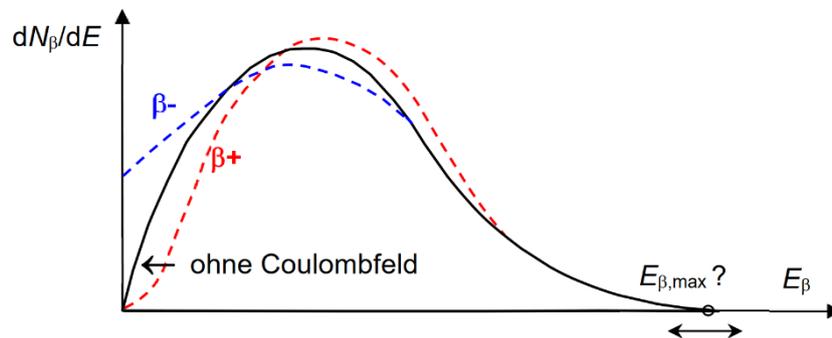
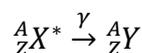


Abbildung 2: Die relativen Verteilungen der kinetischen Energien der β -Teilchen nach β -Zerfällen (schematisch) [Kri19, S.107 Fig. 3.8]

2.2.3 Gammastrahlung

Wenn ein Atomkern aus einem angeregten Zustand E_k in einen tieferen Zustand E_i übergeht, dann wird dies γ -Strahlung genannt. Dabei nutzt ein Mutternuklid überschüssige Anregungsenergie, nach einem Zerfall oder einer Umwandlung, und sendet diese in Form von hochenergetischer Photonenstrahlung aus, welche γ -Quanten genannt werden. Ermöglicht werden die Emissionen durch elektromagnetische Wechselwirkungen und treten häufig bei radioaktiven Zerfällen auf, wenn ein Tochterkern in einen angeregten Zustand übergeht. Die Übergangswahrscheinlichkeit ist dabei von der Strahlungsmultipolarität und der Übergangsart der nuklearen Zustände abhängig. Gegensätzlich zu Elektronenübergängen in Atomen bestehen keine einfachen Regeln für nukleare Übergänge, wodurch komplexe γ -Zerfallsschemata auftreten können. Da sich die Massenzahl dabei nicht verändert und nur die Energie für die Aussendung des Photons verbraucht wird, beschreibt die γ -Emission weder Umwandlung noch einen Zerfall. Die γ -Emission tritt in Kombination mit weiteren Zerfällen und Umwandlungen auf und steht nicht für sich selbst [Dem17, S.49f].



γ -Strahlung besitzt ein sehr geringes Ionisationspotential, da sie nur indirekte Ionisation hervorruft, wodurch sich ihre Reichweite erheblich erhöht [Kri19, S.17f]. Daher ist sie wesentlich weitreichender als α - oder β -Strahlung und hat eine größere Eindringtiefe in Materie [Dem17, S.85]. Dadurch ist sie in Nebelkammern und anderen visuellen Detektoren so gut wie nie zu sehen.

2.2.4 Kosmische Strahlung

Unter kosmischer Strahlung, oder Höhenstrahlung genannt, versteht sich ein Sammelbegriff von extraterrestrischer Strahlung, also Strahlung von außerhalb der irdischen Atmosphäre. Unterschieden wird dabei in Strahlung von außerhalb unseres Sonnensystems und der Strahlung unserer Sonne, genannt Galactic Cosmic Rays (GCR) und Solar Cosmic Rays (SCR). Der Anteil dieser kosmischen Strahlung kann eine Jahresdosis von $400 \mu\text{Sv}$ erreichen und macht somit etwa ein Fünftel der Gesamtdosis eines in Deutschland lebenden Menschen aus. Hauptsächlich besteht kosmische Strahlung aus vollionisierten Atomkernen (98%) und zusätzlich Elektronen (2%), wobei die Herkunft der galaktischen kosmischen Strahlung noch nicht in vollem Umfang erklärt werden konnte [Spa18, S.139f]. Dabei werden Energien zwischen 10^9 und 10^{20} eV erreicht. Sobald die Höhenstrahlung in die Erdatmosphäre eindringt, finden Wechselwirkungen in der Atmosphäre mit den Luftmolekülen statt, wodurch die Strahlung in verschiedene Komponenten aufgeteilt wird. Diese sogenannten Zerfallskaskaden bilden ein sekundäres Strahlungsfeld aus Protonen, Neutronen, Mesonen, γ -Quanten, Myonen, Pionen, Neutrinos und Elektronen. Dabei erreichen nur die Atomkerne und Pionen die tieferen Schichten der Atmosphäre. Die Ausbreitung dieser Sekundärteilchen, welche schlussendlich bis auf den Boden der Erde treffen, werden als Kaskadenschauer bezeichnet (Abbildung 3) [Spa18, S.147].

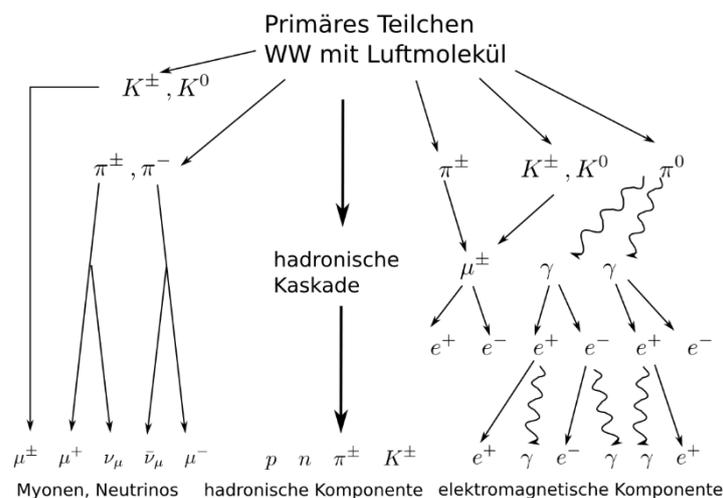


Abbildung 3: Entwicklung eines Teilchenschauers durch ein schweres Teilchen (z.B. Proton) in der Atmosphäre [Spa18, S.147 Abb. 3.4]

Für diese Arbeit sind die relevanten Komponenten der kosmischen Strahlung Myonen und Protonen, welche nach zahlreichen Wechselwirkungen in der Atmosphäre die Erde erreichen. Die Spuren dieser sekundären Strahlungsteilchen können durch eine Nebelkammer visuell erfasst werden. Myonen sind positiv oder negativ geladene Strahlungsteilchen mit einer schwachen Wechselwirkung zu Atomen. Sie besitzen eine Ruhemasse von $105,66 \text{ MeV}$, was dem 200-

fachen eines Elektrons entspricht. Myonen gelten als instabile Teilchen mit spontanen Zerfällen mit einer Lebensdauer von $2,2 \cdot 10^{-6} \text{ s}$ [Dem17, S.164]. Entscheidend für die Sichtbarkeit von Myonen in Nebelkammern sind die relativistischen Effekte, welche sie umgeben. Trotz seiner Masse besitzt es bereits vor seinem Zerfall relativistische Effekte, aufgrund seiner Geschwindigkeit nahe der Lichtgeschwindigkeit. Die daraus folgende Zeitdilatation erhöht die Lebensdauer von Myonen um ein Vielfaches und ermöglicht es ihnen die Erdoberfläche zu erreichen [Dem17, S.163]. Protonen hingegen erreichen selten die Erdoberfläche und treten ebenso selten in Nebelkammern auf. Mit einer Masse von etwa $938,28 \text{ MeV}$ ist es deutlich schwerer als ein Myon, allerdings auch deutlich leichter als eine α -Teilchen [Dem17, S.164]. Diese Eigenschaften finden sich in Beobachtungen in Nebelkammern wieder.

2.3 Strahlungsteilchen

Die beschriebenen radioaktiven Zerfälle emittieren unterschiedliche Teilchen mit spezifischen visuellen Eigenschaften. Durch eine Nebelkammer können diese in Form von Tröpfchenspuren sichtbar gemacht werden. Der Ursprung dieser Strahlung kann dabei natürlich oder kosmisch sein oder durch ein Präparat beigefügt werden. Die Häufigkeit der auftretenden visuellen Effekte kann stark fluktuieren und ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Baumaterialien, Bodenbeschaffenheit und auch das Alter eines Gebäudes können maßgeblich die Sichtbarkeit verstärken oder beschränken. Auch die Eigenschaften verschiedener Strahlungsarten machen es schwierig diese genauer zu erkennen. Im Folgenden sollen die am häufigsten auftretenden Teilchen dargestellt und ihre visuelle Repräsentation deutlich gemacht werden [Strb].

2.3.1 Alphateilchen

Das α -Teilchen zählt zu den am besten zu erkennenden Strahlungsteilchen. Erkennbar sind α -Teilchen durch ihre markante Geradlinigkeit und ihrer verhältnismäßig breiten Spur, wodurch sie in der Nebelkammer gut sichtbar sind. Dies ist auf die starke Wechselwirkung des Teilchens zurückzuführen, da Heliumkerne über ein großes Ionisationspotential verfügen (vgl. Abschnitt 2.2.1). Sie ionisieren auf ihrem Weg viele weitere Atome und verlieren dadurch schnell ihre kinetische Energie und kommen bereits nach kurzer Zeit abrupt zum Stillstand. Jede Spur erreicht dabei die gleiche Wegstrecke, da die kinetische Energie für einen überproportionalen Großteil der α -Teilchen identisch ist. Dies wird durch die Aufzeichnung von diskreten Energiespektren deutlich, die eine charakteristische Kennlinie aufweist. Der Energieverlust eines α -Teilchens ist daher gut durch seine Tröpfchenspur in einer Nebelkammer nachvollziehbar und

gibt eine visuelle Stütze für das Verständnis von Wechselwirkungen zwischen Atomen und Strahlenteilchen.



Abbildung 5: Alpha-Teilchen ausgehend von Thoriumstab
[Sch20, S.13 Abb. 21]

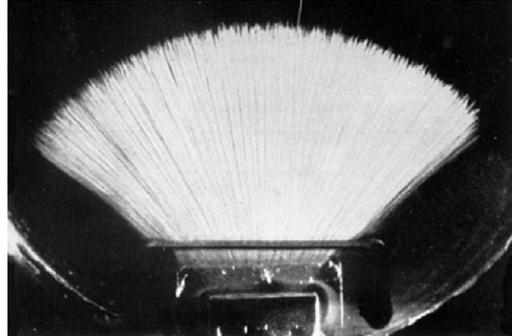


Abbildung 4: Aufnahme gleich langer Spuren von Alpha-Teilchen [Dem17, S.41 Abb. 3.16]

2.3.2 Betateilchen

β -Teilchen ziehen in der Nebelkammer weitaus längere Spuren als α -Teilchen. Die Spuren sind dabei gekrümmt und vergleichsweise dünn, weshalb sie häufig eine schnurartige Erscheinung haben. Diese Charakteristika sind auf das geringe Ionisationsvermögen der β -Teilchen zurückzuführen (vgl. Abschnitt 2.2.1). Umliegende Atome werden nicht häufig ionisiert und verändern bei einem Aufeinandertreffen die Flugbahn des β -Teilchens. Auch kann sich die kinetische Energie der Teilchen unterscheiden. Daher sind die Bahnen oftmals unterschiedlicher Länge und Form und ähneln sich selten.



Abbildung 7: Beta-Teilchen ausgehend von Thoriumstab
[Sch20, S.13 Abb. 22]



Abbildung 6: Energiearmes Elektron
[Sch20, S.12 Abb. 8]

2.3.3 Myon

Die Spuren von Myonen in einer Nebelkammer spiegeln die Eigenschaften dieser Teilchen gut wider. Durch die etwas größere Masse von Myonen im Vergleich zu β -Teilchen, sind auch die sichtbaren Spuren etwas breiter als die von β -Teilchen (vgl. Abschnitt 2.2.4). Aufgrund der

relativistischen Geschwindigkeiten der Myonen und hohen Energie beim Auftreffen auf die Erdoberfläche, sind die Spuren von diesen allerdings geradlinig und auch sehr lang. Trotz der kurzen Lebensdauer der Myonen, ist es durch die Zeitdilatation möglich, dass diese auf die Erdoberfläche treffen und dadurch in Nebelkammern sichtbar werden können (vgl. Abschnitt 2.2.4). Dennoch kann es für Menschen, welche sich der Unterschiede nicht bewusst sind, zu Verwechslungen zwischen Myonen und β -Teilchen kommen, weswegen dies berücksichtigt werden muss.

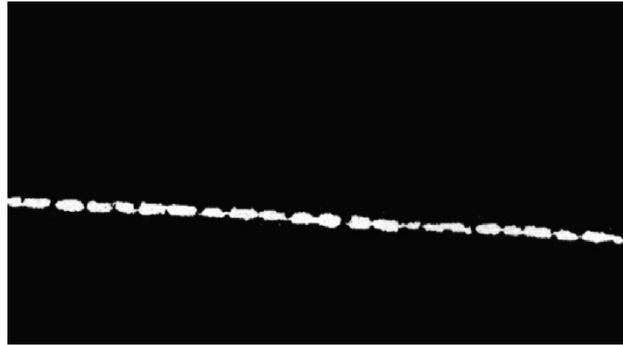


Abbildung 8: Myon [Sch20, S.11 Abb. 5]

2.3.4 Proton

Das Proton liegt mit seinen Spureigenschaften zwischen dem Myon und dem α -Teilchen. Die Spuren von Protonen sind aufgrund ihrer Masse breiter als die des Myons und dünner als die des α -Teilchens. Auch die Länge der Spuren liegt zwischen denen der anderen Teilchen und ist kürzer als Myon-Spuren und länger als α -Spuren. Da bei Protonen kein großes Ionisationspotential vorliegt, treten auch deren Spuren seltener auf und sind für ungeschulte Blicke nur schwer von anderen Teilchen zu unterscheiden, besonders im Kontext des einmaligen und kurzweiligen Erlebens einer Nebelkammer (vgl. Abschnitt 2.2.4).

2.4 Strahlenschutz

Die bisher beschriebene ionisierende Strahlung und ihre Arten verfügen in unterschiedlicher Ausprägung über die Eigenschaft, durch Materie zu dringen. Die Veränderungen von Atomen und anderen Teilchen betrifft dabei nicht nur anorganische Materie, sondern auch organische Materie. Ionisierende Strahlung kann so Schäden an diesen Geweben hervorrufen oder diese sogar ganz zerstören. Solche Schäden werden in deterministische und stochastische Strahlenschäden unterschieden. Deterministische Strahlenschäden sind direkt eintretende Schäden und treten ab $200mSv$ auf. Stochastische Strahlenschäden gehen nicht von einer Schwelle aus, sondern einer proportionalen Steigerung der Schäden pro ausgesetzte Strahlung des Menschen

[Stra]. Strahlungsschäden können also auch nach Jahren auftreten und sind oftmals nicht direkt erkennbar. Zur Verhinderung und Verminderung dieser Schäden ist angebrachter und fachgerechter Strahlenschutz nötig. Die Verhinderung des Eintretens von deterministischen Schäden verlangt, dass der Schwellwert in keinem Fall überschritten wird. Gleichzeitig muss die Exposition auch unterhalb der Schwellenwerte so gering wie möglich gehalten werden, um die stochastischen Strahlenschäden auch auf Dauer zu minimieren [Stra].

Für die Gewährleistung des Strahlenschutzes können verschiedene Maßnahmen getroffen werden. Die Vergrößerung des Abstands zu einem strahlenden Material hilft die Strahlenbelastung zu senken und dieser, je nach emittierter Strahlung, vollständig auszuweichen. Auch kann durch die Abschirmung der Strahlung die Wirkung eingedämmt, oder komplett abgeschirmt werden. Die Art der Abschirmung muss entsprechend der vorliegenden Strahlung getroffen werden. Durch Abschirmung kann zudem die Streuung der Strahlung vermindert und somit die Strahlenbelastung in der Umgebung beschränkt werden. Die Aufenthaltsdauer sollte in jedem Fall minimiert werden, um weiterer Belastung durch Strahlung entgegenzuwirken.

Besonders in einem schulischen Kontext sind die Grundsätze des Strahlenschutzes zu berücksichtigen. Die Grundsätze stellen dabei die Rechtfertigung, Dosisbegrenzung und Optimierung in den Vordergrund. Die Benutzung und Arbeit in der Nähe von radioaktivem Material müssen in dem spezifischen Kontext gerechtfertigt sein, sowohl für natürliche und anthropogene Strahlenexposition. Dabei muss abgewogen werden, ob die Verwendung solcher Materialien gesundheitliche Schäden hervorrufen kann. Eine Dosisbegrenzung sieht vor, dass eine Strahlendosis unter keinen Umständen die Grenzwerte überschreitet. Die Optimierung soll daher, trotz des Verwendens von kontaminationsfähigem Material, die Kontamination so gering wie möglich halten. Das sogenannte ALARA-Prinzip (*As Low As Reasonably Achievable*) soll diesen Punkt verdeutlichen [Stra].

In dem Kontext dieser Arbeit wird für die Nebelkammer ein Thorium Glühstrumpf verwendet. Der Glühstrumpf befindet sich verschlossen in einer Plastikspritze. Aufgrund des Thorium Gehalts entsteht innerhalb dieser Spritze radonhaltiges Gas. Zur Verwendung wird die Spritze von außen durch die Dichtung des Glasaquariums geführt und die radonhaltige Luft hineingelassen. Dieser Vorgang wird allein von der Lehrkraft ausgeführt. Die Spritze wird sich im weiteren Verlauf der Stunde nicht in der Nähe der Schüler:innen befinden. Durch diese Maßnahmen sind sowohl Abstand, Abschirmung und Aufenthaltsdauer der Schüler:innen zu dem Präparat sichergestellt.

3 Nebelkammern

Die erfolgreiche Verwendung von Nebelkammern im schulischen Kontext, benötigt ein grundlegendes Verständnis der Lehrkräfte über ihre Funktionsweise, um dieses bestmöglich an die Schüler:innen weitergeben zu können. In diesem Abschnitt wird das Grundprinzip von Nebelkammern erläutert und im Anschluss die Funktion der verwendeten Nebelkammer. Eine ausführlichere Beschreibung liegt in der Arbeit Saathoff vor (vgl. Abschnitt 3 in [Saa23, S.13f]).

3.1 Prinzip einer Nebelkammer

Die Funktion einer Nebelkammer ist es Strahlungsteilchen, die mit dem bloßen Auge nicht sichtbar sind, sichtbar und visuell greifbar zu machen. Um dies zu ermöglichen, muss ein übersättigter Wasserdampf erzeugt werden. Dafür wird ein Gas-Wasserdampf-Gemisch hergestellt, welches durch adiabatische Expansion diesen Wasserdampf erzeugt. Häufig wird für diesen Prozess Alkohol in Form von Isopropanol verwendet, wodurch ein Luft-Alkoholdampf-Gemisch entsteht. Innerhalb dieses übersättigten Alkoholdampfes ist es verschiedenen Teilchen einfacher möglich zu kondensieren. Sobald eine Kondensation stattfindet, ist dies durch Wassertröpfchen bzw. Dampfblasen zu erkennen [Klo08, S.147f].

Ionen stellen gute Kondensationskeime dar. Befindet sich ein Strahlungsteilchen innerhalb der Nebelkammer bewegt es sich durch den Alkoholnebel. Auf seinem Weg ionisiert es umliegenden Atomen und hinterlässt eine Ionenspur [Wil09, S.27]. Diese Ionen führen zur Kondensation des Alkohols und lassen eine Tröpfchenspur erkennen. Mit Hilfe dieser Tröpfchenspur kann sich der Weg des zuvor durchdringenden Ions nachvollziehbar erahnen lassen. Das Erscheinungsbild der Spuren ist dabei abhängig von den spezifischen Eigenschaften des durchdringenden Strahlungsteilchens (vgl. Abschnitt 2.3).

Das Ermöglichen solcher Kondensationen und damit der Entstehung solcher Tröpfchenspuren stellt die grundlegende Aufgabe einer Nebelkammer dar. Für die Benutzung der im Kontext dieser Arbeit verwendeten Nebelkammer wird sich das Prinzip der Kühlung des beschriebenen Luft-Alkoholdampf-Gemisches zu Nutze gemacht. Die Kondensationswahrscheinlichkeit erhöht sich mit zunehmender Dichte des Alkoholdampfes. Die Kapazität zur Aufnahme von Alkohol in der Luft ist temperaturabhängig. Je geringer die Temperatur, desto geringer ist die Kapazität zur Aufnahme von Alkohol. Somit wird eine Übersättigung des Nebels garantiert und Kondensationen ermöglicht. Die Reduzierung der Temperatur kann auf unterschiedliche Arten erfolgen. Häufig findet Trockeneis Verwendung mit einer vergleichsweise kurzen Zeitspanne

zur Beobachtung der Spuren. In kontinuierlichen Nebelkammern wird die Temperatur konstant gehalten und so über längere Zeit eine Beobachtungsmöglichkeit geschaffen.

3.2 Verwendete Nebelkammer

3.2.1 Diffusionsnebelkammer

Das Prinzip der verwendeten Nebelkammer basiert auf einer Diffusionsnebelkammer. In einer Diffusionsnebelkammer wird durch Erhitzen der Oberseite und starkes Kühlen der Unterseite ein Temperaturgradient erzeugt. An der Oberseite wird durch Zufuhr des Alkohols das Luft-Alkohol-Dampfgemisch erzeugt, welches sich in die untere Hälfte der Nebelkammer absetzt [Sch20, S.16]. Durch die Hitze an der Oberseite verdampft der Alkohol. Sinkt der Dampf ab, wird dieser gekühlt und die Alkoholaufnahmekapazität der Luft beschränkt. Das nun gekühlte übersättigte Luft-Alkoholdampf-Gemisch erfüllt nun die gesamte untere Hälfte der Nebelkammer und nimmt ein nebel-ähnliches Aussehen an. In diesem dünnen, gut durchsichtigen Nebel können nun die Spuren ionisierender Strahlung erkannt werden. Die Sichtbarkeit der Strahlung hält so lange an, wie der Temperaturgradient erhalten wird. Sobald die Temperaturen sich wieder normalisieren, wird auch der Effekt zur Sichtbarkeit geringer. Für eine längerfristige Erhaltung des übersättigten Nebels können verschiedene Materialien und Stoffe verwendet werden. Zur Kühlung der Unterseite kann gefrorenes Kohlenstoffdioxid, sogenanntes Trockeneis, mit einer Temperatur von $-78,5^{\circ}\text{C}$ verwendet werden. Die Unterseite wird dadurch schnell und langanhaltend gekühlt und somit der Gradient länger aufrechterhalten als durch herkömmliches Eis aus Wasser. An der Oberseite kann beispielsweise Isopropanol als Alkohol Anwendung finden. Seine Siedetemperatur liegt bei $82,5^{\circ}\text{C}$ und kann daher mit haushaltsüblichen Geräten erreicht werden (Wasserkocher und Wärmeflasche). Aber auch bereits bei Raumtemperatur kann Isopropanol gasförmig werden. Sein Schmelzpunkt hingegen liegt bei -89°C und kann auf tiefe Temperaturen abgekühlt werden. Die Temperatur von Trockeneis liegt noch über diesem Schmelzpunkt und ist daher gut verträglich mit den Eigenschaften des Isopropanols. Durch dieses Zusammenspiel der Eigenschaften kann die verwendete Nebelkammer bis zu einer halben Stunde ionisierende Strahlung sichtbar machen.

3.2.2 Aufbau der verwendeten Nebelkammer

Für einen erfolgreichen Einsatz der Nebelkammer in einem schulischen Rahmen, mussten verschiedene Kriterien erfüllt werden. Komplexe Bau- und Funktionsweisen sind aufgrund des Aufwandes und auch höherer Kosten ausgeschlossen. Die Nebelkammer muss in ihrer Anfertigung simpel und kostengünstig und gleichzeitig nachhaltig in der Anwendung sein, um das

Erleben der ionisierenden Strahlung nicht zu sehr einzuschränken. Auch ein Nachbau solcher Nebelkammern sollte ressourcensparend möglich sein. Die Kammern dürfen dabei nicht zu klein geraten, damit zeitgleich mehrere Schüler:innen an einer Nebelkammer arbeiten können. Zur Gewährleistung der Sicherheit sollten die Kammern analog funktionieren, ohne Verwendung von elektrischem Strom oder Gas. Das Prinzip einer Diffusionsnebelkammer ist daher eine geeignete Methode für ein solches Projekt. Die Nebelkammer basiert auf den Aufbau von Carolin Schwerdt [Sch20, S.2f], welche diesen Kriterien folgte. Nach Realisierung dieser Pläne wurde eine Stückzahl von 10 Nebelkammern gebaut.

Die Basis besteht aus einer mit Styrodur isolierten Holzbox. Das Styrodur wird aufgrund seiner hervorragenden Isolationseigenschaften verwendet. Es soll das sich in der Box befindliche Trockeneis möglichst lange erhalten. Über dem Trockeneis liegt eine eloxierte schwarze Aluminiumplatte, auf welcher eine passende Gummidichtung an den Rändern platziert ist. Auf dieser Gummidichtung wird ein Glaskubus mit offener Seite nach unten platziert. Die Art des Glaskubus kann variieren. In diesem Fall ist es ein herkömmliches Glasaquarium. An der Oberseite des Aquariums befindet sich ein eingeklebter und mit Magneten fixierter Filz. Bei Benutzung der Nebelkammer wird dieser Filz mit Isopropanol getränkt, sodass der Alkohol in die Nebelkammer hinab sinken kann. Von außen werden längliche LED-Lampen angelehnt, um die Innenseite der Kammer zu erleuchten [Sch20, S.2f].



Abbildung 9: Verwendete Nebelkammer [Saa23, S.16 Abb.10]

Gemessen ist die Nebelkammer mit Holzbox 40cm lang, 30cm breit mit einer Höhe von 30cm (40/30/30). Das Aquarium selbst hat die Maße 30/20/20 cm und ermöglicht damit einen vollumfänglichen Blick auf die Vorgänge in der Nebelkammer.

In der Kammer selbst gibt der alkoholgetränkte Filz den Alkoholnebel ab, welcher in die unteren Ebenen absinkt. Um dies zu beschleunigen, kann eine Wärmeflasche auf die Oberseite gelegt werden. An der Unterseite wird der Nebel durch das Trockeneis abgekühlt und es bildet sich der gewünschte Temperaturgradient. Der sich nun übersättigende Nebel lässt nach und nach die Spuren von ionisierender Strahlung sichtbar werden. Entscheidend dabei ist der Kontrast der schwarzen Auskleidung der Holzbox und die schwarze Aluminiumplatte, da diese einen geeigneten Kontrast zu den weißlichen Tröpfchenspuren bilden. Die LED-Lampen lassen die Kondensationsspuren durch die Reflektion des Lichtes an ihnen besser erkennen. Die der Lampe gegenüberliegende Seite ist dabei, aufgrund der nach vorne gehender Streuung des Lichts, am geeignetsten, um die Spuren zu erkennen. Die Gummidichtung soll die Nebelkammer abdichten und so verhindern, dass der Nebel nicht aus der Kammer austritt. Gleichzeitig soll keine Außenluft eindringen und so das Gemisch und den Nebel verändern und es sollen ungewollte Luftströme unterbunden werden [Sch20, S.8].

4 Didaktische Grundlagen

Dieses Kapitel behandelt die Bildungsstandards des Physikunterrichtes, wie sie von der Kultusministerkonferenz festgelegt wurden. Darauf folgend wird die Thematik der Experimente im physikalischen Unterricht behandelt und die Integration von Schülerexperimenten genauer untersucht. Abschließend wird die in dieser Arbeit verwendete Gliederung vorgestellt. Die hier beschriebenen didaktischen Grundlagen bauen auf denselben Grundlagen der Bachelorarbeit von Herrn Saathoff auf. Diese Entscheidung wurde getroffen, um das Fundament der Unterrichtskonzepte nicht zu verändern und eine möglichst geringe Differenz in den Annahmen der Durchführung solcher Experimente beizubehalten. Eine ausführliche Beschreibung der didaktischen Grundlagen sind in der vorausgegangenen Arbeit wiederzufinden (vgl. Abschnitt 4 in [Saa23, S.18f]).

4.1 Bildungsstandards des Physikunterrichtes

Im Jahr 2004 wurden durch die Kultusministerkonferenz die Bildungsstandards für den Physikunterricht in der Abschlussstufe der Sekundarstufe I (Jahrgangsstufe 10) festgelegt, wodurch

bundesweit ein qualitativ hochwertiger Unterricht sichergestellt werden sollte [Kir20, S.97]. Um moderne Forschung und naturwissenschaftliche Entdeckung und die damit einhergehenden Vorteile und Risiken verstehen und bewerten zu können, ist ein fundamentales Verständnis und Wissen in der Physik essenziell. Die Standards, um dies zu ermöglichen, orientieren sich am Kompetenzbegriff, der nach Weinert „die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“ umfasst [Wei01, S.27] [Saa23, S.18].

Die Bildungsstandards sind nach dem Kerncurriculum in vier Kompetenzbereiche eingeteilt: Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung [Kul04, S.7]. Der Bereich des Fachwissens bezieht sich auf physikalische Phänomene, Begriffe und Gesetzmäßigkeiten, welche in die Basiskonzepte Materie, Wechselwirkung, System und Energie eingeordnet werden. Die Erkenntnisgewinnung nutzt experimentelle Methodiken, um physikalische Fragestellungen greifbar beantworten zu können. Die Kommunikation hebt das sach- und fachgerechte Erschließen und Austauschen von Informationen unter Berücksichtigung der fachlich korrekten Sprache hervor, wobei die Verwendung von Fachbegriffen betont wird. Die Fähigkeit physikalische Sachverhalte in unterschiedlichen Kontexten zu bewerten und darüber hinaus zwischen politischen, gesellschaftlichen und physikalischen Aspekten zu differenzieren, ist Teil des Bewertungsbereiches [Saa23, S.29].

Die Kompetenzbereiche werden in den Kerncurricula der einzelnen Länder weiter konkretisiert, sowie in Teilkompetenzen gegliedert. Diese Arbeit orientiert sich am Kerncurriculum des Landes Niedersachsen, in welchem dies im Bereich “Atom- und Kernphysik” der Sekundarstufe I genauer gegliedert wird. Im niedersächsischen Kerncurriculum ist der Erwerb der dargestellten Kompetenzen ein hervorgehobenes Ziel und für diese Arbeit besonders der Bereich der Schülerexperimente von großer Bedeutung [Saa23, S.20].

4.2 Experimente

Experimente nehmen eine zentrale Position im Physikunterricht und Arbeiten in den naturwissenschaftlichen Bereichen ein. Die Erkenntnisgewinnung anhand visueller und praktischer Aufgaben, sowie die Untersuchung physikalischer Prozesse in einer kontrollierten Arbeitsumgebung sind wichtiger Bestandteil im modernen Physikunterricht. Experimente im schulischen

Alltag unterscheidet sich wesentlich von denen im wissenschaftlichen oder universitären Kontext, da in der Schule oftmals das Erlebnis von und Heranführen an Phänomene im Fokus stehen und die intensiven Planungs- und Optimierungsphase in den Hintergrund rückt [Kir20, S.265]. Dennoch ist auch im Unterricht die inhaltliche Auseinandersetzung mit den Experimenten und ihrer Bedeutung elementarer Bestandteil. Im Unterricht können und sollen Experimente verschiedene Funktionen erfüllen. Sie sollen Lerninhalte verdeutlichen, die physikalischen Gesetzmäßigkeiten aufzeigen, aufgestellte Theorien prüfen und physikalische Phänomene veranschaulichen und somit eine visuelle Stütze darbieten. Durch sie sollen die Schüler:innen in ihrer naturwissenschaftlichen Arbeitsweise geprüft und gefördert werden, um ihre wissenschaftliche Befähigung zu verbessern [Saa23, S.21]. Diese Vielseitigkeit von Experimenten im Physikunterricht wird auch von Kirchner in seinen formulierten didaktischen Zielsetzungen aufgegriffen [Saa23, S.21f]. So beschreibt er, dass Experimente vielfältige Fähigkeiten haben und „Meilensteine unserer Kulturgeschichte aufzeigen“ [Kir20, S.270], die „Physikalische Arbeitsweisen einüben“ [Kir20, S.269], und „Ein Phänomen klar und überzeugend darstellen“ [Kir20, S.266].

4.2.1 Schülerexperimente

Schülerexperimente im Physikunterricht ermöglichen es den Schüler:innen direkt am Prozess des Experimentierens teilzunehmen und sich, im Gegensatz zu Demonstrationsexperimenten, selbst einzubringen. In den Arbeitsphasen sind nicht allein die Erkenntnisse und das Erlebnis der Fokus, sondern gleichzeitig auch das praktische experimentelle Arbeiten und soziale und motivationale Ziele [Saa23, S.22]. Die Fähigkeiten der Kooperation und Kommunikation in den Arbeitsgruppen und das situative Interesse können dadurch verbessert werden. Schülerexperimente spielen eine zentrale Rolle beim Erwerb von prozessbezogenen Kompetenzen, wie sie im Niedersächsischen Kerncurriculum festgelegt sind. Diese Kompetenzen unterteilen sich in eigenständiges Erkunden, Problemlösen, Dokumentieren und Präsentieren. Die Aufgaben im Rahmen von Schülerexperimenten sind häufig offene Fragestellungen, wobei der Grad der Offenheit von der Lehrkraft angepasst wird, gemessen an dem Lernstand und fachlichen Kompetenzen der Lernenden, um ideale und geeignete Lernmöglichkeiten zu schaffen. Das Facettenmodell [Saa23, S.23] bietet Lehrkräften eine Möglichkeit die geförderten und geforderten Teilkompetenzen von solchen Experimenten einzuschätzen und zu bewerten. Dadurch können diese im Unterricht gezielt gefördert und gestärkt werden. Schülerexperimente bilden im physikalischen Unterricht daher einen zentralen Schwerpunkt zur Förderung der naturwissenschaftlichen Schülerkompetenzen [Saa23, S.22f].

4.3 Gliederung der Unterrichtsstunde im Physikunterricht

Das Grundschema des Physikunterrichts gliedert sich in die Phasen der Motivierung, Erarbeitung und Vertiefung [Kir20, S.233]. In der Motivierungsphase soll das Interesse der Schüler:innen für eine Problemstellung geweckt werden. Dabei ist eine klare und genaue Darstellung des Problems nötig, sowie, den Lernenden ausreichend Zeit zu geben das Problem zu verstehen und eine Vermutung auszudrücken und später in Hypothesen zu formulieren. Das Problem ist zentral in der Motivierungsphase und soll einen kognitiven Konflikt erzeugen, in welchem die neuen Informationen dem eigenen Wissen und der Erfahrung widersprechen. Dieser Konflikt fördert so das Interesse und die Motivation zur Behandlung der Problemstellung. Dabei muss auf das richtige Maß neuer Information geachtet werden, um die Schüler:innen nicht zu überfordern [Saa23, S.30f].

Das Problem wird in der Erarbeitungsphase genauer untersucht und häufig durch Experimente gestützt, um die aufgestellten Hypothesen zu überprüfen [Kir20, S.238]. Dabei ist ein auf die Lernenden angepasstes Unterrichtstempo essenziell. Die Schüler:innen sollen die Möglichkeit haben, die Problemstellungen in ihrem eigenen Lerntempo zu bearbeiten und auch die Experimente nach eigenem Ermessen häufig durchführen zu können. Damit leistungsstärkere Schüler:innen nicht ausgebremst werden und Motivation womöglich beeinträchtigt wird, müssen weiterführende Aufgaben bereitgestellt werden. Das Lerntempo kann sich dabei innerhalb der Klassen unterscheiden und trotzdem die gesteckten Ziele erreicht werden [Saa23, S.31].

Die Vertiefungsphase wird zur Festigung des neu erhaltenen Wissens und zur Verknüpfung mit altem Wissen benutzt. Neue Lerninhalte sollen gleichzeitig auf andere Kontexte und Beispiele übertragen werden und so den Ansätzen weitere Dimensionen hinzugefügt werden [Kir20, S.240]. Eine vollständige Vertiefung aller Ansätze ist jedoch nicht immer möglich und zu zeitintensiv. Dies kann in Folgestunden oder anhand von Hausaufgaben ausgeglichen werden, durch welche sich die Lernenden das neue Wissen weiter aneignen. Insbesondere Transferaufgaben, mit Hilfe derer das neu Erlernte auf weitere Problemstellungen übertragen wird, kann dadurch hervorragend abgebildet werden. Diese Struktur bietet didaktische und methodische Grundlagen des Physikunterrichts und stellt einen nachhaltigen Lern- und Sicherungsprozess sicher [Saa23, S.31f].

5 Die getesteten Unterrichtskonzepte

In diesem Abschnitt werden die beiden Konzepte von Herrn Saathoff nochmals betrachtet und etwaige Veränderungen an ihnen beschrieben und begründet. Zudem wird der schulische Arbeitsraum beschrieben und die damit einhergehenden Herausforderungen für das Testen dieser Konzepte.

5.1 Grundidee der beiden Konzepte

Die Erstellung der beiden Unterrichtskonzepte folgte zwei verschiedenen Ansätzen der Unterrichtsdurchführung und dem erwarteten Ergebnis. Das Konzept I zielt dabei primär auf den Unterricht als außergewöhnliche oder nicht alltägliche Erfahrung ab und ist somit als “Entdeckender Unterricht” zu verstehen [Saa23, S.28; S.33]. Das Konzept II verfolgt einen wesentlich fachlicheren Ansatz und hebt die Idee des “Exemplarischen Lernens” hervor, enthält allerdings auch Anteile des “Entdeckenden Unterrichts” [Saa23, S.27; S.40f]. Die beiden Konzepte ähneln sich thematisch sehr und auch die Arbeitsblätter sind oftmals identisch. Entscheidend sind der unterschiedliche Aufbau und Ablauf der Stunden, sowie die proaktive Nutzung der Nebelkammern in Konzept I. Diese Unterrichtseinheiten sind zudem als Einstieg in die Thematik der Kernphysik konzipiert und gehen daher von keinem Vorwissen der Schülerschaft aus [Saa23, S.33].

Konzept I sieht einen Einstieg anhand eines Phänomens, bei welchem frühe Computer der 1970er Jahre durch kosmische Strahlung beeinflusst wurden, vor. Darauf würde eine Phase der Beobachtung von kosmischer Strahlung in den Nebelkammern, im Klassensatz von 10 Stück, folgen. Auf diesen Beobachtungen baut der Rest der Stunde auf. So sollen die Begriffe der Radioaktivität und ionisierenden Strahlung beleuchtet und der Unterschied erklärt werden. Im Zuge dessen soll auch die α - und β -Strahlung erklärt werden und durch die Wechselwirkungen der emittierten Teilchen bereits ein Bezug zu den, in den Nebelkammern beobachteten, Tröpfchenspuren entstehen. Die in der Beobachtungsphase entdeckten Spuren sollen nun mit dem gewonnenen Wissen verschiedenen Bildern zugeordnet werden (vgl. Abschnitt 14.2.8). Den Abschluss bildet eine weitere Beobachtungsphase, wobei die Häufigkeit der auftretenden Spuren ermittelt werden soll [Saa23, S.33 - S.40].

Im zweiten Konzept ist der Einstieg identisch zu Konzept I und statt einer Beobachtungsphase folgt nun eine Phase der Textarbeit. Im Anschluss an die Einstiegsphase kommt nun die Bearbeitung von Arbeitsblättern zur Radioaktivität und ionisierender Strahlung (vgl. Abschnitt

14.3.8). Infolgedessen wird nun auch die Nebelkammer anhand von Bildern und Arbeitsblättern erklärt, nicht aber durch eigenes Ausprobieren. Das erste Arbeitsblatt enthält schematische Umschreibungen der einzelnen Bauteile einer Nebelkammer, welchen je ein Buchstabe zugeordnet ist. Bei richtiger Zuordnung der Bauelemente soll das korrekte Lösungswort „Strahlung“ erhalten werden. Das nächste Arbeitsblatt zeigt den Aufbau einer Nebelkammer. Die Bauelemente sollen nun richtig beschriftet werden. Nun wird das Konzept der α - und β -Strahlung anhand von Arbeitsblättern, welche ebenfalls identisch zur K1 sind, vorgestellt. Anschließend folgt eine Beobachtungsphase mit einer Nebelkammer zur Sicherung und Veranschaulichung. Auch hier sollen nun Bilder von Spuren innerhalb der Nebelkammer der richtigen Strahlungsart zugeordnet werden.

Auf jede Arbeitsphase folgt eine Phase der Sicherung. Die Ergebnisse werden im Plenum vorgestellt und besprochen. Mögliche Fragen werden beantwortet und Fehler geklärt und untersucht. Somit sollen die Schüler:innen in den Unterricht aktiv mit eingebunden werden [Saa23, S.40 - S.44].

5.2 Überarbeitung und Anpassung der beiden Konzepte

Im Zuge der Vorbereitungen für die Erprobung dieser Unterrichtskonzepte mussten diese in einigen Bereichen verändert werden. Dies geschah aus verschiedenen Gründen. Während der Planungsphase der Unterrichtsstunden mit den Physiklehrkräften zeigte sich, dass sich die Schulklassen bereits in den letzten Zügen der Thematik der Kernphysik befanden. Zudem waren einige Lehrkräfte nicht gewillt, die kritische Phase des Einstiegs für eine Unterrichtsthematik mit ungeprüften Konzepten aufzugeben. So kristallisierte sich der Umschwung von einer Einstiegsveranstaltung zu einer Sicherungsstunde heraus. Die Konzepte sollten nun nicht mehr dem Einstieg gelten, sondern in den abschließenden Phasen einer Unterrichtseinheit, diese zusammenfassend abschließen und den Schüler:innen die Möglichkeit bieten das Gelernte durch die Nebelkammern zu visualisieren. Somit mussten Veränderungen an den Konzepten vorgenommen werden, besonders in der Art der Präsentation und des Umgangs mit der Thematik. Der Einstieg in den Unterricht wurde zusätzlich verändert. Während der Fokus auf der kosmischen Strahlung blieb, wurde das Phänomen der Einwirkung von kosmischer Strahlung auf Computer, der sogenannte “soft error”, aus den Konzepten entfernt. Das beschriebene Phänomen ist sehr abstrakt und in den heutigen Geräten eine Seltenheit geworden. Der Bezug fehlt daher für die Schüler:innen, welche zu diesem Zeitpunkt die Schule besuchen. Zudem kann dieser Einstieg zu mehreren Fehlvorstellungen führen. Schüler:innen könnten zu der Annahme

gelangen, dass kosmische Strahlung nur in Bezug auf alte Technologien ihre Relevanz hat. Auch können Fehlvorstellungen des Einflusses der kosmischen Strahlung auf heutige Geräte entstehen. Daher wurde stattdessen das Phänomen der kosmischen Strahlung direkt vorgestellt und erklärt. Aus den beschriebenen Gründen mussten diese Veränderungen nun in die Konzepte implementiert werden. Der Großteil der Konzepte, sowie alle Arbeitsblätter wurden dabei nicht verändert und blieben identisch.

Die Konzepte wurden nach den genannten Gründen für die Veränderung überarbeitet, ebenso wie der zeitliche Rahmen der Unterrichtseinheit. Der Einstieg sollte dabei beide Kritikpunkte berücksichtigen und so eine angemessene Phase der Motivation darbieten. Aufgrund der Unterschiede zu den ursprünglichen Konzepten, wurde auch eine neue Präsentation für die Unterrichtsstunden erstellt, um die Veränderung mit in diese in den Unterricht einzubeziehen.

5.2.1 Motivationsphase

Zu Beginn der Motivationsphase wurde den Schüler:innen eine Frage gestellt. Die Frage lautet: „Welche Arten von Strahlung kennt ihr?“. Mit dieser Frage soll das Vorwissen der Schüler:innen erfasst werden. Da die Schulklassen bereits die Kernphysik behandelt haben, sind erwartbare Antworten α -, β - und γ -Strahlung. Die Lernenden werden also direkt mit einer Frage in die Unterrichtsstunde mit eingebunden und die Teilnahme gefördert. Die Antworten werden im Plenum gesammelt und mit dem bereitstehenden Medium festgehalten (Tafel/ Smartboard). Die Fragestellung geht dabei über die Kernphysik hinaus und schränkt die Antwortmöglichkeiten nicht ein. So soll ein Bewusstsein der Vielfältigkeit des Begriffes der Strahlung aufgezeigt werden. Die Lehrkraft kann bei der Suche nach Antwortmöglichkeiten unterstützen, indem sie Beispiele aus dem Alltag nennt. Weitere Antwortmöglichkeiten können somit auch Begriffe wie elektromagnetische Strahlung oder Mikrowellenstrahlung beinhalten. Die Sammlung der Antworten wird geschlossen mit einem Hinweis auf die Vielfältigkeit des Begriffes der Strahlung. Gleichzeitig wird der eigentlich gesuchte Begriff, die kosmische Strahlung, vorgestellt. Dies kann mit der Frage einhergehen, welche Vorstellung die Schüler:innen mit diesem Begriff vermitteln.

Die kosmische Strahlung wird nun erklärt. Zunächst wird die Bedeutung des Begriffes vermittelt, dass es sich dabei um jegliche extraterrestrische Strahlung handelt und diese den Menschen im Alltag jederzeit umgibt. Die Herkunft der Strahlung wird ebenfalls und anhand der Begriffe GCR “Galactic Cosmic Ray” und SCR “Solar Cosmic Ray” erklärt. Um zu vermitteln, dass die kosmische Strahlung ein nicht zu vernachlässigendes Phänomen darstellt, wird die jährliche

Dosis der auf den Menschen wirkenden kosmischen Strahlung erwähnt. Damit keine Fehlvorstellungen zur Gefährlichkeit der kosmischen Strahlung entstehen wird diese extra erwähnt. Das zweite Konzept wird ab diesem Punkt wie ursprünglich geplant fortgesetzt (vgl. Abschnitt 2.4).

Da eine Erklärung der Nebelkammer im ersten Konzept zunächst nur durch Beobachtungen während der praktischen Phase vorgesehen war und ohne intensive Erklärung, wurde in der Überarbeitung zusätzlich eine Folie zur Erklärung des Aufbaus erstellt. Diese folgte nach der Einführung in das Konzept der kosmischen Strahlung, um so, ähnlich zu Konzept II, eine direkte Verbindung zur Fähigkeit der visuellen Präsentation einer Nebelkammer zu ermöglichen. Die einzelnen Bauteile wurden anhand einer Darstellung der Nebelkammer erklärt und der Aufbauablauf beschrieben. Damit sollen die Schüler:innen der ersten Kontrollgruppe das gleiche Wissen erhalten, wie die der anderen Gruppe. Dabei wird allerdings allein eine mündliche und visuelle Erwähnung genutzt. Ab hier folgt auch das erste Konzept dem ursprünglichen Ablauf.

Mit diesen Veränderungen sollten die Konzepte angemessen verbessert werden. Durch die anfängliche Frage soll das bereits erhaltene Wissen geprüft und reaktiviert werden. So kann die Stunde von der Lehrkraft in den gewünschten Rahmen gelenkt werden, um die Wissenssicherung und das visuelle Verständnis so erfolgreich wie möglich zu gestalten. Gleichzeitig soll durch das Vorstellen des Prinzips der kosmischen Strahlung und der darauffolgenden Erklärung der Nebelkammer das Interesse der Schüler:innen geweckt werden. Sie sollen auf die Nebelkammer und die Visualisierung gespannt sein und so einen eigenen Eifer zum Lernen entwickeln.

5.3 Einbettung der Unterrichtskonzepte in den schulischen Arbeitsraum

Zur optimalen Einbettung der bereits überarbeiteten Unterrichtskonzepte in den Arbeitsraum der Schule mussten verschiedene Kriterien erfüllt werden. Es musste Rücksicht auf Räumlichkeiten, der Zeitraum der Unterrichtseinheit sowie Vorbereitungszeit zum Aufbau und Vorbereiten der Nebelkammern genommen werden.

Da bei der Verwendung von Nebelkammern Trockeneis und Isopropanol benötigt werden, müssen die Unterrichtsstunden in Physikfächerräumen stattfinden. Bei Isopropanol handelt es sich um einen Reizstoff, welcher bei Kontakt Reizungen an Augen und Atemwegen verursachen kann. Auch bei Trockeneis können bei Kontakt Hautirritationen und sogenannte Gefrierbrände hervorgerufen werden. Sollte es zu diesen Fällen kommen, befinden sich in den Fachräumen

Sanitätsmaterialien zur Versorgung solcher Wunden. Auch Augenduschen sind in diesen Räumen vorzufinden. Das Experimentieren in einem Fachraum verhindert zudem eine mögliche Kontamination des Klassenraumes und den alltäglichen Arbeitsbereich der Schüler:innen. Die Fachräume verfügen außerdem oftmals über ein Belüftungssystem oder Möglichkeiten zur Belüftung des Raumes, um eine Reizung der Atemwege zu verhindern. Für die Sichtbarkeit der Spuren in den Nebelkammern muss zusätzlich die Möglichkeit bestehen, den Raum zu verdunkeln. Auch dies ist in Fachräumen häufig besser möglich als in den Klassenräumen.

Besonders für das Konzept I mussten bereits vor Beginn der Stunde die Nebelkammern vorbereitet werden. Der Grund dafür ist, dass einige Zeit benötigt wird, bis sich innerhalb der Nebelkammer ein Temperaturgradient gebildet hat und Tröpfchenspuren sichtbar werden. Daher musste ein geeigneter Zeitpunkt im hektischen Schulalltag gefunden werden, um die Nebelkammer für den Unterricht vorzubereiten, beispielsweise in Schulpausen. So konnte eine Verlängerung der Beobachtungsphasen gewährleistet werden, ohne zu viel Zeit durch Warten zu verlieren. Dies erforderte eine übersichtliche Kommunikation mit den Ansprechpartnern und Lehrkräften der Schulen.

Die Unterrichtsstunde musste zudem in einem angemessenen Zeitraum der Unterrichtseinheiten für Schüler:innen, Lehrkräfte und auch für die Vergleichbarkeit der Gruppen entstehen. Der Verlauf der thematischen Unterrichtseinheit der Kernphysik sollte dabei nicht unterbrochen werden oder Unterrichtsthemen durch diese Erprobung vorgezogen werden. Die Stunde musste sich in den Unterrichtsplan einfügen und für die Lehrkräfte keinen Verlust von benötigter Lernzeit darstellen. Die Schüler:innen sollten außerdem bereits Vorkenntnisse zu dem Themenbereich der Kernphysik besitzen, um einen reibungslosen Ablauf der Unterrichtsstunde zu gewährleisten. Aufgrund dieser Kriterien wurde sich für eine Durchführung zum Ende der Unterrichtseinheit Kernphysik entschieden. Dabei sollte diese Durchführung in der letzten Stunde vor der Klausur, oder die Stunde direkt danach vollzogen werden. So konnte der Zeitverlust für die Lehrkräfte und Schüler:innen minimiert, ein visueller Abschluss zu den bereits gelernten Unterrichtsmaterialien ermöglicht und ein einheitlicher Wissensstand der Schüler:innen für die Vergleichbarkeit der Schulklassen ermöglicht werden. Dieses Kriterium stellt im weiteren Verlauf dieser Arbeit einen entscheidenden Grundstein zur Vergleichbarkeit der Gruppen dar.

Die Einhaltung dieser Bedingungen in Rücksprache mit den entsprechenden Lehrkräften ermöglichte eine erfolgreiche Einbettung der Umsetzung dieser Unterrichtsstunden in den Schul-

klassen. Die Lehrkräfte kamen diesen Bedingungen nach oder sind bereits im Voraus von diesen ausgegangen. Somit konnten die notwendigen Vorbereitungen getroffen werden und die Finalisierung und Erprobung der Konzepte stattfinden.

6 Erprobung

Im weiteren Verlauf der Arbeit können verschiedene Bezeichnungen für die beiden Gruppen auftreten. Die Gruppe, welche nach Konzept I unterrichtet wurde, wird dabei sowohl als Konzeptgruppe I als auch Treatment-Gruppe bezeichnet. Die Gruppe unterrichtete nach Konzept II wird dabei als Konzeptgruppe II, Kontrollgruppe oder Vergleichsgruppe bezeichnet. Konzeptgruppen ohne eine Deklaration durch I oder II bezieht beide Gruppen mit ein oder die im Lesefluss beschriebene Konzeptgruppe.

6.1 Schulen und Klassen der Erprobung

Die Erprobung der Unterrichtskonzepte erfolgte in sieben 10. Klassen in drei Gymnasien im zweiten Halbjahr der Schulzeit 2023/2024. Die genannten Schulen sind:

Schulen	Klassen	Konzept
Gymnasium Isernhagen (Hannover) Angegliedert an IGS-Isernhagen	3 Klassen von zwei Lehrkräften mit insgesamt 50 Schüler:innen	Alle Klassen haben an dem Konzept I teilgenommen
St. Ursula-Schule Hannover	2 Klassen von einer Lehrkraft mit jeweils 25 Schüler:innen der ersten Klasse und 27 in der zweiten	Die erste Klasse nahm an Konzept I teil Die zweite Klasse nahm an Konzept II teil
Domgymnasium Verden	2 Klassen von zwei Lehrkräften mit insgesamt 47 Schüler:innen	Alle Klassen haben an dem Konzept II teilgenommen

Tabelle 1: Auflistung der Schulen und Klassen mit Erprobungsteilnahme

Die ersten Unterrichtsstunden wurden an dem Gymnasium Isernhagen, welches an die IGS-Isernhagen angegliedert ist, in drei verschiedenen 10. Klassen durchgeführt. Die Klassengrößen waren mit 14, 15 und 21 Schüler:innen vergleichsweise gering im Gegensatz zu den Klassen

der weiteren Schulen. Die ersten beiden Klassen wurden von derselben Lehrkraft geleitet und waren somit auf dem gleichen Wissenstand. Die dritte Klasse unterstand einer anderen Lehrkraft, konnte jedoch aufgrund der ähnlichen Unterrichtsmaterialien und des Zeitraums der Erprobung auf einem ähnlichem Lernstand wie die vorherigen Klassen vorweisen. Alle Erprobungen wurden als letzte Stunde vor der thematisch abschließenden Klausur der Kernphysik durchgeführt. Insgesamt wurden drei Erprobungen mit dem Konzept I (vgl. Abschnitt 5.1) an der IGS-Isernhagen durchgeführt.

Die Stunden 4 und 5 wurden an dem St. Ursula-Schule in Hannover durchgeführt. Die Erprobung fand in zwei unterschiedlichen Klassen statt, wobei beide Konzepte in je einer Klasse durchgeführt wurden. Die Lehrkraft der beiden Klassen war dieselbe und somit konnte ein vergleichbarer Wissenstand der Schülerschaft gesichert werden. Die erste Klasse mit 25 Schüler:innen wurde nach Konzept I unterrichtet und somit die Konzeptgruppe I mit Treatment abgeschlossen. Die zweite Klasse mit 27 Schüler:innen stellte den ersten Teil der Kontrollgruppe mit dem zweiten Konzept (vgl. Abschnitt 5.1) dar. Die Erprobung ist unmittelbar nach den Klausuren der Unterrichtseinheit erfolgt und somit in einem ähnlichen Zeitrahmen wie in den vorherigen Klassen des Gymnasiums Isernhagen.

Das Domgymnasium Verden ist eines der beiden Gymnasien der Stadt Verden, in dem die letzten beiden Erprobungen stattgefunden haben. Die Klassen wurden von zwei unterschiedlichen Lehrkräften betreut, welche aber in Absprache zueinander ein ähnliches Unterrichtstempo der Klassen hielten. Die Klassengrößen waren mit 23 und 24 Schüler:innen von ähnlicher Größe und ordneten sich damit zwischen den bereits besuchten Gymnasien ein. In beiden Klassen wurden die abschließenden Stunden des Konzepts II durchgeführt. Der Durchführung folgte auch in diesen Klassen in der Folgestunde die thematisch abschließende Klausur.

Damit konnten insgesamt 151 Schüler:innen in die Erprobung einbezogen werden, wobei eine Anzahl von 147 Datenblättern erhalten wurden. Die Durchführung erfolgte dank vergleichbarer Umstände in Wissensstand und Erprobungszeitraum reibungslos. Trotz unterschiedlicher Lehrkräfte und abweichender Unterrichtskonzepte der unterschiedlichen Schulen konnte überwiegend eine Homogenität in Bezug auf relevantes und Kompetenzen der Gruppen sichergestellt werden (vgl. Abschnitt 6.2.1). Eine frühzeitige Kontaktaufnahme mit den Ansprechpartner:innen an den entsprechenden Schulen ermöglichten eine umfangreiche Einschätzung für die Ent-

scheidung eines geeigneten Termines für die Unterrichtsstunden. Diese Kontaktaufnahme gewährte zusätzlich das Aufstellen von Kriterien für eine Aufteilung der Schulklassen in die unterschiedlichen Gruppen der Konzepte.

6.2 Aufteilung der Gruppen in die Unterrichtskonzepte

Nach Koordination durch vorrausgehende Gespräche mit den Lehrkräften, konnten die Einteilung der Klassen in eine “Treatment”-Gruppe und eine Kontrollgruppe unterteilt werden. Die Treatment-Gruppe sollte das Konzept I zugeteilt bekommen und somit direkt mit den Nebelkammern arbeiten, die Kontrollgruppe des Konzepts II sollte nicht selbst mit den Nebelkammern arbeiten, diese aber kennenlernen. Um möglichst vergleichbare Gruppen zu schaffen, mussten die Gruppen ähnliche Attribute erfüllen. Gleichzeitig musste die Einteilung auch logistische Begebenheiten berücksichtigen, da der Transport der Nebelkammern, besonders im Klassenverbund, einen deutlich größeren Aufwand mit sich brachte.

Das erste Kriterium bei der Einteilung war die Größe der Gruppen. Für eine übersichtlichere Datenlage und eine repräsentative Aussagekraft sollten beide Gruppen eine ähnliche Anzahl an Probanden aufweisen. Dadurch können Abweichungen in den Ergebnissen einfacher erkannt werden. Nach Rücksprache mit den beteiligten Schulen konnte die Gesamtzahl der Probanden auf 151 Schüler:innen angesetzt werden. Die Klassen des Gymnasiums Isernhagen waren deutlich kleiner im Vergleich zu den Klassen der anderen Schulen und wurden der Treatment-Gruppe zugeteilt. Zusätzlich wurde eine Klasse der St. Ursula-Schule dieser Gruppe hinzugefügt, wodurch eine theoretische Schüleranzahl von 75 Personen erreicht werden konnte. Die drei verbliebenen Klassen bildeten die Kontrollgruppe mit einer insgesamt Personenanzahl von 76 Schüler:innen. Durch die gleichmäßige Aufteilung der Klassen in die Gruppen konnte durch eine erhöhte Vergleichbarkeit der Erhebung eine höhere eine bessere Aussagekraft der Erhebung ermöglicht werden.

Die Anzahl der Lehrkräfte innerhalb der Gruppen sollte sich zudem nicht unterscheiden. Relevant ist dies besonders im Bereich der damit einhergehenden Lernbedingungen für die Schüler:innen. Eine sich unterscheidende Lehrkräfteanzahl kann potenzielle Unterschiede in den Unterrichtsqualitäten verdeutlichen und die Ergebnisse in einem nicht messbaren Maß stark beeinflussen. Durch eine ungleiche Anzahl an Lehrerinnen und Lehrern können individuelle Variablen wie pädagogische Fähigkeiten, Erfahrung und auch Ausbildung zu einer ungleichen Verteilung innerhalb der Gruppen führen und die Erhebung verfälschen. Somit soll Störvariab-

len entgegengewirkt werden, um die Untersuchungsergebnisse auf die Verwendung unterschiedlicher Konzepte isolieren zu können. In dem vorliegenden Fall konnten drei Lehrkräfte pro Gruppe eingeteilt werden. Die Lehrkraft der Klassen des St. Ursula-Gymnasiums war dadurch in beiden Gruppen vertreten.

Weiteres Kriterium in der Einteilung der Gruppen war der Standort der beteiligten Gymnasien. Die unterschiedlichen Standorte der Schulen sollten in der Einteilung berücksichtigt werden, um Störfaktoren einzugrenzen. Mit der St. Ursula-Schule war ein Städtisches Gymnasium vertreten, gegenüber dem ländlichen gelegenen Domgymnasium in Verden und dem suburbanen Gymnasium Isernhagen. Um eine möglichst hohe Vergleichbarkeit zu erreichen, waren Klassen der St. Ursula-Schule in beiden Gruppen vertreten. Das Domgymnasium Verden bildete gemeinsam mit der St. Ursula-Schule die Kontrollgruppe. Im Gegensatz zu dem städtischen Gymnasium repräsentiert das Domgymnasium potenziell unterschiedliche soziale und infrastrukturelle Bedingungen des Lernens, wodurch die Klasse der St. Ursula-Schule hervorragende Ergänzung findet. Das Gymnasium Isernhagen stellt ein Beispiel für eine eher suburbane Schule dar, aufgrund seines etwas außerhalb gelegenen Bildungsstandorts. In dieser Schule konnten daher spezifische Merkmale eines städtischen Gymnasiums, sowie die eines ländlichen Gymnasiums gefunden werden. Die Klassen des Gymnasiums Isernhagen waren daher in der Treatment-Gruppe vertreten. Die Aufteilung der Schulen anhand ihrer spezifischen Standorte trug zur Vergleichbarkeit der Gruppen bei, indem die Unterschiede der sozialen und infrastrukturellen Arbeitsbedingungen in beiden Gruppen ausgeglichen vertreten waren. Störfaktoren aufgrund unterschiedlicher geografischer Gegebenheit sollten dadurch minimiert werden, um eine aussagekräftige Analyse der Datenerhebungen sicherstellen zu können.

Ein weiterer relevanter Aspekt für die Einteilung war die logistische Organisation. Besonders der Transport der Nebelammern in Klassensätzen zur Bereitstellung der benötigten Materialien, um das Konzept I durchzuführen, stellte einen hohen logistischen Aufwand dar. Um diesen Aufwand zu minimieren, sollten die Klassensätze innerhalb der Schulen gelagert werden, beziehungsweise bei der Umstellung auf das Konzept II einzelne Nebelkammern. Dieser Vorteil bot sich durch das Zusammenlegen der Klassen des Gymnasiums Isernhagen in eine Gruppe, da an dieser Schule drei Klassen Teil der Erhebung waren. Um zeitaufwendige Transporte zu vermeiden, konnten diese Klassen der Treatment-Gruppe hinzugefügt werden. Auch bei den anderen Schulstandorten konnte sich so logistischer Aufwand erspart werden, da die einzelnen Materialien in den Schulen gelagert werden konnten. In der St. Ursula-Schule wurden daher

nach Erhebung in der Treatment-Gruppe einzelne Nebelkammern in den Fachräumen gelagert und nur ein Teil der Klassensätze abtransportiert. Auch am Domgymnasium konnten die Nebelkammern gelagert werden. Zudem spielte die Anfahrtszeit zu den Schulen eine entscheidende Rolle. Da die in Hannover gelegene Schule einen kürzeren Anfahrtsweg hatten, wurden diese eher für eine Treatment-Klasse ausgewählt, im Gegensatz zum in Verden liegenden Domgymnasiums, welches eine weit größere Anfahrtsstrecke hat.

Um die Vergleichbarkeit der beiden Gruppen zu gewährleisten, mussten bei der Gruppeneinteilung verschiedene Kriterien berücksichtigt werden. Die Gruppengrößen sollten sich nicht zu sehr unterscheiden und auch die Anzahl der Lehrkräfte innerhalb der Gruppen sollten möglichst gleich sein. Die Schulen wurden angesichts ihres Standortes begutachtet und die Schulen anhand dessen der Treatment- oder Kontrollgruppe zugeteilt, um möglichst wenige Störfaktoren des sozialen Umfeldes für die Erhebung aufzuweisen. In Hinsicht auf logistische Herausforderungen wurden durch das Zusammenlegen von Klassen der gleichen Schule in eine Gruppe der Aufwand minimiert.

6.2.1 Vergleichbarkeit der Gruppen

Die beschriebenen Kriterien der Gruppeneinteilung führten zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit der Treatment- und Kontrollgruppe. Die Schüleranzahl innerhalb der Gruppen unterschied sich nur geringfügig, wodurch die Ergebnisse ein höheres Maß an Repräsentanz erhielten. Auch die Aufteilung der Schulen anhand ihrer Standorte in Betracht auf die sozialen und infrastrukturellen Begebenheiten ermöglichte eine Minimierung von Störfaktoren. Die städtische St. Ursula-Schule ist in beiden Konzepten vertreten gewesen. Die eher außerhalb und ländlichen gelegenen Gymnasien mit anderen Standortfaktoren als städtische Gymnasien stellten den Rest der Gruppen dar. Durch diese Aufteilung konnte die Validität der Ergebnisse sichergestellt werden, da in keiner Gruppe urbane oder suburbane Faktoren diese in großem Maße verfälschen konnten. Durch die gleiche Anzahl der Lehrkräfte innerhalb der Gruppen ist die Anzahl von persönlichen Einflussfaktoren in den Gruppen verringert worden. Alle Schulklassen hatten zur Zeit der Erhebung bereits Kenntnisse in dem Themenbereich der Kernphysik und standen kurz vor oder nach der Beendigung der Unterrichtseinheit. Der gleiche Wissensstand der Schüler:innen trug wesentlich zur Vergleichbarkeit der Gruppen bei.

Aufgrund dieser Gegebenheiten ist anzunehmen, dass die Treatment- und Kontrollgruppen durchaus miteinander vergleichbar sind. Nach dieser Einschätzung war es nun möglich, die geplanten Erprobungsläufe der beiden Konzepte durchzuführen.

6.3 Erprobungsablauf

Die Erprobungen wurden in entsprechenden Fachräumen der Schulen durchgeführt. Der Aufbau erfolgte vor Beginn der Stunde in den Schulpausen oder morgens vor Unterrichtsbeginn. Die Lehrkräfte unterstützten oftmals während des Aufbaus und erhielten die Möglichkeit sich mit den Nebelkammern im Vorfeld vertraut zu machen. Die Kammern wurden auf unterschiedliche Sitzplätze verteilt, um eine einfache Gruppenbildung zu ermöglichen und die Unterrichtszeit effizient zu nutzen, ohne dass wichtige Zeit durch zusätzliche Planung verloren ging. Arbeitsblätter wurden im Voraus auf die Tische verteilt. Sobald die Schüler:innen den Raum betraten und ihre Plätze eingenommen hatten, erfolgte die Anweisung, zunächst nicht die Nebelkammern anzufassen und nur Schreibmaterial oder Tablets vorzubereiten. Während der Aufgabenbearbeitung in der Unterrichtsstunde hatten die Schüler:innen die Wahl, die Aufgaben in Papierform oder digital auf dem Tablet zu bearbeiten. Die Ergebnissammlung fand nach den einzelnen Arbeitsphasen im Plenum statt, wobei nochmals die Aufgabenstellung vorgestellt und die Antworten an der Tafel gesammelt wurden. Die vortragende Person ordnete die Ergebnisse im Anschluss ein. Zu Beginn der Beobachtungsphasen wurde der Raum verdunkelt, um die Tröpfchenspuren innerhalb der Nebelkammern besser sichtbar zu machen. Die Schüler:innen positionierten sich so an ihren Arbeitsplätzen, dass jede Person ein gutes Blickfeld in das Innere der Kammern hatte. Die Lehrkraft und die vortragende Person standen während dieser Phasen als Ansprechpartner für Fragen und weitere Erklärungen zur Verfügung. Um die Häufigkeit von Spuren zu erhöhen und damit die Sichtbarkeit zu verbessern, wurde zu einem späteren Zeitpunkt radonhaltige Luft mithilfe eines Thorium-Glühstrumpfes in einer Plastikspritze hinzugefügt, um ein eindrücklicheres Erleben zu ermöglichen. Nach Abschluss der Stunde übernahm die Lehrkraft das Wort und ergänzte das Gelernte oder gab eine Zusammenfassung. Bei Zeitüberschuss unterstützten die Schüler:innen bei dem Abbau und der Reinigung der Nebelkammern, wobei die Entsorgung des noch übrig gebliebenen Trockeneises den Lehrkräften oblag.

6.4 Erkenntnisse der Erprobung

Während der Erprobung konnten wichtige Erkenntnisse bezüglich der Durchführung und der Unterrichtskonzepte gewonnen werden. Diese Erkenntnisse bilden im späteren Verlauf dieser Arbeit die Grundlage für Maßnahmen zur Verbesserung und weiterer Überarbeitung der Konzepte.

Es zeigte sich, dass die ursprüngliche zeitliche Struktur der Stunden häufig nicht der Realität entsprach. Da sich der Fokus der Konzepte nun auf der Wissenssicherung von Schüler:innen mit Vorwissen lag und nicht mehr auf die Einführung mit Personen ohne Vorwissen, wurde weniger Zeit zur Bearbeitung der Aufgaben benötigt als angedacht. Somit verringerte sich die Gesamtdauer der Stunde drastisch und führte zu Zeitüberschuss von bis zu 20 Minuten. Diese Zeit konnte allerdings sinnvoll für den Abbau und die Reinigung der Nebelkammern verwendet werden, wofür im ursprünglichen Ablauf keine Zeit eingeplant war. Sollte nach der Reinigung überschüssige Zeit vorhanden sein, wurden die Schüler:innen vorzeitig aus dem Unterricht entlassen.

Ein weiteres auffälliges Phänomen war die Inkonsistenz der Leistung der Nebelkammern. In den Stunden zeigten einzelne Nebelkammern keinerlei Spuren auf, selbst nach der Zugabe eines Präparates. Dies konnte unter anderem auf unzureichende Mengen an Isopropanol oder Trockeneis, sowie unsachgemäße Handhabung der Nebelkammern durch die Lernenden zurückgeführt werden. Es gab jedoch auch Fälle, in welchen kein Grund für die schlechte Sichtbarkeit von Spuren festgestellt werden konnte.

Die Leistung der Nebelkammern stellte sich darüber hinaus zusätzlich als abhängig vom Standort heraus. Die Erprobung fand in Gebäuden unterschiedlicher Baualter statt und konnte sich stark unterscheiden. Dabei zeigte sich, dass die Aktivität in den Nebelkammern in jüngeren Gebäuden höher war. Während in den Neubauten der IGS-Isernhagen hohe Zahlen an Tröpfchenspuren zu sehen waren, musste in Schulen mit älteren Gebäuden häufig früh mit Präparaten nachgeholfen werden. Das visuelle Erlebnis der Nebelkammern war dadurch allerdings nur geringfügig unterschiedlich, da sich allein die Häufigkeit des Auftretens von Tröpfchenspuren unterschied, nicht aber die Sichtbarkeit. In diesen Fällen stand allerdings die Sichtbarkeit der kosmischen Strahlung nicht mehr im Vordergrund.

In den Beobachtungsphasen zeigten die Schüler:innen großes Interesse an den Nebelkammern. Beobachtungen wurden oft hinterfragt und die Lernenden waren im stetigen Austausch miteinander über das Beobachtete. Die Visualisierung der ionisierenden Strahlung rief Momente des Überraschens und der Motivation zur Mitarbeit hervor. Gleichzeitig stellten die Nebelkammern eine Ablenkung in den weiteren Phasen des Unterrichtes dar. Schüler:innen fokussierten sich oftmals mehr auf die Kammern und den Vorgängen als den eigentlichen Aufgaben. Auch wurde oftmals an den Nebelkammern herumgespielt, in dem das Aquarium angehoben wurde, oder

versucht wurde, das Trockeneis zu berühren. Diese Vorkommnisse waren allerdings eine Ausnahme und nicht die Regel.

Außerdem zeigte sich in vielen Klassen die Möglichkeit einer digitalen Arbeitsweise durch Tablets. Die Schüler:innen konnten digital auf die Arbeitsblätter zugreifen, wodurch keine ausgedruckten Arbeitsblätter benötigt wurden. Dies zeigte sich allerdings erst nach der Durchführung mehrerer Stunden. In weiteren Erprobungen muss daher eine klare Kommunikation in Bezug auf die digitalen Möglichkeiten der Schulklassen bestehen.

7 Erhebung von Daten zu erlerntem Wissen und gewonnener

7.1 Motivation

Die Phase der Erprobung sollte anhand von Daten das Gelernte der Schüler:innen und deren Wahrnehmung und Empfinden über die Unterrichtsstunde erfassen. Eine Wissensabfrage ist von zentraler Bedeutung, um die Effektivität der Unterrichtskonzepte bewerten zu können oder Probleme in der Wissensvermittlung erkennbar zu machen. Auch die Entstehung von Fehlvorstellungen kann damit in geringem Maße erkannt werden. Gleichzeitig ist die Wahrnehmung der Schüler:innen von zentraler Bedeutung. Es sollte erhoben werden, ob das Arbeiten mit den Nebelkammern und die Visualisierung ionisierender Strahlung die Motivation und das Interesse an dem Thema oder der Physik verändert hat. Dafür wurden zwei separate Abfrage-Blätter erstellt, welche in dem folgenden Kapitel erläutert werden.

7.1.1 Art der Erhebung

Für die Erhebung von Ergebnissen der Unterrichtsstunden wurden zwei unterschiedliche Fragebögen erstellt. Der erste Fragebogen war eine Abfrage zu neu erlerntem und gesichertem Wissen. Durch gezielte Fragen zu Themen, welche in den Konzepten unterrichtet wurden, sollte der Wissenszuwachs geprüft und analysiert werden. Der zweite Fragebogen sollte die Wahrnehmung der Schüler:innen anhand von Fragen aus unterschiedlichen Gesichtspunkten einordnen und so ein kohärentes Bild zur Unterrichtsstunde aus der Sichtweise der Lernenden ergeben.

Um dies zu ermöglichen, wurde sich für die Verwendung von digitalen Fragebögen in Form eines sogenannten Post-Tests entschieden. Ein Post-Test ist eine Abfrage, welche nach der Durchführung stattfindet und somit nur das anschließende Wissen oder die Wahrnehmung prüfen kann. Die Art der Abfrage unterschied sich in der Form der Antwortmöglichkeiten. Für die

Abfrage von Wissen wurde das Tool von Single- und Multiple-Choice-Fragen verwendet, wobei den Schüler:innen verschiedene Antwortmöglichkeiten gegeben waren. Die Abfrage zur Wahrnehmung wurde hingegen mit einer Likert-Skala mit den Zahlen 1 bis 5, welche einer Evaluationsskala gleicht, durchgeführt. Diese Datenerhebungen werden im Folgenden genauer erläutert.

7.1.2 Abfrage von Wissen

Um den Wissenserhalt der Schüler:innen statistisch messbar zu machen, wurde sich für das Tool des Single-Choice-Tests entschieden. Dabei sollten wesentliche Inhalte der Unterrichtsstunde abgefragt und anschließend gewertet werden. Konzipiert wurde der Test mit 10 Fragen, von denen neun als Single-Choice- und eine, als Multiple-Choice-Frage gestaltet waren. Die Fragen orientierten sich an dem im Unterricht bereitgestellten Material, um ein Fehlverständnis der Fragen zu minimieren. Die Fragen waren daher, ebenso wie die Antwortmöglichkeiten, auch in einfacher Sprache gehalten.

Fragennummer	Fragestellung
1	Was wird durch eine Nebelkammer sichtbar?
2	Warum kann in einer Nebelkammer etwas sichtbar werden?
3	Welches Teilchen ist für die Entstehung von Alpha-Strahlung verantwortlich?
4	Was unterscheidet ionisierende Strahlung und Radioaktivität?
5	Was wird bei der Beta-Strahlung herausgelöst?
6	Wie sehen Alpha- und Beta-Strahlung in einer Nebelkammer aus?
7	Welche Materialien sind für eine Nebelkammer essenziell?
8	Wofür steht GCR?
9	Wofür steht SCR?
10	Wie kann die Aktivität in den Nebelkammern und damit auch die sichtbaren Spuren erhöht werden?

Tabelle 2: Fragestellungen der Wissensabfrage (für Antwortmöglichkeiten vgl. 15.1)

Die Auswertung der Fragen erfolgte in zwei unterschiedlichen Instanzen. In erster Instanz wurden die erhobenen Daten anhand der Häufigkeit der einzelnen Antworten ausgezählt. Die Häufigkeit der Antworten wurde in beiden Gruppen untersucht und festgehalten. Die Antworten wurden dabei in die Kategorien „Richtig“ und „Falsch“ eingeteilt. Mit Ausnahme der Multiple-

Choice-Frage hatten dabei alle Fragen zwei „falsche“ Antworten. Wurden einer dieser ausgewählt, galt die Frage als inkorrekt beantwortet. Bei der Multiple-Choice-Antwort wurde die Antwort nur als „richtig“ gezählt, wenn beide korrekten Antwortmöglichkeiten eingereicht wurden. Einzelantworten oder Antworten mit nur einem richtigen Ergebnis wurden nicht gezählt. Die Auswertung in dieser Instanz erfolgte durch den Vergleich des prozentualen Anteils der „richtigen“ Antworten der beiden Gruppen. Der prozentuale Anteil nahm dabei Bezug auf die jeweils begutachtete Gruppe und nicht auf die Gesamtzahl der Antworten beider Gruppen.

In zweiter Instanz erfolgte die Auszählung der Datenblätter der einzelnen Schüler:innen. Dafür wurden die Antworten der Datenblätter in eine statistische Skalenform übertragen, in welcher jede richtige Antwort einen Punkt darstellte. Für eine richtige Antwort wurde ein Punkt vergeben, wodurch eine maximale Gesamtpunktzahl von 10 und eine minimale Punktzahl von 0 erreicht werden konnte. Daraufhin wurden die Datenreihen anhand eines Mann-Whitney-U-Tests ausgewertet.

Der Mann-Whitney-U-Test ist ein nicht parametrischer Test, welcher zur Auswertung von ordinalen und unabhängigen Testgruppen verwendet wird. Da in den Testaten der Motivationsabfrage eine Likert-Skala verwendet wurde, sind die Testate somit ordinal skaliert. Durch die Übertragung der Antworten des Wissenstests in statistischer Form ist auch dieser als ordinal zu verstehen. Weiteres Kriterium ist die Unabhängigkeit der Kontrollgruppen zueinander, was in diesem Fall gegeben angesehen werden kann, da die Gruppen nicht miteinander arbeiteten und auch nicht über die weiteren Konzepte informiert wurden. Somit soll die Annahme einer Normalverteilung in den Gruppen vorausgesetzt sein, wodurch der Mann-Whitney-U-Test besonders beständig gegen Ausreißer und unnormale Streuungen der Daten ist. Der Test basiert auf der Rangfolge der Daten, wobei zunächst die Werte der untersuchten Gruppe zusammengeführt und nach Größe geordnet werden [Bor10, S.131]. Diesen werden nun Ränge zugeordnet bei welchen niedrigen Werten kleinere Ränge und gleichen Werten die gleichen Ränge zugeteilt werden. Für jede Gruppe werden diese Ränge summiert und die sogenannte U-Statistik berechnet. Die U-Statistik gibt nun Auskunft darüber, wie häufig der Wert einer Gruppe höher ist als in der anderen Gruppe. Dies dient zur Überprüfung der Nullhypothese, in welcher die Gruppen derselben Verteilung entstammen. Der erhaltene Wert ist das Signifikanzniveau p , welches als p -Wert bezeichnet wird. Ist der p -Wert kleiner als ein gewählter kritischer Wert, weist dies auf eine statistische Signifikanz der Werte und signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen

hin. Fällt der Wert jedoch größer als der Schwellwert aus, liegt keine statistische Signifikanz vor und die Nullhypothese wird beibehalten [Bor10, S.130f].

Der im Allgemeinen festgelegte kritische p -Wert liegt bei $p < 0,05$, was einer Irrtumswahrscheinlichkeit von unter 5% entspricht. Auch für die Untersuchung dieser Arbeit wird dieser Wert als kritischer Wert angesetzt. Somit soll in zweiter Instanz die Analyse der Daten auf statistische Signifikanzen hinweisen und eine angemessene Sicherheit bieten [Bor10, S.132f].

7.1.3 Abfrage der Wahrnehmung der Schüler:innen

Fragennummer	Fragestellung
1	Solche Unterrichtsaufgaben und Fragestellungen liegen mir
2	Mir gefällt das Arbeiten mit solchen Projekten
3	Die Aufgaben sind eine Herausforderung für mich
4	Das Lesen der Sachtexte und Zuhören der Lehrkraft, haben mein Interesse geweckt
5	Ich habe die Aufgaben bestmöglich bearbeitet und mein Bestes gegeben
6	Bei diesen Aufgaben muss ich nicht erst motiviert werden, um mich am Unterricht zu beteiligen
7	Für mich war erkennbar, wofür der Stoff nützlich ist
8	Diese Schulstunde hat mich motiviert, mehr über Physik zu lernen
9	Ich glaube, diese Aufgaben kann jeder schaffen
10	In der Unterrichtsstunde hatte ich keine Lust mich am Unterricht zu beteiligen und mich mit den Inhalten auseinander zu setzen
11	Die konkreten Leistungsanforderungen überfordern mich
12	Das Unterrichtsformat hat meine Motivation für das Thema gehoben
13	Die Unterrichtsstunde hat mir Spaß gemacht

Tabelle 3: Fragestellungen der Motivationsabfrage

Um die komplexen Aspekte der Schülermotivation aufzugreifen, wurde sich bei diesem Fragebogen für 13 Fragen entschieden, welche anhand einer Likert-Skala beantwortet werden. Die Fragen unterteilen sich in fünf Subgruppen, um die Bereiche der Misserfolgsbefürchtung, der Erfolgswahrscheinlichkeit, des Interesses, der Herausforderung Motivation abzudecken [Rhe01, S.5]. Zur Beantwortung der Fragen konnten die Schüler:innen auf einer Skala zwischen

den Antworten 1 [Ich stimme gar nicht zu] bis 5 [Ich stimme voll zu] wählen. Die Antwort 3 [Neutral] konnte gewählt werden, um keine Zustimmung, weder positiv noch negativ, zu geben. Die Items und Fragestellungen berufen sich auf eine Publikation der Universität Potsdam und der Michigan State University, in welchem ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituation erstellt wurde [Rhe01]. Die in dieser Arbeit verwendeten Fragen sind nach den Items und Fragestellungen der Abfrage dieser Publikation modelliert, jedoch nicht identisch. Zusätzlich wurde das Item der Motivation hinzugefügt, um die spezielle Motivation gegenüber des Faches Physik genauer betrachten zu können. Die Misserfolgsbefürchtung enthält Aspekte, welche den negativen Anreiz von Misserfolg unter der Annahme, dass Druck kein optimales Lernen ermöglicht betrachten. So sollen die Ängste der Schüler:innen eingefangen und bewertet werden können. Fragen zur Erfolgswahrscheinlichkeit sollen das Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten widerspiegeln. Eine hohe Antwort auf die Erfolgswahrscheinlichkeiten zeigt eine besonders hohe Einschätzung der eigenen Fähigkeiten. Eine besonders hohe oder niedrige Einschätzung der Erfolgswahrscheinlichkeit innerhalb einer Gruppe, kann eine nicht angemessene Aufgabenkomplexität bedeuten. Das Item des Interesses soll das Interesse an spezifischen Aufgaben- und Lehrbereichen aufnehmen und bewerten. Der Aspekt der Herausforderung soll die Schwierigkeit der Aufgaben interpretieren und leistungsthematisch bewerten [Rhe01, S.5]. Innerhalb des Fragebogens gab es keine Anordnung der verschiedenen Aspekte, um das Bias gegenüber der Fragen zu minimieren.

Kohärent zur Bewertung der Wissensabfrage wurden diese Daten ebenfalls in zwei Instanzen bewertet. In erster Instanz wurden die Mittelwerte der Antworten auf die einzelnen Fragen genommen. Die Ergebnisse der beiden Gruppen konnten dann gegenübergestellt werden. Dadurch war es möglich erste Unterschiede in der Beantwortung der Fragen innerhalb der Gruppen erkennbar zu machen. Auch konnten in Fragen zu den in der Unterrichtsstunde vorkommenden Aufgaben erste Erkenntnisse für die Wahrnehmung der Aufgabenstellungen, sowie die Gesamtresonanz gegenüber des Konzeptes gesammelt werden. Die Fragen wurden dabei anhand ihres Items geordnet, um so die Unterschiede in der Beantwortung innerhalb der Bewertungskriterien deutlich zu machen.

Die zweite Betrachtung der Datenblätter erfolgte ebenfalls anhand eines Mann-Whitney-U-Tests. Die Datenblätter der beiden Gruppen wurden für jede Frage gegenübergestellt, um so Signifikanzen in der Beantwortung feststellen zu können. Auch in dieser Betrachtung wurden

die Fragen anhand der spezifischen Aspekte betrachtet, damit ein Gesamteindruck dieser Ergebnisse zu den betrachteten Items hervorgehoben werden konnte.

7.2 Medium der Abfrage

Im Rahmen der Datenerhebung wurde sich für eine digitale Online-Abfrage entschieden. Das Programm „Microsoft Forms“ stellte hierfür ein geeignetes Tool zur Erhebung der Daten dar. Dieses Tool bietet eine effiziente Möglichkeit verschiedene Fragetypen digital zu erstellen und eine flexible Abfrage zu ermöglichen. Die erstellten Testate konnten mit verschiedenen Endgeräten beantwortet werden, da die Abfragen anhand Online-Abfragen stattfanden. Diese Abfragen wurden dabei von den Lehrkräften mit den Klassen durchgeführt, indem diese Zugriff anhand von QR-Codes, auf die Tests bekamen. Mit den entsprechenden Endgeräten konnten die Schüler:innen diese Codes scannen und Zugriff auf die Abfrage bekommen und innerhalb weniger Minuten und ohne weiteren Mehraufwand beantworten. Die Abfrage wurde anonym vorgenommen und keinerlei persönliche Daten der Probanden wurden gespeichert oder weitergegeben.

Die beantworteten Datenblätter konnten so effizient und strukturiert gesammelt und die aufwendige Verwendung von analogen Abfragebögen in Papierform konnte vermieden werden. Die erhobenen Datenblätter wurden online gesammelt und konnten nach Abschluss der Abfragen in Excel-Tabellen exportiert werden. Durch diese tabellarische Form war eine genauere Betrachtung der Daten möglich. Besonders die Daten der Motivationsabfragen konnten aufgrund ihres statistischen Formats direkt für die Untersuchung auf Signifikanzen genutzt werden.

7.2.1 Begründung des verwendeten Mediums

Die Verwendung einer Online-Abfrage bietet eine Vielzahl von Vorteilen gegenüber papierbasierten Methoden. Do bieten Online-Abfragen aufgrund ihrer Zeit- und Ortsunabhängigkeit eine größere Flexibilität, im Gegensatz zu herkömmlichen Abfragen. Auch fällt der Aufwand der manuellen Auszählung der einzelnen Daten durch die digitale Datensammlung weg, wodurch der Zeitaufwand reduziert wird. Außerdem können während der Beantwortung der Fragen Fehler einfacher korrigiert werden, was in Papierform nur durch Ausschwärzen oder Durchstreichen der falschen Antwort möglich wäre. Dadurch werden Fehler bei der Auszählung durch Unkenntlichkeit der Antworten minimiert.

Das Exportieren der Daten in Excel-Tabellen erleichtert die Auszählung der Daten enorm. Durch die effizientere Verarbeitung und Auswertung der Daten konnte die Anzahl der benötigten Prozesse zur Ergebnisgewinnung verkleinert und Fehlern vorgebeugt werden.

Besonders der Aspekt des Datenschutzes bildete einen enormen Vorteil gegenüber Datenblättern in Papierform. In Microsoft Forms kann das Tool der Anonymisierung verwendet werden, wodurch keine persönlichen Daten der Probanden gespeichert wurden. Einer Verzerrung der Datenauswertung durch Voreingenommenheit konnte damit ausgeschlossen werden.

Die vorliegenden Vorteile begründen die Entscheidung für eine Online-Abfrage und der Verwendung des Tools Microsoft Forms.

7.3 Erhebungsablauf

Am Ende der Unterrichtseinheit wurden die Schüler:innen über die Durchführung der Testate informiert, welche in einem Zeitabstand von zwei Wochen stattfinden würden. Der Zeitabstand wurde bewusst gewählt, um den Prozess der Wissenssicherung und Wiederholung des Unterrichtsstoffes genauer untersuchen zu können. Das unmittelbare Testen nach den Unterrichtsstunden hätte diesen Aspekt nicht ausreichend abgebildet. Es wurde betont, dass keine Benotung oder Bewertung der Test erfolgen würden. Zudem wurden die Schulklassen angehalten, sich nicht für diese Testate vorzubereiten, da dies die Ergebnisse hinsichtlich der Wissenssicherung verfälschen könnten.

Die Abfragebögen wurden den Lehrkräften in Form eines QR-Codes zur Verfügung gestellt, welchen sie in der jeweiligen Stunde im Klassenraum aufrufen konnten. Bei der Abfrage wurden die Tests aufeinanderfolgend durchgeführt. Den Zeitraum innerhalb der Stunde konnten die Lehrkräfte selbst wählen, um diesen die Möglichkeit zu geben die Stunde dennoch flexibel gestalten zu können und den Zeitverlust zu minimieren. Die benötigte Zeit zur Beantwortung der Tests betragen im Durchschnitt 04:49 Minuten für die Wissensabfrage und 02:31 Minuten für die Motivationsabfrage, wobei die Zeit zwischen den Klassen leicht variierte.

8 Ergebnisse der Datenerhebung

Während der Erhebung der Datenblätter sind insgesamt 290 Datenblätter erhoben worden. Für die Wissensabfrage sind 143 Datenblätter erhoben worden, für die Motivationsabfrage 147. Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse dieser Datenerhebungen betrachtet und analysiert,

wobei die Daten der beiden Abfragen getrennt betrachtet werden. Zunächst werden die erhobenen Datensätze betrachtet und den Kontrollgruppen zugeteilt, sowie Fehlerwerte und nicht verwendete Datensätze aufgezeigt. Daraufhin werden die Datensätze der beiden Gruppen miteinander verglichen, wobei zunächst keine Bewertung durchgeführt wird. Im nächsten Schritt werden die Daten auf statistische Signifikanzen geprüft. Im letzten Abschnitt werden die Ergebnisse anhand der gewonnenen Erkenntnisse bewertet und die Bedeutung der Ergebnisse in Hinsicht auf die aufgestellten Hypothesen erläutert.

8.1 Ergebnisse der Wissensabfrage

8.1.1 Erhobene Datensätze

Fragennummer	Konzept I		Konzept II	
	Korrekte Antworten	Inkorrekte Antworten	Korrekte Antworten	Inkorrekte Antworten
1	52 [75,36%]	17	53 [71,62%]	21
2	38 [55,07%]	31	40 [54,05%]	34
3	49 [71,01%]	20	54 [72,97%]	20
4	45 [65,22%]	24	49 [66,22%]	25
5	42 [60,87%]	27	53 [71,62%]	21
6	42 [60,87%]	27	60 [81,08%]	14
7	63 [91,3%]	6	70 [94,59%]	4
8	45 [65,22%]	24	58 [78,38%]	16
9	38 [55,07%]	31	60 [81,08%]	14
10	57 [82,61%]	12	57 [77,03%]	17

Tabelle 4: Ergebnisaufstellung der Wissensabfrage, aufgeteilt nach Konzept

8.1.1.1 Konzept I

Für die Wissensabfrage wurden insgesamt 143 Datenblätter erhoben, welche sich in 69 Datenblätter für die Gruppe mit dem Konzept I und 74 Datenblätter für die Gruppe mit Konzept II aufteilen. Somit ergaben sich 690 Antworten für die Treatment-Gruppe mit Konzept I und 740 Antworten in der Kontrollgruppe mit Konzept II.

Ergebnisse "Konzept 1"

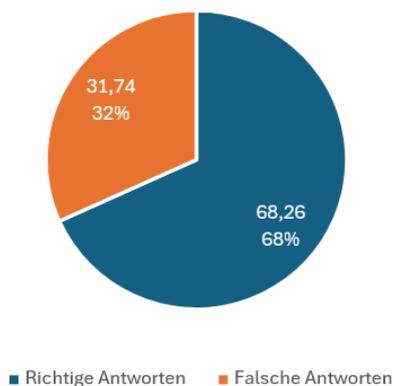


Abbildung 11: Prozentualer Anteil der Antworten der Konzeptgruppe I

Konzept 1

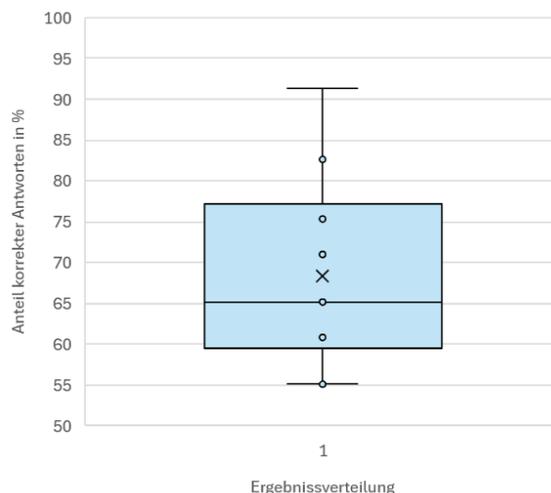


Abbildung 10: Ergebnisverteilung mit Mittelwertverteilung der Konzeptgruppe I

Die Gruppe, welche nach Konzept I unterrichtet wurde, reichte insgesamt 690 Antworten ein. Von diesen Antworten sind insgesamt 471 als richtig bewertet worden und 219 als falsch. Somit liegt der prozentuale Anteil der korrekten Antworten bei 68,26%, also etwa zwei Drittel der Gesamtantworten in dieser Gruppe. Grundlage der Bewertung „falsch“ waren die Antworten innerhalb der Single-Choice-Antworten, welche nicht korrekt waren, beziehungsweise nicht der Wahrheit entsprachen. In der einzigen Multiple-Choice-Frage Frage 6, wurden nur die Antworten als „richtig“ bewertet, bei denen beide korrekten Antwortmöglichkeiten angegeben wurden. Einzelantworten oder Antworten, in welchen nur eines der beiden Items korrekt waren, wurden dabei als „falsch“ angesehen. Die Anzahl der richtigen Antworten zwischen den Fragen variierte stark, wobei der obere Extrempunkt bei 91,3% und 63 Antworten liegt (Frage 7) und der untere Extrempunkt bei 55,1% und 38 richtigen Antworten (Frage 2 & 9). Durch einen Boxplot kann diese Verteilung gut dargestellt werden (vgl. Abbildung 10, S.39). Durch diesen Boxplot ist zudem die Mittelwertverteilung gut zu erkennen, welche sich von etwa 60% bis 75,5% streckt. In diese Verteilung fallen sechs der Fragen in dieser Gruppe, welche damit die Mehrheit der Fragen ausmachen. Die Fragen 2 & 9 und Fragen 7 & 10 stechen somit heraus, da sie nicht in diese Verteilung fallen. Die Antworten der Fragen 2 & 9 fallen negativ aus dieser Verteilung heraus, da beide mit 55,1% und 38 richtigen Antworten den geringsten Anteil an richtigen Antworten aufweisen. Bei beiden Fragen handelt es sich um Fragen, welche sich auf eine mündliche Erwähnung im Unterricht beziehen. Frage 2 bezieht sich auf die Folie 4 in der Präsentation, welche in der Unterrichtsstunde gehalten wurde. Auf dieser Folie wurden das Prinzip und die Funktionsweise der Nebelkammern vorgestellt und genauer erläutert. Dies wurde allerdings nur

mündlich durchgeführt und nicht anhand von Aufgaben oder Arbeitsblättern weiter vertieft. Während der Beobachtungsphase konnten allerdings die Tröpfchenspuren genauer beobachtet werden, was die Auswahl der korrekten Antwortmöglichkeit erleichtern sollte. Auch die Frage 9 bezieht sich auf etwas rein mündlich erwähntes aus der Präsentation. In der Unterrichtsstunde wurde auf der Folie 3 der Präsentation die kosmische Strahlung vorgestellt und auch zwischen Galactic Cosmic Ray und Solar Cosmic Ray unterschieden, um die Herkunft der kosmischen Strahlung genauer zu erläutern. Wie in Frage 2 ist auch dies nur mündlich und anhand des Anwurfs an der Tafel erwähnt worden.

Dem gegenüber stehen die Ergebnisse der Fragen 7 mit 91,3% und 63 richtigen Antworten und Frage 10 mit 82,6% und 57 richtigen Antworten, welche einen positiven Ausbruch aus der Mittelwertverteilung und die besten Ergebnisse der Treatment-Gruppe darstellen. Auch diese beiden Fragen beziehen sich auf mündliche Erwähnungen innerhalb des Unterrichts, relevant ist jedoch, dass diese Erwähnung durch einen praktischen Anteil ergänzt wurde. Die Frage 9 bezog sich auf den Aufbau der Nebelkammern. Der Aufbau wurde ebenfalls in der Präsentation auf Folie 4 behandelt und dort mündlich besprochen. Während der Beobachtungsphasen in der Stunde kamen die Probanden jedoch zwangsläufig mit den Nebelkammern in Kontakt, wodurch sich eine weitere Möglichkeit zur Untersuchung dieser und ihres Aufbaus bot. Durch die Arbeit mit den Nebelkammern kamen zudem Nachfragen zu den einzelnen Bauteilen auf, welche durch die Beantwortung der Lehrkraft das gewonnene Wissen zusätzlich sichern konnten. Auch die Frage 10 fand im Rahmen einer Demonstration innerhalb der Beobachtungsphase ihre Erwähnung. Um die Aktivität innerhalb der Nebelkammern zu erhöhen ist ein Thorium-Glühs-trumpf verwendet worden, um die Luft in der Nebelkammer mit radonhaltigem Gas anzureichern und so die Häufigkeit der auftretenden ionisierenden Strahlung zu erhöhen. Dies bildete die Grundlage für die Frage 10, da vor Hinzufügen des Präparates eine Unterweisung in das Prinzip der Erhöhung der Aktivität abgehalten wurde. Im direkten Anschluss dieser Unterweisung wurde das Präparat in die Nebelkammern injiziert und die Auswirkung unmittelbar für die Schüler:innen sichtbar. Das soeben gelernte Wissen hatte dadurch eine praktische Bedeutung für das Lernerlebnis anhand der Nebelkammern, wodurch eine direkte Verbindung geschaffen wurde. Die angenommenen Anhaltspunkte, dass ein Lernen anhand einer ausschließlich mündlichen Erwähnung weniger erfolgreich sei als das Lernen anhand praktischer Beispiele, lässt sich anhand der übrigen Ergebnisse nicht einwandfrei feststellen. Als Beispiel dient dazu die Frage 8, welche ebenso wie Frage 9 das Thema der kosmischen Strahlung aufgreift. Auch in dieser Aufgabe soll die korrekte Bedeutung der Abkürzung GCR (Galactic Cosmic Ray) in

ihrer richtigen Ausschreibungsart angegeben werden. Die Erwähnung des Begriffes ist innerhalb der Präsentation unmittelbar nach der Solar Cosmic Ray vorgekommen, im Testat jedoch mit 45 richtigen Antworten (65,2% gegenüber 55%) deutlich häufiger angegeben worden.

Testfragen, welche anhand von Arbeitsblättern einen genaueren Fokus erlangten (Fragen 1, 3, 4 & 5) bildeten den erweiterten Mittelwert der Ergebnisse (Abbildung 10). Dabei zielten die Fragen 3 und 5 auf Ein-Wort-Antworten ab und beschäftigen sich mit den emittierten Teilchen der α - und β -Strahlung. Diese fielen mit 49 richtigen Antworten und 71% (Frage 3) und 42 richtigen Antworten und 60% (Frage 5) sehr unterschiedlich aus, obwohl beide Fragen auf den gleichen Arbeitsblättern basieren, jedoch zusätzlich auf das Vorwissen der Probanden zurückgreifen. Die Frage 1 stellt aufgrund ihrer Fragestellung eine vereinfachte Transferaufgabe dar. Während der Vorstellung der Nebelkammer und ihrer Funktionsweise wurden Ionen als hervorragende Kondensationskeime vorgestellt, wodurch sich innerhalb der Nebelkammern Tröpfchenspuren bilden. Im weiteren Verlauf der Stunde ist aufgrund des Arbeitsblattes 1.1 das Thema der ionisierenden Strahlung und Ionisation wieder aufgegriffen und vertiefend erklärt worden. Die Schüler:innen mussten zur Beantwortung der Fragestellung ihr erhaltenes Wissen anwenden, was mit einem Anteil von 52 richtigen Antworten und 75,3% einem Großteil gelang. Frage 4 hingegen griff die in der Unterrichtseinheit hinreichend behandelten Begriffe der Radioaktivität und ionisierenden Strahlung wieder auf. In dieser Frage sollte die richtige Erklärung beider Begriffe erkannt und richtig ausgewählt werden. Mit einem Anteil von 42 richtigen Antworten und 65,2% befanden sich diese Ergebnisse knapp unter dem Mittelwert. Die einzige Möglichkeit für eine Multiple-Choice-Antwort bildete die Frage 6. Durch die Art der Bewertung einer richtigen Antwort, in welcher beide korrekten Antworten ausgewählt werden mussten, kam es zu einer Vielzahl an „halb-korrekten Antworten“, da nur eine der korrekten Antworten ausgewählt wurde. Da diese Frage als eine Art Kontrollfrage verstanden werden sollte, wurde das Bewertungskriterium trotz der hohen Anzahl von Einfach-Antworten nicht verändert. Somit erhielt diese Fragestellung 42 korrekte Antworten und 60,9%, wobei 21 (30,4%) der verbliebenen 27 inkorrekten Antworten Einfach-Antworten waren.

Durch Analyse dieser Ergebnisse zeigen sich verschiedene Merkmale in den Beantwortungen der Testate in der Treatment-Gruppe. Fragen welche auf rein mündlichen Erwähnungen in der Unterrichtsstunde basieren, fallen in der Gesamtwertung teils erheblich schwächer aus und befinden sich ausnahmslos unterhalb des Mittelwertes der Gruppe. Arbeitsblatt-basierte Fragen stellen den Großteil der Mittelwertverteilung und können sowohl schwächer als auch stärker

als der Durchschnitt sein, wobei Extremwerte ausbleiben. Thematiken, die eine mündliche Erwähnung und praktischen Anteil gemeinsam inkorporieren, stellen hingegen die oberen Extremwerte der Datenverteilung.

8.1.1.2 Konzept II

Die nach Konzept II unterrichtete Kontrollgruppe reichte aufgrund der höheren Anzahl an Probanden 740 Antworten ein. Von diesen sind 554 korrekte Antworten, was einem prozentualen Anteil von 74,52% entspricht, und 186 inkorrekten Antworten mit 25,48%, womit der Anteil der richtigen Beantwortung bei etwa drei Viertel der Einreichungen liegt. Die Extrempunkte der Daten befanden sich bei 54,05% (Frage 2) und 94,6% (Frage 7) korrekt beantworteten Fragen und die Mittelwertverteilung streckt sich von 70% bis 82%. In die Mittelwertverteilung fallen dabei sieben der zehn Fragen, wobei die drei übrigen Fragestellungen 2, 4 und 9 herausstechen. Die Fragen 2 und 4 fallen dabei negativ aus dieser Verteilung heraus und stellen die am schwächsten beantworteten Fragen der Kontrollgruppe dar. Der positive Extremwert der Frage 7 mit 94,6% korrekten Antworten ist mit großem Abstand der am stärksten korrekt beantwortete Wert. Die nächsthöchsten Werte stellen die Fragen 6 und 9 (81,01% beide), jedoch folgen die Fragestellungen 8 und 10 mit jeweils 78,3% und 77% dicht dahinter.

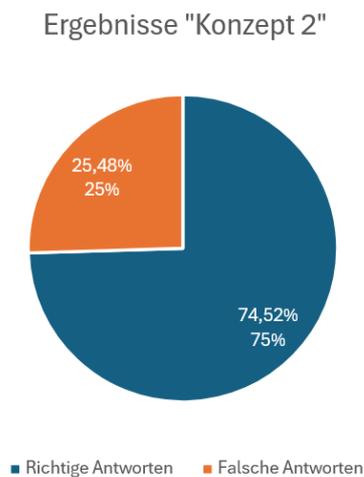


Abbildung 13: Prozentualer Anteil der Antworten der Konzeptgruppe II

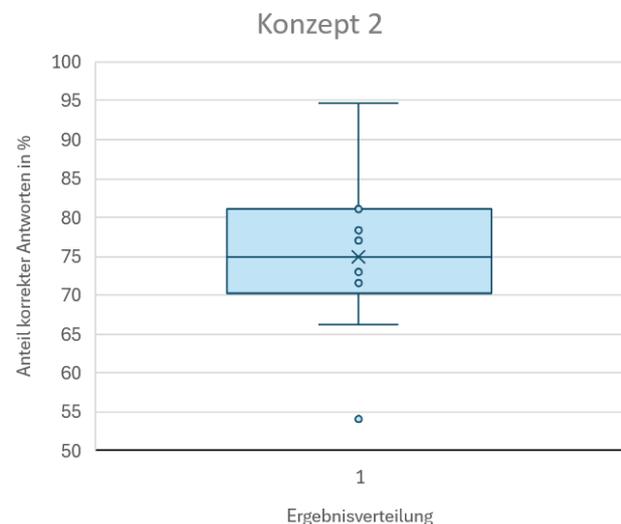


Abbildung 12: Ergebnisverteilung mit Mittelwertverteilung der Konzeptgruppe II

Die Frage 2 fällt, wie auch in der Treatment-Gruppe, am schwächsten aus. In diesem Unterrichtskonzept wurden die Funktionsweise der Nebelkammern und die Entstehung der Tröpfchenspuren nicht allein mündlich erwähnt, sondern zusätzlich anhand des Arbeitsblattes 2.2

vertiefend erklärt und behandelt. Bei diesem, sollten die Schüler:innen beschriebene Funktionen der Bauteile einer Nebelkammer, eben diesen Bauteilen zuordnen. Nach Bearbeitung dieses Arbeitsblattes wurde eine Sicherung durch die Lehrkraft durchgeführt und die Entstehung der sichtbaren Spuren in der Kammer weiter erläutert. Es handelte sich daher nicht um eine rein mündliche Erwähnung, sondern hatte zusätzlich einen eigenständigen Arbeitsanteil. Auch die Frage 4 fiel in der Kontrollgruppe im Durchschnitt schwächer aus als die übrigen Fragestellungen. Um die Unterschiede der Begriffe Radioaktivität und ionisierender Strahlung hervorzuheben, bearbeitete die Kontrollgruppe das identische Arbeitsblatt (Arbeitsblatt 2.1 & 1.1). Im Anschluss dieser Bearbeitung wurden auch diese Ergebnisse im Plenum gesammelt und eingeordnet. Die am stärksten beantwortete Frage 7 bezog sich auf wichtige Materialien der Nebelkammern. Die Bauteile der Nebelkammer und ihre Funktion fanden in den Arbeitsblättern der Kontrollgruppe ein erhöhtes Augenmerk und wurde durch zwei Arbeitsblätter (Ab 2.2 vgl. Abschnitt 14.3.8) vertiefend betrachtet. Das Arbeitsblatt 2.2 beschäftigte sich dabei ausschließlich mit den Bauteilen der Nebelkammern und wurde ebenfalls im Plenum eingeordnet. Es handelt sich bei den erhobenen Daten also nicht um das Ergebnis einer mündlichen Erwähnung oder eines Austauschs im Plenum, sondern um das Ergebnis der eigenständigen Erarbeitung der Schüler:innen

Weitere Ergebnisse der Fragestellungen, welche den unteren Teil der Ergebnisverteilung abbildeten, sind die Daten der Fragen 1, 3 und 5. Die Frage 1 stellte auch für die Kontrollgruppe eine Transferfrage dar und wurde mit 53 korrekten Antworten zu 71,6% richtig beantwortet. Die Herleitung des Wissens, um diese Fragestellung zu beantworten, ist mit der der Treatment-Gruppe identisch, da auch hierbei eine mündliche Erwähnung der Kondensationsfähigkeit von Ionen und der Begriff der ionisierenden Strahlung hinreichend behandelt wurde. Dies gilt auch für die Ergebnisse der Frage 3, welche mit 54 richtigen Antworten 72,9 Prozentpunkte erreicht, da sich auch die korrekte Beantwortung dieser Frage auf ein gemeinsames Arbeitsblatt der Gruppen bezieht (Arbeitsblatt 2.3 & 1.2). Diese Materialien bildeten auch die Grundlage für die fünfte Frage, welche von der Kontrollgruppe mit 53 korrekten Antworten zu 71,6% richtig beantwortet wurde.

Die Fragestellungen 6, 8, 9 und 10 bildeten mit ihren Ergebnissen den oberen Teil in der Ergebnisverteilung. Die Anzahl der Einfach-Antworten bei der Multiple-Choice-Frage 6 fiel mit 12 Antworten vergleichsweise gering aus und erreichte mit 60 korrekten Antworten einen An-

teil von 81%. Das Wissen über das Verhalten der Tröpfchenspuren in den Nebelkammern basierte dabei zu geringerem Teil auf Beobachtungen in den Nebelkammern, sondern viel mehr auf dem durch die Arbeitsblätter und der kurzen Demonstration eines Videos einer kontinuierlichen Nebelkammer erlerntes Wissen. Die Fragen 8 und 9 beziehen sich auf mündliche Erwähnungen in der Vorstellung der kosmischen Strahlung. Trotz einer ausschließlich mündlichen Erwähnung erhielten die Fragestellungen jeweils 58 (78,3%) und 60 (81%) korrekte Antworten. Die letzte Frage 10 basiert ebenfalls auf einer mündlichen Erwähnung des Präparates, welches in der kurzen Beobachtungsphase des Konzeptes II eingesetzt wurde und somit einen entdeckenden Anteil innerhalb des Konzeptes besitzt. Da die Beobachtungsphase in diesem Konzept verhältnismäßig kurz ausfällt, kann ihr allerdings kein gleichwertiges Gewicht zu der Beobachtungsphase in Konzept I zugeordnet werden. Dennoch erreichte die Beantwortung dieser Fragestellung 57 korrekte Antworten und damit 77%.

Anhand der ausgewerteten Daten ist es möglich Merkmale in den Ergebnissen der Kontrollgruppe zu erkennen. Fragestellung mit der schwächsten Beantwortung basierten auf mündlichen Erwähnungen in Verbindung mit selbst erarbeiteten Erkenntnissen und Anwendung von bereits erhaltenem Wissen. Das Erlernte konnte allerdings nicht durch individuelle Beobachtungen der Nebelkammern gesichert werden. Arbeitsblatt-basierte Fragestellungen variierten in ihrem Anteil an korrekten Antworten, wobei Fragen mit fachlichem Anteil schwächer ausfielen. Hingegen erreichten Fragen, welche auf den Nebelkammern und ihren Funktionsweisen basierten, die besten Ergebnisse. Fragen mit rein mündlicher Erwähnung fielen überdurchschnittlich gut aus, ebenso Fragen mit entdeckendem Anteil.

8.1.2 Vergleich der beiden Konzeptgruppen

Nach ausführlicher Untersuchung der erhobenen Datenblätter der beiden Konzeptgruppen, ist es nun möglich diese zu vergleichen.

Beim Vergleich in erster Instanz zeigte sich, dass die Anteile der korrekten Antworten sich in den beiden Konzeptgruppen deutlich unterscheiden, wobei die Gruppe mit dem Konzept I einen Anteil von 68% aufwies und die Gruppe mit Konzept II 74%. Während dieser Unterschied zunächst nicht aussagekräftig ist, kann er Hinweise auf Unterschiede zwischen den Gruppen oder den Unterrichtskonzepten geben. Dies wird im folgenden Kapitel weiter betrachtet.

Eine weitere Auffälligkeit zeigen die Extremwerte und die Verteilung der Ergebnisse. Während die Extremwerte beider Gruppen eine ähnliche Ausprägung besitzen, ist die Streuung der Ergebnisse in Konzept II deutlich geringer als in Konzept I. Konzept II erreichte dabei eine geringfügig größere Diskrepanz der Extremwerte. Die Extremwerte des Konzept II stellen zudem die Grenzen aller Ergebnisse im negativen als auch positiven Bereich. Während die Mittelwertstreuung der Ergebnisse in Konzept I etwa 15,5% betrug, fiel diese in Konzept II trotz der Extremwertem mit etwa 13% geringer aus.

Der Vergleich der stärksten und schwächsten Ergebnisse beider Gruppen zeigt Unterschiede in den Schwierigkeiten der Beantwortung in beiden Gruppen. Während die schwächsten Fragestellungen in Konzept I auf rein mündlichen Erwähnungen basierten, basierten diese in Konzept II auf mündlichen Erwähnungen in Verbindung mit Eigenarbeit ohne visuelle Sicherung. Die stärksten Fragen hingegen waren für das Konzept II arbeitsblatt-basierte Fragestellungen in Bezug auf die Nebelkammern und ihre Funktionsweisen. In Konzept I waren dies mündliche Erwähnungen mit visueller Unterstützung des erlernten Wissens.

Dennoch wird in der Gesamtheit deutlich, dass die Gruppe des Konzepts II in einem Großteil der Fragen besser abschnitt und weniger negative Extremwerte erreichte als die Treatment-Gruppe. Besonders Fragestellungen, welche anhand von Arbeitsblättern in den Unterrichtseinheiten behandelt wurden, fielen in den Ergebnissen der Kontrollgruppe positiver aus. Dies betrifft auch Fragestellungen, welche in Konzept I nicht anhand von schriftlichen Materialien behandelt wurden, in Konzept II hingegen schon (Frage 7). Aufgrund dieser Erkenntnisse kann in *erster Instanz* der Untersuchung hervorgehoben werden, dass die Ergebnisse des Konzepts II und damit einem Konzept mit geringerem entdeckendem Anteil eine erhöhte Wissensvermittlung und Sicherung zur Folge haben können.

8.1.3 Untersuchung der Ergebnisse auf statistische Signifikanz

Für die statistische Auswertung der erhobenen Datensätze wurde der Mann-Whitney-U-Test verwendet. Dafür wurden die erhaltenen Datenblätter ausgewertet und jedem ein Ergebnis von 0 bis 10 zugeteilt (vgl. Abschnitt 15.1.1). Jede korrekte Antwort erhielt den Wert von 1, wobei in der Multiple-Choice-Frage (Frage 6) nur beide richtigen Antworten als korrekt angesehen wurden und einen Punkt erhielten. Nach Auswertung der Datenblätter wurden die Ergebnisse nach dem Mann-Whitney-U-Test überprüft. Die Ergebnisse zur statistischen Signifikanz zeigten:

Das Signifikanzniveau p liegt bei 0,0233, was einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 2,33% entspricht und liegt damit unter dem kritischen Wert von 0,05 bzw. 5%. Somit ist eine statistische Signifikanz in den Datenblättern der Konzeptgruppen zu erkennen. Somit liegt ein Unterschied in der Bearbeitung der beiden Gruppen statistisch signifikant vor. Die zu erkennenden Unterschiede in der Beantwortung können daher auf Unterschiede des Lernerfolges der geprüften Konzepte zurückgeführt werden.

Anhand dieses Ergebnisses kann die Nullhypothese 1 nicht als bestätigt angesehen werden, da eines der Konzepte einen höheren Wissenserwerb hat. Die Konzepte scheinen in ihren Fähigkeiten der Wissensvermittlung nicht gleichgestellt zu sein.

Die Alternativhypothese 3 hingegen kann aufgrund der statistischen Signifikanz bestätigt werden. Es gibt eine signifikante Annahme, dass dieses Konzept aufgrund eines eher exemplarisch ausgerichteten Unterrichts eine größere Chance auf Wissenserhalt und Sicherung hat. Es zeigt sich keine Gleichstellung der Konzepte.

8.2 Ergebnisse der Motivationsabfrage

Die erhobenen Datensätze werden zunächst nach ihren Ergebnissen analysiert. Dabei werden die Fragen in Subgruppen anhand ihrer Items betrachtet, sortiert nach der Häufigkeit ihrer Verwendung, betrachtet. Für diese Untersuchung wurden die Ergebnisse in verschiedene Grade der Zustimmung eingeteilt. Ergebnisse mit 1-1,4 durchschnittlicher Beantwortung entsprechen einer vollkommenden Ablehnung der Fragestellung, 1,5-2,4 einer einfachen Ablehnung, 2,5-3,4 einer neutralen Haltung, 3,5-4,4 einer einfachen Zustimmung und 4,5-5 einer vollumfänglichen Zustimmung.

8.2.1 Erhobene Datensätze

Fragestellung	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Konzept I	3,75	4,33	2,33	3,44	4,34	3,89	3,64	3,4	3,89	2,01	1,96	3,6	4,2
Konzept II	3,81	4,14	2,38	3,6	4,11	3,31	3,49	3,29	3,61	1,74	1,63	3,51	4,24

Tabelle 5: Ergebnisse der Motivationsabfrage, positivere Antworten farblich hervorgehoben. Blaue Markierungen zeigen negativ konnotierte Fragestellungen an.

8.2.1.1 Konzept I

Während der Datenerhebung zur Aufnahme der Schülermotivation sind 147 Datenblätter erhoben worden. Diese unterteilen sich in 75 Datenblätter der Treatment-Gruppe und 72 Datenblätter der Kontrollgruppe. Die unterschiedliche Anzahl der Datenblätter in der Treatment-Gruppe im Vergleich zur Wissensabfrage, kann anhand der Untersuchung der Ergebnisse erklärt werden. In den Ergebnissen fallen fünf Datenblätter besonders auf, durch ihre überwiegende Nicht-Beantwortung der Fragestellungen, mit Ausnahme einer Frage. Diese Frage beschäftigte sich mit der Wahrnehmung der Schulstunde anhand des Spaß-Faktors und wurde in diesen Datenblätter anhand der Likert-Skala ausschließlich mit 1-3 beantwortet, was mit einer negativen Konnotation einhergeht. Aufgrund der Unverlässlichkeit dieser Beantwortung, wurden diese Datenblätter von der Gesamtbetrachtung ausgeschlossen und fließen nicht in die Betrachtung mit ein. Diese fünf Datenblätter können eine Erklärung für die geringere Anzahl an Datenblättern der Treatment-Gruppe in der Wissensabfrage darstellen, da die Anzahl an ungültigen Datenblättern der Motivationsanzahl mit der geringeren Anzahl der eingereichten Datenblättern der Wissensabfrage übereinstimmt. Die Kontrollgruppe hingegen reichte zwei Datenblätter weniger ein als noch in der Wissensabfrage, wobei dafür keine eindeutige Erklärung vorliegt. Es könnte sich dabei um einen technischen Fehler oder eine Nicht-Beantwortung des Testates handeln. Zudem wurden in einem der Datenblätter die Fragen 1 und 2 nicht eingereicht, weshalb diese in der Mittelwertermittlung aus diesem Datenblatt nicht berücksichtigt wurden.

Zunächst werden die Ergebnisse der Treatment-Gruppe mit dem Konzept I betrachtet. Die Fragestellung mit dem Item der Misserfolgsbefürchtung (Frage 11) erhielt eine durchschnittliche Bewertung von 1,96 und ist somit in die Antwortmöglichkeit „Stimme eher nicht zu“ einzuordnen. Diese Fragestellung sollte die Wahrnehmung der Schüler:innen bezüglich einer Überforderung aufgrund der Leistungsanforderungen untersuchen. Frage 11 stellt eines von insgesamt drei Gegenbeispielen dar, wobei eine eher niedrige Beantwortung (1 oder 2) häufiger vorkommt als eine hohe. Dies kann auf die eher negative Konnotation der Fragestellung zurückgeführt werden, da eine Zustimmung auf die getroffene Aussage (Frage 11) die Leistungsanforderung als zu hoch bewerten würde. Anhand dieses Ergebnisses ist anzunehmen, dass die Probanden keine Überforderungen innerhalb der Unterrichtsstunde erfahren haben.

Das Item der Erfolgswahrscheinlichkeit fand in zwei Fragestellung (Frage 7 & 9) Verwendung und sollte das Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten gegenüber den Aufgaben und den erkennbaren Nutzen der Unterrichtsmaterialien wiedergeben. Frage 7 beschäftigte sich mit der Frage

der Nützlichkeit des erlernten Unterrichtsstoffes und ob diese für die Schüler:innen erkennbar sei. Diese Frage wurde mit durchschnittlich 3,64 beantwortet und findet somit knapp eine einfache Zustimmung. In der Fragestellung 9 wird die Durchführbarkeit der Aufgabenstellung und die Fähigkeit dazu untersucht. Diese fand bei der Konzeptgruppe eine einfache Zustimmung von 3,89 und ist damit positiv bewertet worden.

Die Fragen über die Herausforderung der Aufgaben und des Lernens (Frage 1,3 & 5) in der Unterrichtsstunde erhielten eine größere Aufmerksamkeit in dieser Abfrage. Das Item der Herausforderung sollte sowohl die Schwierigkeit der Aufgaben als auch den Bearbeitungswillen der Probanden gegenüber diesen Aufgaben genauer beleuchten. Die Schwierigkeit und damit verbundene Anforderung der Aufgaben sind in Frage 3 genauer aufgegriffen worden, in welcher die Schüler:innen abwägen sollten, ob die Aufgaben eine Herausforderung für sie darstellten. Diese Art der Fragestellung stellt ebenfalls ein Gegenbeispiel dar zu den eher positiv konnotierten Fragestellungen dar, wobei eine eher niedrige Beantwortung (1 oder 2) häufiger vorkommt als eine hohe. Im Falle dieser Frage ist ein Gesamtergebnis von 2,33 Skaleneinheiten erhoben worden und gibt damit eine einfache Ablehnung der Aussage an. Die Konzeptgruppe sieht die Aufgabenstellung also eher nicht als eine Herausforderung. Die Frage 1 untersucht die Anlage zur Bearbeitung der Schüler:innen für die im Unterricht aufgetretenen Aufgaben. Die Probanden sollen beurteilen, ob die bearbeiteten Unterrichtsaufgaben für sie eine Herausforderung darstellen oder diese ihren Fähigkeiten entsprechen und die Herausforderung daher gering ist. Auch diese Frage erhielt mit 3,74 Punkten auf der Skala eine einfache Zustimmung. Die Frage 5 zielte darauf ab, das Arbeitsverhalten der Schüler:innen zu untersuchen, indem diese Angaben, ob die Aufgaben in ihrem besten Vermögen bearbeitet wurden. Dies wurde von den Schulklassen der Treatment-Gruppe mit 4,34 Skaleneinheiten beantwortet, was einer hohen einfachen Zustimmung entspricht und der höchsten für die Konzeptgruppe.

Um die Motivation der Schülergruppen gegenüber den Unterrichtskonzepten direkt zu erfassen, sind drei Fragestellungen zu dieser erstellt worden. Bei diesen (Fragen 8, 12 & 13) standen die erhaltene Motivation mehr über das Thema der Kernphysik und der Physik zu lernen und die Erlebnisqualität bzw. der Spaß der Unterrichtseinheit im Vordergrund. Der Hintergrund dieser Fragen lässt sich aus den Annahmen des entdeckenden Unterrichts herleiten, welcher anhand von Experimenten unter anderem versucht das Interesse der Lernenden anzuregen oder zu verstärken. Die Ergebnisse der Frage 8, ob diese Unterrichtsstunde die Motivation gestärkt habe, mehr über Physik zu lernen, spiegeln dies mit einem Mittelwert von 3,4 nicht wider und zeigen

eine neutrale Haltung der Probanden. Hingegen kann anhand der Daten der Fragestellung 12 entnommen werden, dass mit 3,6 Skalenpunkten das Unterrichtsformat mit einer niedrigen einfachen Zustimmung die Motivation für das Thema der Kernphysik und kosmischen Strahlen verstärkt hat. Die Probanden bewerteten das Unterrichtserlebnis und den Spaßgehalt der Stunde mit einem Ergebnis von 4,2 und weisen damit eine überwiegend positive Wahrnehmung der Stunde auf. Somit konnte eine einfache Zustimmung für die Erlebnisqualität der Nebelkammern festgestellt werden.

Das Item des Interesses wurde in dieser Abfrage mit vier dazugehörigen Fragestellungen (Frage 2, 4, 6 & 10) am häufigsten verwendet. Während das Item „Motivation“ die genaue Art der Motivation feststellen sollte, haben Interessenfragen das Interesse an den Unterrichtsmaterialien und der Arbeit im Unterricht behandelt. Frage 2 sollte das Interesse an der Arbeit mit solchen Projekten wiedergeben, um die Bereitschaft an diesen teilzunehmen einzuordnen. Mit einem Ergebnis von 4,33 Skalenpunkten fällt das Interesse sehr zustimmend aus. Ein gesteigertes Interesse aufgrund von Sachtexten und des Vortrags der Lehrkraft soll anhand der Frage 4 eingeschätzt werden. Die eingereichten Ergebnisse ergaben einen Mittelwert von 3,44 Punkten. Damit stellt dieser Wert einem Grenzwert von Neutralität zu einer einfachen Zustimmung dar, kann jedoch eher einer neutralen Haltung der Schüler:innen attestiert werden. In der Fragestellung 6 sollten die Lernenden ihre Bereitschaft ohne vorherige Motivation oder einer Motivationsphase an den Unterrichtsaufgaben teilzunehmen angeben. Die Ergebnisse zeigten mit 3,89 Skalenpunkten eine Bereitschaft der Schüler:innen auch ohne vorherige Motivation an den Aufgaben teilzunehmen. Somit kann angenommen werden, dass die Nebelkammern und das damit einhergehende Unterrichtskonzept das Interesse der Schüler:innen für die Aufgaben in der Stunde gestärkt haben. Das letzte Beispiel einer Fragestellung mit einer überwiegend niedrigen Skalenpunktzahl ist die Frage 10. Mit 2,01 Skalenpunkten stimmten die Schüler:innen der Aussage, sie hätten kein Interesse an einer Unterrichtseteiligung, eher nicht zu.

Das Konzept I nahmen die Probanden überwiegend positiv wahr. Die Schüler:innen schätzten die eigene Misserfolgsbefürchtung als gering und die Leistungsanforderung als keine Überforderung ein. Das Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten und den Nutzen des Unterrichtsstoffes und damit die Erfolgswahrscheinlichkeit wurde neutral oder leicht positiv bewertet. Die Aufgabenstellungen sind von den Lernenden dabei nicht als eine Herausforderung angesehen worden. Dennoch zeigte sich in den Ergebnissen eine hohe Bereitschaft diese zu bearbeiten. Das Arbeitsverhalten wurde ebenfalls angemessen positiv eingeschätzt. Das Item der Motivation

zeigte ein leichtes Verstärken der Motivation bezüglich der Kernphysik und Unterrichtsthematiken. Hingegen ist die Motivation mehr über Physik zu lernen als neutral bewertet worden. Der Spaßgehalt der Konzeptstunde ist ebenfalls positiv wahrgenommen worden und lässt auch insgesamt auf ein positives Erlebnis schließen. Gleiches gilt für das Interesse an den Unterrichtsmaterialien und der Teilnahme an solchen Projekten. Dabei konnte den Daten eine Bereitschaft an diesen teilzunehmen und die enthaltenen Aufgaben ohne vorherige Motivation bestmöglich zu bearbeiten entnommen werden. Als Fazit zeigt sich eine Zunahme des Interesses gegenüber der Stunde und Thematik und eine insgesamt positive Aufnahme des Unterrichtskonzeptes.

8.2.1.2 Konzept II

Die Kontrollgruppe um das Konzept II reichte insgesamt 72 Datenblätter ein und somit drei Datenblätter weniger als in der Wissensabfrage.

Die Fragestellung um die Misserfolgsbefürchtung der Probanden wurde mit 1,63 Skalenpunkten von den Schüler:innen der Kontrollgruppe als eher gering eingestuft.

Der Nutzen der im Unterricht behandelten Thematiken (Frage 7) hingegen wurde von den Schüler:innen der Gruppe II eher neutral angesehen. Mit einem Mittelwert von 3,49 Punkten befindet sich dieser in einem Grenzbereich der Neutralität und einfacher Zustimmung. Die Frage 9 zur Durchführbarkeit der Aufgaben wurde mit 3,61 zustimmend bewertet.

Der Bearbeitungswille der Schüler:innen gegenüber den Unterrichtsaufgaben ist ebenfalls mit positiver Bewertung bestätigt worden, was das Ergebnis mit 3,8 zeigt (Frage 1). Die Herausforderung der Aufgaben (Frage 3) ist mit 2,38 ebenfalls als eher gering eingeschätzt worden. Auch die Bearbeitung der Aufgaben nach bestem Vermögen wurde von den Probanden zustimmend beantwortet, womit die Fragestellung 4,11 Skalenpunkte erreichte.

Das Festhalten der Motivation der Schüler:innen in der Kontrollgruppe erhielt besondere Aufmerksamkeit, da diese Gruppe den visuellen Effekt der Nebelkammer nicht in vollem Umfang erleben konnte. Der Vergleich der Motivation der beiden Gruppen erhielt daher eine zentrale Bedeutung in den Abfragen. Die Frage über die gewonnene Motivation zum Lernen mit und über Physik (Frage 8) wurde mit 3,29 Punkten als neutral eingestuft. Das Stärken der Motivation gegenüber dem behandelten Thema (Frage 11) erhielt hingegen mit einem Mittelwert von 3,51 eine leichte einfache Zustimmung. Die Frage über den Spaßgehalt der Unterrichtsstunde

wurde von dieser Gruppe mit 4,24 Skalenpunkten als zustimmend bewertet, was zugleich den höchsten Wert in dieser Gruppe darstellt.

Wie das Item der Motivation, war auch das Interesse der Schüler:innen von zentraler Bedeutung. Das Interesse mit solchen Projekten zu arbeiten oder daran teilzunehmen (Frage 2) fiel mit 4,14 positiv aus. Auch das gewonnene Interesse anhand der Unterrichtsmaterialien und Vorträge der Lehrkraft wurde mit 3,6 Skalenpunkten mit knapper einfacher Zustimmung bestätigt. Hingegen wurde die Notwendigkeit einer vorausgehenden Motivationsphase (Frage 6) als neutral angesehen und erreichte 3,3 Punkte im Durchschnitt. Die Frage 10 und die darin enthaltene Aussage über ein Desinteresse sich aktiv am Unterricht zu beteiligen, wurde mit 1,74 als nicht zustimmend bewertet und zeigt somit ein vorhandenes Interesse an der Unterrichtseinheit und ihrer Themen, was mit den Ergebnissen der eben genannten Fragen übereinstimmt.

Auch das Konzept II ist von den Probanden überwiegend positiv wahrgenommen worden. Die Misserfolgsbefürchtung war gering und die selbst eingeschätzte Erfolgswahrscheinlichkeit der Schüler:innen wurde neutral bis positiv bewertet. Auch die Bereitwilligkeit die Aufgaben zu bearbeiten sowie ein angemessenes Arbeitsverhalten kann aus den Ergebnissen der Datenblätter erkannt werden. Das Gefühl einer Herausforderung oder Undurchführbarkeit der Aufgabenstellungen ist aus den Ergebnissen allerdings nicht zu entnehmen. Hingegen kann insgesamt eine leichte Verstärkung der Motivation gegenüber des Unterrichtsthemas, sowie eine positive Aufnahme dieses erkannt werden. Eine Steigerung der Motivation mehr über Physik zu lernen ist auf eine neutrale Haltung gestoßen. Auch das Interesse an der Unterrichtsstunde und der Thematik kann als positiv beschrieben werden, wobei die Notwendigkeit einer Motivierung zu bestehen scheint. Das Interesse der Schüler:innen ist somit als gestärkt wahrzunehmen.

8.2.2 Vergleich der beiden Konzeptgruppen

Beide Gruppen bewerteten die einzelnen Unterrichtskonzepte überwiegend positiv und sehr ähnlich. Es treten jedoch Unterschiede bezüglich der Zustimmung zu den Fragestellungen auf und die Items werden leicht verschieden wahrgenommen.

Die Bewertung der Misserfolgsbefürchtung fiel bei beiden Konzeptgruppen überwiegend gering aus. Jedoch schätzte die Kontrollgruppe des Konzepts II diese niedriger ein als die Treatment-Gruppe. Die Schüler:innen beider Gruppen betrachteten die Leistungsanforderungen als gering, wobei die Kontrollgruppe sich sicherer bei der Beantwortung der Frage fühlte.

Bei beiden Gruppen konnte Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten und den Nutzen des Unterrichtsstoffes festgestellt werden. Sowohl Treatment- als auch Kontrollgruppe sahen die Aufgaben als durchführbar an, wobei die Bewertung der Treatment-Gruppe besser ausfiel. Gleiches gilt für die Erkennung des Nutzens des Stoffes, bei welchem die Treatment-Gruppe insgesamt ihre Zustimmung, die Kontrollgruppe hingegen eine neutrale Sichtweise zeigte.

Gegenüber dem Item der Herausforderung zeigten beide Gruppen eine ähnliche Sichtweise. Die Aufgaben wurden insgesamt als wenig herausfordernd wahrgenommen, wobei die Kontrollgruppe diese geringfügig schwieriger einschätzte. Gleichzeitig bewerteten die Schüler:innen der Kontrollgruppe die Aufgaben als mehr ihren fachlichen Kompetenzen entsprechend. Die Treatment-Gruppe schätzte ihr Arbeitsverhalten und Mitarbeiten in der Unterrichtsstunde höher ein.

Die Motivation prägte sich in den Konzeptgruppen ähnlich aus. Beide Gruppen bestätigten weder eine Steigerung noch eine Verringerung der Motivation mehr über die Physik zu lernen. Dennoch räumten beide Gruppen eine geringe Zustimmung für das Verstärken der Motivation gegenüber der Unterrichtsthematik, beziehungsweise der Kernphysik und kosmischen Strahlung ein. Trotz dieser eher verhaltenen Zustimmung der Motivationssteigerung, bewerteten beide Gruppen den Spaßfaktor der Schulstunde als sehr positiv. Die Werte lagen dabei nahezu gleich hoch und nur geringfügig höher bei der Kontrollgruppe, während die Motivation jedoch bei der Treatment-Gruppe größer. Die Unterrichtsstunden der Konzepte können somit als ansprechend angesehen werden.

Grundsätzlich zeigten die Konzeptgruppen eine positive Einstellung zu der Arbeit mit und in solchen Projekten. Bezüglich der Bereitschaft zur Teilnahme an diesen Projekten und des Unterrichtes, zeigte die Treatment-Gruppe ein größeres Interesse. Die Kontrollgruppe zeigte ausgeprägteres Interesse an den Unterrichtsmaterialien und den Vorträgen der Unterrichtsstunde.

Der Vergleich zeigt in seiner Gesamtheit, dass beide Unterrichtskonzepte zu einer positiven Wahrnehmung führen. Dies gilt insbesondere für das Interesse an den Unterrichtsstunden und Materialien und dem damit verbundenen Spaßfaktor. Unterschiede fielen in der Bewertung insgesamt eher gering aus, zeigten sich aber besonders in Hinsicht auf die Motivation und den Nutzen des Unterrichtsstoffes. Die Treatment-Gruppe bewertete die Unterrichtsstunde dabei in acht der 13 Fragen positiver als die Kontrollgruppe, was einer Mehrheit entspricht.

8.3 Untersuchung auf statistische Signifikanz

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Items und Bezüge der Fragestellungen in diesem Testat, wurde jede Frage einzeln auf eine statistische Signifikanz überprüft. Die Untersuchung anhand des Mann-Whitney-U-Tests ergab:

Fragennummer	Signifikanzwert p
1	0.2148
2	0.4404
3	0.2776
4	0.2061
5	0.119
6	0.0037
7	0.1841
8	0.3409
9	0.0853
10	0.2389
11	0.0934
12	0.4207
13	0.492

Tabelle 6: Statistische Signifikanzen der Motivationsabfrage

In der Untersuchung der Motivationsabfrage ist nur bei einer Fragestellung eine statistische Signifikanz aufgetreten. Bei der Fragestellung 6 in Bezug auf eine Notwendigkeit der Motivierung zur Bearbeitung der Aufgabe wurde ein Signifikanzniveau $p = 0,0037$ ermittelt. In dieser Fragestellung gab die Konzeptgruppe I an, diese nicht zu benötigen, während die Kontrollgruppe eine neutrale Haltung einnahm. Die Fragestellung war Teil des Items des Interesses. Daher kann angenommen werden, dass das Arbeitsverhalten gegenüber den Aufgaben und ihrer Bearbeitung bei der Treatment-Gruppe besser war. Die weiteren Fragen hingegen zeigten keine weiteren Signifikanzen auf und lagen häufig deutlich über dem kritischen Wert von $p < 0,05$. Nur die Ergebnisse der Fragen 9 und 11 wurde ebenfalls ein p -Wert erteilt, welcher unter 0,1 lag.

Aufgrund der überwiegenden statistischen Insignifikanz der Fragestellungen kann die Nullhypothese 2 als erwiesen angesehen werden. Anhand der untersuchten Daten scheinen beide Konzepte eine positive Wahrnehmung der Schüler:innen zu fördern, wobei kein Konzept die Motivation stärker fördert.

Die Alternativhypothese 4 kann im Rahmen dieser Arbeit nicht bestätigt werden. Mit Ausnahme der Ergebnisse der Fragestellung 6 ist keine Signifikanz zu einer stärkeren Förderung der Motivation in Konzept 1 erkennbar. Die Fragestellung 6 bestärkt hingegen die Annahme des Aspektes, dass die Schüler:innen in der Treatment-Gruppe nicht zusätzlich motiviert werden müssen die Aufgabenstellungen zu bearbeiten, wodurch ein leicht größeres Interesse angenommen werden kann.

8.4 Bedeutung und Bewertung der erhobenen Daten

Die erhobenen Daten bieten Einblicke in die Wirksamkeit der unterschiedlichen Unterrichtskonzepte, sowie deren Auswirkung auf die Motivation der Lernenden. Die Bewertung der erhobenen Daten lässt außerdem Rückschlüsse auf die Effektivität der Unterrichtseinheiten und den Einfluss auf das Lernverhalten und der besseren Vermittlung der Lerninhalte zu.

In erster Betrachtung der Daten der Wissensabfrage zeigte sich, dass die Schüler:innen der Kontrollgruppe in direktem Vergleich durchschnittlich besser abschnitten als die Probanden der Treatment-Gruppe. Dies deutete in erster Instanz auf eine effektivere Vermittlung der Inhalte durch den vortragsorientierten exemplarischen Unterricht hin. Das zeigte sich besonders in Fragestellungen, welche sich auf neue Inhalte der Unterrichtseinheit bezüglich der Nebelkammern bezogen. Die stärksten Ergebnisse der Treatment-Gruppe wurden in Fragen erreicht, welche eine mündliche Vorstellung durch experimentellen Anteil unterstützten und somit eine visuelle Stütze darstellten. Während das Konzept I durch anschauliche und praxisnahe Methoden das Wissen zu vermitteln versuchte, schien das Konzept II eben dieses Wissen substanzieller zu vermitteln. Dies kann auf die systematischere und klarer strukturierte Wissensvermittlung zurückgeführt werden, was eine wirksamere Sicherung des Erlernten ermöglichte.

In der statistischen Betrachtung konnten ebenfalls signifikante Unterschiede der Lernerfolge ermittelt werden. Die betrachteten Abweichungen der Ergebnisse können auf die Unterrichtsgestaltung zurückgeführt werden. Somit sind die Konzepte I und II in ihrem Nutzen als Wissenssicherung und der Fähigkeit der Vermittlung von Lerninhalten als nicht gleichwertig zu betrachten. Das Konzept II scheint somit geeigneter.

Das Testat zur Schülermotivation zeigt, dass beide Gruppen die Unterrichtseinheit insgesamt positiv wahrgenommen haben, besonders in Hinsicht auf das Interesse an den Materialien und den enthaltenen Spaßfaktor der Stunde. Die Unterschiede in der Bewertung waren insgesamt

gering, zeigten sich jedoch deutlich in Fragen der Motivation und dem Nutzen des Unterrichtsstoffes. Besonders die Kontrollgruppe bewertete einige Fragestellungen deutlich neutraler als die Treatment-Gruppe. Bei erster Betrachtung sind daher eine höhere Motivation und stärkeres Engagement in der Konzeptgruppe I zu erkennen, was durch die experimentelle Arbeit und damit einhergehende Visualisierung des Unterrichtsstoffes erklärt werden kann.

Doch auch in dieser Abfrage war in der statistischen Betrachtung keine Signifikanz zu erkennen. Ausschließlich in einer Fragestellung konnte eine solche Signifikanz ermittelt werden. Diese zeigte größere Bereitschaft und Interesse die Aufgabenstellungen zu bearbeiten, ohne vorausgehende zusätzliche Motivierung dafür. In seiner Gesamtheit kann jedoch kein Unterschied für eine Motivationsanregung in den Unterrichtskonzepten bestimmt werden.

Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass unterschiedliche didaktische Ansätze die gleichen Ergebnisse hervorbringen können, obwohl sich diese in ihrem Aufbau und der Strukturierung sehr verschieden ausprägen. Trotz des Erfolges beider Konzepte und statistischen Gleichwertigkeit, zeigen sich deren Ausprägungen in den direkten und einsehbaren Ergebnissen. Das experimentelle und erlebnis-orientierte Konzept I war in den Bereichen der Motivation und des Interesses leicht stärker. Das sehr strukturierte und exemplarische Konzept II hingegen bewies anhand der Ergebnisse der Kontrollgruppe ein gutes Vermögen das erlernte Wissen zu vermitteln und zu sichern.

Durch diese Erkenntnisse konnten die Nullhypothese 2 und die Alternativhypothese 3 bestätigt werden. Hingegen fielen der Nullhypothese 1 und der Alternativhypothesen 4 keine ausreichende Beweislast zu, um diese zu unterstützen und zu bestätigen.

9 Erkenntnisse des Vergleiches

9.1 Stärken und Schwächen der Ansätze

Die Ergebnisse der beiden Unterrichtskonzepte zeigen methodische und strukturelle Stärken und Schwächen in Hinsicht auf die pädagogischen Ziele.

Die Stärke von Konzept I ist der besonders große Fokus des visuellen Verständnisses der ionisierenden Strahlung, aufgrund der zeitintensiven Beobachtungsphasen. Die direkte Beobachtung von physikalischen Prozessen in den Nebelkammern ermöglicht dabei eine praxisnahe und anschauliche Erfahrung und bietet Raum für neue Erfahrungen. Das experimentell und erlebnisorientierte Konzept stärkt das Interesse der Schüler:innen. Dies steigert auch den Spaßfaktor

der Unterrichtsstunde mit einer positiven Auswirkung auf die Motivation mehr über die Vorgänge zu lernen. Durch das abwechselnde Zusammenspiel der interaktiven Lernphasen unterstützt durch eigenes Erarbeiten der physikalischen Gegebenheiten, können die Transferfähigkeiten erlerntes Wissen auf Beobachtungen zu übertragen gefördert werden. Das visuelle Erlebnis beweist ein ansprechendes unterstützendes Medium für das Erlernen von kernphysikalischen Vorgängen.

Die Stärken des Konzepts II liegen in der klaren Strukturierung und methodischen Heranführung an theoretische Grundlagen mit anschließender visueller Vorstellung des Gelernten. Der systematische Einstieg, die Vorstellung theoretischer Grundlagen und die fundamentalen Prinzipien der Unterrichtsthematik unterstützen die Entwicklung eines tieferen Verständnisses der physikalischen Prinzipien. Dadurch kann das Vorhandensein eines gefestigten Grundverständnisses sichergestellt werden. Die anschließende visuelle Demonstration begünstigt diese Festigung der Grundlagen, wodurch eine zielgerichtete und logische Abfolge der Wissensaneignung gewährleistet ist.

Doch die Konzepte zeigten in ihrer Erprobung auch Schwächen. Durch das primär experimentelle Arbeiten in Konzept I mit vorher unbekanntem Material, bestand stets ein Risiko der Unaufmerksamkeit der Schüler:innen. Oftmals durch die Faszination der Vorgänge innerhalb der Nebelkammer begründet, konnten diese im weiteren Verlauf den Fokus auf die weiteren Aufgabenstellungen verlieren. Die Nebelkammern stellten neben einem wichtigen Werkzeug eine Möglichkeit der Ablenkung der Schüler:innen dar. Da ein Austausch in den Beobachtungsphasen gefördert wurde, entstand auch dabei ein möglicher Störfaktor, wodurch drohte, dass das Lernen nicht den primären Fokus der Lernenden darstellte. Schüler:innen konnten sich leicht in Gespräche verlieren, was die Effektivität des Lernens beeinträchtigte. Eine weitere Schwäche war der logistische Aufwand, aufgrund der Notwendigkeit des Transportes der Nebelkammern im Klassensatz. Dieser konnte durch eine sinnvolle Einteilung der Konzeptgruppen eingeschränkt werden, dennoch war diese Schwäche auch innerhalb der Schulen präsent.

Hingegen lagen die Schwächen von Konzept II in der weniger spannenden Präsentation und trockeneren Unterrichtsmethodik. Die langen Phasen der Erarbeitung und des anschließenden Ergebnisaustauschs im Plenum konnten aus Sicht der Schüler:innen trocken und wenig abwechslungsreich wirken. Besonders prävalent war dies in leistungsstärkeren Klassen, welche überdurchschnittlich schnell in der Bearbeitung der Aufgaben waren. Diese Phasen erwiesen sich als uninteressant, was sich in den Motivationsabfragen widerspiegelte. Die anschließende

Beobachtungsphase konnte diese Schwäche in gewissem Rahmen wieder auffangen, wobei der Gesamteindruck dennoch blieb.

9.2 Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Erfahrung

Beide Gruppen zeigten Wissbegierde in der Thematik rund um die Nebelkammern und kosmischer Strahlung. Dabei stellten die Vorführung und Arbeit mit den Nebelkammern den Höhepunkt der Unterrichtsstunden dar, in der Konzeptgruppe II prägte sich dies allerdings deutlicher aus, da die Nebelkammer erst spät in der Stunde Verwendung fand. Ein weiterer Unterschied zeigte sich in der Art der Lernmotivation. Die Treatment-Gruppe zeigte deutliches Interesse an der Sichtbarkeit ionisierender Strahlung, welches die gesamte Unterrichtseinheit über anhielt. Dies kann mit dem besonderen Fokus dieses Konzeptes erklärt werden, da die Beobachtungen im weiteren Verlauf genauer erklärt wurden, der Fokus aber dennoch deutlich auf der Arbeit mit den Kammern blieb. Die Kontrollgruppe hingegen zeigte ein besonderes Interesse an den Vorgängen, da hier die physikalischen Vorgänge im Vordergrund standen. Während der Beobachtungsphase zum Ende der Stunde, zeigten die Schüler:innen Wissbegierde, die eigenen Beobachtungen anhand des neu gewonnenen Wissens zu erklären. Obwohl das Visuelle den Höhepunkt darstellte, stand in dieser Gruppe nicht allein das Erlebnis im Vordergrund. Die Art der Mitarbeit und der Arbeitsatmosphäre war in beiden Gruppen überwiegend positiv, doch zeigten sich auch dabei Unterschiede. Durch den hohen experimentellen Anteil und der damit verbundenen Gruppenarbeit der Gruppe I, war die Arbeitsatmosphäre aufgelockert und unbeschwert. Die Schüler:innen sahen sich nicht erst mit Arbeitsaufträgen oder Textbearbeitung konfrontiert, sondern konnten zunächst beobachten und ihre Beobachtungen im weiteren Verlauf dokumentieren. Diese Arbeitsatmosphäre wurde auf den übrigen Teil der Unterrichtsstunde übertragen. Auch in der Kontrollgruppe war eine positive Arbeitsatmosphäre zu beobachten. Aufgrund der fehlenden Gruppenarbeit war diese in ihrer Gesamtheit nicht so aufgelockert wie in der Treatment-Gruppe. Allerdings konnte die Lehrkraft eine Erlaubnis zur Partnerarbeit erteilen, wodurch der sehr starre Unterrichtsverlauf unbeschwerter wurde.

Die größte Gemeinsamkeit war die Arbeit mit den Nebelkammern und der damit einhergehende Höhepunkt der Unterrichtsstunde. In dieser Phase waren die Motivation und das Interesse der Gruppen am größten, was sich in allen Schulklassen zeigte. Auch das Erstaunen der Schüler:innen war in dieser Hinsicht gleich. Die verwendete Sprache in den Konzeptgruppen ähnelte sich ebenfalls stark. Die Beschreibung der Tröpfchenspuren wurde gleichermaßen als „schnurartig“ oder „fadenartig“ bezeichnet. Auch das Erscheinungsbild des Nebels wurde oftmals in beiden

Gruppen als „Schlieren“ bezeichnet. Eine weitere Gemeinsamkeit zeigte sich in den Beobachtungsphasen in der Arbeit mit den Nebelkammern. Zum Ende der Beobachtungsphasen, Abbau der Nebelkammern oder kurzer Unaufmerksamkeit der Lehrkraft, neigten die Schüler:innen zu einer unsachgemäßen Handhabung der Nebelkammern. So wurden in beiden Gruppen die Nebelkammern verschoben oder gerüttelt, wodurch ungesättigte und ungekühlte Luft von außen in die Nebelkammern gelangte. Auch das Zeichnen in den Beschlag der Nebelkammern war nicht unüblich, was zu einer ungewünschten Verunreinigung der Aquarien führte. Während des Abbaus kam es in beiden Gruppen häufig zu unruhigen Situationen und unstrukturiertem Verhalten der Schüler:innen, was den Gesamtprozess der systematischen und sachgerechten Wiederherstellung der Ordnung und Einheitlichkeit der Unterrichtsmaterialien unnötig verzögerte.

9.3 Erkenntnisse zur Verbesserung der Konzepte und Nebelkammern

Die Erkenntnisse über die Stärken und Schwächen der Unterrichtskonzepte, bieten ein wertvolles Werkzeug zur Verbesserung und Überarbeitung der Konzepte. Durch diese Verbesserungen sollen die Konzepte noch effektiver und die erkannten Schwächen minimiert werden. Die Konzepte sollen dabei nicht ihre bisherigen Vorteile einbüßen müssen oder den Fokus der Nebelkammern und der kosmischen Strahlung verlieren. Für eine Überarbeitung der Unterrichtskonzepte bestehen verschiedene Möglichkeiten

Die erste Möglichkeit sieht eine Überarbeitung der einzelnen Konzepte vor, wobei die Aufgabenstellungen, aufgrund des bisher auftretenden Zeitüberschusses eine zeitliche Anpassung erfahren. Um dies zu ermöglichen, kann ein Teil der Aufgabenstellung durch eine zusätzliche Aufgabe, welche sich direkt mit der Thematik der kosmischen Strahlung befasst, ergänzt werden. Diese könnte anhand von Bildern oder durch die genauere Vorstellung des Phänomens durch das Einführen eines weiteren Aufgabentyps verwirklicht werden und damit eine Alternative zu den bisher vorrangigen Textaufgaben darstellen. Dadurch kann auch das Wissen über dieses Phänomen weiter gefestigt und gleichzeitig eine Eintönigkeit der Aufgabenstellungen verhindert werden. Für Konzept I können gleichzeitig die Beobachtungsphase verlängert und mehr Nebelkammern bereitgestellt werden, um die visuellen Phasen zu vertiefen.

Die zweite Möglichkeit sieht ein Hybridkonzept der beiden bisherigen Konzepte vor, in welchem die Stärken dieser vereint werden. Die bisher nicht bearbeiteten Blätter des Konzepts II würden nun zusätzlich in das Konzept I eingearbeitet werden, anstatt nur einer mündlichen Erwähnung zu unterliegen. Dafür könnten nach einer Erklärung der Nebelkammern, die dazugehörigen Arbeitsblätter des Konzepts II bearbeitet werden, wodurch die Beobachtungsphase

in der Stunde zeitlich etwas weiter nach hinten rückt. Dadurch könnte sich die Möglichkeit der Verbindung des eher freien und experimentell ausgelegten Konzepts I und des sehr strukturierten und methodischen Konzepts II ergeben, wodurch die jeweiligen Stärken gleichzeitig zu einer Verstärkung des Wissens und der Motivation führen können.

Die dritte Möglichkeit sieht ebenfalls eine Verbindung der Konzepte vor, allerdings in Form einer zweiteiligen Unterrichtseinheit mit beiden bisherigen bzw. den überarbeiteten Versionen dieser Konzepte. Die Unterrichtseinheit würde mit einer Stunde des klassisch exemplarischen Unterrichts beginnen, um die thematischen und theoretischen Grundlagen zu vermitteln und die Schüler:innen auf die Folgestunde vorzubereiten. In der zweiten Stunde würde das vermittelte Wissen in einer experimentellen Stunde angewandt und dadurch gefestigt werden. Dafür müssten die bisherigen Konzepte substanzielle Veränderungen erfahren. Die erste Schulstunde dieser Unterrichtseinheit müsste das bisherige Konzept II weiter ausbauen, bspw. durch weitere Arbeitsblätter oder Vorträge zur kosmischen Strahlung, und die Beobachtungsphase müsste wegfallen, um der zweiten Stunde nichts vorwegzunehmen. Die Zweite Stunde würde den Hauptfokus auf das Experimentieren und Beobachten legen und die Grundlagen des bisherigen Konzepts I übernehmen. In dieser Stunde kann die Verwendung von Präparaten erweitert werden und Plenumsdiskussionen einen noch größeren Anteil darstellen. Das Ziel dieser Stunde ist es die Schüler:innen ihr bisher erhaltenes Wissen anzuwenden und Schlussfolgerungen ziehen lassen.

Diese Ideen bieten eine Vielzahl an Möglichkeiten und weitere Entwicklung der bisherigen Konzepte. Eine genaue Formulierung und das Testen dieser Veränderung können zu weiteren Erkenntnissen zur Verwendung der Nebelkammern im Physikunterricht führen und somit ein noch zielgerichteteres Lernen ermöglichen.

10 Fazit und Ausblick

Die beiden Unterrichtskonzepte boten aufgrund der verschiedenen methodischen Strukturierung die Möglichkeit das Experiment der Nebelkammern in unterschiedlichen Unterrichtsszenarien auszutesten und zu vergleichen. Nach Betrachten der physikalischen Grundlagen im Bereich der ionisierenden Strahlung und Radioaktivität, sowie die grundlegenden und relevanten didaktischen Gegebenheiten sind die Konzepte an die neuen Anforderungen dieser Arbeit angepasst worden. Das Problem des „soft errors“ fiel weg und die Stunde ist von einer Einführungsveranstaltung, zu einer Abschluss- und Sicherungsveranstaltung übergegangen.

Die Veränderungen ermöglichten einen reibungslosen Einsatz an verschiedenen Schulen, in welchem die Konzepte in Unterrichtsstunden erprobt und getestet wurden und Erfahrungen über den Einsatz der Nebelkammern gesammelt werden konnten. Die Unterrichtskonzepte wurden in zwei Gruppen an drei Schulen und insgesamt sieben Klassen getestet. Die Einteilung in die Gruppen erfolgte nach den Aspekten der Schüleranzahl, Lehreranzahl, Standort der Schulen und logistischem Aufwand des Transports der Nebelkammern. Diese Einteilung sollte die Vergleichbarkeit der Gruppen erhöhen und somit Störvariablen vorbeugen.

Die Konzepte wurden in den Bereichen der Wissensvermittlung, oder auch Wissenssicherung, und anhand der Wahrnehmung der Schulstunde aus Sicht der Schüler:innen geprüft. Dafür wurden zwei Abfrageblätter erstellt. Die Wissensabfrage war ein Single-Choice-Testat, in welchem der fundamentale Lehrstoff des Unterrichtes abgefragt wurde. Die Motivationsabfrage benutzte eine Likert-Skala, um Zustimmung oder keine Zustimmung zu geäußerten Fragestellungen zu zeigen. Diese Abfrage verwendete Items zur Misserfolgsbefürchtung, Erfolgswahrscheinlichkeit, Herausforderung, Motivation und Interesse und konnte somit die Wahrnehmung der Schüler:innen weitreichend erfassen. Diese Abfragen sind zwei Wochen nach der Erprobung der Unterrichtsstunde digital mit dem Tool Microsoft Forms online durchgeführt worden.

Die Ergebnisse der Wissensabfrage zeigten nach Betrachtung in erster Instanz Unterschiede in Hinsicht auf korrekte und inkorrekte Beantwortung der einzelnen Fragestellungen. Die Konzeptgruppe II reichte leicht stärkere Ergebnisse ein als die Konzeptgruppe I, wodurch zunächst eine bessere Wissensvermittlung angenommen werden konnte. In der statistischen Untersuchung durch den Mann-Whitney-U-Test konnte ebenfalls eine statistische Signifikanz festgestellt werden. Für diese Ermittlung wurden in jedem eingereichten Datenblatt, die korrekten Antworten zusammengezählt und ergaben eine Punktzahl. Die Annahme einer besseren Wissensvermittlung und Sicherung konnte somit bestätigt werden.

In der Motivationsabfrage waren zunächst auch leichte Unterschiede in der Bewertung der Stunde zu erkennen. Die Konzeptgruppe I bewertete die Stunde insgesamt leicht besser als die Konzeptgruppe II und zeigte in der Beantwortung einen höheren Motivationsgewinn und Interesse an der Unterrichtsthematik. Für die statistische Auswertung der Motivation ist jede Fragestellung einzeln auf statistische Signifikanzen überprüft worden. Mit Ausnahme einer Fragestellung konnte auch in der Abfrage zur Wahrnehmung der Schüler:innen keine statistische Signifikanz festgestellt werden. Diese einzelne Frage zeigte hingegen, dass die Konzeptgruppe

I keine Notwendigkeit in einer vorausgehenden Motivierung zum Bearbeiten der Aufgabenstellungen sahen, woraus ein stärkeres Interesse an der Unterrichtsthematik abgeleitet werden kann. Diese Signifikanz bildete dennoch lediglich eine Minderheit der Gesamtergebnisse.

Anhand dieser statistischen Ergebnisse kann eine Gleichwertigkeit der Unterrichtskonzepte in Bezug auf die Motivationsstärkung angenommen werden, wobei für Konzept I die Annahme besteht, dass keine weitere Motivierung zum Bearbeiten der Aufgaben benötigt wird. Hingegen ist die konnte eine stärkere Wissensvermittlung durch das Konzept II bestätigt werden, was mit der methodischen und strukturellen Art des Wissenserwerbs und konservativeren Arbeit im Unterricht erklärt werden kann.

Beide Konzepte um die Nebelkammern sind dennoch insgesamt positiv bewertet worden und die Kammern von Schüler:innen und Lehrkräften gleichermaßen als ein hervorragendes Werkzeug zur Sichtbarkeit ionisierender Strahlung wahrgenommen worden. Es zeigten sich jedoch während der Erprobung unterschiedliche Stärken und Schwächen der Unterrichtsansätze. Das Konzept I zeigte seine Stärke in der visuellen Vermittlung physikalischer Prozesse, die das Interesse und die Motivation der Schüler:innen und ihre Transferfähigkeiten steigerten. Die Schwächen zeigen sich hingegen in der geringeren Struktur des Konzeptes, was sich besonders in den Beobachtungsphasen zeigte, in welchen das Risiko der Ablenkung anhand der Nebelkammern stetig gegeben war. Die Stärke des Konzeptes II erwies sich in der klaren Strukturierung und methodischen Behandlung der physikalischen und praktischen Grundlagen und der simplen Durchführung. Schwächen zeigten sich in der geringen Abwechslung und dadurch resultierenden geringeren Spannung, besonders zu Beginn der Arbeitsphasen, da die Beobachtungsphasen wegfielen, was besonders in leistungsstärkeren Klassen als trocken registriert wurde.

Das Experiment der Nebelkammer ist dennoch als Erfolg anzusehen und bietet die Möglichkeit durch weitere Verbesserungen noch effektiver einsetzbar zu sein. Möglichkeiten der Überarbeitung der Konzepte können realisiert werden durch eine Generalüberarbeitung der Konzepte, eine Hybridform der Konzepte, in welcher beide bisherigen Konzepte in einem vereint werden oder in Form einer zweiteiligen Unterrichtseinheit nach Vorbild der bisherigen Konzepte und Erweiterung der Unterrichtsthematiken. Diese Überarbeitungen der Konzepte bieten die Möglichkeit der weiteren Integration des Nebelkammer-Experiments mit weiteren Perspektiven auf dessen didaktische Einbindung in den modernen Physikunterricht.

11 Literaturverzeichnis

Kürzel	Titel
[Bet08]	K. Bethge. <i>Kernphysik - Eine Einführung</i> . Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2008. ISBN: 978-3-540-74566-2.
[Bor10]	J. Bortz / C. Schuster. <i>Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler</i> (7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage), 2010. Springer-Lehrbuch. Springer.
[Dem17]	W. Demtröder. <i>Experimentalphysik 4 - Kern-, Teilchen- und Astrophysik</i> . Springer Spektrum, 2017. ISBN: 978-3-662-52883-9.
[Kir20]	E. Kirchner et al. <i>Physikdidaktik Grundlagen</i> . Springer Spektrum, 2020. ISBN: 978-3-662-59489-6.
[Klo08]	B. Klose. <i>Meteorologie - Eine interdisziplinäre Einführung in die Physik der Atmosphäre</i> . Springer Spektrum, 2008. ISBN: 978-3-662-43621-9.
[Kri19]	H. Krieger. <i>Grundlagen der Strahlenphysik und des Strahlenschutzes</i> . Springer Spektrum, 2019. ISBN: 978-3-662-60583-7.
[Kul21]	Niedersächsisches Kultusministerium. <i>Naturwissenschaften – Kerncurriculum für das Gymnasium Schuljahrgänge 5 – 10</i> . Hannover, 2021.
[Rhe01]	F. Rheinberg / R. Vollmeyer / B. Burns. <i>FAM: Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen</i> . Diagnostica – Zeitschrift für Psychologische Diagnostik und Differentielle Psychologie 47, 2001.
[Saa23]	M. A. Saathoff. <i>Entwicklung zweier Unterrichtskonzepte zur Einführung des Themenbereichs Radioaktivität in der Sekundarstufe I mit und ohne Gebrauch des Nebelkammerexperimentes als Schülerexperiment</i> . Leibniz Universität Hannover, Institut für Radioökologie und Strahlenschutz 2023
[Sch20]	C. Schwerdt. <i>Teilchenspuren sichtbar machen - Handreichung zum Selbstbau einer Nebelkammer</i> . Netzwerk Teilchenwelt, 2020.
[Spa18]	K.-H. Spatschek. <i>Astrophysik - Eine Einführung in Theorie und Grundlagen</i> . Springer Spektrum, 2018. ISBN: 978-3-662-55466-1.
[Stra]	Bundesamt für Strahlenschutz. <i>Grundsätze des Strahlenschutzes</i> . URL: https://www.bfs.de/DE/themen/ion/strahlenschutz/einfuehrung/grundsaeetze/grundsaeetze.html . (besucht: 29.09.2024).
[Strb]	Bundesamt für Strahlenschutz. <i>Natürliche Strahlung in Deutschland</i> . URL: https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/natuerliche-strahlung/natuerliche-strahlung.html . (besucht: 29.09.2024).
[Vah19]	H. Vogt / J. Vahlbruch. <i>Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes</i> . Carl Hanser Verlag München, 2019. ISBN: 978-3-446-44919-0.

- [Wei01] F. E. Weinert. *Leistungsmessungen in Schulen*. Beltz Verlag, Weinheim
Basel, 2001. ISBN: 3-407-25243-9.
- [Wil09] U. Backmut / T. Wilhelm. *Selbstbau einer kontinuierlichen Diffusionsnebel-
kammer*. Bd. 58. 1. 2009, S. 27–32.

12 Bildverzeichnis

Abb.	Quelle
1	[Dem17, S.84 Abb. 4.55]
2	[Kri19, S.107 Fig. 3.8]
3	[Spa18, S.147 Abb. 3.4]
4	[Dem17, S.41 Abb. 3.16]
5	[Sch20, S.13 Abb. 21]
6	[Sch20, S.12 Abb. 8]
7	[Sch20, S.13 Abb. 22]
8	[Sch20, S.11 Abb. 5]
9	[Saa23, S.16 Abb.10]
10	[Eigene Aufnahme]
11	[Eigene Aufnahme]
12	[Eigene Aufnahme]
13	[Eigene Aufnahme]

14 Anhang

Aufgrund der sich verändernden Anforderungen ist das Konzept von Herrn Saathoff in einigen Phasen verändert worden, sodass es als eine Sicherungsstunde dienen konnte. Die genauen Veränderungen sind in Abschnitt 5.2 detailliert beschrieben. Die entsprechenden Phasen der Langentwürfe wurden verändert, jedoch ist der unveränderte Anteil dieser Entwürfe aus der Arbeit von Herrn Saathoff [Saa23, S.57f] übernommen worden. Dies wurde an den entsprechenden Stellen hervorgehoben und auf die Abschnitte der Arbeit von Herrn Saathoff verwiesen.

14.1 Bausteine eines Unterrichtsentwurfs

Die Bausteine des Unterrichtsentwurfes sind aus der Arbeit von Herrn Saathoff entnommen und diesen identisch.

Siehe: [Saa23, S55f Abschnitt 8.1]

14.2 Langentwurf Unterrichtskonzept I - mit Schülerexperiment

Dieses Unterrichtskonzept wurde als Einstiegskompetenz für den Themenbereich Radioaktivität und Kernphysik in der Sekundarstufe I konzipiert. Dieses und wurde nach den Bausteinen von Esslinger-Hinz entworfen.

Das Konzept bietet die Möglichkeit anhand von zehn mobilen Nebelkammern ein visuelles Erlebnis von ionisierender Strahlung zu gewährleisten. Für dieses Experiment arbeiten die Schüler:innen in Kleingruppen zusammen.

14.2.1 Kompetenzangaben – Lernziele I

[Direkt übernommen aus Saa23, S.57]

Nachfolgend sind die Kompetenzen aus dem aktuellen niedersächsischen Kerncurriculum für das Fach Physik in der Sekundarstufe I aufgeführt, die für diesen Entwurf relevant sind.

”Die Schülerinnen und Schüler...

... beschreiben die ionisierende Wirkung von Kernstrahlung und deren stochastischen Charakter.

... geben ihre Kenntnisse über natürliche und künstliche Strahlungsquellen wieder.

... unterscheiden α -, β -, γ -Strahlung anhand ihres Durchdringungsvermögens und beschreiben ihre Entstehung modellhaft.” [Kul21, S.41]

Die Anbahnung dieser Kompetenzen bei den Schüler:innen bedarf selbstverständlich mehr als nur einer einzelnen Unterrichtsstunde. Sie können jedoch gut zur Orientierung genutzt werden und als Grundlage für konkretisierte Teilkompetenzen dienen.

Es ist zu beachten, dass γ -Strahlung in der Nebelkammer nicht oder nur kaum zu beobachten ist. Daher ist es nicht realistisch, diese Strahlungsart in die anzubahnenden Teilkompetenzen mit einzubeziehen. Außerdem ist zu beachten, dass das Nebelkammerexperiment mit einer Kammer unserer spezifischen Bauart weniger geeignet ist, um das Durchdringungsvermögen verschiedener Strahlungsarten zu untersuchen. Der Umstand, dass die Nebelkammer die unsichtbare ionisierende Strahlung für die Schüler:innen in Form der von ihr erzeugten Tröpfchenspuren „sichtbar“ machen kann, ermöglicht es, die Strahlungsarten auf andere Weise zu unterscheiden. Die Schüler:innen sind nun in der Lage, Kriterien, wie die Dicke, Länge und Form der betrachteten Spuren als Kriterien zur Unterscheidung der zugrunde liegenden Strahlungsarten zu nutzen. Es ergeben sich folgende Lernziele, die in Form von konkretisierten Teilkompetenzen festgehalten wurden:

Die Schüler:innen...

... kennen die Begriffe „ionisierende Strahlung“ und „Radioaktivität“ und können ihnen zugrundeliegenden Konzepte in vereinfachter Form wiedergeben. Können den Begriff kosmische Strahlung mit ihrem vorhandenen Wissen verknüpfen. (LZ 1).

[abgeändert]

... ordnen die jeweiligen Spuren in der Nebelkammer den Strahlungsarten der α - und β -Strahlung richtig zu und begründen ihre Zuordnung. Die S können vereinfacht die Ursache für Spuren in der Nebelkammer erklären. (LZ 2). [abgeändert]

... stellen mithilfe der Nebelkammern prototypische Raten für die Spuren im Innern der Kammer auf (und führen einfache Rechnungen mit diesen Raten durch) (LZ 3).

[Lernziel zum „soft error“ entfällt]

14.2.2 Der Lehrgegenstand I

Siehe: [Saa23, S.61f Abschnitt 8.2.2].

Der Einstieg in die Stunde wurde verändert, indem das Phänomen des „soft errors“ herausgenommen wurde. Stattdessen wurden die Schüler:innen direkt mit dem Phänomen der kosmischen Strahlung konfrontiert und das Vorwissen geprüft.

[Abgeändert]

Zu Beginn der Unterrichtsstunde wurde den Schüler:innen die Frage gestellt: „Welche Arten von Strahlung kennt ihr?“, um das Vorwissen zu erfassen. Die Antworten wurden im Plenum gesammelt und festgehalten. Dabei wurden auch Antworten gesammelt, welche nicht direkt Bezug auf die Unterrichtseinheit der Radioaktivität nahmen. Im Anschluss wurden nun der Begriff und das Prinzip der kosmischen Strahlung eingeführt und erklärt. Dabei wurde sie als extraterrestrische Strahlung mit Ursprung von außerhalb der Erdatmosphäre erklärt. Daraufhin wurde die Unterteilung in „Galactic Cosmic Ray“ und „Solar Cosmic Ray“ verdeutlicht. Es wurde besonders auf die universelle Existenz der kosmischen Strahlung hingewiesen. Die jährliche Strahlendosis für den Menschen durch die kosmische Strahlung wurde ebenfalls erwähnt.

Zusätzlich wurde der Aufbau der Nebelkammer mit Hilfe des Smartboards dargestellt und erläutert. Des Weiteren wurde auch das Prinzip der Nebelkammern erklärt.

14.2.3 Begründung des Lerngegenstandes

Die Begründung des Lerngegenstandes basiert, ebenso wie der Lerngegenstand selbst, auf der Arbeit von Herrn Saathoff. Dennoch wurden auch in diesem Fall Veränderungen vorgenommen.

Siehe: [Saa23, S.61f Abschnitt 8.2.3]

[Abgeändert]

Die drei Anforderungen des KC Niedersachsen können auch durch diese Veränderungen erfüllt werden. Der Einstieg in die Unterrichtsstunde bezog die Schüler:innen direkt in den Unterricht mit ein und sollte somit die Mitarbeit fördern. Bereits vorhandenes Wissen sollte reaktiviert werden und der Lehrkraft eine Einschätzung in das Vorwissen der Schüler:innen geben, um daraufhin im weiteren Verlauf der Stunde Anpassungen vornehmen zu können, sofern notwendig. Gleichzeitig kann durch die Offenheit des Einstiegs die Vielfalt des Strahlungsbegriffes dargestellt werden, ohne diese zu sehr zu beleuchten. Die direkte Einführung der kosmischen Strahlung stellt direkt ein neues Phänomen in den Vordergrund, anhand welchem auch die verschiedenen Strahlungsarten der α - und β -Strahlung erklärt und unterschieden werden können.

Durch die Vorstellung der kosmischen Strahlung und der Erläuterung ihrer Omnipräsenz im menschlichen Alltag, kann den Schüler:innen ein Einblick in eine makroskopische Sichtweise ermöglicht werden. Diese wird durch die Einführung der Nebelkammer weiter unterstützt, da die kosmische Strahlung nun eine direkte visuelle Stütze bekommt. Gleichzeitig werden die Schüler:innen mit der Funktionsweise und dem Aufbau der Nebelkammer vertraut.

14.2.4 Die Lerngruppe I

Dieser Abschnitt ist identisch zu dem aus der Arbeit von Herrn Saathoff und wurde ebenso verwendet.

Siehe: [Saa23, S.61f Abschnitt 8.2.4]

14.2.5 Begründung und Analyse der Aufgaben I

Siehe: [Saa23, S.61f Abschnitt 8.2.5]

[Abgeändert]

Aufgabe 4: Wie viele Spuren?

Die Schüler:innen konnten nun die Zusatzaufgabe nach eigenem Ermessen durchführen, ohne das genaue Phänomen zu kennen. Die Lehrkraft kann anhand einer kurzen Erklärung das Phänomen vorstellen, ohne jedoch einen direkten Fokus darauf zu legen. Für die Rechnungen wird dabei kein genaues Schema vorgegeben und die Schüler:innen sollen eigenständig versuchen die Problematik zu lösen. Dennoch bleibt dieser Schritt optional.

14.2.6 Begründung der Methodischen Entscheidungen I

Siehe: [Saa23, S.64f Abschnitt 8.2.6]

[Abgeändert]

Transfer 1:

Das Plenum wird hier als Sozialform genutzt, um den Schüler:innen die Möglichkeit zu bieten ihre Vermutungen über die Gründe für das Aussehen der Spuren innerhalb der Nebelkammer äußern zu können. Dadurch können die Schüler:innen auf die verschiedenen Vermutungen eingehen und diese Ideen und Ansätze für ihre eigenen Vermutung übernehmen. Die Lehrkraft fördert die Kommunikation zwischen den Schüler:innen das Mitteilen von Vermutungen und

sammelt diese mit Hilfe des Smartboards. Im Anschluss erklärt sie die Gründe für das Aussehen der Spuren anhand der Expertentexte und des Smartboards.

14.2.7 Stundenverlauf Konzept I

Phase (Zeit)	Aktivität		Sozial- und Interaktionsform	Material/ Medien
	Lehrkraft	Schüler:innen		
Einstieg (10 min)	<p>Vorstellen des Unterrichtsthemas.</p> <p>Fragt S, was für Vorwissen sie haben im Bereich Strahlung und Kern- und Atomphysik.</p> <p>Stellt das Konzept von kosmischer Strahlung vor.</p> <p>Stellt die Nebelkammer vor und erklärt sie.</p>	<p>Berichten ihr Vorwissen.</p> <p>Antizipierte Antworten: Alpha-, Beta-, Gammastrahlung, evtl. Neutronenstrahlung.</p>	Plenum	Smartboard Beispielaufbau
Erarbeitung 1 (15 min)	<p>Verteilt AB 1.1, bittet S Aufgabe 1a) und 1b) zu bearbeiten.</p> <p>Hilft S bei Handhabung der Nebelkammern (Taschenlampenwinkel, Sichtwinkel usw.).</p> <p>Spritzt etwas Radonhaltige Luft in Nebelkammern mit dem Hinweis: Das Präparat darin enthält auch Thorium.</p> <p>Unterstützt bei Fragen.</p>	<p>Bearbeiten Aufgabe 1a) und 1b).</p> <p>Stellen Fragen bei Schwierigkeiten.</p>	Einzelarbeit (15min), Gruppenarbeit (5min)	AB 1.1 Tablet Nebelkammer
Erarbeitung 2 (10min)	<p>Bittet S, Aufgabe 2a) zu bearbeiten.</p> <p>Unterstützt bei Fragen.</p>	<p>Bearbeiten Aufgabe 2a).</p> <p>Stellen Fragen bei Schwierigkeiten.</p>	Einzelarbeit	AB 1.1
Sicherung 1 (5min)	<p>Fordert S auf, ihr Verständnis von Ionisierender Strahlung und Radioaktivität wiederzugeben.</p> <p>Fragt nach Vermutungen, was die Nebelkammer wohl genaue sichtbar macht.</p> <p>Stellt klar, dass die Nebelkammer ionisierende Strahlung sichtbar macht.</p>	<p>Bearbeiten Aufgabe 2a).</p> <p>Stellen Fragen bei Schwierigkeiten.</p> <p>Geben ihr Verständnis von Ionisierender Strahlung und Radioaktivität wieder.</p> <p>Stellen Vermutungen darüber an, was man in der Nebelkammer sehen kann.</p>	Plenum	Smartboard, Nebelkammern, AB 1.1

Lernziel 1: Die S kennen die Begriffe „ionisierende Strahlung“ und „Radioaktivität“ und können die ihnen zugrundeliegenden Konzepte in vereinfachter Form wiedergeben. Können den Begriff kosmische Strahlung mit ihrem vorhandenen Wissen verknüpfen.				
Erarbeitung 3 (10min)	Verteilt AB 1.2 und bittet S Aufgabe 2b) bearbeiten. Unterstützt bei Fragen	Bearbeiten Aufgabe 2b)	Einzelarbeit	AB 1.2, Nebelkammer
Sicherung 2 (5min)	Bittet S, Inhalte der Expertentexte „Alpha-Strahlung“ und „Beta-Strahlung“ wiederzugeben. Unterstützt bei Fragen. Korrigiert falsche Inhalte. (Lenkt späteren Verlauf, indem sie fragt, wie sich S Spuren der Strahlungsarten vorstellen würden.)	Tragen Inhalt der Texte in eigenen Worten vor. Äußeren Vermutungen über Spuren.	Plenum	Smartboard, AB 1.2
Erarbeitung 4 (5min)	Fordert S auf, Aufgabe 3a) zu bearbeiten. Fordert sie dazu auf AB 1.1 Aufgabe 1 zu Hilfe zu nehmen Unterstützt bei Fragen.	Bearbeiten Aufgabe 3a).	Gruppenarbeit	AB 1.2
Sicherung 3 (5min)	Fordert S auf, ihre Ergebnisse im Plenum mitzuteilen. Nutzt Smartboard, um zu veranschaulichen, welche Spur zu welcher Strahlung gehört bzw. führt Abstimmung durch.	Stellen Vermutungen an und stimmen ab. Antizipierte Schülerantworten: „Die dicken kurzen Spuren gehören zur Alpha-Strahlung, die langen gekräuselten zur Beta-Strahlung.“	Plenum	Smartboard
Transfer 1 (5 min)	Bittet S zu erklären, warum welche Art der Strahlung ihre eigene Spur hinterlässt. Ordnet die Antworten ein.	Stellen Vermutungen auf. Antizipierte Antworten: Heliumkerne wechselwirken stark mit anderen Teilchen, Elektronen wechselwirken nicht so stark.	Plenum	Smartboard
Lernziel 2: Die S ordnen die jeweiligen Spuren in der Nebelkammer den Strahlungsarten der Alpha- und Beta-Strahlung richtig zu und begründen ihre Zuordnung. Die S können vereinfacht die Ursache für Spuren in der Nebelkammer erklären.				
Transfer 2 (10min)	Bittet S, Aufgabe 4a), 4b) und 4c) zu bearbeiten.	Bearbeiten Aufgabe 4a), 4b) und 4c). Stellen Fragen bei Schwierigkeiten	Gruppenarbeit	AB 1.2
Sicherung 4 und Schluss (10min)	Fordert S auf, ihre Ergebnisse mitzuteilen. Bewertet Ergebnisse am Ende durch Einschätzung der Zahlenwerte.	Teilen ihre Ergebnisse im Plenum mit.	Plenum	AB 1.2

	Entlässt S aus der Stunde.			
Lernziel 3: Die S stellen mithilfe der Nebelkammern prototypische Raten für die Spuren im Innern der Kammer auf (und führen einfache Rechnungen mit diesen Raten durch).				

14.2.8 Arbeitsblätter I

Die verwendeten Arbeitsblätter sind identisch zu den von Herrn Malte Saathoff erstellten Arbeitsblättern.

Siehe: [Saa23, S.70 Abschnitt 8.2.8]

Aufgabe 1: Spuren in der Nebelkammer



- a) Beobachte die Spuren in der Nebelkammer. Kannst du verschiedene Arten erkennen? Fertige Skizzen für diese Arten an und beschreibe sie stichpunktartig (Einzelarbeit 15min).
- b) Vergleicht danach in euren Kleingruppen die Stichpunkte und Skizzen, die ihr zuvor angefertigt habt. Ergänzt gegebenenfalls eure Aufzeichnungen (Gruppenarbeit 5min).

Platz für Skizzen und Stichpunkte

Aufgabe 2: Expertentexte



- a) Lies dir die ersten beiden Expertentexte (Ionisierende Strahlung & Radioaktivität) aufmerksam durch und notiere dir die wichtigsten Informationen stichpunktartig. (Einzelarbeit 10min).
- b) Lies dir die beiden letzten Expertentexte (Alpha- und Beta-Strahlung) aufmerksam durch und notiere dir die wichtigsten Informationen stichpunktartig (Einzelarbeit 10min).

Ionisierende Strahlung:

Strahlung, die genug Energie hat, um Elektronen aus den Hüllen von Atomen zu lösen, nennt man **ionisierende Strahlung**. Das ursprünglich neutrale Atom hat nach dem Herauslösen des negativen Elektrons einen positiven Ladungsüberschuss. Es ist nun also positiv geladen und wird daher als **Ion** bezeichnet.

Es gibt verschiedene Arten der **ionisierenden Strahlung**. Jeder von ihnen kann ein **Strahlungsteilchen** zugeordnet werden.

Notizen:

Radioaktivität:

Jedes Atom besitzt einen Atomkern. Dieser Kern beinhaltet fast die gesamte Masse des Atoms. Er besteht aus neutralen Teilchen (Neutronen) und positiven Teilchen (Protonen). Bei manchen Atomen kann es passieren, dass dieser Atomkern sich spontan „umbaut“ und daraufhin ein **Strahlungsteilchen** mit hoher Bewegungsenergie aussendet. Er erzeugt dann also **ionisierende Strahlung**.

Diesen Umbau des Atomkerns mit anschließender Aussendung von **ionisierender Strahlung** bezeichnet man als **Radioaktivität**.

Notizen:

Alpha-Strahlung:

Bei dieser Strahlungsart sendet ein radioaktiver Atomkern ein **Strahlungsteilchen** aus, das aus zwei Protonen und zwei Neutronen besteht. Bei diesem **Strahlungsteilchen** handelt es sich also um einen Heliumkern.

Dieses **Strahlungsteilchen** (Heliumkern) ist relativ groß und hat eine vergleichsweise große Masse und hohe Bewegungsenergie. Es wechselwirkt jedoch sehr schnell mit anderen Teilchen und gibt seine Bewegungsenergie daher schnell wieder ab. Deswegen hat es eine relativ geringe Reichweite – in der Luft schafft es nur wenige cm.

Die Heliumkerne werden kaum an Atomen in der Luft gestreut. Sie haben daher immer eine sehr gerade Flugbahn.

Alpha-Strahlung ist eine **ionisierende Strahlung**.

Notizen:

Beta-Strahlung:

Bei dieser Strahlungsart sendet ein radioaktiver Atomkern ein Elektron als **Strahlungsteilchen** aus. Dieses Elektron ist verglichen mit dem **Strahlungsteilchen** der **Alpha-Strahlung** (also dem Heliumkern) eher klein und hat eine viel geringere Masse. Es wechselwirkt jedoch vergleichsweise wenig mit anderen Teilchen und gibt seine Bewegungsenergie nur langsam ab. Deswegen hat es eine relativ große Reichweite – in der Luft kann es bis zu einige Meter schaffen.

Elektronen mit wenig Bewegungsenergie werden häufig an Atomen in der Luft gestreut. Sie haben dann eine gekrümmte, gezackte oder gar verschnörkelte Flugbahn.

Beta-Strahlung ist eine **ionisierende Strahlung**.

Notizen:

Aufgabe 3: Wer gehört zu wem?


- a) Stellt gemeinsam in eurer Kleingruppe Vermutungen darüber an, welche Spuren in der Nebelkammer zur Alpha-Strahlung und welche zur Beta-Strahlung gehören könnten. Nutzt dafür eure Aufzeichnungen aus Aufgabe 1 oder schaut nochmal in der Nebelkammer nach (Gruppenarbeit 5min).

Aufgabe 4: Wie viele Spuren?

- a) Wie viele Spuren zählt ihr insgesamt innerhalb von 60 Sekunden?
- b) Wie viele Spuren, die zur Alpha-Strahlung gehören, zählt ihr in 60 Sekunden?
- c) Wie viele Spuren, die zur Beta-Strahlung gehören, zählt ihr in 60 Sekunden?

Nutzt ggf. eure Handys als Stoppuhr (Gruppenarbeit 10min).

Platz für Notizen und Rechnungen:

Zusatz: Nehmen wir an, der PC aus den 70er Jahren war etwa so groß wie die Nebelkammer und hatte genau so viel Thorium in sich. Wie viele Minuten würde es dann im Durchschnitt bis zu seinem Absturz dauern, wenn man annimmt, dass durchschnittlich jedes 10.000ste Alpha-Teilchen genau die Stelle trifft, die den PC zum Absturz bringt?



Strahlung und Nebelkammern

UNTERRICHT VON JOSUA POTRATZ

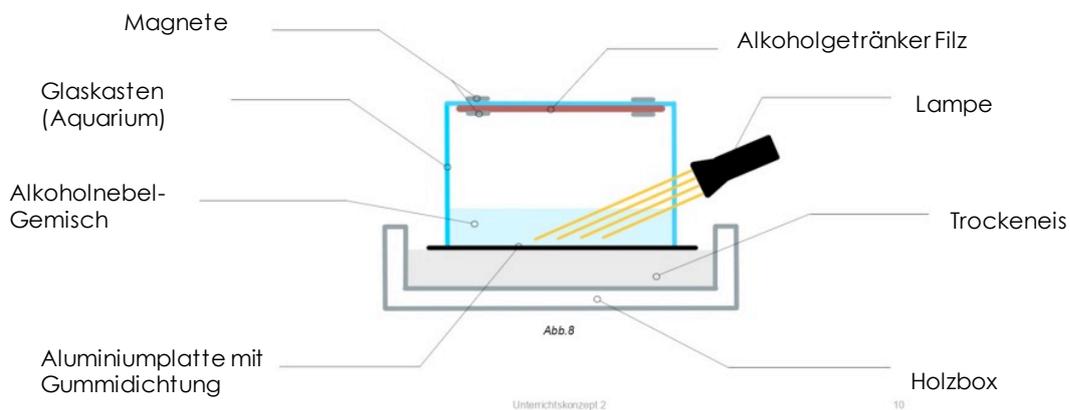


Welche Arten von Strahlung kennt ihr?

Kosmische Strahlung

- ▶ Strahlung von außerhalb der irdischen Atmosphäre
- ▶ Unterscheidung von SCR und GCR
- ▶ SCR – Solar Cosmic Rays, Strahlung von unserer Sonne
- ▶ Galactic Cosmic Rays, Strahlung von außerhalb unseres Sonnensystems
- ▶ Ist zu jederzeit vorhanden und umgibt uns
- ▶ Beträgt etwa 300-400 mikro Sievert im Jahr

Die Nebelkammer



Quelle: Bachelorarbeit_Saathoff

Nebelkammer Kurzanleitung

Legt die Metalplatte auf das Trockeneis

Benetzt den Filz mit etwas Alkohol

Legt die Abdichtung auf die Metalplatte und stellt den Glaskasten darauf

Legt die Wärmflasche auf den Kasten und macht die Lampen an

Beobachtet und dokumentiert, was ihr sehen könnt

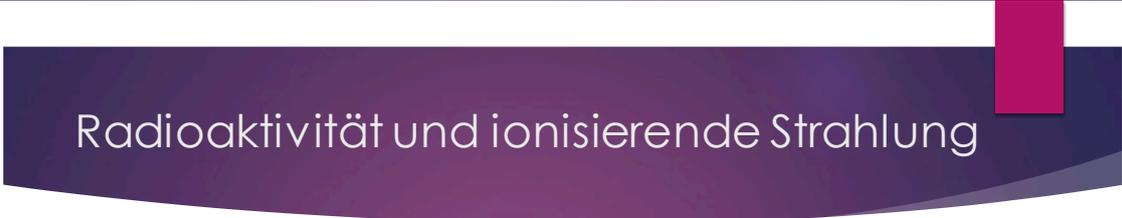
HINWEISE ZUM ARBEITEN MIT TROCKENEIS

- ▶ NICHT das Trockeneis mit bloßen Händen anfassen
- ▶ Bei Arbeiten mit Trockeneis: Schutzbrille aufsetzen
 - ▶ Ohne Schutzkleidung: Abstand halten

Gefrorenes Kohlenstoffdioxid kann bei einer Temperatur von $-78,5^{\circ}\text{C}$ starke Verbrennungen und Schädigungen hervorrufen.



Bearbeitung von Aufgabe 2 a)



Radioaktivität und ionisierende Strahlung

Radioaktivität

Ein Stoff wird als radioaktiv bezeichnet, wenn er durch den Zerfall oder den "Umbau" von Atomkernen Strahlung mit viel Energie aussendet.

Ionisierende Strahlung

Dies ist Strahlung, welche durch ihre Energie andere Atomkerne und Moleküle ionisieren kann. Also ein Elektron der Hülle eines Atoms lösen, um so einen (positiven) Ladungsüberschuss zu ergeben.



Bearbeitung von Aufgabe 2 b)



Alpha- und Beta-Strahlung

Alpha-Strahlung

- ▶ Ein Atomkern sendet einen Heliumkern aus. Dieser wechselwirkt stark mit anderen Teilchen und hat daher in der Luft eine kurze Reichweite.

Beta-Strahlung

- ▶ Ein Atomkern strahlt bei der Spaltung ein Elektron aus. Dieses wechselwirkt nicht so stark wie ein Heliumkern und kann daher einige Meter in der Luft bestehen.



Bearbeitung von Aufgabe 3)



Strahlung zuordnen



Beta-Strahlung



Alpha-Strahlung

Strahlung zuordnen

Bearbeitung
von Aufgabe
4



In zwei Wochen
gibt es einen
kleinen Test und
eine Umfrage

Danke für eure Teilnahme
und einen schönen Tag

14.3 Langentwurf Unterrichtskonzept II – Ohne intensive Unterrichtseinheit

14.3.1 Kompetenzangaben – Lernziele II

Siehe: [Saa23, S.77f Abschnitt 8.3.1]

[Abgeändert]

Die daraus abgeleiteten Lernziele in Form von Teilkompetenzen überschneiden sich in großen Teilen, mit denen der Lernziele I. Das LZ3 des Konzept I wird allerdings mit dem LZ2 ersetzt und die Reihenfolge des Ablaufs wird verändert, indem diese getauscht werden.

„Die Schüler:innen...

... kennen die Begriffe „ionisierende Strahlung“ und „Radioaktivität“ und können die ihnen zugrundeliegenden Konzepte in vereinfachter Form wiedergeben. Sie können den Begriff kosmische Strahlung mit ihrem vorhandenen Wissen verknüpfen.“ (LZ1)

... nennen die einzelnen Bauteile der behandelten Nebelkammer und geben deren Funktion in eigenen Worten wieder. (LZ2)

... ordnen die jeweiligen Spuren in der Nebelkammer den Strahlungsarten der Alpha- und Beta-Strahlung richtig zu und begründen ihre Zuordnung. (LZ3)

14.3.2 Der Lerngegenstand II

Siehe: [Saa23, S.78 Abschnitt 8.3.2]

[Abgeändert]

Der Lerngegenstand des Konzepts II überschneidet sich sehr stark mit dem des Konzepts I und ist häufig identisch (vgl. Abschnitt 14.2.2). Dennoch gibt es Unterschiede in der Präsentation und den Arbeitsphasen. Besonders die zeitintensive Beobachtungsphase in der Erarbeitung 1 des Konzept I ist in dieser Form nicht mehr vorhanden (vgl. Abschnitt 14.2.7). Dennoch findet eine kurze Präsentation der Nebelkammer zum Ende der Stunde statt.

14.3.3 Begründung des Lehrgegenstandes II

Die Begründung des Lehrgegenstandes ist identisch wie im ersten Konzept (vgl. Abschnitt 14.2.3).

Siehe: [Saa23, S.78 Abschnitt 8.3.3]

14.3.4 Die Lerngruppe II

Die Angaben zur Lerngruppe sind identisch mit den Abgaben des ersten Konzepts (vgl. Abschnitt 14.2.4).

Siehe: [Saa23, S.78 Abschnitt 8.3.4]

14.3.5 Begründung und Analyse der Aufgabenstellungen II

Siehe: [Saa23, S.78f Abschnitt 8.3.5]

14.3.6 Begründung der Methodischen Entscheidungen II

Siehe: [Saa23, S.80 Abschnitt 8.3.6]

[Abgeändert]

Einstieg: Der Einstieg ist nahezu identisch mit dem des Konzepts I (vgl. Abschnitt 14.2.6). Allerdings werden nicht direkt der Aufbau und die Funktionsweise erklärt, sondern direkt in die Erarbeitung 1 übergeleitet, da die Schüler:innen zunächst die thematisch an die Nebelkammern gebundenen Aufgaben durchführen sollen.

Erarbeitung 5: Die Lehrkraft leitet die Schüler:innen dazu an die Vorgänge in den Nebelkammern zu beobachten. Die Schüler:innen stellen Fragen bezüglich der Nebelkammern und den Spuren darin. Diese Phase ist jedoch nicht so intensiv, wie die Erarbeitung 1 des Konzepts I (vgl. Abschnitt 14.2.6).

Sicherung 5: Die Sicherung 5 fällt in dieser Planung zu Gunsten der Präsentation der Nebelkammern weg.

Transfer: Der Transfer ist nahezu identisch zu dem des Konzepts I (vgl. Abschnitt 14.2.6).

14.3.7 Stundenverlauf Konzept II

Phase (Zeit)	Aktivität		Sozial- und Interaktions- form	Material/ Medien
	Lehrkraft	Schüler:innen		
Einstieg (10 min)	Vorstellen des Unterrichtsthemas. Fragt S, was für Vorwissen sie haben im Bereich Strahlung und Kern- und Atomphysik. Stellt das Konzept von	Berichten ihr Vorwissen. Antizipierte Antworten: Alpha-, Beta-, Gamma- strahlung, evtl. Neutronen- strahlung.	Plenum	Smartboard Beispielauf- bau

	kosmischer Strahlung vor. Stellt die Nebelkammer vor und erklärt sie.			
Erarbeitung 1 (10 min)	Verteilt AB 2.1, bittet S, Aufgabe 1a) zu bearbeiten. Unterstützt bei Fragen.	Bearbeiten Aufgabe 1a). Machen sich Notizen zu den Expertentexten. Stellen Fragen bei Schwierigkeiten.	Einzelarbeit	AB 2.1 Tablet
Sicherung 1 (5 min)	Fordert S auf, Inhalt der Expertentexte wiederzugeben. Korrigiert und unterstützt bei Unklarheiten.	Geben den Inhalt der Expertentexte in eigenen Worten wieder.	Plenum	Smartboard, AB 2.1
Lernziel 1: Die S kennen die Begriffe „ionisierende Strahlung“ und „Radioaktivität“ und können die ihnen zugrundeliegenden Konzepte in vereinfachter Form wiedergeben. Können den Begriff kosmische Strahlung mit ihrem vorhandenen Wissen verknüpfen.				
Erarbeitung 2 (15 min)	Überleitung: Ionisierende Strahlung kann mit Nebelkammer sichtbar gemacht werden. Verteilt AB 2.2. und fordert S auf, Aufgabe 2a) und 2b) zu bearbeiten. Unterstützt bei Nachfragen	Bearbeiten Aufgabe 2a) und 2b). Stellen ggf. Nachfragen.	Einzelarbeit 2a) (10min) Gruppenarbeit 2b) (5min)	AB 2.2,
Sicherung 2 (10 min)	Fordert S dazu auf, das Lösungswort mitzuteilen. Unterstützt bei Unklarheiten.	Teilen das Lösungswort mit.	Plenum	Smartboard, AB 2.2
Erarbeitung 3 (5 min)	Bittet S, Aufgabe 2c) zu bearbeiten. Unterstützt bei Fragen.	Bearbeiten Aufgabe 2c). Stellen Fragen.	Gruppenarbeit	AB 2.2
Sicherung 3 (5 min)	Fordert S auf, ihre Ergebnisse im Plenum mitzuteilen. Nutzt Smartboard, um Aufbau und Funktionsweise der Nebelkammer interaktiv darzustellen.	Erklären mit eigenen Worten in vereinfachter Form, wie die Nebelkammer funktioniert.	Plenum	Smartboard, AB 2.2
Lernziel 2: Die S nennen die einzelnen Bauteile der behandelten Nebelkammer und geben deren Funktion in eigenen Worten wieder.				
Erarbeitung 4 (10 min)	Verteilt AB 2.3. Fordert S auf, Aufgabe 3a) zu bearbeiten. Unterstützt bei Fragen.	S bearbeiten Aufgabe 3a). Machen sich Notizen.	Einzelarbeit	AB 2.3
Sicherung 4 (5 min)	Fordert S auf, die Inhalte der Expertentexte wiederzugeben. Unterstützt bei Unklarheiten. (Kann Lenkung vornehmen, indem sie fragt, wie sich die S Spuren der Strahlungsart vorstellen würden.)	Teilen ihre Ergebnisse im Plenum mit. Korrigieren sich ggf. gegenseitig. (Äußern Vermutungen über mögliche Form von Spuren.)	Plenum	Smartboard, AB 2.3

Erarbeitung 5 (10 min)	<p>Stellt mehrere Nebelkammern auf und fordert die S auf sich diese anzuschauen.</p> <p>Unterstützt bei Frage.</p> <p>Gibt Hinweise zur Sichtbarkeit.</p> <p>Kann zur weiteren Unterstützung weitere visuelle Materialien z.B. Videos von Nebelkammern zeigen.</p>	<p>Beobachten die Vorgänge in den Nebelkammern.</p> <p>Stellen Fragen.</p>	Plenum, Gruppenarbeit	Nebelkammern, Smartboard, Videos
Transfer und Schluss (5 min)	<p>Bittet S zu erklären, warum welche Art der Strahlung ihre eigene Spur hinterlässt.</p> <p>Fragt nach den Sichtungen innerhalb der Nebelkammern.</p> <p>Einordnung der Lehrkraft.</p> <p>Entlässt die S vom Unterricht.</p>	<p>Stellen Vermutungen auf.</p> <p>Antizipierte Antwort: Heliumkerne wechselwirken stark mit anderen Teilchen, Elektronen wechselwirken nicht so stark</p> <p>Teilen das Beobachtete mit.</p>	Plenum	Smartboard
Lernziel 3: Die S ordnen die jeweiligen Spuren in der Nebelkammer den Strahlungsarten der Alpha- und Beta-Strahlung richtig zu und begründen ihre Zuordnung.				

14.3.8 Arbeitsblätter II

Die verwendeten Arbeitsblätter sind identisch zu den Arbeitsblättern erstellt von Herrn Malte Saathoff.

Siehe : [Saa23, S.70 Abschnitt 8.3.8]

Aufgabe 1: Expertentexte 1

- a) Lies dir die beiden Expertentexte zur ionisierenden Strahlung & Radioaktivität aufmerksam durch und notiere dir die wichtigsten Informationen stichpunktartig. (Einzelarbeit 10min).

Ionisierende Strahlung:

Strahlung, die genug Energie hat, um Elektronen aus den Hüllen von Atomen zu lösen, nennt man **ionisierende Strahlung**. Das ursprünglich neutrale Atom hat nach dem Herauslösen des negativen Elektrons einen positiven Ladungsüberschuss. Es ist nun also positiv geladen und wird daher als **Ion** bezeichnet.

Es gibt verschiedene Arten der **ionisierenden Strahlung**. Jeder von ihnen kann ein **Strahlungsteilchen** zugeordnet werden.

Notizen:

Radioaktivität:

Jedes Atom besitzt einen Atomkern. Dieser Kern beinhaltet fast die gesamte Masse des Atoms. Er besteht aus neutralen Teilchen (Neutronen) und positiven Teilchen (Protonen). Bei manchen Atomen kann es passieren, dass dieser Atomkern sich spontan „umbaut“ und daraufhin ein **Strahlungsteilchen** mit hoher Bewegungsenergie aussendet. Er erzeugt dann also **ionisierende Strahlung**.

Diesen Umbau des Atomkerns mit anschließender Aussendung von **ionisierender Strahlung** bezeichnet man als **Radioaktivität**.

Notizen:

Aufgabe 2: Die Nebelkammer



a) Lies dir die Infoboxen aufmerksam durch. Zu jeder Infobox gehört ein Begriff aus der Mitte. Verbinde die Infoboxen durch eine Linie mit den passenden Begriffen (Einzelarbeit 10min).

<p>Infobox 1: Es besteht aus festem CO_2 und hat eine Temperatur von $-78,5^\circ\text{C}$. Es hat direkten Kontakt zur schwarzen Aluplatte und kühlt diese.</p>	<p>Infobox 2: Sie beinhaltet das Trockenis. Sie ist aus wärmedämmenden Styropor gefertigt, damit das Eis möglichst lange hält.</p>	<p>Infobox 3: Ionisierende Strahlung hinterlässt in ihm Spuren aus feinen Alkoholtröpfchen. Das übersättigte Gemisch entsteht, indem man das Luft-Alkoholdampf-Gemisch an der Unterseite des Aquariums herunterkühlt.</p>	<p>Infobox 4: Es ist von innen an der Oberseite des Aquariums befestigt. Es ist mit Alkohol getränkt. Dieser Alkohol dampft aus und reichert sich so in dem Aquarium an.</p>
--	---	--	---

Trockeneis (B)	Magnete (U)	Übersättigtes Luft-Alkoholdampf-Gemisch (R)	Aquarium (G)	Taschenlampe (H)	Schwarze Aluplatte (N)	Filz (A)	Styroporkiste (T)
----------------	-------------	---	--------------	------------------	------------------------	----------	-------------------

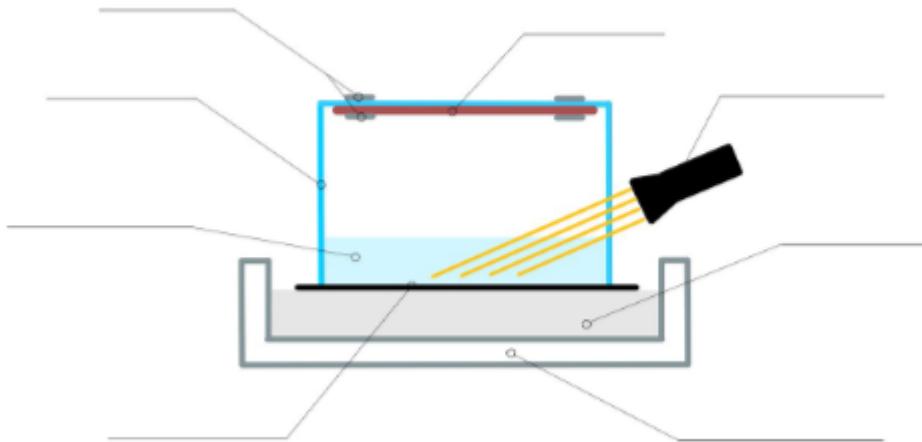
<p>Infobox 5: Sie strahlt weißes Licht in das Aquarium hinein. Die feinen Tröpfchenspuren streuen das Licht und sind so besser für den Beobachter zu erkennen.</p>	<p>Infobox 6: Sie fixieren das Filz an der Oberseite des Aquariums.</p>	<p>Infobox 7: Sie kühlt das Luft-Alkoholdampf-Gemisch im Innern des Aquariums. Sie ist schwarz, damit man die feinen Tröpfchenspuren besser erkennen kann.</p>	<p>Infobox 8: Es steht verkehrt herum auf der schwarzen Aluplatte. In seinem Innern befindet sich das Luft-Alkoholdampf-Gemisch.</p>
---	--	---	---

b) Jede Infobox hat eine Nummer und jedem Begriff ist ein Buchstabe zugeordnet. Trage die Buchstaben in der Reihenfolge der Infoboxnummern in das Raster ein. Was für ein Wort erhältst du? Vergleiche in deiner Kleingruppe (Gruppenarbeit 5min).

1	2	3	4	5	L	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---	---



c) Beschriftet die Nebelkammer mit den passenden Begriffen (Gruppenarbeit 5min).



Aufgabe 3: Expertentexte 2


- a) Lies dir die beiden letzten Expertentexte (Alpha- und Beta-Strahlung) aufmerksam durch und notiere dir die wichtigsten Informationen stichpunktartig (Einzelarbeit 10min).

Alpha-Strahlung:

Bei dieser Strahlungsart sendet ein radioaktiver Atomkern ein **Strahlungsteilchen** aus, das aus zwei Protonen und zwei Neutronen besteht. Bei diesem **Strahlungsteilchen** handelt es sich also um einen Heliumkern.

Dieses **Strahlungsteilchen** (Heliumkern) ist relativ groß und hat eine vergleichsweise große Masse und hohe Bewegungsenergie. Es wechselwirkt jedoch sehr schnell mit anderen Teilchen und gibt seine Bewegungsenergie daher schnell wieder ab. Deswegen hat es eine relativ geringe Reichweite – in der Luft schafft es nur wenige cm.

Die Heliumkerne werden kaum an Atomen in der Luft gestreut. Sie haben daher immer eine sehr gerade Flugbahn.

Alpha-Strahlung ist eine **ionisierende Strahlung**.

Notizen:

Beta-Strahlung:

Bei dieser Strahlungsart sendet ein radioaktiver Atomkern ein Elektron als **Strahlungsteilchen** aus. Dieses Elektron ist verglichen mit dem **Strahlungsteilchen** der **Alpha-Strahlung** (also dem Heliumkern) eher klein und hat eine viel geringere Masse. Es wechselwirkt jedoch vergleichsweise wenig mit anderen Teilchen und gibt seine Bewegungsenergie nur langsam ab. Deswegen hat es eine relativ große Reichweite – in der Luft kann es bis zu einige Meter schaffen.

Elektronen mit wenig Bewegungsenergie werden häufig an Atomen in der Luft gestreut. Sie haben dann eine gekrümmte, gezackte oder gar verschnörkelte Flugbahn.

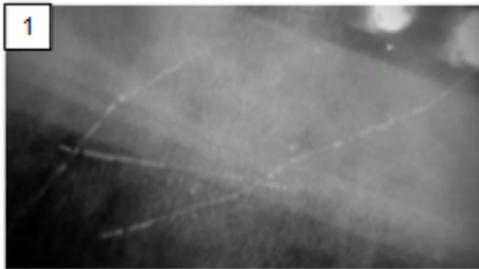
Beta-Strahlung ist eine **ionisierende Strahlung**.

Notizen:

Aufgabe 4: Spuren in der Nebelkammer - Wer gehört zu wem?



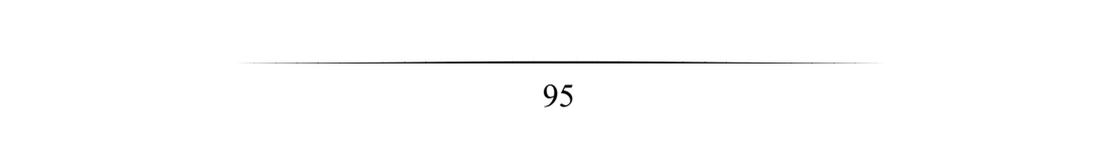
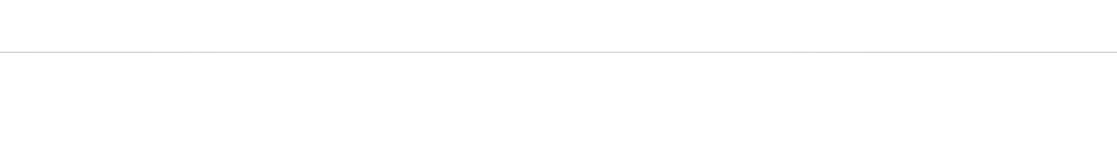
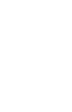
a) Die Bilder stammen aus einer Nebelkammer. Sie zeigen Tröpfchenspuren, die durch Alpha- oder Beta-Strahlung erzeugt wurden. Welche Strahlungsart passt zu welchem Bild? Ordnet begründet zu und beachtet, dass pro Bild nur eine der beiden Strahlungsarten zugeordnet werden kann (Gruppenarbeit 10min).



Notizen: _____

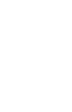






Strahlung und
Nebelkammern

UNTERRICHT VON JOSUA POTRATZ



Welche Arten von Strahlung kennt ihr?

Kosmische Strahlung

- ▶ Strahlung von außerhalb der irdischen Atmosphäre
- ▶ Unterscheidung von SCR und GCR
- ▶ SCR – Solar Cosmic Rays, Strahlung von unserer Sonne
- ▶ Galactic Cosmic Rays, Strahlung von außerhalb unseres Sonnensystems
- ▶ Ist zu jederzeit vorhanden und umgibt uns
- ▶ Beträgt etwa 300-400 mikro Sievert im Jahr

Bearbeitung
von Aufgabe
1)

Radioaktivität und ionisierende Strahlung

Radioaktivität

Ein Stoff wird als radioaktiv bezeichnet, wenn er durch den Zerfall oder den "Umbau" von Atomkernen Strahlung mit viel Energie aussendet.

Ionisierende Strahlung

Dies ist Strahlung, welche durch ihre Energie andere Atomkerne und Moleküle ionisieren kann. Also ein Elektron der Hülle eines Atoms lösen, um so einen (positiven) Ladungsüberschuss zu ergeben.



Bearbeitung von Aufgabe 2 a) & b)

Die Nebelkammer

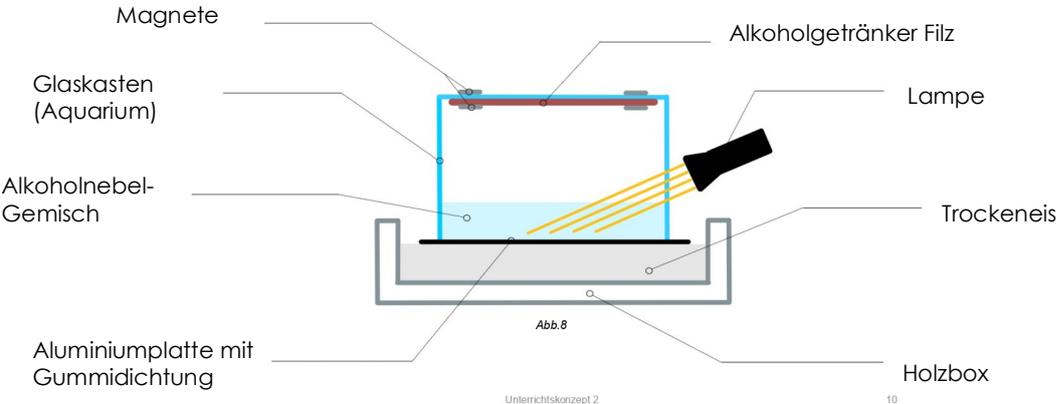
- ▶ In der verschlossenen Nebelkammer ist ein Luft-Alkoholdampf-Gemisch
- ▶ Das Gemisch wird durch das Trockeneis gekühlt und übersättigt die Luft
- ▶ Es bildet sich ein Nebel, welcher gut kondensiert
- ▶ Ionen sind sogenannte "Kondensationskeime"
- ▶ Ionisierende Strahlung hinterlässt eine Spur Ionen
- ▶ Es bildet sich eine Tröpfchenspur



Quelle: Bachelorarbeit_Saathoff

Bearbeitung
von Aufgabe
2 c)

Die Nebelkammer



Quelle: Bachelorarbeit_Saathoff



Bearbeitung von Aufgabe 3)

Alpha- und Beta-Strahlung



Alpha-Strahlung

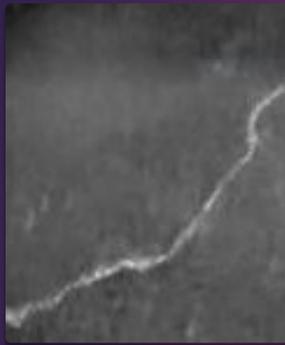
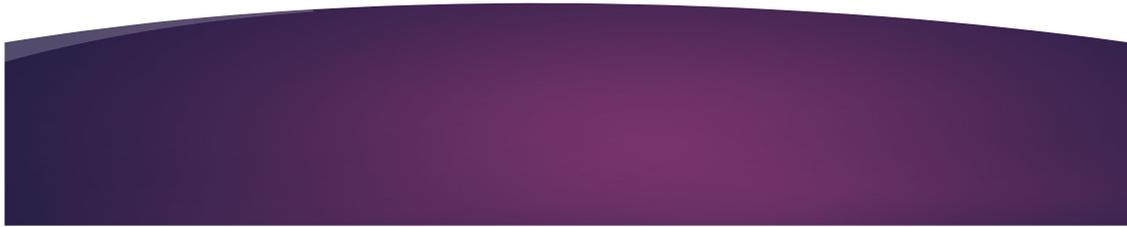
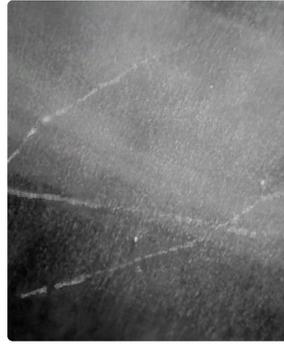
- ▶ Ein Atomkern sendet einen Heliumkern aus. Dieser wechselwirkt stark mit anderen Teilchen und hat daher in der Luft eine kurze Reichweite.

Beta-Strahlung

- ▶ Ein Atomkern strahlt bei der Spaltung ein Elektron aus. Dieses wechselwirkt nicht so stark wie ein Heliumkern und kann daher einige Meter in der Luft bestehen.



Bearbeitung
von Aufgabe
4)



Strahlung zuordnen

Beta-Strahlung



Alpha-Strahlung

Strahlung zuordnen

In zwei Wochen
gibt es einen
kleinen Test und
eine Umfrage



Danke für eure Teilnahme
und einen schönen Tag

15 Datenblätter und Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden alle Abfrageblätter, Datenblätter und die erhobenen Ergebnisse dargestellt.

15.1 Testate zur Datenerhebung

15.1.1 Testat der Wissensabfrage

Abfrage zur Unterrichtsstunde mit Nebelkammern 1 (2)

Bitte beantwortet die Fragen.
Bei einer Frage sind mehrere Möglichkeiten richtig.
Diese wird mit zwei Sternen gekennzeichnet. **

1. Was wird durch eine Nebelkammer sichtbar? *

- Durch eine Nebelkammer werden Radioaktivität und Radionuklide sichtbar
- Durch eine Nebelkammer wird nur Gammastrahlung sichtbar
- Durch eine Nebelkammer werden die Spuren radioaktiver Isotope sichtbar

2. Warum kann in einer Nebelkammer etwas sichtbar werden? *

- Ionisierende Strahlung lässt Teilchen im Alkoholnebel aufblitzen
- Ionen kondensieren mit Alkohol, wodurch eine Tröpfchenspur entsteht
- Durch das Trockeneis wird ionisierende Strahlung verlangsamt und dadurch sichtbar

3. Welches Teilchen ist für die Entstehung von Alpha-Strahlung verantwortlich? *

- Ein Elektron
- Ein Neutron
- Ein Heliumkern

4. Was unterscheidet ionisierende Strahlung und Radioaktivität? *

- Ionisierende Strahlung beschreibt den Effekt des Ionisierens durch Energiezufuhr, Radioaktivität beschreibt den Prozess des Zerfalls von Atomkernen
- Bei ionisierender Strahlung verändert sich die Masse der Teilchen aufgrund der Bewegung, bei Radioaktivität bleibt sie hingegen gleich
- Ionisierende Strahlung beschreibt ein Material, welches Radioaktivität abgibt, also Gamma-Strahlung

5. Was wird bei der Beta-Strahlung herausgelöst? *

- Ein Elektron
- Zwei Heliumkerne
- Ein Proton

6. Wie sehen Alpha- und Beta-Strahlung in einer Nebelkammer aus? ** *

- Beta-Strahlung zieht kreisförmige Spuren
- Alpha-Strahlung hinterlässt gerade Spuren
- Beta-Strahlung hinterlässt geschnörkelte Spuren

7. Welche Materialien sind für eine Nebelkammer essentiell *

- Metalplatte, Glasaquarium, Eis, Wärmflasche
- Alkohol, Trockeneis, Wärmflasche, mit Wasser benetzte Metalplatte
- Alkoholgetränkter Filz, Dichtung, Trockeneis, Glasaquarium

8. Wofür stehen GCR? *

- Great Cosmic Radiation
- Galactic Cosmic Ray
- Galactic Cooling Rate

9. Wofür steht SCR? *

- Solar Cosmic Ray
- Special Cosmic Ray
- Solar Cosmic Radiationrate

10. Wie kann die Aktivität in den Nebelkammern und damit auch die sichtbaren Spuren erhöht werden? *

- Durch das Erhitzen der Nebelkammer, damit das Trockeneis schneller schmilzt
- Durch das Schütteln der Nebelkammer
- Durch das Einspritzen eines Präparates (z.B. Thorium)

15.1.2 Testat der Motivationsabfrage

Abfrage zur Unterrichtsstunde mit Nebelkammern 2

Lest euch bitte die Aussagen durch und gebt dann eure Antwort.

Die Zahlen stehen für...

1: Stimme gar nicht zu

2: Stimme eher nicht zu

3: Neutral

4: Stimme eher zu

5: Stimme voll zu

1. Solche Unterrichtsaufgaben und Fragstellungen liegen mir

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

2. Mir gefällt das wissenschaftliche Arbeiten mit solchen Projekten

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

3. Diese Aufgaben sind eine Herausforderung für mich

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

4. Das Lesen der Sachtexte und Zuhören der Lehrkraft, haben mein Interesse geweckt

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

5. Ich habe die Aufgaben bestmöglich bearbeitet und mein Bestes gegeben

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

6. Bei diesen Aufgaben muss ich nicht erst motiviert werden, um mich am Unterricht zu beteiligen

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

7. Für mich war erkennbar, wofür der Stoff nützlich ist

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

8. Diese Schulstunde hat mich motiviert, mehr über Physik zu lernen

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

9. Ich glaube, diese Aufgaben kann jeder schaffen

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

10. In der Unterrichtsstunde hatte ich keine Lust mich am Unterricht zu beteiligen und mich mit den Inhalten auseinander zu setzen

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

11. Die konkreten Leistungsanforderungen überfordern mich

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

12. Das Unterrichtsformat hat meine Motivation für das Thema gehoben

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

13. Die Unterrichtsstunde hat mir Spaß gemacht

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

15.2 Ergebnisse der Datenerhebungen

15.2.1 Ergebnisse der Datenblätter zur Wissensabfrage

Fragennummer	Konzept I		Konzept II	
	Korrekte Antworten	Inkorrekte Antworten	Korrekte Antworten	Inkorrekte Antworten
1	52 [75,36%]	17	53 [71,62%]	21
2	38 [55,07%]	31	40 [54,05%]	34

3	49 [71,01%]	20	54 [72,97%]	20
4	45 [65,22%]	24	49 [66,22%]	25
5	42 [60,87%]	27	53 [71,62%]	21
6	42 [60,87%]	27	60 [81,08%]	14
7	63 [91,3%]	6	70 [94,59%]	4
8	45 [65,22%]	24	58 [78,38%]	16
9	38 [55,07%]	31	60 [81,08%]	14
10	57 [82,61%]	12	57 [77,03%]	17

Statistische Auszählung der Daten für den Mann-Whitney-U-Test

Probanden- nummer	Konzept I Erreichte Punktzahl von 10	Probanden- nummer	Konzept II Erreichte Punktzahl von 10
1	10	70	10
2	6	71	9
3	10	72	9
4	7	73	9
5	8	74	10
6	9	75	10
7	4	76	10
8	10	77	10
9	5	78	7
10	9	79	9
11	9	80	7
12	10	81	8
13	5	82	9
14	10	83	10
15	6	84	7
16	10	85	7
17	10	86	9
18	6	87	9
19	7	88	8
20	3	89	10
21	6	90	6
22	8	91	9
23	10	92	8
24	9	93	9
25	5	94	10
26	8	95	10
27	7	96	8
28	6	97	6
29	7	98	5

30	5	99	5
31	4	100	7
32	4	101	7
33	3	102	8
34	7	103	8
35	6	104	7
36	7	105	5
37	8	106	3
38	7	107	7
39	5	108	6
40	7	109	9
41	7	110	5
42	5	111	3
43	10	112	3
44	7	113	6
45	7	114	6
46	8	115	8
47	8	116	6
48	9	117	4
49	9	118	7
50	9	119	2
51	0	120	7
52	7	121	5
53	7	122	9
54	5	123	8
55	6	124	9
56	6	125	10
57	8	126	9
58	5	127	9
59	6	128	9
60	6	129	8
61	7	130	10
62	2	131	10
63	6	132	5
64	6	133	9
65	8	134	6
66	8	135	3
67	9	136	10
68	5	137	10
69	6	138	7
		139	7

		140	7
		141	7
		142	8
		143	6

15.2.3 Ergebnisse der Datenblätter zur Motivationsabfrage

Konzept I

Probandennummer	Fragennummer												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	4	5	3	5	5	2	4	3	5	1	4	5	3
2	3	5	1	4	4	4	4	3	4	1	1	4	4
3	4	5	1	4	5	4	4	5	5	1	1	4	5
4	4	5	2	4	5	5	5	4	4	1	2	5	5
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	4	5	4	3	4	4	3	3	3	4	3	3	4
7	4	5	2	4	5	4	3	4	4	1	1	4	5
8	2	4	4	5	5	4	5	4	3	1	4	5	5
9	5	5	1	5	5	1	1	3	2	1	2	3	4
10	4	5	1	5	5	5	4	4	3	1	1	3	5
11	4	3	3	3	3	3	2	3	3	3	2	4	3
12	4	5	1	5	5	4	3	2	4	1	1	3	4
13	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
14	3	5	3	4	5	4	2	4	3	1	2	3	5
15	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
16	4	5	3	4	4	5	4	5	4	1	2	4	5
17	5	5	2	5	5	5	3	5	5	1	1	5	5
18	5	3	1	3	5	5	2	1	4	3	1	1	4
19	4	5	2	4	4	5	3	5	3	1	1	3	4
20	4	4	2	3	5	4	4	4	4	2	1	4	4
21	4	4	2	3	5	4	4	4	4	2	1	4	4
22	3	4	3	4	4	4	3	3	4	1	2	4	4
23	3	3	3	3	2	3	4	3	4	3	4	3	3
24	3	5	3	4	5	5	5	3	3	1	2	4	5
25	5	5	1	4	4	5	5	4	4	5	1	5	5
26	4	5	2	2	5	5	4	3	4	1	1	4	5
27	4	5	2	3	4	4	5	4	1	1	1	5	5
28	3	5	2	2	5	4	3	5	4	1	3	4	5
29	3	2	3	1	5	3	4	2	4	3	2	2	3
30	3	4	1	1	5	4	2	5	5	1	1	4	4
31	4	5	2	4	5	5	5	5	3	1	1	4	5
32	3	5	3	3	4	4	3	3	4	1	2	3	5

33	3	4	3	4	4	4	3	4	3	2	2	3	3
34	4	5	2	3	5	3	5	3	5	1	1	4	5
35	4	4	4	4	5	5	4	3	5	3	5	4	4
36	2	1	4	3	1	5	2	1	1	5	5	2	1
37	5	4	1	4	5	5	4	3	3	1	1	4	5
38	4	5	1	3	5	5	3	4	5	1	1	4	5
39			3	4	5	3	4	3	5	1	2	3	5
40	5	5	2	2	4	1	4	4	3	1	1	3	5
41	3	5	1	2	5	5	5	1	5	2	1	4	4
42	4	5	2	4	5	5	5	5	5	1	2	4	5
43	4	5	3	4	5	4	5	4	5	2	1	4	5
44	3	5	2	4	5	5	2	3	4	1	1	4	5
45	3	4	2	2	3	3	4	1	4	3	2	2	3
46	4	5	1	4	5	5	4	4	5	1	1	3	5
47	3	4	2	2	4	4	2	3	4	1	2	3	4
48	4	3	1	4	5	2	4	3	5	2	2	3	4
49	4	5	2	3	4	4	5	4	4	1	1	4	5
50	3	4	3	4	4	2	3	3	4	2	2	4	5
51	4	4	3	4	4	3	4	3	4	3	4	3	3
52	3	3	1	2	5	2	5	1	5	1	1	1	3
53	3	4	1	3	4	3	4	4	5	1	1	4	3
54	2	4	1	2	2	2	3	1	4	5	3	1	1
55	3	4	2	2	3	4	2	3	5	5	1	1	4
56	5	4	1	4	5	3	5	4	5	1	1	4	3
57	4	3	2	4	4	2	4	4	2	2	1	4	4
58	4	5	2	3	4	3	4	2	5	1	1	3	4
59	3	1	3	3	2	3	2	3	2	4	3	3	2
60	4	4	3	2	4	3	4	2	4	3	1	3	4
61	4	4	1	3	5	4	4	4	4	2	1	4	5
62	4	3	4	3	3	4	4	4	3	2	3	4	3
63	3	5	2	2	5	5	3	2	4	2	2	3	4
64	3	4	2	3	5	4	2	3	4	2	2	3	5
65	2	4	2	1	5	2	1	1	2	4	1	3	3
66	4	4	3	4	3	4	2	3	5	2	1	5	4
67	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
73	4	5	2	3	3	3	3	3	2	2	2	3	4
74	3	5	4	5	3	5	4	5	2	1	2	4	5
75	5	5	2	4	4	5	4	4	3	1	2	5	5

Nicht verwendete Datenblätter

68													3
69													1
70													1

71														2
72														1

Konzept II

Probandennummer	Fragennummer												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
76	5	4	1	4	3	2	4	5	3	2	1	4	4
77	4	5	2	4	5	1	5	5	4	1	1	5	5
78	5	4	1	3	4	2	5	4	4	1	1	3	5
79	4	4	3	5	5	5	4	3	5	1	2	3	4
80	4	4	2	3	4	3	3	3	4	1	1	4	4
81	4	5	2	4	4	3	4	3	3	1	1	4	5
82	4	5	2	4	2	5	1	5	5	1	1	4	3
83	4	5	2	4	5	3	5	3	5	1	1	3	4
84	4	5	1	4	5	4	5	3	5	1	1	4	4
85	5	4	1	5	5	1	5	5	4	1	1	5	5
86	4	4	1	4	5	4	4	4	5	1	1	4	5
87	4	5	1	4	2	1	4	4	5	1	1	4	4
88	3	4	2	3	4	4	4	4	5	3	1	4	4
89	4	4	1	3	4	1	4	4	5	1	1	3	3
90	4	3	4	3	4	3	2	2	3	2	3	2	4
91	3	2	3	3	4	3	4	4	1	3	1	3	4
92	3	4	2	3	4	2	2	3	3	2	1	2	3
93	3	4	1	2	4	3	3	1	2	2	1	1	4
94	3	4	4	3	5	4	2	3	2	3	4	3	4
95	4	5	3	3	5	2	3	4	4	1	2	1	4
96	5	4	3	5	4	4	5	4	3	1	2	5	5
97	3	2	2	4	3	4	3	4	3	3	2	2	3
98	3	4	2	4	4	2	3	4	2	1	1	4	4
99	5	5	3	5	5	5	3	4	3	5	2	4	5
100	5	5	4	3	5	2	5	5	3	2	3	4	5
101	5	5	3	4	5	5	5	4	4	1	1	4	5
102	3	4	2	5	5	2	4	5	4	1	1	4	5
103	3	4	3	4	5	3	2	3	4	2	2	4	4
104	5	5	2	5	5	5	3	4	5	1	1	5	5
105	4	4	3	4	5	4	4	5	3	2	1	4	5
106	5	5	3	3	5	5	5	5	5	5	2	4	5
107	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
108	4	5	3	3	4	2	3	4	4	1	1	4	5

109	5	5	3	4	5	3	5	4	5	1	1	5	4
110	3	5	2	2	4	4	4	5	3	1	2	5	5
111	4	5	1	5	5	4	3	3	3	2	1	4	5
112	2	4	2	3	5	3	3	1	3	2	2	3	4
113	3	4	2	3	5	3	2	3	2	1	2	4	4
114	4	5	3	5	4	4	5	5	4	1	1	5	5
115	3	4	3	3	4	3	2	3	4	3	4	4	5
116	3	5	3	3	4	3	4	3	3	3	2	4	4
117	5	5	4	4	4	4	4	1	1	3	3	3	5
118	5	5	2	4	5	5	5	3	5	1	1	5	5
119	2	2	3	2	5	1	1	1	1	4	2	1	3
120	4	4	3	4	5	5	4	5	3	1	3	4	4
121	4	5	3	5	4	3	3	5	4	2	2	4	5
122	4	5	1	4	5	5	4	1	4	1	1	5	5
123	3	4	3	5	3	5	5	3	1	2	1	4	5
124	2	2	2	1	2	1	2	1	2	2	1	1	1
125	5	5	4	5	5	2	3	5	2	1	3	4	5
126	1	1	5	1	2	1	1	1	2	1	3	3	3
127	5	4	1	4	2	3	5	4	5	4	1	4	4
128	4	5	2	3	5	4	4	3	4	1	1	4	5
129	4	4	3	4	5	4	4	2	3	1	2	5	5
130	4	5	2	4	5	5	3	4	3	1	1	5	5
131	2	2	4	3	3	3	3	3	4	3	4	2	2
132	4	4	2	2	3	2	3	2	4	1	1	2	4
133	4	4	2	2	2	3	4	3	5	2	1	3	4
134	5	5	1	4	3	4	2	2	5	1	1	1	4
135	4	5	2	4	5	3	4	4	5	1	1	2	4
136	4	5	2	5	5	5	4	5	3	1	1	4	5
137	4	2	1	3	5	2	3	1	4	2	1	2	3
138	3	1	3	1	3	4	4	1	5	1	3	2	5
139	4	5	3	5	2	5	3	5	3	1	1	5	5
140	4	5	2	4	5	5	4	3	4	1	2	4	5
141	5	4	2	2	5	2	4	2	5	3	1	2	3
142	4	5	2	4	5	5	3	1	4	1	1	3	4
143	4	4	4	4	5	3	3	3	4	2	2	4	4
144	4	4	1	4	4	5	3	3	5	1	1	4	5
145	2	4	3	3	2	2	3	2	2	2	4	3	3
146	4	4	2	4	3	4	2	3	5	3	1	4	5
147	3	3	3	4	2	4	2	2	3	2	2	3	3

16 Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst habe, dass ich sie zuvor an keiner anderen Hochschule und in keinem anderen Studiengang als Prüfungsleistung eingereicht habe und dass ich keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle Stellen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen oder aus anderweitigen fremden Äußerungen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Verden, den 22.10.2024

Ort, Datum

J. Potratz

Name, Vorname

Potratz, Josua Elia