Entwicklung zweier Unterrichtskonzepte zur Einführung des Themenbereichs Radioaktivität in der Sekundarstufe I mit und ohne Gebrauch des Nebelkammerexperiments als Schülerexperiment

Bachelorarbeit

vorgelegt am: 14. Juli 2023

am Institut für Strahlenschutz und Radioökologie der Leibniz Universität Hannover

Name:	Malte Ailert Saathoff
Matrikelnummer:	10030060
Studiengang:	Fächerübergreifender Bachelor Physik und Philosophie
Erstgutachter:	Prof. Dr. Clemens Walther
Zweitgutachter:	Dr. Jan-Willem Vahlbruch

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **1**

2 Physikalische Grundlagen **2**

2.1 Ionisierende Strahlung 2

2.2 Radioaktivität und Radioaktive Zerfälle 2

2.2.1 Der Alphazerfall 3

2.2.2 Der Betazerfall 5

2.2.3 Der Gammazerfall 6

2.3 Kosmische Strahlung 7

2.4 Spuren ionisierender Strahlung in der Nebelkammer 8

2.4.1 Alphateilchen 9

2.4.2 Betateilchen 10

2.4.3 Myon 10

2.4.4 Proton 11

2.5 Strahlenschutz 11

3 Funktionsweise der verwendeten Nebelkammer **13**

3.1 Grundprinzip 13

3.2 Expansive- bzw. Wilson-Nebelkammer 14

3.3 Kontinuierliche Diffusionsnebelkammer 14

3.4 Verwendete Nebelkammer 15

4 Didaktische Grundlagen **18**

4.1 Bildungsstandards für den Physikunterricht 18

4.2 Experiment 20

4.2.1 Schülerexperimente 22

4.3 Schülervorstellungen 24

4.3.1 Schülervorstellungen Radioaktivität und ionisierende Strahlung 24

4.4 Unterrichtskonzepte des Physikunterrichts 26

4.4.1 Exemplarischer Physikunterricht 27

4.4.2 Individual-Genetischer Unterricht 27

4.4.3 Forschend-entdeckender Unterricht 28
4.4.4 Darbietender Unterricht 29
4.4.5 Problembasiertes Lernen 29
4.5 Gliederung einer Unterrichtsstunde im Physikunterricht 30

5 Vorstellung der Unterrichtskonzepte 33
5.1 Unterrichtskonzept I - mit Schülerexperiment 33
5.1.1 Phase der Motivierung I 34
5.1.2 Phase der Erarbeitung I 35
5.1.3 Phase der Vertiefung I 38
5.1.4 Schülervorstellungen I 39
5.1.5 Kompetenzen und Lernziele I 39
5.2 Unterrichtkonzept II - ohne Schülerexperiment 40
5.2.1 Phase der Motivierung II 41
5.2.2 Phase der Erarbeitung II 41
5.2.3 Phase der Vertiefung II 44
5.2.4 Schülervorstellungen II 44
5.2.5 Kompetenzen und Lernziele II 44

6 Erprobung 46
6.1 Interesse und Motivation 46
6.2 Aktive Teilnahme 47
6.3 Erreichen der Lernziele 48
6.4 Aufwand für die Lehrkraft 49

7 Fazit 52

8 Anhang 55
8.1 Bausteine eines Unterrichtsentwurfs 55
8.2 Langentwurf Unterrichtskonzept I - mit Schülerexperiment 57
8.2.1 Kompetenzangaben - Lernziele I 57
8.2.2 Der Lerngegenstand I 58
8.2.3 Begründung des Lerngegenstandes I 60

8.2.4 Die Lerngruppe I 61
8.2.5 Begründung und Analyse der Aufgaben I 62
8.2.6 Begründung der Methodischen Entscheidungen I 64
8.2.7 Verlaufsplan I 67
8.2.8 Arbeitsblätter I 70
8.2.9 PowerPoint-Präsentation I 74
8.3 Langentwurf Unterrichtskonzept II - ohne Schülerexperiment 77
8.3.1 Kompetenzangaben - Lernziele II 77
8.3.2 Der Lerngegenstand II 78
8.3.3 Begründung des Lerngegenstandes II 78
8.3.4 Die Lerngruppe II 78
8.3.5 Begründung und Analyse der Aufgaben II 78
8.3.6 Begründung der methodischen Entscheidungen II 80
8.3.7 Verlaufsplan II 83
8.3.8 Arbeitsblätter II 86
8.3.9 PowerPoint-Präsentation II 91
8.4 Abbildungen 94

9 Eidesstattliche Erklärung **100**

1 Einleitung

In unserem Leben sind wir pausenlos von ionisierender Strahlung umgeben. Oft sind wir uns dessen nicht bewusst, da keiner unserer Sinne sie erfassen kann. Trotzdem ist sie wichtiger Bestandteil unseres Lebens, der nicht unerheblichen Einfluss auf uns nehmen kann. In medizinischen Anwendungen kann sie lebensrettend sein. Gleichzeitig kann sie in unserem Körper Prozesse auslösen, die unserer Gesundheit schaden. Es ergibt sich also eine Gegensätzlichkeit, die darin besteht, dass wir einerseits einem "unsichtbaren", schwer greifbaren Phänomen ausgesetzt sind, das jedoch sehr reale lebensweltliche Auswirkungen hervorrufen kann.

Die Nebelkammer bietet eine Möglichkeit, diese Gegensätzlichkeit abzuschwächen oder gar aufzulösen. Ionisierende Strahlung hinterlässt in dem übersättigten Luft-Alkoholdampf-Gemisch im Innern der Kammer gut erkennbare Spuren aus feinen Alkoholtröpfchen und wird so plötzlich visuell wahrnehmbar. Dieser Effekt hat didaktisches Potential. In der universitären Lehre werden Nebelkammern zu weilen schon eingesetzt.

Doch auch für den Einsatz in Schulen könnte die Nebelkammer interessant sein. Es stellt sich jedoch die Frage, in welcher Form Nebelkammern in den Unterricht eingebunden werden können bzw. sollten. Im Rahmen dieser Arbeit werden zwei Unterrichtskonzepte für die Einführung des Themenbereichs Radioaktivität in der Sek. I entworfen. Das erste Konzept bindet zehn Nebelkammern in Form eines Schülerexperiments in den Unterricht ein, während das zweite einem konservativeren Ansatz folgt und die Nebelkammer auf theoretischer Ebene miteinbezieht.

Die beiden entwickelten Unterrichtskonzepte können also als Basis für einen empirischen Vergleich dienen, der untersucht, ob die Anwendung von Nebelkammern als Schülerexperiment sich gegenüber einem konservativeren theoretischen Ansatz, beispielsweise durch messbar größere Lernzuwächse, hervortun kann.

2 Physikalische Grundlagen

In den entwickelten Unterrichtskonzepten werden die physikalischen Phänomene der ionisierenden Strahlung und der Radioaktivität thematisiert. Daher werden die theoretischen Grundlagen dieser Phänomene in diesem Abschnitt dargestellt. Dabei wird auch auf die unterschiedlichen Arten der ionisierenden Strahlung eingegangen.
Zudem haben die verschiedenen Erscheinungsformen der Tröpfchenspuren, die durch ionisierende Strahlungsarten in der Nebelkammer erzeugt werden, Relevanz für die Konzeptentwicklung. Daher wird auch dieser Aspekt in diesem Kapitel thematisiert.

2.1 Ionisierende Strahlung

Spricht man in der Physik von Strahlung, so ist damit ein Energie- und Massetransport, der nicht an Medien gebunden ist, gemeint. Das eingeführte Konzept der Strahlung lässt sich nun in zwei Arten einteilen. Die erstere Art, die Photonenstrahlung, bezeichnet den ausschließlichen Transport elektromagnetischer Energie. Ihren Namen erhält sie durch das ihr zugeordnete Strahlungsquant, das Photon [Kri19, S.17].
Die zweite Strahlungsart ist die Korpuskularstrahlung. Man bezeichnet eine Strahlung als Korpuskularstrahlung, wenn sie zusätzlich zum Energietransport auch einen Materietransport betreibt.
Eine weitere Einteilung der Strahlung lässt sich durch die Unterscheidung von ionisierender und nichtionisierender Strahlung vornehmen. Ionisierende Strahlung ist in der Lage, Elektronen entweder durch direkte Wechselwirkung oder indirekt durch Sekundärprozesse aus Atomhüllen zu lösen. Erstere Variante bezeichnet man als direkt ionisierende, letztere als indirekt ionisierende Strahlung. Strahlung, die Elektronen überhaupt nicht lösen kann, nennt man nichtionisierend [Kri19, S.17f].

2.2 Radioaktivität und Radioaktive Zerfälle

Anders als der umgangssprachliche Gebrauch des Wortes Radioaktivität vermuten lässt, ist dieser Begriff nicht dafür geeignet, eine Strahlung zu beschreiben. Vielmehr

beschreibt der Begriff einen Prozess, der Strahlung produziert. Radioaktivität liegt dann vor, wenn Kerne spontan aus einem instabilen Zustand in einen stabilen übergehen und als Resultat dieses Übergangs Energie abgeben und Strahlung emittieren. Solche Kerne nennt man dann radioaktiv [Kri19, S.91].
Diese Kernumwandlungsprozesse mit darauf folgender Strahlungsemission bezeichnet man als radioaktive Zerfälle. Bei einem solchen radioaktiven Zerfall kann sowohl Korpuskularstrahlung als auch Photonenstrahlung emittiert werden. Erstere in Formen der α- und β-Strahlungen und letztere in Form der γ-Strahlung. Alle diese Strahlungsformen sind ioniserend, wobei die α- und β-Strahlung direkt ionisierend, die γ-Strahlung hingegen indirekt ionisierend ist [Kri19, S.18]. Bei einem α-Zerfall wird ein Heliumkern, bei einem β-Zerfall ein Elektron (β^--Zerfall) oder Positron (β^+-Zerfall) und bei einem γ-Zerfall ein Photon emittiert [Dem17, S.40f].

2.2.1 Der Alphazerfall

Bei einem α-Zerfall emittiert der Mutterkern ein α-Teilchen, also einen zweifach positiv geladenen Heliumkern ${}^4_2\mathrm{He}^{2+}$. Dieser besteht aus zwei Protonen und zwei Neutronen. Dementsprechend verringert sich die Massenzahl des Mutterkerns A um vier Einheiten und dessen Kernladungszahl Z um zwei Einheiten [Dem17, S.40f].

$$ {}^A_Z X \xrightarrow{\alpha} {}^{A-4}_{Z-2} Y \tag{1} $$

Misst man die kinetischen Energien der α-Teilchen mehrerer gleicher Zerfälle, so erhält man ein diskretes Linienspektrum. Diese Beobachtung lässt sich durch das Zusammenwirken mehrerer Umstände erklären. Zunächst einmal handelt es sich bei dem α-Zerfall um einen Zweikörperzerfall. Bei einem solchen Zerfall teilt sich die Zerfallsenergie in einem durch die Impulserhaltung festgelegten Verhältnis auf die Zerfallsprodukte, also das α-Teilchen und den Endkern Y, auf. Da die Zerfallsenergie bei gleichem Zerfall nicht variiert, sondern aus der konstanten Massendifferenz des Ausgangskerns X und des Endkerns Y herrührt, müssten auch die kinetischen Energien der Zerfallsprodukte immer gleich bleiben. Man würde also immer nur eine einzige charakteristische Linie im

Spektrum erwarten.
Stattdessen gibt es α-Spektren, die durchaus mehrere diskrete Linien aufweisen. Diese Beobachtung lässt sich erklären, indem man den Umstand, dass der Endkern Y in der Lage ist, verschiedene diskrete Energieniveaus einzunehmen, mit einbezieht. Infolgedessen kann die Aufteilung der Zerfallsenergie auf die Produkte nämlich in diskreter Weise variieren. Dementsprechend ergeben sich bei gleichem Zerfallstyp α-Teilchen mit verschiedenen diskreten kinetischen Energien, also mehrere diskrete Linien im Spektrum [Bet08, S.228f].

Verglichen mit den Strahlungsteilchen anderer Zerfälle ist das α-Teilchen relativ groß und wechselwirkt vergleichsweise oft mit anderen Teilchen. Dementsprechend hat es ein hohes Ionisationsvermögen. Ein α-Teilchen erzeugt also durch Wechselwirkung mit Atomen oder Molekülen verhältnismäßig viele Ionenpaare. Es ionisiert ein Atom, indem es einen Teil seiner kinetischen Energie auf ein Hüllenelektron dieses Atoms überträgt. Dieses Hüllenlektron wird auf ein höheres Energieniveau gehoben und kann dann das anziehende Potential des Atomkerns überwinden. Jede Ionisation geht also mit einem Energieverlust für das α-Teilchen einher.
Da das α-Teilchen verhältnismäßig viele Ionen erzeugt, verliert es auch schnell an kinetischer Energie. Es hat also eine relativ geringe Reichweite - in Luft sind es nur einige cm.

Der Energieverlust des α-Teilchens, der proportional zu der Anzahl der erzeugten Ionen ist, nimmt mit Abnahme der kinetischen Energie des Teilchens zu (Abb. 1). Das α-Teilchen kommt also am Ende seiner Flugbahn abrupt zum Stillstand. Die Reichweite von α-Teilchen gleicher Energien ist also scharf begrenzt [Dem17, S.84].

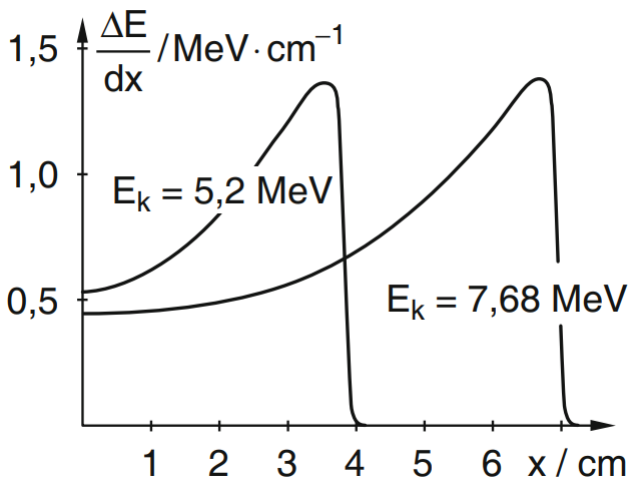


Abb. 1: Energieverlust für α-Teilchen zweier verschiedener Energien in Luft bei $p = 1bar$ (Bragg'sche Kurven)[Dem17, S.84]

2.2.2 Der Betazerfall

Ein β-Zerfall findet dann statt, wenn sich Nukleonen innerhalb eines Mutterkerns unter Ladungsemission inneinander umwandeln [Kri19, S.102]. Wandelt sich ein Neutron in ein Proton um, so wird dabei eine negative Elementarladung, also ein Elektron e^- emittiert. Infolge dessen erhöht sich die Kernladungszahl Z des Endkerns Y um eine Einheit. Damit der Gesamtspin erhalten wird, muss ein weiteres Teilchen mit einem Spin von $\pm\frac{1}{2}$ emittiert werden. Dieses Teilchen ist ein Elektron-Anti-Neutrino $\overline{\nu_e}$. Ein Zerfall bei dem ein Elektron e^- und ein Elektron-Anti-Neutrino $\overline{\nu_e}$ emittiert werden, nennt sich β^--Zerfall.

$$ {}^{A}_{Z}X \xrightarrow{e^- + \overline{\nu_e}} {}^{A}_{Z+1}Y \tag{2} $$

Neben dem β^--Zefall gibt es noch den β^+-Zerfall, bei dem sich ein Proton in ein Neutron wandelt und eine positive Elementarladung in Form eines Positrons e^+ emittiert wird. Auch hier wird ein zweites Teilchen, das Elektron-Neutrino ν_e, emittiert. Die Kernladungszahl Z des Endkerns Y verringert sich um eine Einheit.

$$ {}^{A}_{Z}X \xrightarrow{e^+ + \nu_e} {}^{A}_{Z-1}Y \tag{3} $$

Da es sich bei β-Zerfällen um Drei-Körper-Zerfälle handelt, sind ihre gemessenen Spektren kontinuierlich [Bet08, S.244f]. Die emittierten Positronen e^+ und Elektronen e^- wechselwirken über Coulombkräfte mit dem Kern. Daher sind ihre gemessenen Energien etwas voneinander verschoben (Abb. 2).

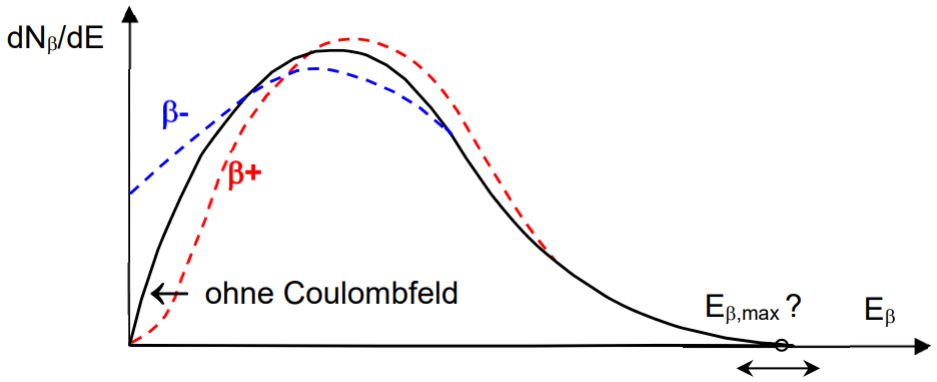


Abb. 2: Die relativen Verteilungen der kinetischen Energien der β-Teilchen nach β-Zerfällen (schematisch)[Kri19, S.107]

Die im Verhältnis zu α-Teilchen kleineren β-Teilchen haben ein vergleichsweise geringes Ionisationsvermögen. Daher ist ihre Reichweite verglichen mit der eines α-Teilchens groß - sie können bis zu einige Meter in Luft zurücklegen. Da β-Spektren kontinuierlich sind, variiert auch die Reichweite der emittierten Teilchen bei gleichbleibender Zerfallsart. Im Gegensatz zu α-Teilchen werden β-Teilchen leichter an Atomen gestreut. Gerade energiearme β-Teilchen können daher in Luft gekrümmte Flugbahnen haben.

2.2.3 Der Gammazerfall

Nach einem Kernzerfall kann es der Fall sein, dass der neu entstandene Tochter- bzw. Endkern sich in einem angeregten Zustand befindet. Geht dieser Kern nun aus dem angeregten energetisch höheren Zustand in einen energetisch niedrigeren über, so wird die Energiedifferenz in Form von γ-Strahlung emittiert. Bei γ-Strahlung handelt es sich um Photonenstrahlung, es wird also ein Photon emittiert. Da keine Nukleonenumwandlung stattfindet, bleiben sowohl die Massenzahl A, als auch die Kernladungszahl Z konstant [Dem17, S.49].

$$ {}^{A}_{Z}X^{*} \xrightarrow{\gamma} {}^{A}_{Z}X \tag{4} $$

Es gibt also keinen wirklichen "Kernzerfall" im materiellen Sinne, daher kann die Bezeichnung "γ-Zerfall" etwas irreführend sein. Stattdessen kann das Wort γ-Übergang verwendet werden. Das gemessene Spektrum ist diskret. Da γ-Übergänge in kernphysikalischen Größenordnungen betrachtet eine relativ lange Lebensdauer haben können, ergibt sich für sie über die Energie-Zeit-Unschärfe eine geringe Energieunschärfe ($\Delta E \propto \frac{1}{\Delta t}$) und damit eine geringe Linienbreite im Spektrum.
γ-Strahlung ist eine indirekt ionisierende Strahlung und hat ein vergleichsweise geringes Ionisationsvermögen. Das γ-Quant bzw. das Photon hat daher auch eine deutlich höhere Reichweite in Luft als α- und β-Teilchen - theoretisch ist sie unbegrenzt.
Das geringe Wecheslwirkungs- und Ionisationsvermögen des Photons hat zudem den Nebeneffekt, dass es fast nie sichtbare Tröpfchenspuren in Nebelkammern hinterlässt.

2.3 Kosmische Strahlung

Die auf der Erdoberfläche anzutreffende ionisierende Strahlung stammt nicht ausschließlich aus radioaktiven Prozessen, sondern kann auch kosmischen Ursprungs sein. Spricht man von kosmischer Strahlung, so sind damit geladene Teilchen aus dem Weltall gemeint. Ihr genauer Ursprung ist noch nicht vollständig geklärt. Sie bestehen zu etwa 98% aus vollionisierten Atomkernen und zu 2% aus Elektronen. Den größten Anteil der Kerne bilden die Wasserstoffkerne also Protonen mit 87%. Danach folgen Heliumkerne (12%) sowie schwere Kerne (1%) [Spa18, S.140].
Diese Kerne erreichen die Erdoberfläche nicht direkt, sondern wechselwirken mit Molekülen der oberen Atmosphärenschichten. Dabei entstehen sekundäre Teilchen, die wiederum durch Wechselwirkungen mit Molekülen weitere Teilchen erzeugen. Diese Kettenreaktionen setzten sich bis zum Erreichen der Erdoberfläche fort [Spa18, S.147f]. Da die erzeugten Sekundärteilchen schauerartig auf die Erde niedergehen, bezeichnet man diese Kettenreaktionen als Kaskadenschauer (Abb. 3).

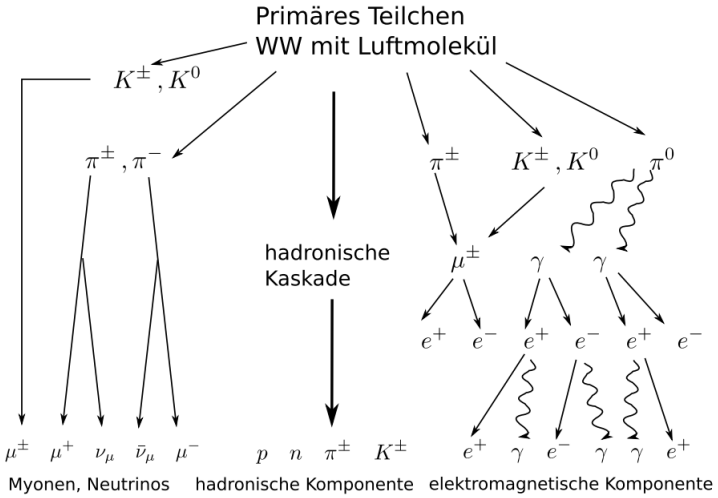


Abb. 3: Kaskadenschauer erzeugt durch schweres Teilchen in Atmosphäre [Spa18, S.147]

Die für diese Arbeit relevanten Sekundärteilchen sind das Myon μ und das Proton p. Myonen machen den Hauptbestandteil der sekundären kosmische Strahlung, die die Erdoberfläche erreicht, aus. Ein Myon hat eine Ruhemasse von etwa 105,66 MeV, also die 200-fache Ruhemasse eines Elektrons. Es ist nicht stabil und zerfällt spontan nach einer mittleren Lebensdauer von $2{,}2 \cdot 10^{-6}$ s. Damit könnte es ohne Einbezug relativistischer Effekte die Erdoberfläche rein rechnerisch nicht vor seinem Zerfall erreichen. Da es jedoch eine Geschwindigkeit nahe der Lichtgeschwindigkeit hat, gelten relativistische Effekte. Durch Zeitdilatation vervielfacht sich die mittlere Lebensdauer des Myons aus Sicht des ruhenden Bezugsystems Erde. So ergibt sich für das Myon die Möglichkeit, die Erdoberfläche zu erreichen.
Verglichen mit den Myonen erreichen eher wenige der kosmischen Strahlung zugehörigen Protonen die Erdoberfläche. Ein Proton hat eine Ruhemasse von etwa 938,28 MeV und hat damit etwa die 1800-fache Masse eines Elektrons [Dem17, S.163f].

2.4 Spuren ionisierender Strahlung in der Nebelkammer

Die in der Nebelkammer beobachtbaren Spuren haben je nach Strahlungsteilchen sehr verschiedene Erscheinungsbilder. Die Teilchen in der Kammer können kosmischen Ursprungs sein, natürlicher Radioaktivität aus der Luft entstammen oder einfach durch ein eingeführtes radioaktives Präparat emittiert werden.

Die natürliche Radioaktivität in der Raumluft entstammt aus radioaktiven Isotopen, die Teil der natürlichen Zerfallsreihen sind und natürlicher Weise in der Luft vorkommen. Die Konzentration dieser Isotope in der Raumluft kann je nach Beschaffenheit des Bodens, auf dem das Gebäude steht und der verwendeten Baumaterialien variieren [Strb].

2.4.1 Alphateilchen

Das α-Teilchen hinterlässt in der Nebelkammer eine vergleichsweise breite kurze Spur, die gut zu erkennen ist. Der Umstand, dass die Spur so deutlich erkennbar ist, kann mit dem hohen Ionisationsvermögen des α-Teilchens erklärt werden (vgl. Abschnitt 2.2.1). α-Teilchen, die dem gleichen Zerfallstyp entstammen, erzeugen in der Kammer Spuren gleicher Länge. Diese Beobachtung lässt sich durch das diskrete Energiespektrum erklären, welches von einer Hauptlinie dominiert wird. Die α-Teilchen des gleichen Zerfalls haben also in den allermeisten Fällen die gleiche kinetische Energie und ihre Reichweite ist durch den charakteristischen Verlauf ihres Energieverlusts (Abb. 1) scharf begrenzt, was sich in einer gleichbleibenden Spurlänge in der Nebelkammer niederschlägt (Abb. 5).

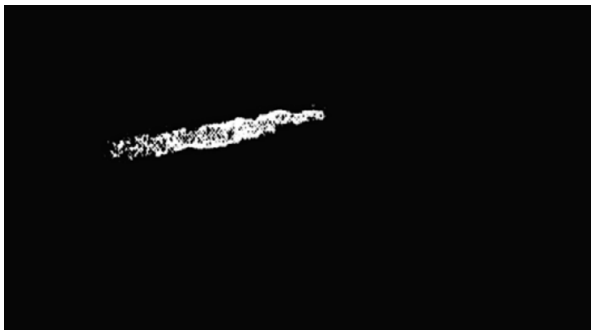


Abb. 4: Spur eines α-Teilchens in Nebelkammer [Sch20, S.11]

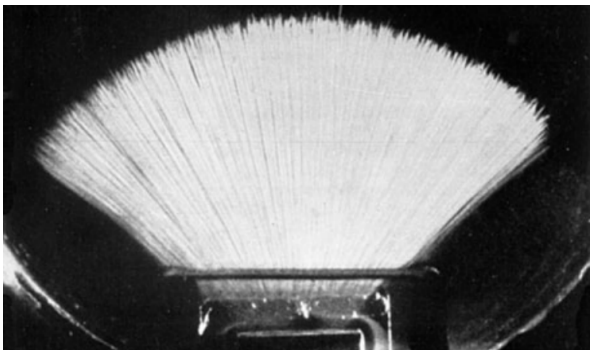


Abb. 5: Aufnahme der gleichlangen Spuren von α-Teilchen; Zerfall von $^{212}_{84}$ Po zu $^{208}_{82}$ Pb [Dem17, S.41]

2.4.2 Betateilchen

Verglichen mit α-Teilchen erzeugen die β-Teilchen eher dünne, längere Spuren. Dieser Umstand kann durch das geringere Ionisationsvermögen dieser Teilchen erklärt werden (vgl. Abschnitt 2.2.2). Die Längen der β-Spuren variieren deutlich - auch wenn nur ein β-Zerfallstyp beobachtet wird. Dieser Umstand lässt sich durch das kontinuierliche Spektrum des β-Zerfalls erklären (vgl. Abschnitt 2.2.2). Energiearme β-Teilchen können an Molekülen in der Luft gestreut werden. Die zugehörigen Linien sind gut sichtbar gezackt oder gar gekräuselt (Abb. 6 und Abb. 7).

Abb. 6: Spuren zweier β-Teilchen verschiedener Energien [Sch20, S.11]

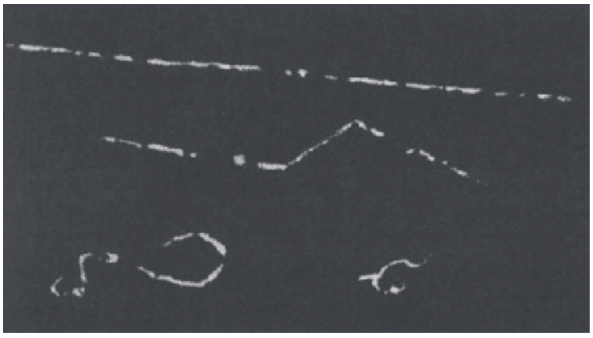


Abb. 7: Vier Spuren von β-Teilchen verschiedener Energien; Energie von oben nach unten absteigend[PHY, S.2]

2.4.3 Myon

Die Spuren des Myons sind etwas dicker als die des β-Teilchens. Seine Spuren sind zudem immer geradlinig und vergleichsweise lang.
Die Dicke lässt sich durch die etwas größere Masse und das damit verbundene gesteigerte Ionisationsvermögen erklären (vgl. Abschnitt 2.3). Die Geradlinigkeit und ausgeprägte Länge der Spuren sind dadurch zu erklären, dass fast alle Myonen, die auf der Erdoberfläche aufkommen, relativistische Geschwindigkeiten haben. Sie "profitieren" von der Zeitdilatation und können so die Erdoberfläche trotz ihrer kurzen durchschnittlichen Lebensdauer erreichen (vgl. Abschnitt 2.3). Dementsprechend sind die Myonen, die in Nebelkammern nachgewiesen werden, sehr energiereich und ihre Spuren lang und geradlinig.

Abb. 8: Spur eines Myons [PHY, S.2]

2.4.4 Proton

Die Spur des Protons ist dicker als die des Myons, aber dünner als die des α-Teilchens. Sie ist außerdem kürzer als die des Myons und länger als die des α-Teilchens. Das Proton hat eine Masse, die zwischen der des Myons und des α-Teilchens liegt. Dementsprechend verhalten sich auch das Ionisationsvermögen und die resultierenden Spurdicken und -längen (vgl. Abschnitt 2.3).

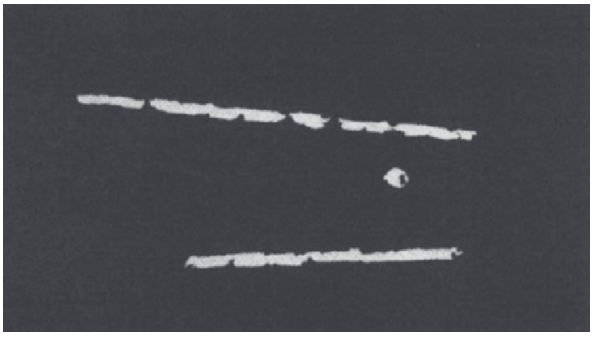


Abb. 9: Zwei Protonenspuren und ein Nebelpunkt; Nebelpunkt erzeugt durch Proton mit Bewegungsrichtung senkrecht zur Bodenplatte [PHY, S.2]

2.5 Strahlenschutz

Ionisierende Strahlung kann bei Menschen sowohl deterministische Strahlenschäden, die unbedingt und akut aus der Strahlenbelastung folgen, als auch stochastische Strahlenschäden, die auch lange nach der Strahlenexposition auftreten können, auslösen. Deterministische Strahlenschäden treten erst nach Überschreiten eines Dosisschwellwertes ein, für stochastische Schäden gibt es diesen Schwellwert nicht [Stra].

Fachgerechter Strahlenschutz hat dafür zu sorgen, dass die Dosisschwellwerte, die den

Bereich der deterministischen Strahlenschäden abgrenzen, niemals überschritten werden. Hinzu kommt, dass die Dosis auch unterhalb dieser Schwellwerte möglichst gering zu halten ist, um das Risiko stochastischer Strahlenschäden zu minimieren [Stra].

Um die Dosis möglichst gering zu halten, sind im Strahlenschutzgesetz drei Grundsätze formuliert worden, die unbedingt einzuhalten sind:

1. Grundsatz der Rechtfertigung
2. Grundsatz der Dosisbegrenzung
3. Grundsatz der Optimierung

Nach dem Grundsatz der Rechtfertigung soll jede bewusste Anwendung ioniserender Strahlung mit einem sinnvollen Nutzen verbunden sein, der die Strahlenbelastung rechtfertigen kann. Der zweite Grundsatz der Dosisbegrenzung drückt sich in Dosisgrenzwerten aus, die niemals überschritten werden sollen. Mit Optimierung ist gemeint, dass die Wahrscheinlichkeit der Exposition, die Anzahl der exponierten Personen und die individuelle Dosis *"so niedrig zu halten sind, wie es vernünftigerweise erreichbar ist."*[Stra]. Dieser Grundsatz lässt sich mit dem "*ALARA*"-Prinzip verkürzt festhalten, dabei steht "*ALARA*" für "**A**s **L**ow **A**s **R**easonably **A**chievable" [Stra].

Durch Begrenzung der Aufenthaltsdauer im Strahlungsfeld, dem Einhalten von geeigneten Abständen zur Quelle [Vah19, S.253ff] und der Nutzung passender Abschirmungen [Vah19, S.265] kann die Dosis effektiv und auf einfache Weise reduziert werden.

In der Schule wird im Rahmen dieser Arbeit ein thoriumhaltiger Glühstrumpf als Präparat eingesetzt. Nach Neuerungen im Strahlenschutzgesetz im Jahre 2019 darf dieses Präparat genehmigungsfrei im Unterricht eingesetzt werden [Rad].
Beim Umgang mit dem Glühstrumpf werden die drei Maßnahmen zur Begrenzung der individuellen Dosis berücksichtigt. Der Glühstrumpf befindet sich im Innern einer Spritze aus Plastik und ist somit etwas abgeschirmt. Die Schüler:innen befinden sich zudem nur für einen kurzen Zeitraum in der Nähe des Strumpfes, nämlich dann, wenn die Lehrkraft die Luft im Innern der Spritze in die Nebelkammern einsprüht. Ansonsten wird die Spritze in ausreichendem Abstand zu den Schüler:innen und der Lehrkraft verwahrt.

3 Funktionsweise der verwendeten Nebelkammer

In diesem Kapitel wird zunächst das grundlegende Prinzip einer Nebelkammer dargestellt, gefolgt von einer Betrachtung zweier unterschiedlicher Kammertypen. Danach wird der Aufbau und die Funktionsweise der für diese Arbeit verwendeten Nebelkammer erläutert.

3.1 Grundprinzip

Ionisierende Strahlung lässt sich mithilfe einer Tröpfchenspur "sichtbar" machen, indem man die Strahlung mit einem übersättigten Luft-Alkoholdampf-Gemisch wechselwirken lässt. Trifft die Strahlung auf Moleküle oder Atome in dem Gemisch, so kann sie diese ionisieren. Auf diese Weise werden Ionen innerhalb des übersättigten Gemisches erzeugt. Da das Gemisch übersättigt ist, hat ein signifikanter Teil der Alkoholmoleküle die Tendenz, wieder in den flüssigen Aggregatzustand überzugehen, also zu kondensieren [Klo08, S.147f].

Besonders gut kondensiert der Alkohol an sogenannten Kondensationskeimen. Diese Keime sind beispielsweise kleine Staubpartikel in der Luft, Oberflächen größerer Festkörper oder eben auch Ionen [Wil09, S.27]. Bewegt sich ionisierende Strahlung also durch ein übersättigtes Luft-Alkoholdampf-Gemisch, so kann sie eine Spur aus Ionen hinterlassen, die wiederum als sehr potente Kondensationkeime fungieren. Es kommt daher vermehrt zur Kondensation des Alkohols an diesen Ionen. Infolge dessen bildet sich eine mit dem bloßen Auge gut erkennbare Spur aus kleinen Alkoholtröpfchen, die den Weg der Strahlung nachempfindet.

Nebelkammern machen sich das eben geschilderte Prinzip zunutze. Grundlegend für die Funktionsfähigkeit einer Nebelkammer ist also das Vorliegen eines übersättigten Luft-Alkoholdampf-Gemisches. Dieses kann auf verschiedene Weisen erzeugt werden. Die in dieser Arbeit betrachteten Kammertypen machen sich beide den Umstand zunutze, dass die Alkoholaufnahmekapazität der Luft temperaturabhängig ist. Verringert man ihre Temperatur, so verringert sich auch ihre Fähigkeit, Alkohol aufzunehmen. Wenn die Temperatur eines *gesättigten* Luft-Alkoholdampf-Gemisches ausreichend stark reduziert

wird, sinkt die Alkoholaufnahmekapazität unter die vorliegende Alkoholkonzentration in der Mischung. Es liegt dann ein *übersättigtes* Luft-Alkoholdampf-Gemisch vor.

3.2 Expansive- bzw. Wilson-Nebelkammer

Vergrößert man das Volumen eines Gases (oder Gas-Dampf-Gemisches) innerhalb sehr kurzer Zeit, so verringert sich dessen Temperatur ebenso schlagartig. Diesen Vorgang bezeichnet man als adiabatische Abkühlung bzw. Expansion [Sch20, S.16]. Wird dieser Prozess mit einem gesättigten Luft-Alkoholdampf-Gemisch durchgeführt, so übersättigt dieses in Folge der Verringerung der temperaturabhängigen Alkoholaufnahmekapazität. Die Expansive- bzw. Wilson-Nebelkammer macht sich eben dieses Prinzip zunutze. Ein gesättigtes Luft-Alkoholdampf-Gemisch wird expandiert und das entstehende übersättigte Gemisch wird zur Detektion der ionisierenden Strahlung genutzt. Der übersättigte Zustand des Gemisches kann jedoch nur für kurze Zeit aufrecht erhalten werden (0,1 bis 2 Sekunden). Die Expansive-Nebelkammer hat also den klaren Nachteil, ionisierende Strahlung nur innerhalb kurzer zeitlicher Intervalle detektieren zu können [Wil09, S.27].

3.3 Kontinuierliche Diffusionsnebelkammer

Die kontinuierliche Diffusionsnebelkammer kann das Problem der kurzen Auflösungszeit lösen. Durch Heizen der Oberseite und Kühlen der Unterseite der Kammer wird ein konstantes Temperaturgefälle (bzw. ein Temperaturgradient) erzeugt. An der Oberseite wird ein Luft-Alkoholdampf-Gemisch erzeugt, indem dort Alkohol verdampft wird. Die Realisation dieser Verdampfungsquelle kann ganz verschieden ausfallen. Das erzeugte Luft-Alkoholdampf-Gemisch diffundiert nun entlang des Temperaturgefälles von den wärmeren Luftschichten in die kälteren. Die Alkoholaufnahmekapazität der Luft nimmt mit Verringerung der Temperatur ab. Infolge dessen bildet sich kurz vor dem gekühlten Boden der Kammer ein lokales übersättigtes Luft-Alkoholdampf-Gemisch [Sch20, S.16]. Dieses kann dann zur Detektion ionisierender Strahlung genutzt werden.
Da das Temperaturgefälle in dieser Kammer kontinuierlich aufrecht erhalten wird,

ist auch das lokale übersättigte Luft-Alkoholdampf-Gemisch kontinuierlich vorhanden. Diese Kammer kann ionisierende Strahlung also über längere Zeiträume detektieren.
Die Funktionsweise dieser Kammer macht auch deutlich, warum sich bestimmte Alkohole so gut als Bestandteil des Luft-Dampf-Gemisches eigenen. Isopropanol hat beispielsweise eine Siedetemperatur von $82,5°$C. Dieser Alkohol kann also an der Oberseite ohne den Einsatz extrem hoher Temperaturen verdampft werden. Schon bei Raumtemperatur dampft Isopropanol stark aus. Der verhältnismäßig tiefe Schmelzpunkt Isopropanols bei etwa $-89,0°$C ermöglicht die starke Abkühlung des Luft-Alkoholdampf-Gemisches an der Unterseite der Kammer, ohne dass dabei das Isopropanol gefriert und die Funktionsweise der Nebelkammer beeinträchtigt werden könnte.

3.4 Verwendete Nebelkammer

Die für diese Arbeit verwendete Nebelkammer muss aufgrund ihres vorhergesehenen Einsatzes in der Schule bestimmte Anforderungen erfüllen. Die Kammer sollte relativ kostengünstig und einfach in größerer Stückzahl herzustellen sein. Sie darf nicht so groß sein, dass sie nicht mehr auf einen Schultisch passt. Gleichermaßen sollte sie nicht zu klein für das effektive Experimentieren in Kleingruppen sein. Mehrere Schüler:innen sollten gleichzeitig in der Lage sein, die Phänomene im Innern der Kammer über einen längeren Zeitraum beobachten zu können. Ebenso sollte sie nicht abhängig von Starkstromquellen und zudem wartungsarm sein. Bei der Kammer sollte es sich also um eine kompakte kontinuierliche Diffusionsnebelkammer handeln, die nicht abhängig von Stromquellen ist. Eine solche Kammer lässt sich mit folgendem Aufbau realisieren:

Das Fundament bildet eine mit Styrodur ausgekleidete Holzbox. In dieser Box befindet sich Trockeneis - also gefrorenes Kohlenstoffdioxid (Temperatur:$-78,5°$C). Auf dem Trockeneis liegt eine eloxierte schwarze Aluminiumplatte. Auf dieser Platte liegt eine Gummidichtung, auf der wiederum ein kleines Aquarium mit der offenen Seite nach unten steht. An der oberen Innenseite des Aquariums ist ein Filz mithilfe von Magneten befestigt. Dieses Filz ist mit Isopropanol getränkt. Das Innere der Kammer wird von außen mit einer breiten weißen LED-Taschenlampe beleuchtet.
Die Kammer einschließlich der Holzbox ist 40cm lang, 30cm breit und hat eine Höhe

Abb. 10: Verwendete Nebelkammer. Eigene Aufnahme.

von etwa 30cm. Die Sichtfenster sind relativ groß (20x30cm an den langen und 20x20cm an den kurzen Seiten) und ermöglichen mehreren Personen gleichzeitig einen guten Einblick in die Kammer.

Grundlage für die Funktionsfähigkeit einer kontinuierlichen Nebelkammer ist ein in ihrem Innern dauerhaft aufrecht erhaltendes Temperaturgefälle (vgl. Abschnitt 3.3). Dieses Gefälle wird in der betrachteten Kammer dadurch erzeugt, dass die schwarze Aluminiumplatte an der Unterseite der Kammer durch das unter ihr liegende Trockeneis gekühlt wird, während die Oberseite nicht gekühlt oder gar durch eine Wärmflasche erhitzt wird.
Die zweite Grundlage für die Funktionsfähigkeit einer solchen Diffusionsnebelkammer ist das Vorhandensein eines Luft-Alkoholdampf-Gemisches (vgl. Abschnitt 3.3). Indem das Isopropanol aus dem getränkten Filz an der Oberseite der Kammer in die umgebende Kammerluft verdampft, bildet sich dieses Luft-Alkoholdampf-Gemisch, welches dann, wie in Abschnitt 3.3 erläutert, durch Diffusion entlang des Temperaturgefälles zunächst sättigt und dann an der Unterseite der Kammer lokal übersättigt.
Innerhalb des so erzeugten übersättigten Luft-Alkoholdampf-Gemisches kann ionisierende Strahlung nun gut sichtbare Spuren aus feinen Alkoholtröpfchen hinterlassen (vgl. Abschnitt 3.1). Diese Tröpfchenspuren werden nun von der Seite mit weißem Licht aus einer LED-Taschenlampe beschienen. Das Licht streut an den Tröpfchen, weshalb das betrachtende Auge die Spuren als weiß wahrnimmt. Am besten sichtbar sind die Spuren, wenn man sie von einer Seite mit dem Licht bestrahlt und von der anderen

Seite betrachtet. Das ist der Fall, da der Anteil des vorwärts gestreuten Lichts größer als der des rückwärts gestreuten ist. Die Bodenplatte der Kammer ist schwarz lackiert, damit ein möglichst großer Kontrast zwischen den Tröpfchenspuren und dem Boden entsteht. So wird die Sichtbarkeit der Spuren verbessert.
Die Gummidichtung zwischen der Bodenplatte und dem Aquarium verhindert einerseits ein ungewolltes Austreten des Gemisches, andererseits schützt sie vor eindringender Außenluft, die im Innern der Kammer für Verwirbelungen oder Veränderungen des Sättigungsgrades des Gemisches sorgen könnte. Die Holzbox mit ihrer wärmedämmenden Styroduraukleidung sorgt dafür, dass das in ihr gelagerte Trockeneis sich nicht zu schnell verflüchtigt.

4 Didaktische Grundlagen

In diesem Kapitel werden zunächst die von der Kultusministerkonferenz vorgegebenen Bildungsstandards für den Physikunterricht thematisiert. Danach wird aus einer didaktischen Perspektive auf Experimente und Schülervorstellungen eingegangen. Abschließend werden verschiedene Unterrichtskonzeptionen vorgestellt und die mögliche Gliederung einer Physikstunde dargelegt.

4.1 Bildungsstandards für den Physikunterricht

Im Rahmen der Kultusministerkonferenz der Bundesländer im Jahre 2004 wurden bundesweit geltende Bildungsstandards für das Schulfach Physik für den mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10) festgelegt [Kir20, S.97]. Diese sollen bundesweit einen qualitativ hochwertigen Physikunterricht sicherstellen und vergleichbare Bildungsleistungen in den verschiedenen Bundesländern gewährleisten [Kir20, S.98].
Laut der Kultusministerkonferenz sind Naturwissenschaften und Technik stark prägend und gar identitätsstiftend für unsere Gesellschaft [Kul04, S.6]. Naturwissenschaftliche Forschungsergebnisse erwirken Fortschritte und Entwicklungen in fast allen Lebensbereichen. Andererseits könnten sie auch Risiken und negative Entwicklungen mit sich bringen [Kul04, S.6]. Die Kultusministerkonferenz sieht das Wissen aus naturwissenschaftlichen Fächern wie der Physik als notwendige Bedingung, um mit den geschilderten gesellschaftlichen Umständen souverän umgehen zu können und begründet damit das Lehren naturwissenschaftlicher Fächer (inklusive der Physik) an den Schulen [Kul04, S.6].

Die Bildungsstandards des Fachs Physik sind in für die Schüler:innen zu erlernenden Kompetenzen festgelegt, die sich vier Kompetenzbereichen zuteilen lassen. Die Konferenz beruft sich dabei auf den Kompetenzbegriff nach Weinert.

Demnach sind Kompetenzen *"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" [Wei01, S.27].

Besitzt eine Person also eine bestimmte Kompetenz, so hat sie sowohl das Können, als auch die nötige Motivation bzw. das "Wollen", um ein Problem richtig zu lösen.
Die vier von der Konferenz festgelegten Kompetenzbereiche sind die Bereiche des *Fachwissens*, der *Erkenntnisgewinnung*, der *Kommunikation* und des *Bewertens* [Kul04, S.7]. Dabei kann man die Kompetenzen aus dem ersten Bereich als inhaltsbezogen und die aus den drei weiteren Bereichen als prozessbezogen bezeichnen.
Der Kompetenzbereich des *Fachwissens* umfasst sowohl die Kenntnis über "*physikalische Phänomene, Begriffe, Fakten und Gesetzmäßigkeiten"* [Kul04, S.7], sowie die Fähigkeit, diese Dinge den bestehenden physikalischen Basiskonzepten der *Materie*, der *Wechselwirkung*, des *Systems* und der *Energie* zuzuordnen [Kul04, S.7ff]. Das Vorhandensein von Fachwissen ist eine notwendige Grundlage, um physikalische Probleme gut lösen zu können [Kul04, S.8].
Der Bereich der *Erkenntnisgewinnung* beinhaltet die Fähigkeit "*[e]xperimentelle und andere Untersuchungsmethoden sowie Modelle*" [Kul04, S.7] zur Erkenntnisgewinnung zu nutzen. Teil der Erkenntnisgewinnung ist es zudem, auf Basis von vorhandenem Fachwissen geeignete Fragestellungen zu entwickeln, die dann geprüft werden [Kul04, S.10].
Mit dem Bereich der *Kommunikation* ist die Fähigkeit "*Informationen sach- und fachbezogen zu erschließen und auszutauschen*" [Kul04, S.7] gemeint. Obligatorischer Teil der Kommunikationskompetenz ist ein souveräner Umgang mit physikalischen Fachbegriffen. Erst so kann Kommunikation in Form von Gesprächen, Präsentationen und anderen Methoden adäquat stattfinden [Kul04, S.10].
Der letzte Kompetenzbereich der *Bewertung* beinhaltet die Fähigkeiten "*physikalische Sachverhalte in verschiedenen Kontexten [zu] erkennen und [zu] bewerten*" [Kul04, S.7]. Die Konferenz betont, dass dabei klar und deutlich zwischen der gesellschaftlichen, politischen und der physikalischen Bewertungsebene unterschieden werden sollte [Kul04, S.10].

Diese vier Kompetenzbereiche, die erst einmal etwas abstrakt erscheinen, werden in den Kerncurricula der einzelnen Bundesländer konkretisiert und mit ausformulierten

Doppeljahrgang 9/10: Atom- und Kernphysik

Fachwissen	Erkenntnisgewinnung	Kommunikation	Bewertung
Die Schülerinnen und Schüler …			
• beschreiben das Kern-Hülle-Modell des Atoms und erläutern den Begriff Isotop. • deuten die Stabilität von Kernen mithilfe der Kernkraft.	• deuten das Phänomen der Ionisation mithilfe dieses Modells.		
• beschreiben die ionisierende Wirkung von Kernstrahlung und deren stochastischen Charakter. • geben ihre Kenntnisse über natürliche und künstliche Strahlungsquellen wieder. • beschreiben den Aufbau und die Wirkungsweise eines Geiger-Müller-Zählrohrs.	• *beschreiben biologische Wirkung und ausgewählte medizinische Anwendungen.*		• *nutzen dieses Wissen, um eine mögliche Gefährdung durch Kernstrahlung zu begründen.*
• unterscheiden α-, β-, γ- Strahlung anhand ihres Durchdringungsvermögens und beschreiben ihre Entstehung modellhaft. • erläutern Strahlenschutzmaßnahmen mithilfe dieser Kenntnisse.	• beschreiben die Ähnlichkeit von UV-, Röntgen-, γ -Strahlung und sichtbarem Licht und die Unterschiede hinsichtlich ihrer biologischen Wirkung.		• *nutzen ihr Wissen zur Beurteilung von Strahlenschutzmaßnahmen.*
• unterscheiden Energiedosis und Äquivalentdosis. • geben die Einheit der Äquivalentdosis an.			• zeigen am Beispiel des Bewertungsfaktors die Grenzen physikalischer Sichtweisen auf.
• beschreiben den radioaktiven Zerfall eines Stoffes unter Verwendung des Begriffes Halbwertszeit.	• stellen die Abklingkurve grafisch dar.		• *nutzen ihr Wissen, um zur Frage des radioaktiven Abfalls Stellung zu nehmen*
• beschreiben die Kernspaltung und die Kettenreaktion.		• recherchieren in geeigneten Quellen und präsentieren ihr Ergebnis adressatengerecht.	• benennen die Auswirkungen der Entdeckung der Kernspaltung im gesellschaftlichen Zusammenhang und zeigen dabei die Grenzen physikalisch begründeter Entscheidungen auf.

Tab. 1: Vorgegebene Kompetenzen aus dem niedersächsischen Kerncurriculum für den Themenbereich Atom- und Kernphysik im Doppeljahrgang 9/10 [Kul21, S.41]

Einzelkompetenzen gefüllt. Für diese Arbeit ist der Abschnitt "*Atom- und Kernphysik*" [Kul21, S.41] aus dem niedersächsischen Kerncurriculum der Naturwissenschaften für die Sek. I relevant. Dort werden alle Teilkompetenzen, die in diesem Themenbereich von den Schüler:innen erlernt werden sollen, aufgeführt und dabei bereits in die vier Kompetenzbereiche des *Fachwissens*, der *Erkenntnisgewinnung*, der *Kommunikation* und des *Bewertens* unterteilt.

4.2 Experiment

Das Experiment ist wichtiger Bestandteil des Physikunterrichts. Gleichzeitig ist es Grundlage für die naturwissenschaftliche Arbeitsweise. Kirchner beschreibt das Experiment wie folgt:

"*Das Experiment in der physikalischen Forschung ist ein wiederholbares, objektives, d.h. vom Durchführenden unabhängiges Verfahren zur Erkenntnisgewinnung. Unter festgelegten und kontrollierbaren Rahmenbedingungen werden Beobachtungen und Messungen*

an physikalischen Prozessen und Objekten durchgeführt; Variablen werden systematisch verändert und Daten gesammelt (objektivierbare Gegenstandsbetrachtung).” [Kir20, S.264f]

Kirchner geht zudem darauf ein, dass Experimenten im naturwissenschaftlichen Kontext oft eine lange Planungs- und Optimierungsphase vorausgeht sowie eine lange Analyse- und Interpretationsphase folgt. Die Arbeitsschritte in diesen Phasen können sehr mühsam und mit vielen Rückschlägen verbunden sein [Kir20, S.264f]. Im Schulkontext treten diese mühsameren Aspekte des naturwissenschaftlichen Arbeitens eher in den Hintergrund. Die Auseinandersetzung mit Inhalten, die dem Experiment zugrunde liegen, und mit den Folgerungen, die aus ihm geschlossen werden, sind aber auch in der Schule enorm wichtig [Kir20, S.265].

Experimente können im Physikunterricht verschiedene Funktionen einnehmen. Zunächst einmal kann ein Experiment als ein eigenständiger Lerninhalt eingesetzt werden. In dieser Form kann es auf ungezwungene Art und Weise drei verschiedene Verständnisebenen in sich vereinen. Es kann auf phänomenologischer Ebene verdeutlichen, was während eines physikalischen Prozesses vor sich geht. Gleichzeitig kann es Gesetzmäßigkeiten aufzeigen und dazu dienen, Zusammenhänge quantitativ zu erfassen. Zuletzt kann ein Experiment im Unterricht dazu dienen, erlernte Theorien zu überprüfen und ggf. zu verifizieren [Kir20, S.265].
Zudem ist das Experiment ein Lerninhalt, an dem wichtige Kompetenzen des naturwissenschaftlichen Arbeitens erworben werden können. Schüler:innen werden mit der naturwissenschaftlichen Arbeitsweise vertraut gemacht und vollziehen nach, wie wissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen werden [Kir20, S.266].
Das Experiment kann aber auch primär als Medium genutzt werden. In dieser Form kann es z.B. physikalische Phänomene veranschaulichen und so den Erwerb physikalischer Vorstellungen fördern [Kir20, S.265]. Das Experiment ist in diesem Fall also ein Mittel, welches den Zweck der Informationsvermittlung erfüllt [Kir20, S.266].

Diese vielseitige Einsetzbarkeit des Experiments spiegelt sich auch in der Vielfalt der von Kirchner et al. formulierten didaktischen Zielsetzungen wieder, die unter Einbezug von Experimenten erreicht werden können. Diese Zielsetzungen unterscheiden sich

teilweise maßgeblich in ihrem Charakter und reichen von Zielen wie "*Meilensteine unserer Kulturgeschichte aufzeigen*" [Kir20, S.270], über "*Physikalische Arbeitsweisen einüben*" [Kir20, S.269], bis zu "*Ein Phänomen klar und überzeugend darstellen*" [Kir20, S.266]. Im späteren Verlauf dieser Arbeit wird ein Unterrichtskonzept entworfen, das ein Schülerexperiment beinhaltet. Daher wird im Folgenden noch einmal etwas hervorgehoben auf Funktionen und Zielsetzungen von Schülerexperimenten eingegangen.

4.2.1 Schülerexperimente

Experimente im Physikunterricht können von Schüler:innen als sogenanntes Schülerexperiment durchgeführt werden. Die Lernenden sind also anders als bei einem Frontalexperiment, das von der Lehrkraft durchgeführt wird, aktiv involviert. Aus dieser Situation heraus ergeben sich besondere Gewichtungen im Bezug auf die didaktischen Zielsetzungen [Kir20, S.280f].
Neben dem rein fachlichen Erkenntnisgewinn ergeben sich so Ziele, die sich eher auf die praktische Umsetzung des Experiments beziehen. Dazu gehören sowohl soziale Ziele, wie die Verbesserung der Kooperations- und Kommunikationsfähigkeit in Gruppenarbeiten, als auch motivationale Ziele, wie das Wecken situativen Interesses während des Experimentierens [Kir20, S.281].
Besonders hervorzuheben ist die vorteilhafte Eigenschaft des Schülerexperiments, die prozessbezogenen Kompetenzen, darunter die experimentellen Teilkompetenzen (Abbildung 11), der Schüler:innen zu fördern [Kir20, S.280]. Der Erwerb dieser Kompetenzen ist ein durch das Niedersächsische Kerncurriculum deutlich hervorgehobenes Ziel.

"*Fachwissen wird in der Regel durch wiederholte Auseinandersetzung mit konkreten Beispielen erworben und erst dann in fachlogische Strukturen eingeordnet. Zum Erwerb insbesondere der prozessbezogenen Kompetenzen werden Unterrichtsformen mit vielfältigen Methodenelementen situationsangepasst eingesetzt. Dabei sind Gruppen- und Projektarbeiten, insbesondere geeignete Schülerexperimente, unverzichtbar, um eigentätiges Erkunden, Problemlösen, Dokumentieren und Präsentieren zu fördern. Der Grad der Offenheit der Arbeitsaufträge wird dem Lernstand der Lerngruppe angepasst: in*

bekanntem Zusammenhang eher offen, in komplexen Zusammenhängen eher strukturiert." [Kul21, S.8]

Schülerexperimente sind also ein wichtiger und vom Kultusministerium gewollter Teil des Physikunterrichts und fallen besonders durch ihre Förderung der prozessbezogenen experimentellen Teilkompetenzen auf. Es macht also durchaus Sinn, Schülerexperimente mithilfe des Facettenmodells nach den von ihnen geforderten und geförderten Teilkompetenzen zu charakterisieren (Abb. 11) [Mai12, S.6]. Die einzelnen Gewichtungsfaktoren des Modells sind dabei in vereinfachter Form aus der naturwissenschaftlichen Arbeitsweise abgeleitet. Indem Lehrkräfte die von ihnen genutzten Schülerexperimente mithilfe des Modells charakterisieren, können sie im Verlauf eines Halbjahrs gut abschätzen, welche Kompetenzen gefördert wurden. Dabei liegt es in der Natur der Sache, dass verschiedene Experimente verschiedene Komptenzen verschieden stark fördern.

Abb. 11: Facettenmodell Experimenteller Teilkompetenzen [Mai12, S.6]

4.3 Schülervorstellungen

Schüler:innen betreten den Physikunterricht nicht als unbeschriebenes Blatt. Sie haben bereits ein Leben gelebt, in dem sie sich Gedanken über die Vorgänge in ihrer Umwelt gemacht haben. In der Regel haben sie bereits eigene Vorstellungen und Konzepte entwickelt, um beobachtbare Phänomene zu erklären. Aufgrund dieser Umstände liegt zu vielen Themen und Konzeptionen, die im Physikunterricht erarbeitet werden sollen, bereits ein Vorverständnis der Schüler:innen vor. Die Kenntnis der Lehrenden über diese Vorverständnisse ist eine wichtige Grundlage, um neue physikalische Konzepte effektiv zu vermitteln [Sch18, S.V].
Lernen ist ein aktiver Prozess, bei dem neue Konzeptionen zunächst im Rahmen des bestehenden Vorverständnisses interpretiert und geprüft werden und daraufhin neue Verständnisse und Vorstellungen entwickelt werden [Sch18, S.3]. Dabei können die bereits vorliegenden Vorstellungen gängigen Theorien der Physik völlig widersprechen oder auch nur leicht von ihnen abweichen [Sch18, S.V]. Um eine gute Unterrichtsplanung zu gewährleisten, ist es wichtig, sich mit bestehenden Schülervorstellungen vertraut zu machen und diese bei der Planung zu berücksichtigen [Sch18, S.4].

4.3.1 Schülervorstellungen Radioaktivität und ionisierende Strahlung

Besonders an diesem Themenbereich ist, dass die Schüler:innen im Regelfall noch keine bewussten eigenen Erfahrungen mit Radioaktivität und ionisierender Strahlung gemacht haben, bevor sie das Thema im Physikunterricht behandeln. Dies könnte vor allem daran liegen, dass die menschlichen Sinnesorgane nicht in der Lage sind, ionisierende Strahlung erfahrbar zu machen [Sch18, S.231]. Dadurch unterscheidet sich dieses Thema stark von anderen Bereichen, wie der Mechanik oder Optik.
Die ersten Berührungspunkte der Schüler:innen mit Radioaktivität und ionsierender Strahlung finden sich meist in anderen Schulfächern, wie z.B. Politik oder Werte und Normen, sowie in Medienbeiträgen [Sch18, S.231]. In vielen Fällen geht also die Auseinandersetzung der Schüler:innen mit dem gesellschaftlichen Diskurs über Radioaktivität, welcher oft von bedrohlichen Themen wie Reaktorunfällen oder gar Atomwaffen dominiert ist, der Behandlung des Themas im Physikunterricht voraus.

Es verwundert also kaum, dass viele Schüler:innen Radioaktivität und ionisierende Strahlung als etwas grundsätzlich Gefährliches verstehen, das meist aus zivilisatorischen Quellen stammt. Als Quelle der uns betreffenden Strahlung werden Dinge wie Reaktoren, medizinische Anwendungen oder Industriekomplexe genannt [Sch18, S.231]. Der Fakt, dass sie permanent gegenüber natürlicher ionisierender Strahlung exponiert sind, sei es in Form von kosmischer oder terrestrischer Strahlung, ist bei vielen Schüler:innen nicht präsent [Sch18, S.231].
Die eher ausbaufähige Kompetenz der Schüler:innen, die Bedrohung durch ionisierende Strahlung richtig einzuschätzen, spiegelt sich auch in Erfahrungen aus den Erprobungen der Nebelkammern wieder. Dort äußerten mehrere Schüler:innen einer Lerngruppe, dass ihnen die Augen schmerzten. Als Ursache dafür vermuteten sie die beobachtete ionisierende Strahlung in der Kammer, die mit ihren Augen wechselwirken könnte. Die beobachtbare Strahlung in der Kammer war teils natürlichen Urspurngs, zum Teil stammte sie aus einer kleinen Menge (ca. 40ml) mit Rn-220 angereicherter Luft, die in die Kammer eingespritzt wurde. Rn-220 ist Teil der natürlichen Thorium-Zerfallsreihe. Es ist ebenfalls in normaler Raumluft zu finden.
Abgesehen davon, dass die Glasscheibe die β- und α-Anteile der Strahlung in der Kammer abschirmte, beobachteten die Schüler:innen also neben der natürlichen Strahlung eigentlich nur Strahlung aus Zerfällen, die so auch außerhalb der Kammer in der Raumluft um sie herum stattfanden. Dessen waren sie sich offensichtlich nicht bewusst.

Neben dem Unbewusstsein für die natürliche Strahlenexposition und der fehlerhaften Gefahreneinschätzung im Bezug auf radioaktive Strahlungsquellen gibt es noch eine weitere Schülervorstellung in diesem Themenbereich, die sich hartnäckig hält. Wenn Schüler:innen in diesem Themenbereich von Strahlung sprechen, meinen viele von ihnen eigentlich den Transport radioaktiven Materials [Wil09, S.30]. Daher ist es nicht verwunderlich, dass Schüler:innen die Bestrahlung eines Objekts durch ionisierende Strahlung aus einer radioaktiven Quelle mit der radioaktiven Kontamination des bestrahlten Objekts gleichsetzen [Prü18, S.30]. Die Absorption von Strahlung wird also als ein Ansammeln radioaktiven Materials empfunden, das absorbierende Objekt wird mit voranschreitender Bestrahlungsdauer stärker kontaminiert [Prü18, S.30]. Diese

Vorstellungen spiegeln sich in der beobachtbaren Verhaltensweise wieder, dass manche Schüler:innen z.B. das Blatt Papier, das zum Abschirmen eines α-Strahlers genutzt wurde, nicht mehr anfassen wollen [Sch18, S.232].
Diese Fehlvorstellungen sind zu nicht unerheblichen Anteilen darauf zurückzuführen, dass im alltäglichen Sprachgebrauch fälschlicher Weise die Formulierung "radioaktive Strahlung" verwendet wird, wenn eigentlich ionisierende Strahlung aus radioaktiven Quellen gemeint ist. Diese Bezeichnung legt die unkorrekte Vorstellung nahe, dass die Strahlung selbst radioaktiv ist. Besonders problematisch ist der Umstand, dass die irreführende Bezeichnung "radioaktive Strahlung" nicht nur in Medienbeiträgen, sondern teilweise auch in Schulbüchern und damit auch im Unterricht verwendet wird [Sch18, S.232].

Um den genannten Fehlvorstellungen entgegenzuwirken, sollte im Unterricht klar zwischen dem Oberbegriff der "ioniserenden Strahlung" und dem Spezialfall der "ionisierden Strahlung aus radioaktiven Quellen" unterschieden werden [Sch18, S.232]. Der Begriff "Radioaktivität" sollte adäquat als Eigenschaft eines Materials bzw. der darin enthaltenen Isotopen eingeführt werden. Der Begriff "radioaktive Strahlung" sollte von der Lehrkraft nicht verwendet werden bzw. innerhalb des Unterrichts richtig gestellt werden.

Guter Physikunterricht sollte auf vorliegende Schülervorstellungen reagieren und dabei helfen, Fehlvorstellungen abzubauen [Kir20, S.662]. Wie bereits in der Einleitung erwähnt (vgl. Abschnitt 1), werden in dieser Arbeit zwei Unterrichtskonzepte entwickelt, die als Basis für einen empirischen Vergleich dienen sollen. Dabei erscheint ein Vergleich, der Schülervorstellungen und deren Abbau miteinbezieht, sinnvoll. Es wäre sehr aufschlussreich, zu erfahren, in welchem Maße die Nebelkammer als Schülerexperiment oder als theoretischer Lerninhalt dazu beitragen kann, fehlerhafte Schülervorstellungen abzubauen.

4.4 Unterrichtskonzepte des Physikunterrichts

Im Folgenden werden wichtige Unterrichtskonzeptionen des Physikunterrichts nach Kirchner et al. knapp vorgestellt.

4.4.1 Exemplarischer Physikunterricht

Der exemplarische Physikunterricht hat nicht den Anspruch die Physik und all ihre Phänomene möglichst ganzheitlich und umfassend zu vermitteln. Vielmehr ist es die Idee des exemplarischen Unterrichts einen Fokus auf einzelne Lehrbeispiele aus der Physik zu richten, die dann besonders intensiv behandelt werden. Die didaktische Leistung ist es hierbei, die Lehrbeispiele so auszuwählen, dass an diesen allgemeine Grundzüge und Gesetzmäßigkeiten der Physik besonders gut erarbeitet werden können [Kir20, S.222]. Mit anderen Worten - die Lehrkraft sollte ein Lehrbeispiel aussuchen, in dem möglichst viel Physik steckt.
Gelingt die richtige Auswahl, so lässt sich die intensive Auseinandersetzung mit einem spezifischen Lerninhalt mit dem Erarbeiten allgemeiner physikalischer Gesetzte verbinden [Kir20, S.222ff]. Krichner et al. weisen darauf hin, dass es notwendig ist, im weiteren Verlauf des Unterrichts Verbindungen zwischen den einzelnen Lehrbeispielen herzustellen, um einen möglichst großen Lernerfolg zu generieren [Kir20, S.223f]

4.4.2 Individual-Genetischer Unterricht

Beim individual-genetischen Physikunterricht handelt es sich um einen schülerzentrierten Unterricht. Er berücksichtigt die Vorerfahrungen und das Vorwissen der Schüler:innen sowie deren entwicklungspsychologische Möglichkeiten zur Weiterentwicklung ihrer Fähigkeiten [Kir20, S.224].
Schülervorstellungen werden in dieser Unterrichtsform ernst genommen und im Unterrichtsverlauf nicht einfach ausgetauscht, sondern vielmehr weiterentwickelt und verbessert. Die fachlichen Erkenntnisse sollen also möglichst "natürlich" also "genetisch" aus den Ausgangsvoraussetzungen der Schüler:innen entwickelt werden [Kir20, S.224f]. Die Lehrkraft wechselt dementsprechend aus der klassischen Rolle als Instruktor in die eines Moderators, der den Entwicklungs- und Lernprozess begleitet, aber nicht strikt vorgibt [Kir20, S.225].

4.4.3 Forschend-entdeckender Unterricht

Der forschend-entdeckende Unterricht ermöglicht es Schüler:innen, für sie subjektiv neue Lerngegenstände wie z.B. ein physikalisches Phänomen verhältnismäßig eigenständig zu "entdecken" und zu "erforschen". In der Physikdidaktik wird eher von entdeckendem Unterricht gesprochen, wenn die Lehrkraft eine leicht lenkende Rolle durch das Geben von Ratschlägen oder Anweisungen einnimmt [Kir20, S.225]. Sind die Schüler:innen mit der Erarbeitung des neuen Phänomens eher auf sich allein gestellt, so spricht man von forschendem Unterricht [Kir20, S.225]. Dabei ist es jedoch wichtig, dass eine vorher eingeübte naturwissenschaftliche Arbeitsweise eingehalten wird [Kir20, S.226].
Erfahrungsgemäß ist der forschend-entdeckende Unterricht erst dann effektiv, wenn die Lehrkraft ein Mindestmaß an Lenkung und Unterstützung gewährleistet [Kir20, S.226]. In einer vorangegangenen Arbeit untersuchte Konstantin Schremmer den Einfluss von Lenkung im Physikunterricht und stellte fest, dass Schüler:innen sich in sehr offenen Unterrichtssituationen etwas "unwohler" fühlten. Er legte zudem nahe, dass eine inhaltliche Lernzielerreichung durch eine sehr offene Unterrichtsform erschwert werden könnte [Sch22, S.59f]. Gleichzeitig verzeichnete er aber auch, dass sich einige Schüler:innen, darunter besonders Mädchen, in einer stark gelenkten Unterrichtsform merklich eingeschränkt fühlten [Sch22, S.59]. Es erscheint also sinnvoll, unterstützende Maßnahmen zu ergreifen, aber gleichzeitig die Eigenständigkeit der Schüler:innen nicht zu stark zu beschneiden. Die Lehrkraft kann beispielsweise die Komplexität des Lerngegenstandes verringern, Rückmeldung zum Vorgehen der Schüler:innen anbieten und bei stockendem Vorankommen Hinweise zum nächsten Arbeitsschritt geben [Kir20, S.226f].
Zudem kann die Lehrkraft anspruchsvolle Aufgabenteile übernehmen und bei überforderten Schüler:innen die Arbeitsweise vorgeben [Kir20, S.227].
Im forschend-entdeckenden Unterricht ergibt sich automatisch der Prozess des entdeckenden Lernens. Die Schüler:innen arbeiten und lernen an etwas für sie subjektiv Neuem. Das entdeckende Lernen hat verschiedene Vorteile. Schüler:innen, die so lernten, wiesen eine gesteigerte Motivation sowie ein größeres Selbstvertrauen im Umgang mit dem Lerngegenstand auf [Kir20, S.227]. Gelernte Inhalte werden besser abgespeichert und nützliche Problemlösestrategien werden ungezwungen angewandt und erlernt [Kir20, S.227].

4.4.4 Darbietender Unterricht

Beim darbietenden Unterricht handelt es sich um lehrerorientierten Unterricht. Im klassischen Frontallunterricht vermittelt die Lehrkraft wichtige neue Konzepte und knüpft dabei an das Vorwissen der Schüler:innen an [Kir20, S.229f]. Vorteil dieser Unterrichtsform ist es, dass vergleichsweise zeitsparend gearbeitet werden kann. Die Lehrkraft untersucht den Lerngegenstand im Vorhinein und vermittelt dann die relevanten Punkte "*in kleinen, [...] verständlichen Sinneinheiten*" [Kir20, S.229]. Definitionen von Fachbegriffen können in dieser Unterrichtsform sehr präzise eingeführt werden.
Die Lehrkraft ist im darbietenden Unterricht sehr gefordert. Sie muss für ein angemessenes Klima in der Klasse sorgen und gleichzeitig Lerninhalte fachlich richtig darstellen und vermitteln können [Kir20, S.229]. Auf den Physikunterricht bezogen bedeutet das auch, dass die Lehrkraft in der Lages sein muss, anspruchsvolle Frontalexperimente in einer geeigneten Darstellungsform souverän durchführen zu können [Kir20, S.229].

4.4.5 Problembasiertes Lernen

Problembasiertes Lernen wird durch sogenannten problemlösenden Unterricht ermöglicht. Er schafft durch seine Aufmachung die Möglichkeit für Schüler:innen, ihre Problemlösestrategien und Fähigkeiten einzusetzen, um von einem problematisierten Ausgangspunkt an einen gewünschten Zielpunkt zu kommen [Kir20, S.230].
Der problemlösende Unterricht gliedert sich typischer Weise in fünf didaktische Schritte. Den ersten Schritt bildet die Problemgenerierung. Die Lernenden erkennen entweder eigenständig ein Problem oder die Lehrkraft formuliert einen zu erreichenden Zielpunkt, der sich von dem Ausgangspunkt - auch Ist-Zustand genannt - der Lernenden unterscheidet [Kir20, S.230].
Darauf folgt der Schritt der Problemformulierung. Das bestehende Problem wird mit all den in ihm enthaltenden Hindernissen möglichst gut charakterisiert. Die Problemformulierung bildet die Basis für die später entwickelten Lösungsansätze, daher ist eine möglichst exakte Formulierung des Problems entscheidend [Kir20, S.230]. Im dritten Schritt werden die Lösungsvorschläge der Schüler:innen gesammelt [Kir20, S.230].
Im darauf folgenden Schritt, dem Test- und Selektionsschritt, werden die gesammelten

Lösungswege angewandt und ihre Wirksamkeit geprüft. Dabei ist es durchaus möglich, dass keiner der in Schritt drei ersonnenen Lösungsansätze Wirksamkeit zeigt. Es kann durchaus vorkommen, dass also vollkommen neue Lösungsvorschläge entwickelt werden müssen. Sind Lösungswege erfolgreich, so wird dies dokumentiert [Kir20, S.231].
In dem letzten Schritt steht der Transfer im Mittelpunkt. Die erfolgreichen Lösungswege werden zunächst nach ihren für die Lösung entscheidenden Eigenschaften charakterisiert. Ziel ist es nun, diese Charakterisierung zu verallgemeinern und auf andere Beispielprobleme zu übertragen. Die Schüler:innen bekommen so die Möglichkeit, generelle Strategien beim Finden von Lösungswegen zu entdecken [Kir20, S.231].
Beim problemlösenden Unterricht ist es völlig normal, dass die Lehrkaft durch Hilfen dafür sorgt, dass der Problemlösungsprozess nicht allzu sehr ins Stocken kommt. Der Unterricht ist durchaus als gelenkt zu bezeichnen [Kir20, S.231f].

4.5 Gliederung einer Unterrichtsstunde im Physikunterricht

Das Grundschema einer Unterrichtsstunde lässt sich grob in die Phasen der *Motivierung*, der *Erarbeitung* und der *Vertiefung* einteilen [Kir20, S.233].

Ziel der Phase der *Motivierung* ist es, das Interesse der Schüler:innen für ein bestimmtes Problem zu erwecken. In einem sogenannten *Einstieg* wird der Themenbereich bzw. das Problem durch die Lehrkraft dargestellt. Dabei ist darauf zu achten, dass die essentiellen Eigenschaften des Problems verständlich vermittelt werden. Schüler:innen sollten zudem genug Zeit haben, um das Problem nachvollziehen und passende Hypothesen bilden zu können [Kir20, S.233].
Um beim Erwecken des Interesses möglichst großen Erfolg zu verzeichnen, ist ein möglichst sinnvoller und motivierender Einstieg zu wählen. Ein Einstieg ist gerade dann motivierend, wenn er bei den Schüler:innen einen kognitiven Konflikt erzeugt [Kir20, S.234].
Ein kognitiver Konflikt entsteht dann, wenn das neu Wahrgenommene nicht mit den bisherigen Erfahrungen übereinstimmt bzw. nicht durch sie erklärbar ist. Das Wahrgenommene wirkt als Resultat überraschend und wird in der Folge genauer betrachtet [Kir20, S.234]. Ist der kognitive Konflikt jedoch zu massiv, so kann daraus Überforderung

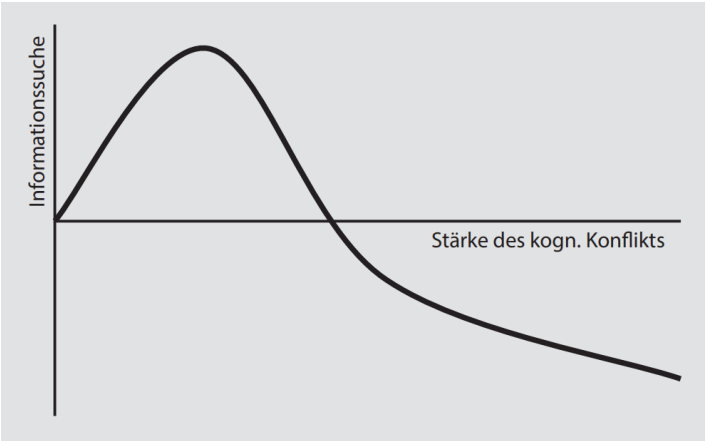


Abb. 12: Interesse/Informationssuche in Abhängigkeit der Stärke des kognitiven Konflikts [Kir20, S.235]

und ablehnendes Verhalten folgen (Abb. 12). Es gilt also für die Lehrkraft, mithilfe ihres Einstiegs einen kognitiven Konflikt zu erzeugen, der so ausgeprägt ist, dass er zwar Interesse weckt, aber zugleich nicht überfordert [Kir20, S.234f].

In der Phase der *Erarbeitung* rückt die Lösung des zuvor vorgestellten Problems in den Vordergrund. Speziell der Physikunterricht zeichnet sich hier dadurch aus, dass in ihm während dieser Phase oftmals Experimente genutzt werden, um die zuvor formulierten Hypothesen der Schüler:innen zu prüfen [Kir20, S.238].
Während der Phase der *Erarbeitung* ist es wichtig, dass das Unterrichtstempo nicht zu schnell ist. Schüler:innen haben verschiedene Lernvoraussetzungen und Fähigkeiten. Daher kann es in dieser Phase schnell dazu kommen, dass leistungsstarke Schüler:innen das Problem/Experiment bereits gelöst haben, während schwächere noch lange nicht so weit sind. Die Lehrkraft darf nicht den Fehler begehen, bei den ersten Anzeichen der erfolgreichen Problemlösung durch leistungsstarke Schüler:innen, die Erarbeitungsphase als abgeschlossen anzusehen [Kir20, S.239]. Leistungsstarke Schüler:innen können beispielsweise durch weiterführende Lernangebote beschäftigt werden, während der Rest der Klasse am ursprünglichen Lerngegenstand weiterarbeitet [Wod07, S.14].

Die Phase der *Vertiefung* hat das Ziel, dass die neu gelernten Inhalte behalten und gefestigt werden. Gleichzeitig soll das Neue in Zusammenhang mit dem bereits Bekannten gebracht werden bzw. vernetzt werden. Ebenso soll das neu Gelernte aber auch auf neue Situationen angewandt, also transferiert werden [Kir20, S.240].

Es ist völlig normal, dass nicht alle dieser Aspekte am Ende jeder Stunde vollständig erfüllt werden können. Gerade der Transferteil kann in spätere Stunden verlegt werden oder in Form von Hausaufgaben erfolgen [Kir20, S.241].

5 Vorstellung der Unterrichtskonzepte

Die beiden folgenden Unterrichtskonzepte dienen beide als Einstieg in den Themenbereich der Radioaktivität in der Sek. I. Die Lerngruppen, die nach diesen Konzepten unterrichtet werden sollen, haben also keine oder kaum Vorkenntnisse zu dem Thema. Im ersten Konzept werden zehn Nebelkammern als Schülerexperimente eingesetzt, um den Schüler:innen die Phänomene der ionisierenden Strahlung, Radioaktivität sowie deren Spezifizierung in Form der α- und β- Strahlung näherzubringen.
Im zweiten Konzept werden die Nebelkammer und die Phänomene in ihrem Innern nicht als Schülerexperimente, sondern als theoretische Lerninhalte genutzt, um die relevanten Inhalte zu vermitteln.
Die beiden Konzepte überschneiden sich inhaltlich sehr stark, unterscheiden sich jedoch durch den entscheidenden Aspekt, dass im ersten zehn Nebelkammern in Form von Schülerexperimenten eingesetzt werden, während im zweiten ein theoretischer Ansatz verfolgt wird. So können die Konzepte als Basis für einen Vergleich dienen, der Aufschluss darüber geben soll, ob die Nebelkammer als Schülerexperiment bessere Lernergebnisse liefern kann, als ein konservativer theoretischer Ansatz.

5.1 Unterrichtskonzept I - mit Schülerexperiment

Das Unterrichtskonzept folgt am ehesten dem bereits vorgestellten Standardkonzept des "Entdeckenden Physikunterrichts" (vgl. Abschnitt 4.4.3). Die Schüler:innen untersuchen ein für sie vollkommen neues physikalisches Phänomen - nämlich das der ionisierenden Strahlung und der von ihr erzeugten Spuren in der Nebelkammer. Da jedoch bewusst Elemente der Lenkung genutzt werden, um fruchtbare Ideen bei den Schüler:innen zu provozieren, handelt es sich eben nicht um einen "forschenden Physikunterricht" (vgl. Abschnitt 4.4.3).

Im Folgenden wird das Konzept mithilfe der in Abschnitt 4.5 vorgestellten Gliederungsweise dargestellt. So können die wesentlichen Informationen relativ kompakt und zugleich strukturiert präsentiert werden.

Der zugehörige Langentwurf zum Konzept befindet sich im Anhang (vgl. Abschnitt 8.2).

5.1.1 Phase der Motivierung I

Der Einstieg der Stunde bezieht sich auf Ereignisse aus den 70er Jahren. In diesem Jahrzehnt wurden die ersten massentauglichen Personal Computer, also PCs auf den Markt gebracht. Die Bauteile waren mittlerweile klein genug, um kompakte Computer zu bauen. Die verringerte Größe und damit verbundene Sensibilität wichtiger Bauteile (besonders der RAMs und CCDs) schuf plötzlich die Möglichkeit, dass einzelne energiereiche α-Teilchen sogenannte "soft errors", also temporäre kleine Fehler, in diesen Bauteilen und damit im PC auslösen konnten [Woo78, S.1]. Die Intel Cooperation untersuchte die Problematik und stellte fest, dass schon kleinste Mengen natürlich vorkommender radioaktiver Uran- und Thorium-Isotope in den Verpackungsmaterialien dieser Bauteile "soft errors" begünstigten [Woo78, S.1]. Die Idee für dieses Einstiegsthema wurde durch ein Video des YouTubers "Veritasium", bürgerlich Derek Alexander Muller, angeregt [Mul].
Im Einstieg stellt die Lehrkraft die Problematik der "soft errors" in stark vereinfachter Form mithilfe des Smartboards dar, erklärt dabei aber noch nicht, dass diese durch ionisierende Strahlung oder genauer α-Strahlung ausgelöst werden. Stattdessen werden die unerklärlichen Fehler und Abstürze der PCs in den 70er Jahren mit leicht erhöhten Mengen Urans und Thoriums im Verpackungsmaterial relevanter Bauteile in Verbindung gebracht.
Der Einstieg soll durch die spürbare Informationslücke einen kognitiven Konflikt (vgl. Abschnitt 4.5) erzeugen, der die Schüler:innen motivieren soll, Vermutungen über den Zusammenhang von Thorium, Uran und den "unerklärlichen" Abstürzen der PCs anzustellen bzw. Hypothesen dazu zu formulieren. Die Lehrkraft fordert die Schüler:innen nun dazu auf, ihre Hypothesen im Plenum mitzuteilen. Dabei wird von der Lehrkraft bewusst keine Richtigstellung oder Wertung vorgenommen, um eigenständige Verstehensprozesse der Schüler:innen im späteren Verlauf der Stunde nicht vorwegzunehmen. Es besteht zudem die Möglichkeit, dass manche Schüler:innen das Element Uran vom

Namen her bereits kennen und beispielsweise aufgrund von Medienbeiträgen um dessen radioaktiven Eigenschaften wissen. So kann es durchaus passieren, dass entsprechend treffende Hypothesen formuliert werden.
Material: Folie 1-5/8.2.9

5.1.2 Phase der Erarbeitung I

Es ist vorneweg zu sagen, dass die Nebelkammer als Schülerexperiment in diesem Konzept eher als Medium zwecks der Phänomendarstellung und eher nicht als als eigener Lerninhalt anzusehen ist (vgl. Abschnitt 4.2). Es wird in diesem Konzept also bewusst nicht zu sehr auf die Funktionsweise der Nebelkammer eingegangen, stattdessen liegt der Fokus eher auf dem, was in der Kammer zu erkennen ist. Diese Entscheidung begründet sich hauptsächlich in der stark begrenzten Zeit, die zur Verfügung steht.
Den Schüler:innen stehen in der Erarbeitungsphase zehn Nebelkammern zur Verfügung, an denen sie in Kleingruppen, bestehend aus zwei bis drei Schüler:innen, arbeiten können. Da die Spuren und Nebeltröpfchen im Innern der Kammern ohne Lichteinstrahlung mit einer Taschenlampe nicht zu erkennen sind (vgl. Abschnitt 3.4), kann die Lehrkraft einfach durch einen Blick auf die Taschenlampen kontrollieren, ob die Schüler:innen gerade Phänomene in der Kammer beobachten oder etwas anderes tun. Beendet die Lehrkraft eine Phase, in der die Nebelkammern genutzt werden sollten, so fordert sie die Schüler:innen immer dazu auf, die Taschenlampen auszustellen. So ist eine Ablenkung durch die Phänomene im Innern der Nebelkammer ausgeschlossen.

Erarbeitung 1: Nach dem Einstieg erhalten die Schüler:innen den Auftrag die Spuren im Innern der Nebelkammer zunächst in Einzelarbeit zu beobachten, zu skizzieren und stichpunktartig zu beschreiben, um sich danach in ihrer Kleingruppe über ihre Ergebnisse auszutauschen (Zeitumfang: 10min). Eine leichte Form der Lenkung wird dabei vorgenommen, indem darauf hingewiesen wird, dass die Schüler:innen darauf achten sollen, ob sie verschiedene "Arten" von Spuren erkennen können. Die Schüler:innen können die für sie neuen Phänomene so vergleichsweise eigenständig entdecken und untersuchen.
Die Lehrkraft stellt die Verbindung zum Einstieg dadurch her, dass sie gut sichtbar

Luft aus einer Spritze, in der sich ein Glühstrumpf befindet, in die Kammern einsprüht. Dabei stellt sie klar, dass der Glühstrumpf Thorium enthält. Also dasselbe Element, das sich auch in den "abstürzenden" PCs befindet. Die Schüler:innen sollen durch diesen Hinweis die Möglichkeit bekommen, dass Beobachtete mit dem Einstieg zu verknüpfen.
Material: AB 1.1/Aufgabe 1/8.2.8 + Folie 6/ 8.2.9

Erarbeitung 2: Danach folgt, bewusst ohne Besprechung des Beobachteten, eine Texterarbeitungsphase. Die Schüler:innen erhalten den Arbeitsauftrag, in Einzelarbeit die Expertentexte "Ionisierende Strahlung" und "Radioaktivität" zu lesen und sich wichtige Informationen zu notieren (Zeitumfang: 10min). Die Konzepte sind für sie in der Form neu und es ist nicht der Anspruch, dass die Schüler:innen sie vollständig durchdringen. Stattdessen ist die Idee hinter den Texten, dass die Schüler:innen die geschilderten Inhalte automatisch mit dem Beobachteten und dem Einstieg in Verbindung bringen.
Material: AB 1.1/Aufgabe 2a)/8.2.8 + Folie 7/ 8.2.9

Sicherung 1: Die Lehrkraft leitet im Anschluss eine kurze Sicherungsphase an (Zeitumfang: 5min), indem sie die Schüler:innen bittet, die Inhalte der Texte wiederzugeben. Dabei stellt sie Fehler richtig, beantwortet Fragen und hebt die wesentlichen Informationen noch einmal hervor. Auch hier nimmt sie wieder eine Lenkung vor, indem sie die Schüler:innen fragt, worin sie den Ursprung der Spuren in der Nebelkammer vermuten. Im Plenumsgespräch wird dann die Verbindung zwischen den Spuren in der Nebelkammer und der ionisierenden Strahlung sowie deren radioaktivem Ursprung erarbeitet. In dieser Phase wird also das Lernziel LZ 1 angebahnt (vgl. Abschnitt 5.1.5).
Material: AB 1.1/Aufgabe 2a)/8.2.8 + Folie 8/ 8.2.9

Erarbeitung 3: Es folgt eine weitere Texterarbeitungsphase. Die Schüler:innen erhalten, analog zu dem vorherigen Vorgehen, den Arbeitsauftrag, in Einzelarbeit die Expertentexte "Alpha-Strahlung" und "Beta-Strahlung" zu lesen und sich wichtige Informationen zu notieren (Zeitumfang: 10min).
Material: AB 1.1+1.2/Aufgabe 2b)/8.2.8 + Folie 9/ 8.2.9

Sicherung 2: Die Lehrkraft kann nach dem Lesen wieder eine kurze Phase der Sicherung einleiten (Zeitumfang: 5min), sich die Inhalte wiedergeben lassen und die Schüler:innen dazu auffordern, Vermutungen darüber anzustellen, wie die erzeugten

Spuren von α-Teilchen und wie die von β-Teilchen in der Kammer aussehen könnten (Lenkung). Sie hat aber auch durchaus die Möglichkeit direkt nach Erarbeitung 3 in Erarbeitung 4 umzuleiten, um den Schüler:innen eine eigenständigere Herangehensweise zu ermöglichen.
Material: AB 1.1+1.2/Aufgabe 2b)/8.2.8 + Folie 9/ 8.2.9

Erarbeitung 4: In der folgenden Phase sollen die Schüler:innen die neu erarbeiteten Konzepte auf das Beobachtbare in der Nebelkammer anwenden. Sie erhalten den Auftrag, in ihren Kleingruppen Vermutungen darüber anzustellen, welche der beobachtbaren Spuren zur α-Strahlung und welche zur β-Strahlung gehören könnten (Zeitumfang: 5-10min). Diese Zuordnung sollen sie mithilfe der Informationen aus den Expertentexten begründen.
Es ist davon auszugehen, das nach Einsprühen der Luft aus der Spritze mit dem Glühstrumpf, ein Großteil der sichtbaren Spuren auf β- und α-Zerfälle aus der Thoriumzerfallsreihe zurückführbar sind. Die Anzahl der Myonen- und Protonenspuren (vgl. Abschnitt 2.3) und der durch γ-Teilchen erzeugten Spuren sollte im Vergleich gering sein. Diese Phase bahnt das Lernziel LZ 2 an (vgl. Abschnitt 5.1.5).
Material: AB 1.2/Aufgabe 3a)/8.2.8 + Folie 10/ 8.2.9

Sicherung 3: Die Lehrkraft leitet wieder eine Sicherungsphase ein (Zeitumfang: 5min), indem sie nacheinander Bilder von Spuren aus der Nebelkammer zeigt und die Schüler:innen dazu auffordert, diese Spuren einer der beiden bekannten Strahlungsarten begründet zuzuordnen. Die Lehrkraft erlaubt zu jedem Bild mehrere Wortbeiträge und klärt nicht direkt auf, welcher Strahlungsart die Spur zuzuordnen ist. Sie lässt die ganze Klasse gemeinsam durch Handheben abstimmen und klärt erst nach Durchlaufen aller Bilder durch Einblenden einer Folie am Smartboard darüber auf, welche Strahlungsart zu welchem Bild gehört. Die Lehrkraft kann sich zudem vorher zu jedem Bild notieren, wie die Abstimmung ausgefallen ist. Diese Methodik ermöglicht es den Schüler:innen ihre Vermutungen und Begründungen vergleichsweise eigenständig vorzutragen und gibt ihnen die Möglichkeit sich gegenseitig zu verbessern. Zudem kann die Lehrkraft sich während der Abstimmung ein Bild darüber machen, wie gut die Klasse die Strahlungsarten zuordnen kann bzw. ob das Lernziel LZ 2 (vgl. Abschnitt 5.1.5) erreicht wurde.

Material: AB 1.2/Aufgabe 3a)/8.2.8 + Folie 11-18/ 8.2.9

5.1.3 Phase der Vertiefung I

In dieser Phase sollen die Schüler:innen einen Transfer (vgl. Abschnitt 4.5) ihres neu erworbenen Wissens auf das Einstiegsproblem durchführen und danach Anwendungsaufgaben bearbeiten.

Transfer 1: Die Lehrkraft fordert die Schüler:innen dazu auf, unter Berücksichtigung der neu erworbenen Kenntnisse, Vermutungen darüber zu äußern, wie das Uran und Thorium mit dem Abstürzen der PCs zusammenhängen könnte. Die Schüler:innen sollen also die Verbindung herstellen, dass (bestimmte Isotope) des Thoriums (und Urans) radioaktiv sind und die von ihnen emittierte ionisierende Strahlung, deren Spuren sie ja zuvor in der Nebelkammer beobachtet haben, Störungen in den PCs hervorrufen kann. Die Lehrkraft kann hierbei unterstützen, indem sie die in der Stunde behandelten Konzepte noch einmal überblicksartig zusammenfasst.
Nachdem die Vermutungen geäußert wurden, veranschaulicht die Lehrkraft mithilfe einer Folie in vereinfachter Form, wie die ionisierende Strahlung, genauer die α-Strahlung, Fehler in den PCs verursachen kann. Es geht hierbei nicht darum, den physikalischen Prozess in all seinen Einzelheiten zu durchdringen, sondern vielmehr darum aufzuzeigen, dass die "unsichtbare" ionisierende Strahlung auf unsere makroskopische Lebenswelt Einfluss nehmen kann (Zeitumfang: 5min). Diese Phase bahnt das Lernziel LZ 3 an (vgl. Abschnitt 5.1.5).
Material: Folie 19-20/ 8.2.9

Transfer 2: Danach folgt eine Phase der Anwendungsaufgaben. Die Schüler:innen sollen die Gesamtzahl der Spuren, die Zahl der α-Spuren und die der β-Spuren innerhalb einer Minute zählen. Sie stellen also auf intuitive Art und Weise eine Art Rate für die Spuren im Innern der Kammer auf. In einer Zusatzaufgabe können sie zudem mithilfe der Rate der α-Spuren abschätzen, wie lange ein imaginärer PC im Durchschnitt bis zum Absturz laufen würde (Zeitumfang: 10min). Diese Phase bahnt das Lernziel LZ 4 an (vgl. Abschnitt 5.1.5).
Material: AB 1.2/Aufgabe 4/8.2.8 + Folie 21/ 8.2.9

Sicherung 4: Auch hier leitet die Lehrkraft wieder eine kurze Phase der Sicherung (Zeitumfang 5min) ein und lässt die Gruppen ihre Ergebnisse im Plenum vorstellen. Die Zahlenwerte können danach im Plenum diskutiert und gemeinsam auf Sinnhaftigkeit geprüft werden. Nach dieser Diskussion endet die Stunde.
Material: AB 1.2/Aufgabe 4/8.2.8 + Folie 21/ 8.2.9

5.1.4 Schülervorstellungen I

Das Einstiegsthema dieses Konzeptes hat den Vorteil den Themenbereich der Radioaktivität und ionisierenden Strahlung einzuleiten, ohne dabei die gefährlichen Aspekte bzw. Wirkungen dieser Phänomene zu stark zu betonen. Somit kann der weit verbreiteten Schülervorstellung, Radioaktivität und ionisierende Strahlung seien etwas grundsätzlich Gefährliches (vgl. Abschnitt 4.3), entgegengewirkt werden.
Zudem wird in diesem Konzept sehr darauf geachtet, die Begriffe der "Ionisierenden Strahlung" klar von dem der "Radioaktivität" zu trennen und nicht den falschen und irreführenden Begriff der "radioaktiven Strahlung" zu benutzen (vgl. Abschnitt 4.3). So soll das Erzeugen von Fehlvorstellungen verringert werden.

5.1.5 Kompetenzen und Lernziele I

Für dieses Unterrichtskonzept sind folgende Kompetenzen aus dem niedersächsischen Kerncurriculum relevant (vgl. Abschnitt 4.1).

"*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]

Auf Basis dieser Vorgaben lassen sich nun konkretisierte Teilkompetenzen, die in dem vorgestellten Unterrichtskonzept angebahnt werden sollen, formulieren. Natürlich

entsprechen die konkretisierten Teilkompetenzen nicht eins zu eins den Vorgaben, was unter anderem dem Umstand geschuldet ist, das Nebelkammern kein integraler Teil des niedersächsischen Kerncuricullums sind.

Die Schüler:innen...

... kennen die Begriffe „ionisierende Strahlung“ und „Radioaktivität“ und können die ihnen zugrundeliegenden Konzepte in vereinfachter Form wiedergeben (LZ 1).

... ordnen die jeweiligen Spuren in der Nebelkammer den Strahlungsarten der α- und β-Strahlung richtig zu und begründen ihre Zuordnung (LZ 2).

... erläutern anhand des Beispiels des abstürzenden PCs, dass ionisierende Strahlung uns in unserer Alltagswelt beeinflussen kann (LZ 3).

... stellen mithilfe der Nebelkammern prototypische Raten für die Spuren im Innern der Kammer auf und führen einfache Rechnungen mit diesen Raten durch (LZ 4).

Diese Kompetenzen bzw. Lernziele sollen also mit dem vorgestellten Unterrichtskonzept angebahnt werden. Zudem besteht die Möglichkeit, das Schülerexperiment Nebelkammer mithilfe des Facettenmodells (vgl. Abb. 11) nach den geforderten experimentellen Teilkompetenzen zu charakterisieren. Dabei fällt auf, dass die Kompetenzen "Experiment planen", "Versuch funktionsfähig aufbauen" und "Daten aufbereiten" kaum bis gar nicht gefragt sind. Stattdessen liegt ein Schwerpunkt auf den Teilkompetenzen "Vermuten/Hypothese bilden", "Beobachten/Messen/Dokumentieren" und "Schlüsse ziehen/Diskutieren". Dass das Konzept nicht alle Kompetenzbereiche abdecken kann, hängt vor allen Dingen damit zusammen, dass die Schüler:innen aufgrund von Sicherheits- und Zeitaspekten nicht an der Planung und dem Aufbau des Experiments beteiligt sind.

5.2 Unterrichtkonzept II - ohne Schülerexperiment

Auch dieses Unterrichtskonzept folgt zumindest in Teilen dem bereits vorgestellten Standardkonzept des "Entdeckenden Physikunterrichts" (vgl. Abschnitt 4.4.3). Die Schüler:innen untersuchen hier ebenfalls einen für sie subjektiv neuen Lerngegenstand.

Berücksichtigt man den Umstand, dass bewusst Lenkung durch die Lehrkraft eingesetzt wird, so kann man die Bezeichnung des "forschenden Physikunterrichts" (vgl. Abschnitt 4.4.3) ausschließen. Im Gegensatz zu dem bereits vorgestellten Konzept, wird in diesem die Nebelkammer nicht als Schülerexperiment eingesetzt. Sie ist jedoch wichtiger theoretischer Lerninhalt. Sie dient als Lernobjekt, an dem exemplarisch physikalische Inhalte gelernt und Kompetenzen erworben werden. Das Konzept folgt also auch in Teilen der Idee des "Exemplarischen Physikunterrichts" (vgl. Abschnitt 4.4.1).

Im Folgenden wird das Konzept mithilfe der in Abschnitt 4.5 vorgestellten Gliederungsweise dargestellt. So können die wesentlichen Informationen relativ kompakt und zugleich strukturiert präsentiert werden.
Der zugehörige Langentwurf zum Konzept befindet sich im Anhang (vgl. Abschnitt 8.3).

5.2.1 Phase der Motivierung II

Die Phase der Motivierung und der in ihr enthaltene Einstieg dieses Konzepts sind identisch mit denen des vorherigen Konzepts (vgl. Abschnitt 5.1.1).
Material: Folie 1-5/ 8.3.9

5.2.2 Phase der Erarbeitung II

Erarbeitung 1: Auf den Einstieg folgt nun eine Texterarbeitungsphase, in der die Schüler:innen in Einzelarbeit die beiden Expertentexte "Ionisierende Strahlung" und "Radioaktivität" auf AB 2.1 durchlesen sollen und sich Notizen zu diesen machen sollen (Zeitumfang: 10min). Die Konzepte sind für sie in der Form neu und es ist nicht der Anspruch, dass die Schüler:innen sie vollständig durchdringen. Stattdessen ist die Idee hinter den Texten, dass die Schüler:innen sie automatisch mit dem Einstieg in Verbindung bringen. Diese Texterarbeitungsphase gestaltet sich also weitestgehend analog zu der ersten Texterarbeitungsphase aus dem vorherigen Konzept. Auch hier bahnt sie das Lernziel LZ 1 an (vgl. Abschnitt 5.2.5).
Material: AB 2.1/Aufgabe 1a)/8.3.8 + Folie 6/ 8.3.9

Sicherung 1: Die Lehrkraft leitet danach eine Sicherungsphase ein, in der die Schüler:innen die Inhalte der Texte wiedergeben sollen (Zeitraum 5min). Sie korrigiert ggf. fehlerhafte Aussagen der Schüler:innen und leitet dann wiederum in die nächste Phase über, indem sie darauf verweist, dass die besprochene ionisierende Strahlung mit einer Nebelkammer sichtbar gemacht werden kann.
Material: AB 2.1/Aufgabe 1a)/8.3.8 + Folie 6/ 8.3.9

Erarbeitung 2: Es folgt eine Phase in der die Schüler:innen auf AB 2.2 Infoboxen mit Umschreibungen zu dazugehörigen Begriffen zuordnen sollen (Zeitumfang: 10min). Bei den Begriffen handelt es sich um die Bauteile der Nebelkammer, die in den Infoboxen sehr knapp umschrieben werden, ohne dass das jeweilige Bauteil direkt beim Namen genannt wird - es gibt jedoch in jeder Infobox einschlägige Wörter, die die Zuordnung erleichtern sollen. Die Schüler:innen können zudem Nutzen von einem Ausschlussverfahren machen, da manche Infoboxen deutlich leichter zuzuordnen sind als andere.
Jeder Infobox ist eine Nummer zugeordnet und jedem Begriff ein Buchstabe. Die Schüler:innen können ihre Zuordnung kontrollieren, indem sie die Buchstaben in der Reihenfolge der Nummern in ein Lösungsfeld eintragen, sodass sie das Lösungswort "Strahlung" ergeben.
Durch eine kurze Abfrage des Lösungswortes im direkten Gespräch mit den Gruppen kann die Lehrkraft schnell kontrollieren, wie erfolgreich die Zuordnung erfolgt ist. Diese Phase ist daran beteiligt, das Lernziel LZ 2 anzubahnen (vgl. Abschnitt 5.2.5).
Material: AB 2.2/Aufgabe 2a)+2b)/8.3.8 + Folie 7/ 8.3.9

Sicherung 2: Bei erkennbaren Schwierigkeiten kann die Lehrkraft hier optional schon eine Phase der Sicherung einleiten und die Zuordnung auf dem Smartboard gemeinsam mit den Schüler:innen durchführen (Zeitumfang: bis zu 5min).
Material: AB 2.2/Aufgabe 2a)+2b)/8.3.8 + Folie 8/ 8.3.9

Erarbeitung 3: Sie kann aber je nach Situation auch in den nächsten Arbeitsauftrag überleiten, laut dem die Schüler:innen eine schematische Darstellung der Nebelkammer auf AB 2.2 mit den zuvor erarbeiteten Begriffen beschriften sollen (Zeitumfang: 5min). Die Schüler:innen verknüpfen also die zuvor textlich erschlossenen Funktionen und Bauteile der Nebelkammer mit einer bildlichen Darstellung. Diese Phase ist also auch

daran beteiligt, dass Lernziel LZ 2 anzubahnen (vgl. Abschnitt 5.2.5).
Material: AB 2.2/Aufgabe 2c)/8.3.8 + Folie 9/ 8.3.9

Sicherung 3: Nach diesem Arbeitsauftrag sollte in jedem Fall eine kurze Phase der Sicherung erfolgen, in der Funktionsweise und der Aufbau der Nebelkammer gemeinsam anhand einer Folie am Smartboard nachvollzogen werden kann (Zeitumfang: 5min). Je nachdem, wie die Lerngruppe sich verhält, kann die Lehrkraft dabei lediglich eine moderierende Rolle einnehmen oder aber auch wichtige Aspekte selbst erläutern.
Material: AB 2.2/Aufgabe 2c)/8.3.8 + Folie 10/ 8.3.9

Erarbeitung 4: Die Lehrkraft leitet über, indem sie den Schüler:innen eröffnet, dass sie sich nun mit zwei Strahlungsarten, die man in eben jener Nebelkammer sichtbar machen kann, auseinandersetzen werden. Die Schüler:innen lesen daraufhin die Expertentexte "Alpha-Strahlung" und "Beta-Strahlung" auf dem AB 2.3 und machen sich Notizen (Zeitumfang: 10min).
Material: AB 2.3/Aufgabe 3a)/8.3.8 + Folie 11/ 8.3.9

Sicherung 4: Die Lehrkraft beendet die Erarbeitung 4 und fordert die Schüler:innen dazu auf, die Inhalte der Texte wiederzugeben. Dabei korrigiert sie Fehler und verdeutlicht richtige und wichtige Aspekte der Strahlungsarten. Je nach Einschätzung kann sie hier eine Lenkung vornehmen, indem sie fragt, wie wohl die von β-Strahlung und wie die von α-Strahlung erzeugten Spuren aussehen könnten.
Material: AB 2.3/Aufgabe 3a)/8.3.8 + Folie 11/ 8.3.9

Erarbeitung 5: Die Schüler:innen erhalten daraufhin den Auftrag, sich die Bilder auf AB 2.3 anzusehen. Die Bilder zeigen Spuren aus einer Nebelkammer, die durch $\alpha-$ oder $\beta-$ Strahlung erzeugt wurden. Die Schüler:innen sollen diese Bilder nun in Gruppenarbeit begründet der jeweilig passenden Strahlungsart zuordnen (Zeitumfang: 10min). Die Lehrkraft macht zudem transparent, dass in die Nebelkammer Luft aus einer Spritze, die einen thoriumhaltigen Glühstrumpf enthält, injiziert wurde. Diese Phase bahnt das LZ 3 an (vgl. Abschnitt 5.2.5).
Material: AB 2.3/Aufgabe 4a)/8.3.8 + Folie 12/ 8.3.9

Sicherung 5: Mithilfe des Smartboards zeigt die Lehrkraft nacheinander die gleichen Bilder wie auf dem AB 2.3 und bittet die Schüler:innen, ihre Vermutungen über die

zugehörige Strahlungsart begründet vorzutragen. Sie lässt pro Bild mehrere Wortmeldungen zu und lässt den Schüler:innen die Möglichkeit, auf andere Vermutungen einzugehen. Danach lässt sie die Klasse per Handzeichen über die Strahlungsarten abstimmen, notiert sich das Ergebnis der Abstimmung und fährt mit dem nächsten Bild fort. Nach der letzten Abstimmung löst sie dann auf und zeigt die richtige Zuordnung an. In Plenum kann dann bei Unklarheiten noch einmal diskutiert werden, warum welche Zuordnung Sinn macht (Zeitumfang: 10min).
Material: AB 2.3/Aufgabe 4a)/8.3.8 + Folie 13-20/ 8.3.9

5.2.3 Phase der Vertiefung II

In dieser Phase wird wie im ersten Konzept ein Transfer durchgeführt. Die Phase des Transfers in diesem Konzept ist inhaltlich identisch mit der Phase "Transfer 1" aus dem vorherigen Konzept (vgl. Abschnitt 5.1.3). Der einzige Unterschied besteht darin, dass sie in diesem Konzept aufgrund der geänderten Lernzielnummerierung das Lernziel LZ 4 anbahnt (vgl. Abschnitt 5.2.5).
Material: Folie 21-22/ 8.3.9

5.2.4 Schülervorstellungen II

Die relevanten Schülervorstellungen und deren Diskussion sind aufgrund der inhaltlichen Nähe identisch mit denen des vorherigen Konzepts (vgl. Abschnitt 5.1.4).

5.2.5 Kompetenzen und Lernziele II

Dieser Entwurf bezieht sich auf die selben Kompetenzangaben des niedersächsischen Kerncurriculums, auf die sich auch das vorherige Unterrichtskonzept bezieht (vgl. Abschnitt 5.1.5). Auch die abgeleiteten Lernziele, die in Form von konkretisierten Teilkompetenzen ausformuliert wurden, überschneiden sich weitestgehend. Die Reihenfolge der Lernziele ändert sich und das LZ 4 des vorherigen Entwurfes (vgl. Abschnitt 5.1.5) wird durch LZ 2 ersetzt. Es ergeben sich also folgende Lernziele:

Die Schüler:innen...

... kennen die Begriffe „ionisierende Strahlung“ und „Radioaktivität“ und können die ihnen zugrundeliegenden Konzepte in vereinfachter Form wiedergeben (LZ 1).

... nennen die einzelnen Bauteile der behandelten Nebelkammer und geben deren Funktion in eigenen Worten wieder (LZ 2).

... ordnen die jeweiligen Spuren in der Nebelkammer den Strahlungsarten der α- und β-Strahlung richtig zu und begründen ihre Zuordnung (LZ 3).

... erläutern anhand des Beispiels des abstürzenden PCs, dass ionisierende Strahlung uns in unserer Alltagswelt beeinflussen kann (LZ 4).

6 Erprobung

Diese Arbeit sollte eigentlich als Grundlage für einen empirischen Vergleich der beiden vorgestellten Unterrichtskonzepte dienen. Der Vergleich sollte mit Hilfe von Vorher- und Nachherumfragen im Rahmen einer anknüpfenden Bachelorarbeit realisiert werden. Leider fällt diese anknüpfende Bachelorarbeit aufgrund von unglücklichen Umständen aus.
Da der Vergleich wegfiel, strukturierte sich auch die Erprobung um. Anstatt beide Konzepte durchzuführen, um Daten für einen empirischen Vergleich zu sammeln, wurde der Fokus auf das erste Konzept, das die Nebelkammern als Schülerexperiment beinhaltet, gelenkt.
Dieses Konzept wurde an zwei Tagen (13.06.2023 & 14.06.2023) in zwei 8. Klassen des Wilhelm-Busch-Gymnasiums in Stadthagen erprobt. Die Lerngruppen hatten keine schulischen Vorkenntnisse zu den Themen der Radioaktivität und ionisierenden Strahlung. Es folgen die qualitativen Eindrücke zur Erprobung.

6.1 Interesse und Motivation

Gute Schülerexperimente sollten in der Lage sein, Interesse bei den Schüler:innen zu wecken und sie langfristig zu motivieren [Kir20, S.281]. Bekunden die Schüler:innen Interesse für das Experiment, beispielsweise in Form von Nachfragen, so spricht dies für das Experiment.
Gerade während der Erarbeitung 1 (vgl. Kapitel 5.1), aber auch in den nachfolgenden Phasen äußerten Schüler:innen aus den Kleingruppen Interesse und stellten Fragen zu den beobachteten Spuren sowie zu anderen Phänomenen des Experiments. Ein Beispiel hierfür war das Kondenswasser, das sich in Folge der Trockeneiskühlung an den Scheiben des Aquariums bildete.

Kirchner schreibt zudem, dass situatives Interesse an einem Experiment sich vor allen Dingen in Form des Ausschöpfens der Aktionsmöglichkeiten, die das Experiment bietet, ausdrückt [Kir20, S.281]. Der überwiegende Teil der Schüler:innen bezeugte ihr situatives Interesse im Umgang mit den Nebelkammern dadurch, dass sie die losen Taschenlampen

immer wieder umpositionierten und ihre eingenommenen Blickwinkel änderten, um die Spuren besser zu erkennen. Dabei halfen die Schüler:innen, die bereits einen guten Blickwinkel gefunden hatten, ihren Mitschüler:innen aktiv durch Ratschläge.
Bei einer Kleingruppe äußerte sich das ausgeprägte situative Interesse auch in Aktivitäten, die nicht zur Funktionsfähigkeit des Experiments beitrugen. So erzeugten die Schüler:innen dieser Gruppe durch das Einblasen von Luft einen Nebel aus unerwünschten Wassertröpfchen in der Kammer, der sich erst nach Minuten legte. Nach einer Ermahnung stellte die Kleingruppe diese Aktivität ein und experimentierte aktiv und sinnvoll weiter.

Neben der überwiegenden Mehrzahl der Schüler:innen, die ihr Interesse in Form von Fragen und dem Ausnutzen von Aktionsmöglichkeiten ausdrückten, gab es jedoch vereinzelte Schüler:innen (etwa zwei pro Klasse), die sich die Kammern eher aus der Ferne anschauten und nur wenig in die Aktivitäten ihrer Mitschüler:innen involviert waren.

6.2 Aktive Teilnahme

Die aktive Teilnahme sowohl am Unterricht als auch am Experimentiervorgang ist ein entscheidender Faktor für einen lernwirksamen Unterricht [Kir20, S.280f]. Die Ausprägung dieser Teilnahme kann daher als aussagekräftiger Indikator für den Erfolg einer Unterrichtsstunde angesehen werden.

Während der Plenumsphasen, bei denen Vermutungen geäußert werden sollten (Einstieg + Transfer 1), fiel auf, dass sich in jeweils beiden Lerngruppen der Großteil der Wortbeiträge auf ungefähr fünf Schüler:innen verteilte. Diese äußerten recht frei ihre Vermutungen und gingen teilweise auf die Ideen ihrer Mitschüler:innen ein. Andere Schüler:innen schienen ein wenig eingeschüchtert, ihre Ideen vor der Klasse darzustellen.
Während der Texterarbeitungsphasen (Erarbeitung 2-3) arbeitete der Großteil der Schüler:innen aktiv mit, was sich durch die ruhige Atmosphäre im Klassenraum und die ausführlich ausgefüllten Notizfelder auf den Arbeitsblättern zeigte. In den folgenden Textwiedergabephasen (Sicherung 1-2) im Plenum meldeten sich nun auch Schüler:innen, die sich bei den Vermutungen zurückgehalten hatten.

In der Plenumsphase, in der die Schüler:innen die auf dem Smartboard gezeigten Spuren den richtigen Strahlungsarten durch Abstimmung zuordnen sollten (Sicherung 3), beteiligten sich alle Schüler:innen durch Handzeichen an der Abstimmung.
In der Sicherung 4, in der die Schüler:innen nach dem Zählen der Spuren ihre erhaltenen Raten im Plenum mitteilen sollten, war die Mitarbeit sehr ausgeprägt. Jede Gruppe ließ ihre Ergebnisse durch eine:n Sprecher:in im Plenum mitteilen.
Es lässt sich also sagen, dass sich die aktive Mitarbeit in den Phasen, in denen Vermutungen geäußert werden sollten, eher auf wenigere Schüler:innen konzentrierte. Während die Phasen der Texterarbeitung, Textwiedergabe und Ergebnisvorstellung von einer breiten Mitarbeit geprägt waren.

Die aktive Teilnahme an den Experimenten sind in dem vorherigen Abschnitt 6.1 bereits in Form des situativen Interesses angeschnitten worden. Zusammenfassend lässt sich hier sagen, dass der Großteil der Schüler:innen sich aktiv am Experimentierprozess beteiligte.

6.3 Erreichen der Lernziele

Guter Physikunterricht zeichnet sich laut Kirchner durch Ziel- und Kompetenzorientierung aus [Kir20, S.125]. Werden die als Kompetenz formulierten Lernziele erfolgreich durch den Unterricht angebahnt, so kann dies für das Unterrichtskonzept und die darin enthaltenen Elemente, beispielsweise die Experimente, sprechen. Für dieses Konzept wurden vier Lernziele in Form von konkretisierten Teilkompetenzen formuliert (vgl. LZ 1-4; Abschnitt 5.1.5).

Das erste Ziel LZ 1 wurde weitestgehend erfüllt. In den Textwiedergabephasen (Sicherung 1-2) beteiligten sich viele Schüler:innen und gaben die Konzepte der "ionisierenden Strahlung" und "Radioaktivität" in eigenen vereinfachten Worten wieder.
Auch LZ 2 wurde weitestgehend erreicht. Bei der Abstimmung über die Zuordnung der Strahlungsarten beteiligten sich alle Schüler:innen. Alle Bilder wurden jeweils mit deutlicher Mehrheit (jeweils etwa 80%) der richtigen Strahlungsart zugeordnet. Die Schüler:innen, die vor den Abstimmungen Vermutungen über die Zuordnung äußerten, führten für ihre Zuordnung schlüssige Begründungen auf Basis der Expertentexte an.

Die Erfüllung des Ziels LZ 3 schien im Vergleich zu den beiden anderen Zielen eher etwas weniger ausgeprägt auszufallen. Als die Schüler:innen im späteren Verlauf der Stunde erneut Vermutungen darüber äußern sollten, wie das Thorium für Abstürze der PCs sorgen könnte, äußerten sich nur einzelne Schüler:innen. Deren Vermutungen waren dafür aber wirklich treffend. Thorium wurde als radioaktiv eingestuft und die von ihm emittierte ionisierende Strahlung als Verursacher der Abstürze identifiziert. Natürlich ist davon auszugehen, dass nach der Auf- und Erklärung über den Sachverhalt durch die Lehrkraft, deutlich mehr Schüler:innen den Prozess verstanden und das Lernziel erreicht haben. Das ließ sich aber nicht ohne weiteres überprüfen.
Das LZ 4 wiederum wurde klar erfüllt. Jede Kleingruppe trug Raten in sinnvollen Größenordnungen vor und die errechneten Absturzzeiten des hypothetischen PCs aus der Zusatzaufgabe befanden sich dementsprechend ebenfalls in passenden Größenordnungen.

Die beiden Lernziele LZ 2 und LZ 4, in deren Anbahnung die Nebelkammer als Schülerexperiment maßgeblich beteiligt war, sind also gut erfüllt worden.

6.4 Aufwand für die Lehrkraft

Einer Physikstunde, die Gebrauch von Experimenten macht, geht in der Praxis immer eine mitunter aufwendige Vorbereitungsphase voraus. Diese Vorbereitungsphase muss gezwungenermaßen irgendwie in den Schulalltag der Lehrkraft integriert werden. Experimente, die im Vorhinein mit einem hohen Aufwand verbunden sind, können abschreckend auf Lehrkräfte wirken. Es ist also durchaus sinnvoll den Vorbereitungsaufwand eines Experiments bzw. Unterrichtskonzepts mit in die qualitative Betrachtung einzubeziehen.

In der Praxis hat sich gezeigt, dass die Nebelkammer nach der Befüllung mit dem Trockeneis etwa 20 Minuten anlaufen muss, damit sich gut sichtbare Spuren zeigen. Will die Lehrkraft die Kammern also direkt zu Stundenbeginn einsetzten, so reicht eine Schulpause von 20 Minuten nicht aus, um alle zehn Kammern rechtzeitig zu befüllen, da die Befüllung und das Zusammensetzten der Kammern, selbst bei geübtem Umgang etwa eine Minute pro Kammer dauert. In dem Fall müsste die Lehrkraft also eine Freistunde vor der eigentlichen Stunde einplanen. Die Situation entspannt sich natürlich,

wenn die Lehrkraft die Anzahl der Kammern reduziert oder deren Einsatz in einen späteren Teil der Stunde einbindet.
Um die mögliche Laufzeit der Kammern muss die Lehrkraft sich keine Gedanken machen. Nach ausreichender Befüllung mit Trockeneis und Isopropanol können die Kammern für etwa zwei Stunden aussagekräftige Spuren anzeigen.
Es lässt sich also festhalten, dass sich die Nebelkammern mit der richtigen Zeiteinplanung in einen Schulalltag einbinden lassen würden, besonders dann, wenn der Stundenverlauf angepasst oder die Anzahl der Kammern etwas reduziert wird.

Das größte Problem in der Handhabung des Experiments dürfte die Beschaffung des Trockeneises sein. Will man eine Kammer dieser Bauart für zwei Stunden betreiben, so braucht man dafür etwa ein Kilogramm Trockeneis. Bei einer Nutzung von zehn Kammer, benötigt man also etwa 10 Kilogramm Trockeneis. Manche Schulen sind in der Lage kleine Mengen Trockeneises mithilfe von CO_2-Kartuschen, die sich oft in der Chemiesammlung finden lassen, herzustellen. Die angestrebte Menge von zehn Kilogramm ist für die meisten Schulen jedoch schwer umsetzbar. Die Physik- und Chemielehrkräfte, die um die Erprobung herum anwesend waren, äußerten diese Problematik mehrfach und sahen sie als Ausschlusskriterium für die zukünftige Umsetzung des Experiments an ihrer Schule an.
Es gibt die Möglichkeit sich Trockeneis über einen Online-Versand liefern zu lassen. 10 Kilogramm Trockeneis kosten bei diesen Shops etwa 30 Euro - Tendenz fallend, wenn größere Mengen bestellt werden [Won]. Die meisten Schulen haben jedoch keine Möglichkeit das Eis verlustfrei zu lagern, da sie dafür eine geeignete Kühltruhe bräuchten, die mindestens $-80°C$ erreichen könnte. Die Lehrkraft müsste bei der Bestellmenge also bereits einen Verlust des Eises mit einplanen oder einen Expressversand nutzen. Beides ist mit Mehrkosten verbunden.
Will eine Lehrkraft das Experiment also in großer Stückzahl durchführen, so muss sie einen gewissen Aufwand bei der Beschaffung des Eises in Kauf nehmen.

Es ist also durchaus möglich für eine Lehrkraft, das Experiment in Eigenregie durchzuführen. Die eigenverantwortliche Durchführung ist jedoch mit einem nicht unerheblichen Aufwand für sie verbunden. Um die Umsetzung des Experiments an Schulen unkomplizierter zu gestalten, bietet sich eine Zusammenarbeit mit der Universität

an. Ein universitäres Institut wie das IRS hat geeignete Infrastruktur und Mittel, um das Experiment in großer Stückzahl an Schulen oder auch innerhalb der eigenen Räumlichkeiten durchzuführen.

7 Fazit

Nach einer Auseinandersetzung mit den theoretischen physikalischen Hintergründen zu den Themengebieten der ionsierenden Strahlung und Radioaktivität, einer Erläuterung über Aufbau und Funktionsweise der verwendeten Nebelkammer und einer Darstellung relevanter didaktischer Grundlagen wurden zwei Unterrichtskonzepte zur Einführung des Themenbereichs der Radioaktivität in der Sek I. entwickelt. Dabei wurden Erkenntnisse miteinbezogen, die in den vorherigen Kapiteln erarbeitet wurden.

Die beiden Unterrichtskonzepte unterscheiden sich in ihrer Methodik. Das erste Unterrichtskonzept bindet zehn Nebelkammern in Form von Schülerexperimenten in den Unterricht ein, während das zweite einem konservativeren Ansatz folgt und die Nebelkammer auf theoretischer Ebene miteinbezieht.
Die beiden Unterrichtskonzepte überschneiden sich inhaltlich stark. In beiden wird das Problem der "soft errors" genutzt, um das Interesse der Schüler:innen zu wecken und die lebensweltlichen Auswirkungen von Radioaktivität und ionisierender Strahlung zu veranschaulichen. In beiden werden essentielle fachliche Inhalte des Themenbereichs Radioaktivität, die für die jeweiligen Lerngruppen neu sind, eingeführt. In beiden sollen die Schüler:innen die Kompetenz erlangen, die Strahlungsarten der $\alpha-$ und β-Strahlung richtig und begründet den passenden Spuren in der Nebelkammer bzw. den Bildern dieser Spuren zuzuordnen.

Da die beiden entwickelten Unterrichtskonzepte sich inhaltlich stark überschneiden, aber sich gleichzeitig wesentlich dadurch unterscheiden, dass in einem die Nebelkammer als Schülerexperiment genutzt wird, im anderen aber nicht, können sie als Basis für einen empirischen Vergleich dienen, der untersucht, ob die Anwendung von Nebelkammern als Schülerexperiment sich gegenüber einem konservativeren theoretischem Ansatz, beispielsweise durch messbar größere Lernzuwächse, hervortun kann.

Dieser empirische Vergleich sollte eigentlich direkt im Anschluss in einer nachfolgenden Bachelorarbeit vorgenommen werden. Diese direkt nachfolgende Bachelorarbeit und der in ihr enthaltene Vergleich entfallen jedoch leider.

Um die Nebelkammern dennoch in einer Erprobung zu testen, aber gleichzeitig den

Rahmen dieser Arbeit nicht zu überschreiten, wurde eine Zwischenlösung gewählt. Das erste Unterrichtskonzept wurde in zwei 8. Klassen erprobt und die qualitativen Eindrücke in dieser Arbeit festgehalten. Die Auseinandersetzung der Schüler:innen mit den Nebelkammern als Schülerexperiment zeichnete sich weitestgehend durch mitgeteiltes Interesse, beobachtbare Motivation und aktive Teilnahme am Experimentierprozess aus. Das Konzept ließ sich innerhalb des zeitlichen Rahmens einer Doppelstunde vollständig durchführen und die zuvor formulierten Lernziele konnten mithilfe der Nebelkammern großteilig erreicht werden. Es wurde jedoch auch deutlich, dass eine Realisation des Nebelkammerexperiments als Schülerexperiment in zehnfacher Ausführung einen erheblichen Vorbereitungsaufwand für die Lehrkraft mit sich bringt.

Die qualitativen Ergebnisse der Erprobung legen nahe, dass das Nebelkammerexperiment als Schülerexperiment einen didaktischen Mehrwert mit sich bringen kann. Ein in Zukunft vorgenommener Vergleich, der die beiden vorgestellten Konzepte als Basis nutzen würde, könnte im Bezug auf diese Vermutung Klarheit schaffen.

8 Anhang

8.1 Bausteine eines Unterrichtsentwurfs

Die Darstellungsweise der beiden folgenden Unterrichtsentwürfe orientiert sich an den Vorgaben der Didaktikerinnen Ilona Esslinger-Hinz und Melanie Wigbers. Die von ihnen vorgeschlagene Struktur für Unterrichtsentwürfe bündelt alle relevanten Informationen in sich und hat sich in der Praxis bewährt. Sie wird in den Pädagogikvorlesungen der Leibniz Universität als Standardstruktur für Unterrichtsentwürfe gelehrt. Im folgenden wird diese Struktur knapp vorgestellt.

Kompetenzangaben - Lernziele:
Dieser Abschnitt des Unterrichtsentwurfes enthält Angaben darüber, was im Unterricht gelernt werden soll. Das zu Lernende wird in Form von Kompetenzen, die von den Schüler:innen innerhalb der Stunde erworben werden sollen, dargestellt [Wig13, S.27]. Diese Kompetenzen leiten sich in der Regel zunächst aus vorgegebenen Kompetenzen aus einem Bildungsplan, wie beispielsweise dem Kerncurriculum, ab und werden anschließend von der Lehrkraft in Form von Teilkompetenzen konkretisiert und verfeinert [Wig13, S.28].

Sachanalyse:
In der Sachanalyse wird untersucht, welche fachlichen Inhalte für das Unterrichtskonzept wichtig sind bzw. welche Inhalte notwendig sind, um die zuvor formulierten Kompetenzziele bei den Schüler:innen anzubahnen [Wig13, S.39]. Dabei ist es wichtig, bei der Betrachtung der Fachinhalte die Schülerperspektive mit zu denken und die Verstehensprozesse der Lernenden zu berücksichtigen [Wig13, S.46].

Didiaktische Analyse:
In diesem Abschnitt wird die Auswahl des Lerngegenstandes begründet. Es wird darauf eingegangen, inwiefern der Lerngegenstand dazu geeignet ist, ein Verständnis für gewisse Phänomene herzustellen. Hinzu kommen Überlegungen über die Bedeutsamkeit des Themas und dessen Konkretisierung in Form des Lerngegenstandes für die Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft der Schüler:innen [Wig13, S.50]. Diese Bedeutsamkeit kann auf

lebensweltlicher, privater, sozialer aber auch fachlicher Ebene analysiert werden [Wig13, S.51].

Voraussetzungen:
In diesem Teil werden die personellen und institutionellen Voraussetzungen der Lerngruppe vorgestellt [Wig13, S.55]. Die personellen Vorraussetzungen können in dieser Arbeit nur in einer sehr generalisierten Form auf Basis des Kerncurriculums untersucht werden. Die institutionellen Vorraussetzungen umfassen Dinge die wie durch den Schultakt vorgegebene Stundenlänge, die Ausstattung des Klassenzimmers und die verfügbaren Lehr- und Lernmittel [Wig13, S.59].

Begründung und Analyse der Aufgaben:
Hier werden die formulierten Lernaufgaben auf ihre Qualitäten und Eigenschaften durchleuchtet. Wichtig ist es auch zu verdeutlichen, welche Aufgabe mit welchen zu erreichenden Kompetenzen in Verbindung steht [Wig13, S.65].

Begründung der Methodischen Entscheidungen:
In diesem Teil des Entwurfes werden die methodischen Entscheidungen begründet und analysiert. Es wird also darauf eingegangen, warum bestimmte Arbeitsformen, Medien, Materialen oder Methodenwerkzeuge genutzt werden [Wig13, S.76ff]. Dabei ist es wichtig, dass die didaktischen Funktionen der gewählten Methoden transparent gemacht und sinnvoll dargestellt werden [Wig13, S.80f].

Visualisierung:
In diesem Abschnitt wird der Ablauf des Unterrichtskonzepts visualisiert [Wig13, S.95]. In dieser Arbeit werden Verlaufspläne in Tabellenform genutzt, die die relevanten Teilinformationen über den Unterricht kompakt in sich vereinen. Sie enthalten Informationen über die jeweilige Unterrichtsphase (mit dazugehörigen Zeitangaben), über die Aktivitäten der Lehrkraft sowie die antizipierten Schüler:innenaktivitäten, die Sozial- und Interaktionsform und die genutzten Materialien und Medien. Auch die relevanten Lernziele, die in Form von Kompetenzen formuliert werden, sind in den Verlaufsplänen enthalten.

8.2 Langentwurf Unterrichtskonzept I - mit Schülerexperiment

Das folgende Unterrichtskonzept soll als Einstiegskonzept für den Themenbereich Radioaktivität in der Sek I dienen. Besonderheit dieses Konzept ist die Nutzung von zehn kompakten Nebelkammern, die von den Schüler:innen in Kleingruppen zum Experimentieren genutzt werden können. Das Konzept wird nun im Sinne der Bausteine eines Unterrichtsentwurfes nach Esslinger-Hinz vorgestellt.

8.2.1 Kompetenzangaben - Lernziele I

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 nutzten.
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 die ihnen zugrundeliegenden Konzepte in vereinfachter Form wiedergeben (LZ 1).

... ordnen die jeweiligen Spuren in der Nebelkammer den Strahlungsarten der α- und β-Strahlung richtig zu und begründen ihre Zuordnung (LZ 2).

... erläutern anhand des Beispiels des abstürzenden PCs, dass ionisierende Strahlung uns in unserer Alltagswelt beeinflussen kann (LZ 3).

... stellen mithilfe der Nebelkammern prototypische Raten für die Spuren im Innern der Kammer auf und führen einfache Rechnungen mit diesen Raten durch (LZ 4).

8.2.2 Der Lerngegenstand I

Der Einstieg der Stunde bezieht sich auf Ereignisse aus den 70er Jahren. In diesem Jahrzehnt wurden die ersten massentauglichen Personal Computer, also PCs auf den Markt gebracht. Die Bauteile waren mittlerweile klein genug, um kompakte Computer zu bauen. Die verringerte Größe und damit verbundene Sensibilität wichtiger Bauteile (besonders der RAMs und CCDs) schuf plötzlich die Möglichkeit, dass einzelne energiereiche α-Teilchen sogenannte "soft errors" , also temporäre kleine Fehler, in diesen Bauteilen und damit im PC auslösen konnten [Woo78, S.1]. Die Intel Cooperation untersuchte die Problematik und stellte fest, dass schon kleinste Mengen natürlichen Urans und Thoriums im parts-per-million Bereich in den Verpackungsmaterialien dieser Bauteile, "soft errors" begünstigten [Woo78, S.1]. Die Idee für den Einstieg wurde durch ein Video des YouTubers "Veritasium", bürgerlich Derek Alexander Muller, angeregt [Mul]. Heute sind "soft errors" oft mit kosmischer Strahlung assoziiert. Da das Unterrichtskonzept jedoch als Einstiegskonzept für den Themenbereich der Radioaktivität

dienen soll, wird die kosmische Strahlung in diesem Konzept vernachlässigt, um eine Überforderungen der Schüler:innen zu vermeiden.

In dem Einstieg folgenden Unterricht werden Nebelkammern eingesetzt. In diesen Kammern befindet sich ein übersättigtes Alkoholdampf-Luft-Gemisch, in dem ionisierende Strahlung gut sichtbare Spuren aus Alkoholtröpfchen hinterlässt. Spritzt man in diese Kammern nun Luft aus einer Spritze, in der sich ein thoriumhaltiger Glühstrumpf befindet, so sorgen die radioaktiven Isotope in der natürlichen Thoriumzerfallsreihe (bzw. die von ihnen ausgesendete ionisierende Strahlung) dafür, dass eine große Zahl von Tröpfchenspuren in der Kammer zu erkennen ist. Ein Großteil dieser Spuren kann der β-und α-Strahlungen zugeordnet werden. Myonen und Protonen machen in dem Falle des "Einspritzens" nur einen geringen Anteil der Aktivität aus und γ-Strahlung kann mit einer Nebelkammer nur in sehr seltenen Fällen sichtbar gemacht werden.
β-und α-Strahlung hinterlassen in der Nebelkammer Spuren, die sich stark in ihrem Erscheinungsbild unterscheiden. Die Spuren der β-Strahlung sind verhältnismäßig lang und dünn und haben oft gekrümmte, gezackte oder gar verschnörkelte Formen. Die Spuren der α-Strahlung hingegen sind vergleichsweise kurz, dick und sehr gerade.
Diese Umstände lassen sich durch die Eigenschaften der β- bzw. α-Teilchen erklären. Sowohl die Masse, als auch das Ionisationsvermögen der β-Teilchen (Elektronen) ist verhältnismäßig gering. Damit geben sie im Schnitt ihre kinetische Energie langsamer ab und haben eine größere Reichweite, zudem werden sie häufig an Atomen in der Luft gestreut und erhalten daher ihre gekrümmte oder verschnörkelte Flugbahn. Das α-Teilchen hat hingegen eine vergleichsweise große Masse, sowie ein großes Ionisationsvermögen. Dementsprechend ist seine Reichweite eher gering und seine Flugbahn gerade.
Hat ein Beobachter Kenntnis über diese Eigenschaften der Strahlungsteilchen, so ist er dazu befähigt, die beobachteten Spuren einer der beiden Strahlungsarten richtig zuzuordnen.

8.2.3 Begründung des Lerngegenstandes I

Zunächst einmal lässt sich der Lerngegenstand aus dem niedersächsischen Kerncurriculum heraus begründen. Nach diesem sollten die Schüler:innen vertraut mit verschiedenen Wirkungen ionisierender Strahlung sein, abrufbare Kenntnisse über natürliche Strahlungsquellen haben, sowie α- und β-Strahlung unterscheiden und deren Entstehungsmechanismen beschreiben können [Kul21, S.41].
Der behandelte Einstieg kann diese drei Anforderungen in sich vereinen. Zunächst einmal wird beispielhaft eine makroskopische lebensweltlich greifbare Wirkung ionisierender Strahlung in Form der sogenannten "soft errors" in den PCs dargestellt. Das Beispiel birgt zudem das Potential, das Verständnis über natürliche Strahlungsquellen zu verbessern, da die relevanten Strahlungsquellen aus den natürlichen Zerfallsreihen stammen. Die Kompetenz bzw. Fähigkeit zwischen α-und β-Strahlung unterscheiden zu können, ist mithilfe der eingesetzten Nebelkammern gut anzubahnen. Die Besonderheit hierbei ist, dass die Eigenschaften der Strahlungsteilchen sehr gut mit Erscheinungsbildern der sichtbaren Spuren verknüpfbar sind.

Das Einstiegsthema hat zudem den Vorteil, den Themenbereich der Radioaktivität und ionisierenden Strahlung einzuleiten, ohne dabei die gefährlichen Aspekte bzw. Wirkungen dieser Phänomene zu stark zu betonen. Somit kann der weit verbreiteten Schülervorstellung, Radioaktivität und ionisierende Strahlung seien etwas grundsätzlich Gefährliches, entgegengewirkt werden.

Zudem ermöglicht das Thema eine Verknüpfung zwischen physikalischen Konzepten und der Lebenswelt der Schüler:innen. Es besteht die Möglichkeit, dass die Schüler:innen bereits erlebte oder zukünftige "unerklärliche" Fehler oder Abstürze ihrer digitalen Endgeräte, mit dem Thema Radioaktivität und ionisierender Strahlung, sowie der eingesetzten Nebelkammer und den in ihr beobachteten Spuren, verknüpfen. So kann eine langfristige Verknüpfung zwischen Lebenswelt und Gelerntem hergestellt werden.

8.2.4 Die Lerngruppe I

Eine genaue Beschreibung der Lerngruppen mit Informationen zu einzelnen Schüler:innen, dem Klassenklima etc., ist aufgrund fehlender vorangegangener Unterrichtserfahrung in den Lerngruppen nicht möglich.
Um sich dennoch eine grobe Vorstellung von den Fähigkeiten der Lerngruppe zu machen, bietet es sich an, die Bildungsstandards des niedersächsischen Kerncurriculums als Ausgangspunkt für eine Einschätzung zu verwenden. Dies ermöglicht eine Rekonstruktion der Kompetenzen, die in der Lerngruppe vorhanden sein sollten.
Bei den Lerngruppen handelt es sich um 8. Klassen, die sich am Ende ihres Schuljahres befinden. Daher ist es sinnvoll, die für dieses Unterrichtskonzept relevanten Kompetenzen, die am Ende des 8. Jahrgangs erreicht werden sollen als Grundlage zu benutzen.

"Die Schülerinnen und Schüler...

- ... *formulieren und stützen Vermutungen auf der Basis experimenteller Befunde oder theoretischer Überlegungen.*" [Kul21, S.18]
- ... *nutzen weitere vorgegebene Quellen zur Informationsbeschaffung.*" [Kul21, S.19]
- ... *führen ihre Notizen zunehmend selbstverantwortlich und ziehen sie zur Problemlösung heran.*" [Kul21, S.19]
- ... *führen einfache, auch quantitative Experimente nach zunehmend knapperer Anleitung durch.*" [Kul21, S.20]
- ... *ziehen zur Beschreibung zunehmend die Fachsprache heran.*" [Kul21, S.20]
- ... *fertigen bei Bedarf Versuchsprotokolle selbstständig an*" [Kul21, S.20]
- ... *ziehen Modellvorstellungen zur Problemlösung unter Anleitung heran.*"[Kul21, S.22]

Es wird deutlich, dass die relevanten bereits vorhandenen Kompetenzen sich im prozessbezogenen Kompetenzbereich ansiedeln lassen. Die Schüler:innen in der Lerngruppe sollten also in der Lage sein, eigenständig Vermutungen zu formulieren, Informationen

aus Quellen zu gewinnen, einfache Experimente durchzuführen und zu protokollieren sowie modellhaft zu denken.
Wie zu erwarten, gibt es keine fachlichen Kompetenzen im niedersächsischen Kerncurriculum, die auf das Unterrichtskonzept passen. Das ist aber auch so gewollt, da das Konzept als Einführung für Lerngruppen ohne fachliche Vorkenntnisse vorgesehen ist.

Nun zu den institutionellen Voraussetzungen: Die Schule folgt in der Regel einem Doppelstunden-System, weshalb es sinnvoll ist, das Unterrichtskonzept auf eine Dauer von 90 Minuten auszurichten. In den Physikräumen gibt es die Möglichkeit, die Fenster abzudunkeln. Dadurch wird das Experimentieren mit den Nebelkammern stark erleichtert. Die Spuren in den Kammern sind nämlich deutlich besser zu erkennen, wenn das Hintergrundlicht gering ist. Die Räume verfügen zudem über ein Smartboard. Es ist also relativ einfach möglich, eine PowerPoint-Präsentation mit in das Unterrichtskonzept einzubinden.

8.2.5 Begründung und Analyse der Aufgaben I

Aufgabe 1: Spuren in der Nebelkammer
a) Die S erhalten hier einen Beobachtungsauftrag und sollen die Spuren, die sie in der Nebelkammer sehen, skizzieren. Es gibt eine Lenkung in Form des Hinweises, dass die S darauf achten sollen, ob sie verschiedene Arten der Spuren erkennen können. Die Aufgabe soll die S dazu bringen, sich aktiv mit den Phänomenen im Innern der Kammer auseinanderzusetzten, ohne dabei von stark lenkenden spezifischen Beobachtungsaufträgen eingeengt zu sein.
b) Die S sollen sich nun in ihren Kleingruppen über ihre Ergebnisse austauschen und ggf. Erkenntnisse ergänzen. Die S bekommen, also nachdem sie für sich und auf ihre subjektive Beobachtungsweise Phänomene betrachtet haben, die Möglichkeit, auf Dinge hingewiesen zu werden, die sie selber verpasst haben.
*Material:*AB 1.1/8.2.8

Aufgabe 2: Expertentexte
a) Die S sollen die Expertentexte "Ionisierende Strahlung" und "Radioaktivität" in Einzelarbeit lesen und sich Notizen machen. Die Informationen in den Texten sind neu

und sollen nicht vollständig von den S durchdrungen werden, vielmehr geht es darum, dass die S eine grobe Vorstellung von den erläuterten Konzepten bekommen und diese mit den bereits beobachteten Phänomenen in der Nebelkammer verbinden.
Diese Aufgabenstellung bahnt das erste Lernziel (LZ 1) bzw. die erste Teilkompetenz an. b) Die S sollen zwei weitere Expertentexte lesen ("Alpha-Strahlung" und "Beta-Strahlung") und sich Notizen machen. Diese Aufgabe ist analog zur vorherigen gestaltet und auch hier müssen die S die für sie neuen Themen nicht vollständig durchdringen. Stattdessen ist es für den späteren Verlauf der Stunde besonders wichtig, dass sie den relativ einfach verständlichen Part mit der Flugbahn verinnerlicht haben.
Die Expertentexte sind so konzipiert, dass sie die wichtigsten Informationen über die vorgestellten Texte in einem etwas reduzierten Niveau wiedergeben. So können die S auch ohne bestehende Vorkenntnisse verstehen, worauf die Texte hinauswollen.
*Material:*AB 1.1/8.2.8

Aufgabe 3: Wer gehört zu wem?
Die S sollen hier die zuvor erworbenen Kenntnisse über die α- und β-Strahlung nutzen und auf die Phänomene in der Kammer anwenden, indem sie die Strahlungsarten den erkennbaren Spuren begründet zuordnen. Die S müssen also neu erworbene theoretische Kenntnisse auf ein Phänomen, das bis jetzt nur sinnlich erfasst wurde, anwenden und es so auf einer neuen theoretischen Ebene erschließen.
Der Arbeitsauftrag bahnt die im zweiten Lernziel (LZ 2) festgehaltene Kompetenz zur Zuordnung der Strahlungsarten an und ist daher wichtiger Bestandteil der Stunde.
*Material:*AB 1.2/8.2.8

Aufgabe 4: Wie viele Spuren?

Die S sollen hier jeweils innerhalb eines Zeitraumes von 60 Sekunden alle Spuren, die zur β-Strahlung gehörigen Spuren und zuletzt die zur α-Strahlung gehörigen Spuren zählen. Im Grunde genommen nehmen sie also eine Rate bzw. Aktivität auf. Bei der Aufgabe geht es darum, die neu erworbene Kompetenz der Zuordnung durch wiederholte Anwendung und die Kombination mit dem Zählauftrag zu vertiefen.

In der Zusatzaufgabe sollen die S die Laufdauer eines hypothetischen PCs bis zu dessen Absturz mithilfe der Rate der α-Strahlung errechnen. Die S bekommen hier einen Auftrag, der ihnen ermöglicht auf eigene Faust mit der neu erworbenen Rate zu arbeiten und zu rechnen. Es wird dabei kein Schema vorgegeben, nach dem sie arbeiten sollen. Stattdessen müssen sie selber darüber nachdenken, wie mit der Rate zu rechnen ist. Sie können das Prinzip so durch Anwendung verinnerlichen.

Diese Aufgabe bahnt das vierte Lernziel (LZ 4) an und bezieht sich gleichzeitig auf das vorher im Plenum angebahnte Lernziel 3 (LZ 3) zurück.

*Material:*AB 1.2/8.2.8

8.2.6 Begründung der Methodischen Entscheidungen I

Einstieg:

Die Lehrkraft nutzt Präsentationsfolien auf dem Smartboard für den Einstieg. So kann den S im Plenum schnell und aussagekräftig vermittelt werden, wie sich die Einstiegsproblematik gestaltet.

Erarbeitung 1:

Für die Aufgabe 1a) arbeiten die S in Einzelarbeit, damit sie sich die Phänomene in der Kammer auf ihre eigene Weise und in ihrem eigenen Tempo erschließen können. Ihre subjektive Wahrnehmung zu den Eigenschaften der beobachteten Phänomene bestimmt dabei, was sie als wichtig wahrnehmen und skizzieren.

Aufgabe 1b) wird in den Kleingruppen zusammen bearbeitet. So können die verschiedenen subjektiven Wahrnehmungen zusammenkommen und zu einer vielseitigeren objektiveren Beschreibung des Beobachteten führen.

Erarbeitung 2+3:

Die S erschließen sich die Expertentexte in Einzelarbeit. So können sie sich die neuen Inhalte in Ruhe und ohne Ablenkung durch andere erschließen.

Sicherung 1+2:

Hier wird das Plenum als Sozialform genutzt, da so in effizienter Form und in direkter Kontrolle der Lehrkraft besprochen werden kann, was die Expertentexte beinhalten. Die Lehrkraft kann im Plenum durch Korrigieren sofort dafür sorgen, dass Fehlvorstellungen oder Missverständnissen entgegengewirkt wird.

Erarbeitung 4:

Die S arbeiten in Kleingruppen, während sie die Spuren zuordnen sollen. So können sie sich austauschen und vielseitige Sichtweisen mit in den Zuordnungsprozess miteinbeziehen. Die Spuren haben nämlich verschiedene Aspekte, die mit einbezogen werden können. Dazu gehören die Dicke, die Länge, die "Sichtbarkeit" usw..

Sicherung 3:

Die Zuordnung wird mithilfe des Smartboards und der Durchführung mehrerer Klassenabstimmungen im Plenum durchgeführt. Mit dem Smartboard kann man Bilder von konkreten Spuren zeigen und stellt so sicher, dass alle bei der Zuordnung über das gleiche Phänomen abstimmen und nicht von umständlichen Beschreibungen abhängig sind. Zudem ermöglicht die Präsentation am Smartboard, dass erst am Ende aufgelöst wird, welche Spur zu welcher Strahlungsart gehört. So besteht die Möglichkeit, dass die S stärker involviert sind, weil sie bis zum Schluss wissen wollen, ob ihre Zurodnung richtig war.

Transfer 1:

Hier wird das Plenum als Sozialform genutzt, damit die S für alle zugänglich ihre Vermutungen über die Gründe der PC-Abstürze äußern können. So können die S aufeinander eingehen und die Ideen anderer mit in ihre eigenen Vermutungen einbeziehen. Die Lehrkraft nutzt das Smartboard, um die Verursachung des Absturzes zu erläutern und kann die Inhalte so kompakt und effizient vermitteln.

Transfer 2:

Die S arbeiten hier in Gruppenarbeit (2-3 S), da sie beim Aufnehmen der Raten in

Zusammenarbeit verschiedene Aufgaben übernehmen müssen. So kann ein:e S die Spuren zählen, während ein:e andere:r die Zeit misst und ein:e die Ergebnisse notiert.

Sicherung 4:

Die Ergebnisse werden hier im Plenum besprochen. So kann die Lehrkraft die Zahlenwerte der einzelnen Gruppen schnell miteinander vergleichen und bewerten. Auch die S können auf die Ergebnisse der anderen Gruppen eingehen.

Die Lehrkraft kann zudem die Plenumsphase benutzen, um die Stunde für alle erkennbar abzubinden und zu beenden.

8.2.7 Verlaufsplan I

Phase (Zeit)	Aktivität		Sozial- und Interaktions-form	Material/ Medien
	Lehrkraft	Schüler:innen		
Einstieg (10min)	Stellt Problem der abstürzenden PCs vor. Fragt S, was für Hypothesen sie haben. Sammelt die Hypothesen. Stellt kurz Nebelkammer vor.	Stellen Vermutungen an und formulieren Hypothesen. Antizipierte Schülerantworten: „Das Uran ist radioaktiv, deshalb stürzt der PC ab.“	Plenum	Smartboard
Erarbeitung 1 (20min)	Verteilt AB 1.1, bittet S Aufgabe 1a) und 1b) zu bearbeiten. Hilft S bei Handhabung der Nebelkammern (Taschenlampen-winkel, Sichtwinkel usw.) Spritzt etwas Radonhaltige Luft in Nebelkammern mit dem Hinweis: Das Präparat darin enthält auch Thorium. Unterstützt bei Fragen.	Bearbeiten Aufgabe 1a) und 1b) Stellen Fragen bei Schwierigkeiten.	Einzelarbeit (15min), Gruppen-arbeit (5min)	AB 1.1, Nebel-kammer
Erarbeitung 2 (10min)	Bittet S, Aufgabe 2a) zu bearbeiten. Unterstützt bei Fragen.	Bearbeiten Aufgabe 2a). Stellen Fragen bei Schwierigkeiten.	Einzelarbeit	AB 1.1

Phase (Zeit)	Aktivität		Sozial- und Interaktionsform	Material/ Medien
	Lehrkraft	Schüler:innen		
Sicherung 1 (5min)	Fordert S auf, ihr Verständnis von Ionisierender Strahlung und Radioaktivität wiederzugeben. Fragt nach Vermutungen, was die Nebelkammer wohl für Funktion hat. Stellt klar, dass Nebelkammer ionisierende Strahlung sichtbar macht.	Geben ihr Verständnis von ionisierender Strahlung und Radioaktivität wieder. Stellen Vermutungen darüber an, was man in der Nebelkammer sehen kann.	Plenum	Beamer, Nebel-kammern, Arbeitsblatt 2
Lernziel 1: Die S kennen die Begriffe „ionisierende Strahlung“ und „Radioaktivität“ und können die ihnen zugrundeliegenden Konzepte in vereinfachter Form wiedergeben.				
Erarbeitung 3 (10min)	Verteilt AB 1.2 und bittet S Aufgabe 2b) bearbeiten. Unterstützt bei Fragen	Bearbeiten Aufgabe 2b)	Einzelarbeit	AB 1.2, Nebel-kammer
Sicherung 2 (5min)	Bittet S, Inhalte der Expertentexte „Alpha-Strahlung“ und „Beta-Strahlung“ wieder-zugeben. 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. Unterstützt bei Fragen.	Bearbeiten Aufgabe 3a).	Gruppen-arbeit	AB 1.2

Phase (Zeit)	Aktivität		Sozial- und Interaktionsform	Material/ Medien
	Lehrkraft	Schüler:innen		
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
Lernziel 2: Die S ordnen die jeweiligen Spuren in der Nebelkammer den Strahlungsarten der Alpha- und Beta-Strahlung richtig zu und begründen ihre Zuordnung.				
Transfer 1 (5min)	Fragt S nun nochmal nach Vermutungen über die Ursache der PC-Abstürze. Bei Schwierigkeiten wiederholt er alle bekannten Informationen, um Schluss zu erleichtern. Klärt auf, dass tatsächlich Alpha-Strahlung verantwortlich war.	Schließen aus den Informationen, dass ionisierende Strahlung aus Thorium (und/oder Uran) die PCs hat abstürzen lassen. Teilen ihre Vermutungen im Plenum mit.	Plenum	Smartboard
Lernziel 3: Die S erläutern anhand des Beispiels des abstürzenden PCs, dass ionisierende Strahlung uns in unserer Alltagswelt beeinflussen kann.				
Transfer 2 (10min)	Bittet S, Aufgabe 3a), 3b) und 3c) zu bearbeiten.	Bearbeiten Aufgabe 3a), 3b) und 3c).	Gruppen-arbeit	AB 1.2
Sicherung 4 und Schluss (5min)	Fordert S auf, ihre Ergebnisse mitzuteilen. Bewertet Ergebnisse am Ende durch Einschätzung der Zahlenwerte. Entlässt S aus der Stunde.	Teilen ihre Ergebnisse im Plenum mit.	Plenum	AB 1.2
Lernziel 4: Die S stellen mithilfe der Nebelkammern prototypische Raten für die Spuren im Innern der Kammer auf und führen einfache Rechnungen mit diesen Raten durch.				

8.2.8 Arbeitsblätter I

AB 1.1

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

AB 1.1

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:

AB 1.2

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).

AB 1.2

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?

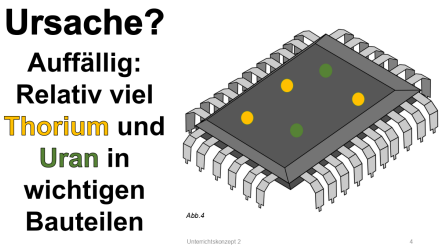
8.2.9 PowerPoint-Präsentation I

Folie 1:

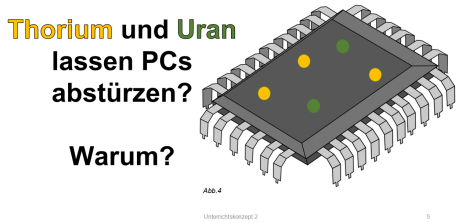
Folie 2:

Folie 3:

Folie 4:

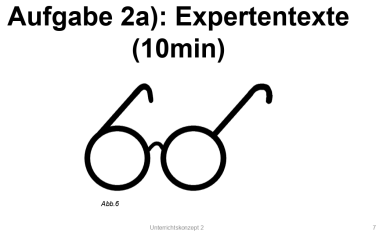


Folie 5:



Folie 6:

Folie 7:



Folie 8:

Folie 9:

Aufgabe 2b): Expertentexte (10min)

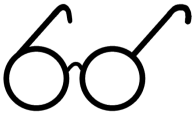


Abb.8

Unterrichtskonzept 2 9

Folie 10:

Aufgabe 3a): Wer gehört zu wem? (10min)

Abb.9

Unterrichtskonzept 2 10

Folie 11:

Abb.10

Unterrichtskonzept 2 11

Folie 12:

Abb.11

Unterrichtskonzept 2 12

Folie 13:

Abb.12

Unterrichtskonzept 2 13

Folie 14:

Abb.13

Unterrichtskonzept 2 14

Folie 15:

Abb.14

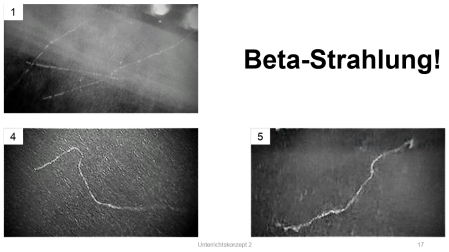
Unterrichtskonzept 2 15

Folie 16:

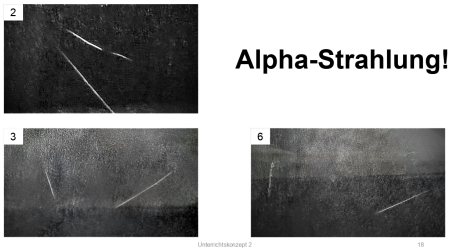
Abb.15

Unterrichtskonzept 2 16

Folie 17:

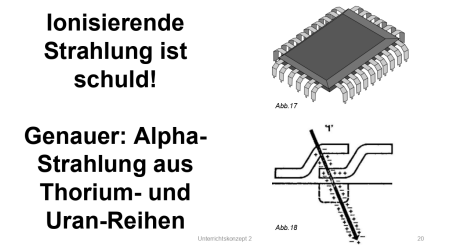


Folie 18:

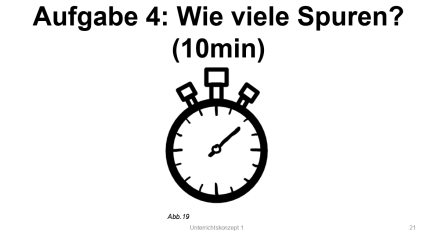


Folie 19:

Folie 20:



Folie 21:



Folie 22:

Abbildungsverzeichnis

- Abb.1: *Peace-Zeichen*. GDJ. https://pixabay.com/de/vectors/peace-zeichen-regenbogen-frieden-6280761/. Letzter Aufruf: 28.06.2023.
- Abb.2: *Hippie-Bus*. Gutsavorezende. https://pixabay.com/de/vectors/hippie-van-fahrzeug-frieden-liebe-6311225/. Letzter Aufruf: 28.06.2023.
- Abb.3+16: *Commodore PET*. Tomislav Medak. https://de.m.wikipedia.org/wiki/Datei:Commodore_PET2001.jpg. Letzter Aufruf: 28.06.2023.
- Abb.4+17: Computerchip. Clker-Free-Vector-Images. https://pixabay.com/de/vectors/chip-rechner-technologie-308574/. Letzter Aufruf: 28.06.2023.
- Abb.5: *Lupe*: Eigenes Werk.
- Abb.6+8: *Brille*. Eigenes Werk.
- Abb.7: *Nebelkammer*: Eigenes Werk.
- Abb.9: *Smiley*. Eigenes Werk.
- Abb.10+13+14: *Beta-Strahlung*. Eigenes Werk.
- Abb.11+12+15: *Alpha-Strahlung*. Eigenes Werk.
- Abb.18: *Soft Error*. T. May. Intel Cooperation. 1978.
- Abb. 19: *Stoppuhr*. Eigenes Werk.

Unterrichtskonzept 2 22

8.3 Langentwurf Unterrichtskonzept II - ohne Schülerexperiment

Das in diesem Entwurf vorgestellte Konzept wird ohne den Einsatz von Nebelkammern als Schülerexperimente durchgeführt. Die Nebelkammer wird aber als Lerninhalt behandelt und es werden zuvor aufgenommene Bilder aus der Nebelkammer verwendet. Das Konzept hat also starke inhaltliche Überschneidungen mit dem ersten, unterscheidet sich jedoch darin, dass eben keine Nebelkammern als Schülerexperiment eingesetzt werden.

8.3.1 Kompetenzangaben - Lernziele II

Dieses Konzept bezieht sich auf dieselben Komptenzen aus dem KC, die auch im vorherigen Entwurf angeführt wurden (vgl. Abschnitt 8.2.1).

"*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]

Auch die daraus abgeleiteten Lernziele in Form von konkretisierten Teilkompetenzen überschneiden sich weitestgehend. Die Reihenfolge ändert sich ein wenig und das LZ 4 des vorherigen Entwurfs wird durch das LZ 2 ersetzt, welches sich auf die Funktionsweise und den Aufbau der Nebelkammer bezieht.

Die Schüler:innen...

... kennen die Begriffe „ionisierende Strahlung“ und „Radioaktivität“ und können die ihnen zugrundeliegenden Konzepte in vereinfachter Form wiedergeben (LZ 1).

... nennen die einzelnen Bauteile der behandelten Nebelkammer und geben deren Funktion in eigenen Worten wieder (LZ 2).

... ordnen die jeweiligen Spuren in der Nebelkammer den Strahlungsarten der α- und β-Strahlung richtig zu und begründen ihre Zuordnung (LZ 3).

... erläutern anhand des Beispiels des abstürzenden PCs, dass ionisierende Strahlung uns in unserer Alltagswelt beeinflussen kann (LZ 4).

8.3.2 Der Lerngegenstand II

Der Lerngegenstand dieses Konzepts ist weitestgehend identisch mit dem in Abschnitt 8.2.2 beschriebenen Lerngegenstand.
Es lässt sich jedoch hinzufügen, dass in diesem Konzept die Funktionsweise der Nebelkammer zusätzlich Teil des Lerngegenstandes ist. Zudem werden keine echten Nebelkammern verwendet, vielmehr werden Bilder genutzt, um die Phänomene im Innern der Kammer darzustellen.

8.3.3 Begründung des Lerngegenstandes II

Die Begründung des Lerngegenstandes ist identisch mit der in Abschnitt 8.2.3.

8.3.4 Die Lerngruppe II

Die Angaben zur Lerngruppe sind identisch zu denen in Abschnitt 8.2.4.

8.3.5 Begründung und Analyse der Aufgaben II

Aufgabe 1 + 3: Expertentexte 1 + 2
1a) Die S sollen die Expertentexte "Ionisierende Strahlung" und "Radioaktivität" in Einzelarbeit lesen und sich Notizen machen. Die Informationen in den Texten sind neu und sollen nicht vollständig von den S durchdrungen werden, vielmehr geht es darum, dass die S eine grobe Vorstellung von den erläuterten Konzepten bekommen und diese mit den bereits beobachteten Phänomenen in der Nebelkammer verbinden. Diese Aufgabe soll das Lernziel LZ 1 anbahnen. 3a) Die Aufgabenstellung ist analog zur 1a) konzipiert, nur dass es sich um die Expertentexte "Alpha-Strahlung" und "Beta-Strahlung" handelt.

Die Expertentexte sind so konzipiert, dass sie die wichtigsten Informationen über die vorgestellten Texte in einem etwas reduzierten Niveau wiedergeben. So können die S auch ohne bestehende Vorkenntnisse verstehen, worauf die Texte hinauswollen.
*Material:*AB 2.1 + AB. 2.3/8.3.8

Aufgabe 2: Die Nebelkammer

a) Die S sollen kleine Infoboxen mit Beschreibungen, den jeweils beschriebenen Begriffen zuordnen. Die Inhalte sind für die S neu, aber die Zuordnung wird dadurch erleichtert, dass in den Infoboxen teilweise sehr direkte Hinweise zu finden sind. Die Aufgabe zwingt die S durch ihre Machart dazu, die Infoboxen genau zu lesen und provoziert so eine intensive Auseinandersetzung mit den Inhalten.
b) Jede Infobox hat eine Nummer und jedem Begriff ist ein Buchstaben zugeordnet. Die S sollen die Buchstaben in der Reihenfolge der Nummerierung aufschreiben, um ein Lösungswort (Strahlung) zu erhalten. Die S können sich so selbst überprüfen. Erhalten die S ein Lösungswort, dass keinen Sinn ergibt, so wissen sie sofort, dass sie Aufgabe 2a) noch einmal genauer anschauen müssen.
c) In dieser Aufgabe sollen die S eine schematische Abbildung der Nebelkammer mit den zuvor erarbeiteten Begriffen beschriften. Die S können so den Lerninhalt Nebelkammer auch auf bildlicher Ebene durchdringen. Beim Ausfüllen entsteht im besten Falle eine Reflexion über die zuvor erarbeiteten Begriffe und die textlichen Informationen werden mit den bildlichen vernetzt.
Die Aufgabe soll das Lernziel LZ 2 anbahnen.
*Material:*AB 2.2/8.3.8

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

a) Die S ordnen Tröpfchenspuren, die Sie auf Bildern auf dem AB 3.2 sehen können, den Strahlungsarten zu.
Die S sollen also die neu erworbenen fachlichen Inhalte auf etwas Phänomenologisches, nämlich die Tröpfchenspuren, anwenden. Die in den Expertentexten erarbeiteten Fachinhalte sollen nun mit dem sichtbaren Phänomen verknüpft werden.
Diese Aufgabe soll das Lernziel LZ 3 anbahnen.
*Material:*AB 2.3/8.3.8

8.3.6 Begründung der methodischen Entscheidungen II

Einstieg:
Die Lehrkraft nutzt Präsentationsfolien auf dem Smartboard für den Einstieg. So kann den S im Plenum schnell und aussagekräftig vermittelt werden, wie sich die Einstiegsproblematik gestaltet.

Erarbeitung 1:
Die S erschließen sich die Expertentexte in Einzelarbeit. So können sie sich die neuen Inhalte in Ruhe und ohne Ablenkung durch andere erschließen.

Sicherung 1:
Hier wird das Plenum als Sozialform genutzt, da so in effizienter Form und in direkter Kontrolle der Lehrkraft besprochen werden kann, was die Expertentexte beinhalten. Die Lehrkraft kann im Plenum durch Korrigieren sofort dafür sorgen, dass Fehlvorstellungen oder Missverständnissen entgegengewirkt wird.

Erarbeitung 2:
Zunächst arbeiten die S hier in Einzelarbeit, damit sie die Texte in den Infoboxen in Ruhe lesen können und die Zuordnung der Begriffe ohne Ablenkung durch andere vornehmen können.
In dem zweiten Teil der Phase, während dem die S das Lösungswort ermitteln sollen, dürfen die S in Kleingruppen (2-3S) zusammenarbeiten. So können sie sich bei etwaigen Fehlern und Unklarheiten über ihre Zuordnung im vorherigen Aufgabenteil austauschen und gemeinsam Lösungen finden.

Sicherung 2:
Die Lehrkraft kann hier Präsentationsfolien auf dem Smartboard nutzen, um im Plenum die richtige Zuordnung und das Lösungswort zu vergleichen. So können die wichtigsten Informationen effizient an die S vermittelt werden.
Diese Phase ist eher optional und je nach Ermessen der Lehrkraft anzuleiten. Wenn sich beispielsweise bei einer kurzen Abfrage des Lösungswortes im Plenum zeigt, dass alle S die Zuordnung richtig durchgeführt haben, kann die Vergleichsphase durchaus weggelassen werden.

Erarbeitung 3:

Die S arbeiten bei der Beschriftung der Abbildung in Kleingruppen zusammen. So können sie die zuvor im Einzelnen erschlossene Beschreibung der Nebelkammer gemeinsam auf die Abbildung übertragen und sich dabei gegenseitig korrigieren oder anregen die eigenen Vorstellung zu überdenken.

Sicherung 3:

Die Lehrkraft nutzt Präsentationsfolien, um die Funktionsweise und den Aufbau im Plenum zu erläutern bzw. von den S erläutern zu lassen. So kann sie die wichtigen Inhalte schnell und ohne große Umschreibungen anhand der Abbildung vermitteln und bekommt zudem die Möglichkeit, sich ein Bild darüber zu machen, wie die S die Aufgabe bearbeitet haben.

Erarbeitung 4:

Siehe Erarbeitung 1.

Sicherung 4:

Siehe Sicherung 4.

Erarbeitung 5:

Die S arbeiten in Kleingruppen, während sie die Spuren zuordnen sollen. So können sie sich austauschen und vielseitige Sichtweisen mit in den Zuordnungsprozess miteinbeziehen. Die Spuren haben nämlich verschiedene Aspekte, die mit einbezogen werden können. Dazu gehören die Dicke, die Länge, die "Sichtbarkeit" usw..

Sicherung 5:

Die Zuordnung wird mithilfe des Smartboards und der Durchführung mehrerer Klassenabstimmungen im Plenum durchgeführt. Mit dem Smartboad kann man Bilder von konkreten Spuren zeigen und stellt so sicher, dass alle bei der Zuordnung über das gleiche Phänomen abstimmen und nicht von umständlichen Beschreibungen abhängig sind. Zudem ermöglicht die Präsentation am Smartboard, dass erst am Ende aufgelöst wird, welche Spur zu welcher Strahlungsart gehört. So besteht die Möglichkeit, dass die S stärker involviert sind, weil sie bis zum Schluss wissen wollen, ob ihre Zuordnung richtig war.

Transfer:

Hier wird das Plenum als Sozialform genutzt, damit die S für alle zugänglich ihre Vermutungen über die Gründe der PC-Abstürze äußern können. So können die S aufeinander eingehen und die Ideen anderer mit in ihre eigenen Vermutungen einbeziehen. Die Lehrkraft nutzt das Smartboard, um die Verursachung des Absturzes zu erläutern und kann die Inhalt so kompakt und effizient vermitteln.

8.3.7 Verlaufsplan II

Phase (Zeit)	Aktivität		Sozial- und Interaktions-form	Material/ Medien
	Lehrkraft	Schüler:innen		
Einstieg (10min)	Stellt Problem der abstürzenden PCs vor. Fragt S, was für Hypothesen sie haben. Sammelt die Hypothesen. Stellt kurz Nebelkammer vor.	Stellen Vermutungen an und formulieren Hypothesen. Antizipierte Schülerantworten: „Das Uran ist radioaktiv, deshalb stürzt der PC ab.“	Plenum	Smartboard
Erarbeitung 1 (10min)	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 (10min),	AB 2.1
Sicherung 1 (5min)	Fordert S auf, Inhalt der Expertentexte wiederzugeben. Korrigiert und unterstützt bei Unklarheiten.	Geben den Inhalt der Expertentexte in eigenen Worten wieder.	Plenum	AB 2.1
Lernziel 1: Die S kennen die Begriffe „ionisierende Strahlung“ und „Radioaktivität“ und können die ihnen zugrundeliegenden Konzepte in vereinfachter Form wiedergeben.				
Erarbeitung 2 (15min)	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 (10min) Gruppen-arbeit (5min)	AB 2.2
Sicherung 2 (0-5min) (Optional)	Fordert S dazu auf, das Lösungswort mitzuteilen. Unterstützt bei Unklarheiten.	Teilen ihr Lösungswort mit.	Plenum	AB 2.2, Smartboard

Phase (Zeit)	Aktivität		Sozial- und Interaktions-form	Material/ Medien
	Lehrkraft	Schüler:innen		
Erarbeitung 3 (5min)	Bittet S, Aufgabe 2c) zu bearbeiten. Unterstützt bei Fragen	Bearbeiten Aufgabe 2c) Stellen Fragen.	Gruppen-arbeit	AB 2.2
Sicherung 3 (5min)	Fordert S auf, ihre Ergebnisse im Plenum mitzuteilen. Nutzt Smartboard, um Aufbau und Funktionsweise der Nebelkammer darzustellen.	Erklären mit eigenen Worten in vereinfachter Form, wie die Nebelkammer funktioniert.	Plenum	AB 2.2, Smartboard
Lernziel 2: Die S nennen die einzelnen Bauteile der behandelten Nebelkammer und geben deren Funktion in eigenen Worten wieder.				
Erarbeitung 4 (10min)	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 (5min)	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	AB 2.3, Smartboard
Erarbeitung 5 (10min)	Fordert S auf, Aufgabe 4a) zu bearbeiten. Unterstützt bei Unklarheiten.	Bearbeiten Aufgabe 4a).	Gruppen-arbeit	AB 2.3

Phase (Zeit)	Aktivität		Sozial- und Interaktions-form	Material/ Medien
	Lehrkraft	Schüler:innen		
Sicherung 5 (10min)	Zeigt den S die Bilder von AB 3.2 auf Smartboard. Fordert S auf, Vermutungen aufzustellen, welches Bild zu welcher Strahlungsart gehört. Führt Abstimmung durch. Löst durch Einblenden von Überschriften auf,welche Zuordnung richtig ist.	Äußern Vermutungen über Zuordnung. Stimmen über Zuordnung ab.	Plenum	AB 3.2, 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.				
Transfer (5min)	Fragt S nun nochmal nach Vermutungen über die Ursache der PC-Abstürze. Bei Schwierigkeiten wiederholt er alle bekannten Informationen, um Schluss zu erleichtern. Klärt auf, dass tatsächlich Alpha-Strahlung verantwortlich war und erläutert den Vorgang in vereinfachter Form.	Schließen aus den Informationen, dass ionisierende Strahlung aus Thorium (und/oder Uran) die PCs hat abstürzen lassen. Teilen ihre Vermutungen im Plenum mit.	Plenum	Smartboard
Lernziel 4: Die S erläutern anhand des Beispiels des abstürzenden PCs, dass ionisierende Strahlung uns in unserer Alltagswelt beeinflussen kann.				

8.3.8 Arbeitsblätter II

AB 2.1

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:

AB 2.2

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).

Infobox 1: Es besteht aus festem CO_2 und hat eine Temperatur von -78,5°C. Es hat direkten Kontakt zur schwarzen Aluplatte und kühlt diese.	**Infobox 2:** Sie beinhaltet das Trockeneis. Sie ist aus wärmedämmenden Styropor gefertigt, damit das Eis möglichst lange hält.	**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.	**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.

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

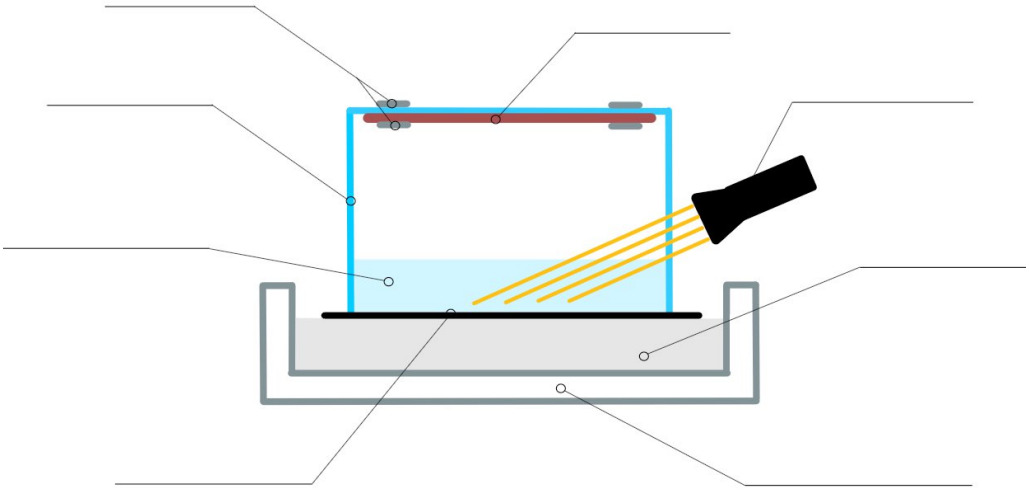
Infobox 5: Sie strahlt weißes Licht in das Aquarium hinein. Die feinen Tröpfchenspuren streuen das Licht und sind so besser für den Beobachter zu erkennen.	**Infobox 6:** Sie fixieren das Filz an der Oberseite des Aquariums.	**Infobox 7:** Sie kühlt das Luft-Alkoholdampf-Gemisch im Innern des Aquariums.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

AB 2.2

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).



AB 2.3

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:

AB 2.3

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).

1

2

Notizen:

3

4

5

6

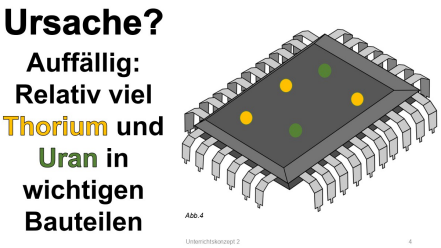
8.3.9 PowerPoint-Präsentation II

Folie 1:

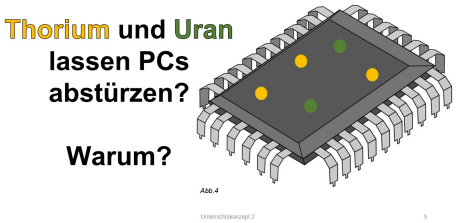
Folie 2:

Folie 3:

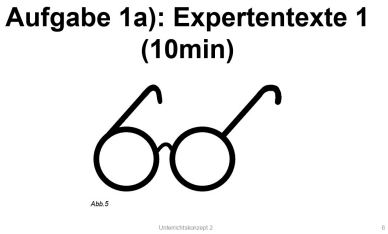
Folie 4:



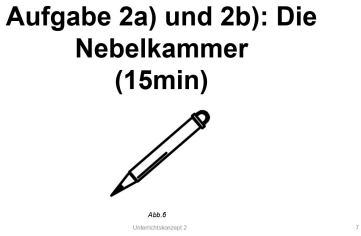
Folie 5:



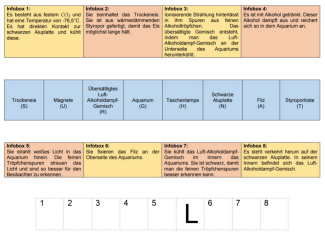
Folie 6:



Folie 7:



Folie 8:



Infobox 1:	Infobox 2:	Infobox 3:	Infobox 4:
Es besteht aus festem CO_2 und hat eine Temperatur von -78,6°C. Es hat direkten Kontakt zur schwarzen Aquatelle und kühlt diese.	Sie bestehlt das Trockeneis. Sie ist aus wärmeabsorbierenden Styropor gefertigt, damit das Eis möglichst lange hält.	konsavierende Strahlung herbeiführt in ihm Spuren aus feinen Alkoholtröpfchen. Das übersättigte Gemisch entsteht, indem man das Luft-Alkohol-Dampf-Gemisch an der Unterseite des Aquariums herunterkühlt.	Es ist mit Alkohol getränkt. Dieser Alkohol dampft aus und reichert sich so in dem Aquarium an.

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

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

1	2	3	4	5	L	6	7	8

Unterrichtskonzept 2
8

Folie 9:

Aufgabe 2c): Die Nebelkammer (5min)

Abb.7

Unterrichtskonzept 2 9

Folie 10:

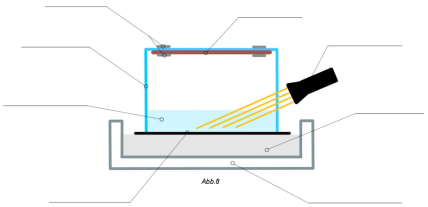


Abb.8

Unterrichtskonzept 2 10

Folie 11:

Aufgabe 3a): Expertentexte 2 (10min)

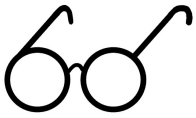


Abb.9

Unterrichtskonzept 2 11

Folie 12:

Aufgabe 4a): Wer gehört zu wem? (10min)

Abb.10

Unterrichtskonzept 2 12

Folie 13:

Abb.11

Unterrichtskonzept 2 13

Folie 14:

Abb.12

Unterrichtskonzept 2 14

Folie 15:

Abb.13

Unterrichtskonzept 2 15

Folie 16:

Abb.14

Unterrichtskonzept 2 16

Folie 17:

Abb.15

Unterrichtskonzept 2 17

Folie 18:

Abb.16

Unterrichtskonzept 2 18

Folie 19:

Beta-Strahlung!

Unterrichtskonzept 2 19

Folie 20:

Alpha-Strahlung!

Unterrichtskonzept 2 20

Folie 21:

Wieso könnten die PCs abgestürzt sein?

Abb.17

Unterrichtskonzept 2 21

Folie 22:

Ionisierende Strahlung ist schuld!

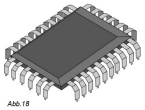


Abb.18

Genauer: Alpha-Strahlung aus Thorium- und Uran-Reihen

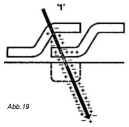


Abb.19

Unterrichtskonzept 2 22

Folie 23:

Abbildungsverzeichnis

- Abb.1: *Peace-Zeichen*. GDJ. https://pixabay.com/de/vectors/peace-zeichen-regenbogen-frieden-6280761/. Letzter Aufruf: 28.06.2023.
- Abb.2: *Hippie-Bus*. Gutsavorezende. https://pixabay.com/de/vectors/hippie-van-fahrzeug-frieden-liebe-6311229/. Letzter Aufruf: 28.06.2023.
- Abb.3+17: *Commodore PET*. Tomislav Medak. https://de.m.wikipedia.org/wiki/Datei:Commodore_PET2001.jpg. Letzter Aufruf: 28.06.2023.
- Abb.4+18: Computerchip. Clker-Free-Vector-Images. https://pixabay.com/de/vectors/chip-rechner-technologie-308574/. Letzter Aufruf: 28.06.2023.
- Abb.5+9: *Brille*. Eigenes Werk.
- Abb.6+7: *Stift*. Eigenes Werk.
- Abb.8: *Nebelkammer*: Eigenes Werk.
- Abb.10: *Smiley*. Eigenes Werk.
- Abb.11+14+15: *Beta-Strahlung*. Eigenes Werk.
- Abb.12+13+16: *Alpha-Strahlung*. Eigenes Werk.
- Abb.19: *Soft Error*. T. May. Intel Cooperation. 1978.

Unterrichtskonzept 2 23

8.4 Abbildungen

Abb. 13: Beta-Spuren 1; nachbearbeitet. Eigene Aufnahme.

Abb. 14: Beta-Spur 2; nachbearbeitet. Eigene Aufnahme.

Abb. 15: Beta-Spur 3; nachbearbeitet. Eigene Aufnahme.

Abb. 16: Alpha-Spuren 1; nachbearbeitet. Eigene Aufnahme.

Abb. 17: Alpha-Spuren 2; nachbearbeitet. Eigene Aufnahme.

Abb. 18: Alpha-Spuren 3; nachbearbeitet. Eigene Aufnahme.

Abb. 19: Peace-Zeichen [GDJ]

Abb. 20: Commodore PET [Med]

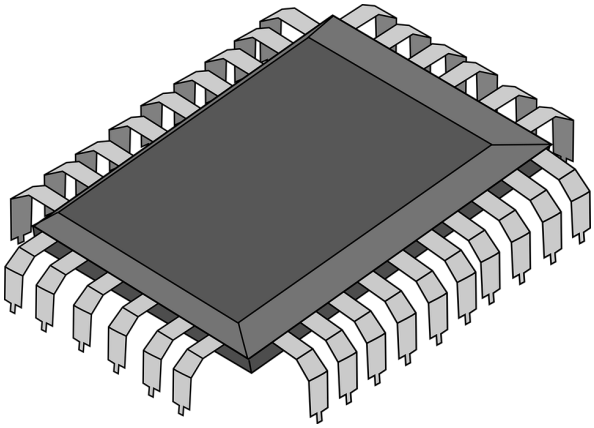


Abb. 21: Computerchip [Clk]

Abb. 22: Hippie-Van [Gut]

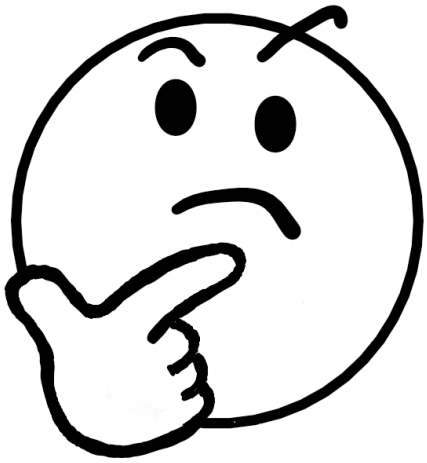


Abb. 23: Smiley. Eigenes Werk.

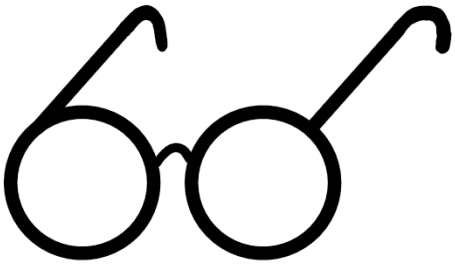


Abb. 24: Brille. Eigenes Werk.

Abb. 25: Lupe. Eigenes Werk.

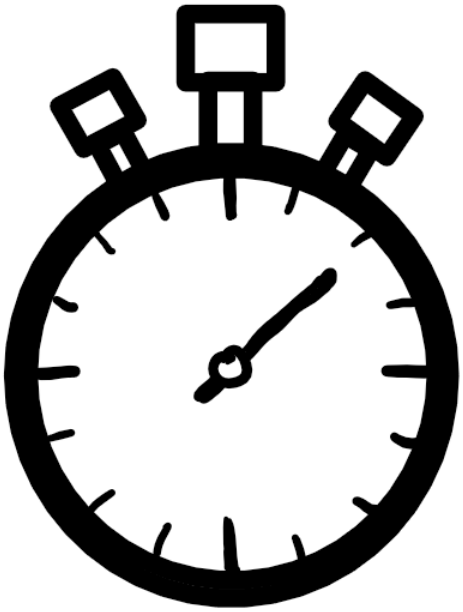


Abb. 26: Stoppuhr. Eigenes Werk.

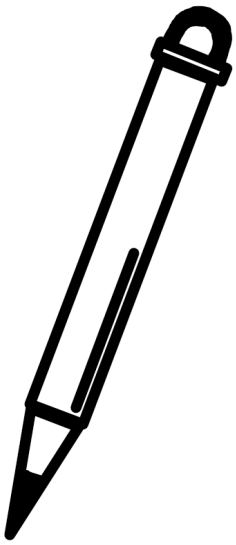


Abb. 27: Stift. Eigenes Werk.

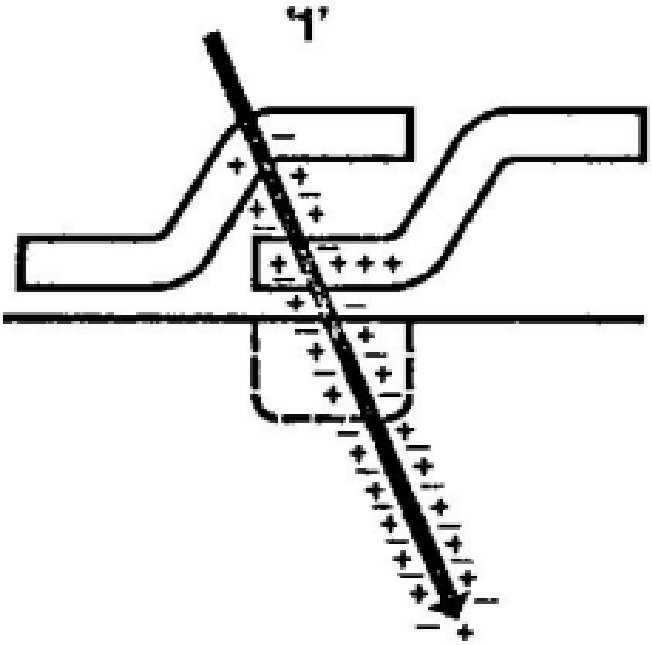


Abb. 28: Darstellung eines durch ein $\alpha-$Teilchen verursachten "soft-error" [Woo78, S.35]

Literatur

[Woo78] T. May & M. Woods. *A new physical mechanism for soft errors in dynamic memories*. Intel Cooperation, 1978.

[Wei01] Franz E. Weinert. *Leistungsmessungen in Schulen*. Beltz Verlag, Weinheim Basel, 2001. ISBN: 3-407-25243-9.

[Kul04] Kultusministerkonferenz. *Beschlüsse der Kultusministerkonferenz - Bildungsstandards im Fach Physik für den mittleren Schulabschluss*. Luchterhand, 2004.

[Wod07] T. Wodzinski & R. Wodzinski. *Ansätze für Differenzierung im Physikunterricht*. Friedrich Verlag, Seelze, 2007.

[Bet08] Klaus Bethge. *Kernphysik - Eine Einführung*. Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2008. ISBN: 978-3-540-74566-2.

[Klo08] Brigitte Klose. *Meteorologie - Eine interdisziplinäre Einführung in die Physik der Atmosphäre*. Springer Spektrum, 2008. ISBN: 978-3-662-43621-9.

[Wil09] U. Backmut & T. Wilhelm. *Selbstbau einer kontinuierlichen Diffusionsnebelkammer*. Bd. 58. 1. 2009, S. 27–32.

[Mai12] Veronika Maiseyenka et al. *Kompetenzorientierung des naturwissenschaftlichen Unterrichts - Symbiotische Kooperation bei der Entwicklung eines Modells experimenteller Kompetenz*. PhyDid - Physik und Didaktik in Schule und Hochschule, 2012.

[Wig13] I. Esslinger-Hinz & M. Wigbers. *Der ausführliche Unterrichtsentwurf*. Beltz Verlag, Weinheim Basel, 2013. ISBN: 978-3-407-29297-1.

[Dem17] Wolfgang Demtröder. *Experimentalphysik 4 - Kern-, Teilchen- und Astrophysik*. Springer Spektrum, 2017. ISBN: 978-3-662-52883-9.

[Prü18] Clemens Prükler. *Schülervorstellungen zum Thema „Ionisierende Strahlung“ in der Sekundarstufe II*. Universität Wien, 2018.

[Sch18] Horst Schecker et al. *Schülervorstellungen und Physikunterricht - Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Springer Spektrum, 2018. ISBN: 978-3-662-57269-6.

[Spa18] Karl-Heinz Spatschek. *Astrophysik - Eine Einführung in Theorie und Grundlagen*. Springer Spektrum, 2018. ISBN: 978-3-662-55466-1.

[Kri19] Hanno Krieger. *Grundlagen der Strahlenphysik und des Strahlenschutzes*. Springer Spektrum, 2019. ISBN: 978-3-662-60583-7.

[Vah19] H. Vogt & J. Vahlbruch. *Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes*. Carl Hanser Verlag München, 2019. ISBN: 978-3-446-44919-0.

[Kir20] Ernst Kirchner et al. *Physikdidaktik Grundlagen*. Springer Spektrum, 2020. ISBN: 978-3-662-59489-6.

[Sch20] Carolin Schwerdt. *Teilchenspuren sichtbar machen - Handreichung zum Selbstbau einer Nebelkammer*. Netzwerk Teilchenwelt, 2020.

[Kul21] Niedersächsisches Kultusministerium. *Naturwissenschaften – Kerncurriculum für das Gymnasium Schuljahrgänge 5 – 10*. Hannover, 2021.

[Sch22] Konstantin Schremmer. *Untersuchung des Einflusses von Lenkung und Erweiterung von Schülerversuchen in der Radioaktivität*. Institut für Strahlenschutz und Radioökologie, 2022.

[Clk] Clker-Free-Vector-Images. *Computerchip*. URL: https://pixabay.com/de/vectors/chip-rechner-technologie-308574/. (accessed: 28.06.2023).

[GDJ] GDJ. *Peace-Zeichen*. URL: https://pixabay.com/de/vectors/peace-zeichen-regenbogen-frieden-6280761/. (accessed: 28.06.2023).

[Gut] Gutsavorezende. *Hippie-Van*. URL: https://pixabay.com/de/vectors/hippie-van-fahrzeug-frieden-liebe-6311225/. (accessed: 28.06.2023).

[Med] Tomislav Medak. *Commodore PET*. URL: https://de.m.wikipedia.org/wiki/Datei:Commodore_PET2001.jpg. (accessed: 28.06.2023).

[Mul] Derek Muller. *The Universe is Hostile to Computers*. URL: https://www.youtube.com/watch?v=AaZ_RSt0KP8. (accessed: 23.06.2023).

[PHY] PHYWE. *Unsichtbares wird Sichtbar - mit der Diffusionsnebelkammer*. URL: https://www.phywe.de/physik/moderne-physik/kern-teilchenphysik/grossraum-diffusions-nebelkammer-80-80-cm-pj-80-230-v/a-1575/. (accessed: 08.05.2023).

[Rad] Institut für Radioökologie und Strahlenschutz. *Das neue Strahlenschutzgesetz - was ändert sich für Schulen?* URL: https://www.strahlenschutzkurse.de/fileadmin/strahlenschutzkurse/Dokumente/Lehrer/Strahlenschutzrecht/2019-03-29_Endfassung_SVBl_4-2019_Einhefter_Strahlenschutz.pdf. (accessed: 23.06.2023).

[Stra] Bundesamt für Strahlenschutz. *Grundsätze des Strahlenschutzes*. URL: https://www.bfs.de/DE/themen/ion/strahlenschutz/einfuehrung/grundsaetze/grundsaetze.html. (accessed: 23.06.2023).

[Strb] Bundesamt für Strahlenschutz. *Natürliche Strahlung in Deutschland*. URL: https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/natuerliche-strahlung/natuerliche-strahlung.html. (accessed: 23.06.2023).

[Won] Wonsack. *Trockeneis Nuggets 10kg*. URL: https://trockeneis-shop.de/produkt/trockeneis-nuggets-10-kg/. (accessed: 22.06.2023).

9 Eidesstattliche Erklärung

Hiermit gebe ich eine eidesstattliche Erklärung ab, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und dabei keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Sämtliche Stellen der Arbeit, die im Wortlaut oder dem Sinn nach Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren entnommen sind, habe ich als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher weder gesamt noch in Teilen einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Hannover, den 14. Juli 2023 Malte Ailert Saathoff