

GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ UNIVERSITÄT HANNOVER  
INSTITUT FÜR RADIOÖKOLOGIE UND STRAHLENSCHUTZ

Bachelorarbeit

**Untersuchung des Einflusses von Lenkung und  
Erweiterung von Schülerversuchen in der  
Radioaktivität**

Konstantin Ramón Emanuel Schremmer

Matrikelnr. 10030242

Erstprüfer: Prof. Dr. Clemens Walther

Zweitprüfer: Prof. Dr. Gunnar Friege

Hannover, den 24.08.2022



# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Physikalische Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1. Instabile Kerne und Radioaktivität . . . . .	3
2.2. Zerfallsarten . . . . .	4
2.2.1. Alphazerfall . . . . .	4
2.2.2. Betazerfall . . . . .	6
2.2.3. Gammaübergang . . . . .	8
2.3. Wechselwirkung von Strahlung mit Materie . . . . .	9
2.3.1. Geladene schwere Teilchen . . . . .	10
2.3.2. Energieverlust von Elektronen . . . . .	10
2.3.3. Wechselwirkung von Gammaquanten mit Materie . . . . .	11
2.4. Detektoren . . . . .	11
2.4.1. Geigerzähler . . . . .	13
2.4.2. Proportionalzählrohr . . . . .	14
2.5. Strahlenschutzaspekte . . . . .	17
<b>3. Im Physikunterricht experimentieren</b>	<b>19</b>
3.1. Experimente . . . . .	19
3.2. Schülerexperimente . . . . .	20
3.3. Bildungsstandards und Kompetenzen . . . . .	21
<b>4. Das RadLab</b>	<b>23</b>
4.1. Charakterisierung des RadLabs . . . . .	23
4.2. Übersicht der Experimente . . . . .	24
<b>5. Erprobung</b>	<b>27</b>
5.1. Allgemeines . . . . .	27
5.2. Reichweite verschiedener Strahler in der Luft . . . . .	32

5.3.	Abschirmung verschiedener Strahlungsarten . . . . .	34
5.4.	Natürliche Radioaktivität in Lebensmitteln . . . . .	38
5.5.	Versuchskombinationen . . . . .	40
<b>6.</b>	<b>Untersuchung des Einflusses von Lenkung</b>	<b>43</b>
6.1.	Kriterien der Glaubwürdigkeit . . . . .	43
6.2.	Forschend-entdeckender Unterricht . . . . .	44
6.3.	Konzept der Untersuchung . . . . .	45
6.3.1.	Zentrale Fragestellung . . . . .	45
6.3.2.	Variablen der Untersuchung . . . . .	46
6.4.	Methode der Untersuchung . . . . .	47
6.4.1.	Das Untersuchungsdesign und die Stichprobe . . . . .	47
6.4.2.	Ablauf der Untersuchung . . . . .	48
6.4.3.	Aufbau der Aufgabenstellung . . . . .	49
6.4.4.	Aufbau des Fragebogens . . . . .	51
6.4.5.	Statistische Methoden . . . . .	52
6.5.	Ergebnisse und Diskussion . . . . .	54
6.5.1.	Ergebnisse der Skalen . . . . .	54
6.5.2.	Ergebnisse der Items . . . . .	57
6.5.3.	Zusammenfassung und Diskussion . . . . .	59
<b>7.</b>	<b>Experiment: Auffinden von Kontaminationen</b>	<b>63</b>
7.1.	Lern- und Kompetenzziele . . . . .	63
7.2.	Unterrichtsmaterialien . . . . .	65
7.2.1.	Arbeitsblatt . . . . .	65
7.2.2.	Musterlösung . . . . .	66
<b>8.</b>	<b>Fazit und Reflexion</b>	<b>69</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>73</b>
<b>A.</b>	<b>Allgemeine Ergänzungen</b>	<b>77</b>
A.1.	Fragebogen . . . . .	79
A.2.	PowerPoint Präsentationsfolien . . . . .	80
A.3.	Reichweite verschiedener Strahlungsarten . . . . .	83
A.4.	Abschirmung verschiedener Strahlungsarten . . . . .	91
A.5.	Natürliche Radioaktivität in Lebensmitteln . . . . .	102

A.6. Auffinden von Kontaminationen . . . . . 111

# 1. Einleitung

Radioaktivität nimmt im Alltag der Schüler:innen eine wichtige Rolle ein. Sie bietet mehr Berührungspunkte als zunächst vermuten lässt. Die aktuelle Diskussion um eine Laufzeitverlängerung der Kernkraftwerke zur Sicherung der Energieversorgung oder die Problematik bei der Endlagerung von Kernbrennstäben bekommen die Schüler:innen durch die täglichen Nachrichten mit. Weniger beachtet wird dagegen die ständige natürliche Strahlenbelastung durch die natürliche Radioaktivität in Lebensmitteln oder das radioaktive Edelgas Radon in der Umgebungsluft. Während Flugreisen erfahren die Fliegenden eine kosmische Strahlenbelastung. Durch die hohe Gegenwarts- und Zukunftsbedeutung in der Gesellschaft sollten die Schüler:innen über ein fundiertes Wissen in der Kernphysik verfügen.

Um den Umgang mit Radioaktivität für die Schüler:innen erfahrbar zu machen, wurde in der Masterarbeit von Dennis Raulin das RadLab entwickelt, welches Schülerexperimente zu diesem Themengebiet in die Schulen bringt.

*Der zeitliche Rahmen der Experimente war teilweise recht eng für das Experimentieren, Auswerten und die Ergebnissicherung gefasst. [1]*

Dennis Raulin deutet in seiner Masterarbeit bereits an, dass die entwickelten Experimente noch nicht ausgereift für die Schulbesuche sind. Durch eigene Erprobungen stellte sich heraus, dass in der Tat erhebliche Überarbeitungsnotwendigkeit der Versuche bestand. Außerdem ist ein Impuls für Differenzierungsmöglichkeiten aufgeführt.

*Möglicherweise können die Versuchsanleitungen so modifiziert werden, dass es [...] Versuchsdurchführungen mit weniger Anweisungen und mehr Freiheiten im Planen, Experimentieren und Auswerten gibt. [1]*

Diese Bachelorarbeit greift beide Ansätze auf und führt das Konzept des RadLabs fort. Ziel dieser Arbeit ist es, die Versuche zu erproben und anhand der Erfahrung zu modifizieren sowie den Einfluss von Lenkung im schulischen Kontext zu untersuchen. Zu

Beginn der Arbeit werden die notwendigen physikalische Grundlagen dargelegt, auf die später Rückbezüge erfolgen. Anschließend folgt die Rolle von Experimenten und speziell Schülerexperimenten im Physikunterricht. Das Konzept des RadLabs und die einzelnen Versuche werden vorgestellt, bevor drei Experimente und die Arbeitsblätter auf Grundlage der eigenen Erprobungen im schulischen Umfeld überarbeitet werden. Zusätzlich werden neue Musterlösungen erstellt.

Empirische Forschungen tragen in der Physikdidaktik eine große Bedeutung, um Hinweise für eine Verbesserung der Unterrichtsqualität zu geben. Die Versuchsanleitung wird im Sinne der Offenheit variiert. Dieser Einfluss von Lenkung auf das Interesse in Abhängigkeit des Geschlechts wird untersucht. Zusätzlich wird das RadLab durch den selbsterstellten Versuch *Auffinden von Kontaminationen* mit einem Arbeitsblatt sowie der Lösung und Hinweisen für die Lehrkraft erweitert.

## 2. Physikalische Grundlagen

Für die Versuche des RadLabs bedarf es einiger essenzieller physikalischer Grundlagen. Diesbezüglich wird zunächst auf instabile Kerne sowie die Radioaktivität eingegangen. Anschließend erfolgt die Beleuchtung verschiedener Zerfallsarten. Auf dem Prinzip der Wechselwirkung von Teilchen und Strahlung mit Materie funktionieren Detektoren. Insbesondere das Proportionalzählrohr wird näher erläutert, das beim eigen entwickelten Versuch zum Einsatz kommt.

### 2.1. Instabile Kerne und Radioaktivität

Alle festen, flüssigen oder gasförmigen Stoffe bestehen aus Atomen. Den massereichsten Anteil dieser Atome bildet der Atomkern. Die Atomkerne bestehen aus Protonen und Neutronen, den so genannten Nukleonen. Die Anzahl der Protonen, auch Kernladungszahl genannt, definiert das Element und gleicht der Anzahl der Elektronen eines elektrisch neutralen Atoms. Dadurch sind die Struktur der Elektronenhülle und somit die chemischen Eigenschaften eines Atoms charakterisiert. Jede Kernladungszahl kommt als Isotop in unterschiedlichen Kombinationen mit verschiedenen Neutronen- und somit Massezahlen vor. Grundlegend sind zwei verschiedene Arten von Atomkernen zu unterscheiden. Stabile Kerne wandeln sich nicht ohne externe Einflüsse in andere Kerne um. Instabile Kerne transmutieren hingegen spontan nach einer endlichen Lebensdauer in einen anderen Atomkern unter Aussendung von Alpha- oder Betastrahlung oder relaxieren durch Gammaemission in einen energetisch günstigeren Zustand. [2]

Das Zerfallsgesetz in der Radioaktivität beschreibt, dass die Anzahl der instabilen Kerne  $N$  exponentiell mit der Zeit abnimmt. Dabei gibt die Zerfallskonstante  $\lambda$  mit der Einheit  $\frac{1}{s}$  die Wahrscheinlichkeit der Zerfälle pro Sekunde an. Die Anzahl zum Zeitpunkt  $t=0$

vorhandenen Mutterkerne ist  $N_0$ .

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad [3] \quad (2.1)$$

Die Aktivität  $A = \lambda \cdot N$  zu einem Zeitpunkt  $t$  gibt die Anzahl der Zerfälle pro Sekunde mit der Einheit  $\frac{1}{s} = 1$  Becquerel = 1 Bq an.

$$A(t) = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda t} = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad [2] \quad (2.2)$$

Für die Halbwertszeit  $T_{1/2}$  besteht ein inverser Zusammenhang zur Zerfallskonstante. Je kleiner die Halbwertszeit eines Isotops ist, desto schneller zerfällt es und ist größer. Nach einer Halbwertszeit ist die Anzahl  $N = \frac{N_0}{2}$  auf die Hälfte des Anfangswertes gesunken.

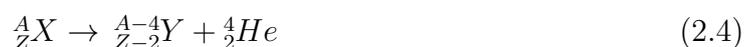
$$T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} \quad [3] \quad (2.3)$$

## 2.2. Zerfallsarten

Die Strahlungsarten können in die drei grundlegend unterschiedlichen Zerfallsarten Alpha-, Betazerfall und Gammaübergang differenziert werden. Beobachten lassen sich die Unterschiede an einem differenten Durchdringungsvermögen. Der Nachweis, dass durch den Gammaübergang elektromagnetische Strahlung mit hoher Energie und somit einem hohen Durchdringungsvermögen emittiert wird, ist mit Beugungsexperimenten an Kristallen gelungen. [2]

### 2.2.1. Alphazerfall

Bei einem Alphazerfall emittiert der ursprüngliche Kern (Mutterkern) ein  $\alpha$ -Teilchen. Dabei wandelt sich der Mutterkern  $X$  in den Tochterkern  $Y$  um, der eine um 2 verringerte Protonenzahl  $Z$  und um 4 niedrigere Atommasse  $A$  besitzt. Die Umwandlung wird auch als Transmutation bezeichnet. Bei dem  $\alpha$ -Teilchen handelt es sich offensichtlich um einen Helium-Kern. Der Alphazerfall kann in folgender Form



geschrieben werden. [3]

Durch die Superposition der kurzreichweitigen starken und der langreichweitigen abstoßenden Coulombkraft resultiert ein Potentialtopf mit einer Potentialbarriere für das  $\alpha$ -Teilchen. Die Coulombbarriere ist für das  $\alpha$ -Teilchen umso schmaler, je höher die Energie vom quasistationären Zustand des  $\alpha$ -Teilchens ist. Als Tunnelwahrscheinlichkeit wird die quantentheoretische Wahrscheinlichkeit beschrieben, dass das  $\alpha$ -Teilchen den Atomkern verlässt. Je kürzer die Strecke durch die Coulombbarriere ist, desto größer ist die Tunnelwahrscheinlichkeit und die kinetische Energie  $E_{kin}$  des  $\alpha$ -Teilchens. [4] Die Differenz zwischen Anfangs- und Endzustand ist definiert als  $E_{kin} = E_1 - E_2$ . Somit hängt die Energie der  $\alpha$ -Strahlung davon ab, ob der ursprüngliche oder neugebildete Kern sich in einem angeregten Zustand oder im Grundzustand befindet. Das Energiespektrum besteht aus einer oder mehreren Linien diskreter Energien. [2]

### Am-241:

Bei den Schulversuchen kommt der Strahler Americium-241 mit einer Halbwertszeit von 430 Jahren zum Einsatz. Americium ist kein reiner  $\alpha$ -Strahler, sondern gelangt nach einem  $\alpha$ -Zerfall direkt oder indirekt über Emission von  $\gamma$ -Quanten zu seinem Grundzustand Np-237. Diese Kenntnis ist für die Durchführung und Modifizierung des Schulversuchs 'Abschirmung verschiedener Strahlungsarten' im weiteren Verlauf wichtig.

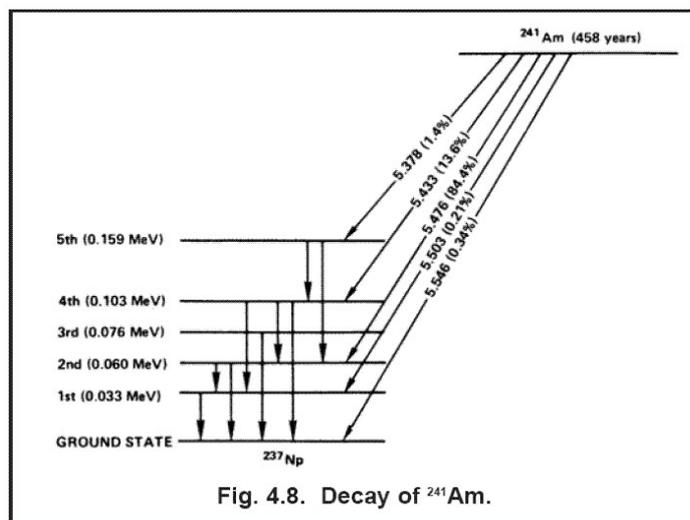


Abbildung 2.1.: Zerfallsschema: Am-241 [5]

### 2.2.2. Betazerfall

Der Betazerfall wird aufgrund der schwachen Wechselwirkung verursacht. [4] Man unterscheidet den  $\beta^-$ -,  $\beta^+$ -Zerfall und den Elektroneneinfang. [3] Letzteres wird im Folgenden aufgrund der geringen Relevanz für die Schulbesuche vernachlässigt.

**$\beta^-$ -Zerfall:** Besitzt ein Isotop einen Neutronenüberschuss gegenüber den stabilen Atomkernen des Elements, findet ein  $\beta^-$ -Zerfall statt. Bei diesem wird ein Neutron in ein Proton umgewandelt. Dabei wird aufgrund der Ladungserhaltung ein Elektron  $e^-$  mit einer negativen Elementarladung  $Z=-1e$  erzeugt. Dieses Elektron stammt nicht aus der Atomhülle, sondern entsteht innerhalb des Kerns. Um den Entstehungsort hervorzuheben, werden sie  $\beta$ -Teilchen genannt, auch wenn sie dieselben Eigenschaften wie Hüllenelektronen aufweisen. Außerdem wird ein Elektron-Antineutrino  $\bar{\nu}_e$  emittiert. [3] Aufgrund der Unschärferelation dürften sich eigentlich keine Elektronen im Kern aufhalten. Daher verlässt es sofort nach seiner Entstehung mit dem Antineutrino den Kern. [2] Der Prozess des  $\beta^-$ -Zerfalls lässt sich als

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e \quad (2.5)$$

$${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+1} Y + {}^0_{-1} e + \bar{\nu}_e \quad (2.6)$$

formulieren. [2] Beim Zerfall bleibt die Nukleonenzahl  $A$  des Mutter- und Tochterkerns konstant. Das  $\beta$ -Teilchen ist kein Nukleon und besitzt eine sehr kleine Masse. Durch die Freisetzung eines negativ geladenen Elektrons aus dem Kern ist die Ladung  $Z$  des Tochterkerns  $Y$  um  $+1e$  größer als die des Mutterkerns  $X$ . [3]

**$\beta^+$ -Zerfall:** Instabile Isotope mit weniger Neutronen als Protonen zerfallen unter Emission eines Positrons  $e^+$  und Elektron-Neutrinos  $\nu_e$ . [3] Hierbei wird ein Proton in ein Neutron umgewandelt, wenn der Kern ein energetisch günstigeres Energieniveau belegen kann. [2] Das Positron stellt das Antiteilchen des Elektrons dar, da es mit Ausnahme seiner positiven Ladung  $+1e$  dieselben Eigenschaften wie ein Elektron besitzt. [3] Die Reaktion des  $\beta^+$ -Zerfalls kann daher folgendermaßen

$$p \rightarrow n + e^+ + \nu_e \quad (2.7)$$

$${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z-1} Y + {}^0_{+1} e + \nu_e \quad (2.8)$$

zusammengefasst werden. Die Anzahl der Nukleonen ist analog zum  $\beta^-$ -Zerfall erhal-

ten. Die Kernladungszahl des Tochterkerns ist um eins erhöht, da ein positiv geladenes Positron den Kern verlässt. [2]

**Betaspektren:** Die Energie  $E_\beta$  der emittierten  $\beta$ -Teilchen kann zwischen Null und einem Maximalwert  $E_{\beta,max}$  liegen. Die maximale Energie ist abhängig vom  $\beta$ -aktiven Kern und liegt zwischen einigen keV und einigen MeV. Damit weder die Energie-, Impuls- noch Drehimpulserhaltung beim  $\beta$ -Zerfall verletzt sind, wurde die Existenz des Neutrinos postuliert und nachgewiesen. [3] Das Neutrino trägt die Energiedifferenz  $E_{\beta,max} - E_\beta$  als kinetische Energie, besitzt keine elektrische Ladung und den Spin  $\hbar/2$ . [2] Daraus resultiert, dass die Energieverteilungen der emittierten  $\beta$ -Teilchen wie in Abbildung 2.2 zu sehen, kontinuierlich sind. Bei kleinen Betaenergien ist die Zahl der  $\beta$ -Teilchen pro Energieintervall ungefähr proportional. Hier ist die Bewegungsenergie im Vergleich zur Ruheenergie des Teilchens vernachlässigbar. Bei hohen Energien im Bereich vor der Maximalenergie nimmt die Anzahl der  $\beta$ -Teilchen quadratisch mit der Energie ab. [4]

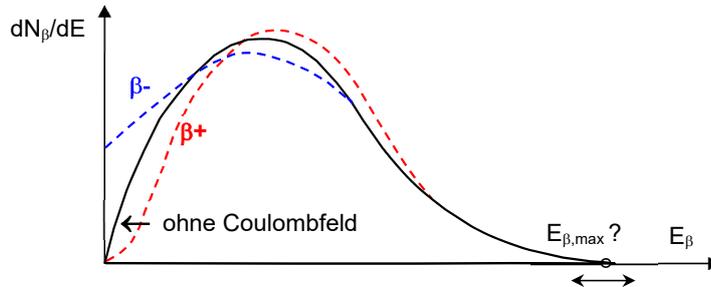


Abbildung 2.2.: Kontinuierliche Energieverteilung der  $\beta$ -Strahlung (schematisch) [4]

Die mittlere schwarze Kurve in Abbildung 2.2 resultiert für die  $\beta$ -Teilchen bei Vernachlässigung der Wirkung durch das Coulombfeld des Atomkerns. Wird das Kerncoulombfeld berücksichtigt, kommt es zu einer spektralen Verschiebung für die  $\beta^-$ - und  $\beta^+$ -Teilchen. Außerdem verändert sich bei konstanter Emissionsrate die Höhe und die maximale Energie. Die Elektronen werden durch das positive elektrische Kernfeld zurückgehalten, verlieren also Energie. Dadurch zeigt das  $\beta^-$ -Spektrum eine Erhöhung der Elektronenanzahl bei kleineren Energien. Die Positronen müssen hingegen zunächst (ähnlich wie die Alphateilchen) die Coulombbarriere durchdringen. Anschließend werden sie durch das positive elektrische Feld abgestoßen und dadurch beschleunigt. Folglich resultiert für das  $\beta^+$ -Spektrum eine Verschiebung hin zu höheren Energien. [4]

**Sr-90:** Bei Strontium-90 handelt es sich um einen reinen  $\beta^-$ -Strahler, der bei den Schulversuchen zum Einsatz kommt.

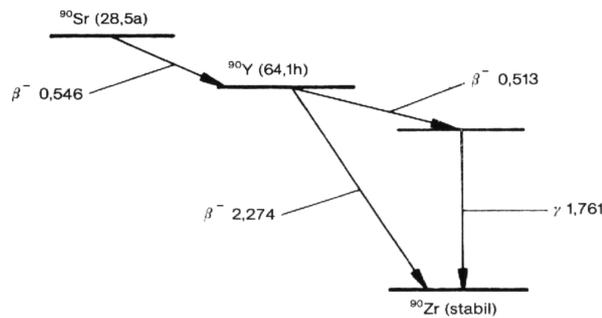


Abbildung 2.3.: Zerfallsschema: Sr-90 [6]

Sr-90 besitzt eine Halbwertszeit von ca. 28,5 Jahren und zerfällt unter  $\beta^-$  Zerfall mit 546 keV zu Yttrium-90, welches vergleichsweise eine sehr geringe Halbwertszeit von rund 64,1 h besitzt. Diese Tochter ist sehr kurzlebig und zerfällt überwiegend zum stabilen Zirkonium-90. Der Gammaübergang ist mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,0000014% zu vernachlässigen. Durch die geringe Halbwertszeit stellt sich ein Gleichgewicht ein und die Aktivität verdoppelt sich aufgrund der beiden Zerfallskanäle von Sr und Y. [6]

### 2.2.3. Gammaübergang

Die Voraussetzung für  $\gamma$ -Strahlung ist, dass sich der Kern in einem angeregten Zustand befindet. Dann befindet sich entweder ein Nukleon im Potentialtopf des Kerns auf einem höherliegenden Niveau oder viele Nukleonen sind angeregt. Angeregte Kerne können als Folge eines radioaktiven Zerfalls oder einer Kernreaktion sowie durch elektromagnetische Anregung von außen entstehen. [7] Die spontane, also ohne äußere Energiezufuhr induzierte,  $\gamma$ -Strahlung tritt immer nur in Zusammenhang mit einem vorherigen radioaktiven Zerfall auf. [2] Ein Gammaübergang wird durch die elektromagnetische Wechselwirkung ermöglicht. [4] Dabei geht ein angeregter Atomkern  $X^*$  in einen energetisch günstigeren Zustand oder in den Grundzustand  $X$  unter Aussendung eines  $\gamma$ -Quants über. Aufgrund der Tatsache, dass das  $\gamma$ -Quant keine Ladung trägt, ändert sich das Element nicht. Die Nukleonen- und Protonenzahl bleibt somit konstant. [3]



Das  $\gamma$ -Quant ist ein hochenergetisches Photon. Dieses trägt die Energiedifferenz  $E_\gamma = h \cdot \nu = E_i - E_k \propto 10^4 - 10^7$  eV zwischen dem angeregten Zustand  $E_k$  und einem energetisch günstigeren Zustand  $E_i$ . Aufgrund der charakteristischen Energieniveaus entsteht dabei

ein diskretes Energiespektrum. [2]

**Cs-137:** Cäsium-137 ist ein künstlich durch Kernspaltung erzeugtes Nuklid und zerfällt durch einen von zwei möglichen  $\beta^-$ -Zerfällen zu Barium-137. [4] Hierbei ist der  $\beta^-$ -Zerfall mit einer Wahrscheinlichkeit von knapp 95 % und einer Energie von 512 keV zu dem metastabilen Zustand  $^{137\text{m}}\text{Ba}$  dominant, welcher über Emission eines  $\gamma$ -Quants zum Grundzustand relaxiert. Die zweite Zerfallswahrscheinlichkeit mit ca. 5 % direkt in das  $^{137}\text{Ba}$  hat dementsprechend mit 1174 keV eine höhere Energie. Hierbei ist zu beachten, dass es sich um die Zerfallsenergien und nicht die potentiellen maximalen  $\beta^-$ -Energien handelt. Aufgrund der beiden möglichen Zerfallswege ist der bei den Schulversuchen verwendete Schulstrahler ein Mischstrahler und kein reiner Gammastrahler. [8]

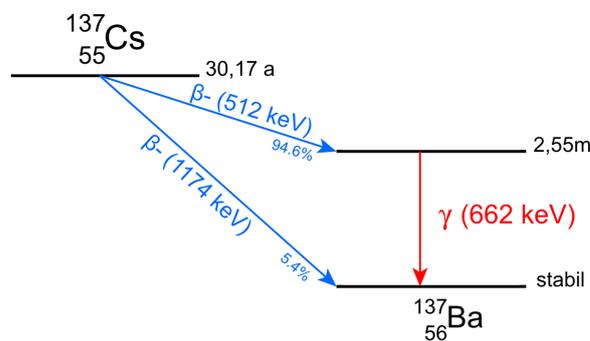


Abbildung 2.4.: Zerfallsschema: Cs-137[8]

Der Gammaübergang vom Ba-137m ist für die Medizin und Technik von Bedeutung. Cs-137 eignet sich aufgrund der einzigen Gammalinie als Kalibrierpräparat für Gammapektrometer. Da es nur künstlich durch Kernspaltung in Kernreaktoren oder Atomwaffen erzeugt werden kann, findet es eine Verwendung als Leitnuklid bei kerntechnischen Störfällen. Durch die vergleichsweise hohe Halbwertszeit war es unter anderem für die lange Kontamination der Umwelt nach den oberirdischen Kernwaffentests bis zu Beginn der 80er-Jahre oder dem Reaktorunglück von Tschernobyl (1986) verantwortlich. [4]

## 2.3. Wechselwirkung von Strahlung mit Materie

Alle Nachweisgeräte für Strahlung funktionieren aufgrund der Wechselwirkung von Strahlung mit der Materie im Detektor. Dieses Unterkapitel gibt einen Überblick über die grundlegenden Wechselwirkungsprozesse der verschiedenen Strahlungsarten aus Kapitel 2.2, bevor im darauffolgenden Unterkapitel auf die Detektoren eingegangen wird.

### 2.3.1. Geladene schwere Teilchen

Geladene schwere Teilchen wie  $\alpha$ -Strahlung wechselwirken mit der durchstrahlten Materie hauptsächlich durch Anregung oder Ionisation von Hüllenelektronen. Bei der Ionisation wird ein Elektron aus der Hülle eines Atoms herausgelöst. Das zurückgebliebene Atom ist folglich positiv geladen und somit ein Kation. Der Energieverlust  $dE$  pro Strecke  $dx$  ist proportional zur Elektronendichte  $n_e$  der Materie. Zudem steigt er quadratisch mit der Teilchenladung  $Z_1 \cdot e$  an. Außerdem nimmt der spezifische Energieverlust  $dE/dx$  mit  $1/v^2$  der Ionengeschwindigkeit ab. [2]

$$\frac{dE}{dx} \propto n_e \cdot \left( \frac{Z_1 e}{v} \right)^2 \propto n_e \frac{Z_1^2}{E_{kin}} \quad (2.10)$$

Eine sinkende Geschwindigkeit führt zu einer Abnahme der kinetischen Energie des Teilchens und folglich steigt  $dE/dx$ . Die Zunahme des Energieverlusts bei geringeren Energien kann durch Bragg-Kurven dargestellt werden. Die mittlere Reichweite  $\langle R \rangle$  von  $\alpha$ -Teilchen ist antiproportional zu  $dE/dx$  und von der Anfangsenergie  $E_0$  abhängig. Die Reichweite von  $\alpha$ -Strahlung in z. B. Luft ist deshalb sehr limitiert und liegt in der Größenordnung von einigen Zentimetern. [2]

### 2.3.2. Energieverlust von Elektronen

Treffen Elektronen auf Materie, tritt wie bei den schweren geladenen Teilchen Anregung und Ionisation auf. Aufgrund der im Verhältnis zu den schweren Teilchen geringen Masse kann die Richtungsablenkung durch Stöße mit den Elektronen in der Atomhülle nicht mehr vernachlässigt werden. Der spezifische Energieverlust pro Weglänge ist bei gleicher Geschwindigkeit  $v$  gleich groß wie bei  $\alpha$ -Strahlung. Bei gleicher Energie ist jedoch  $dE/dx$  um den Faktor der Massenverhältnisse ( $m_e/m_\alpha$ ) kleiner. Die Reichweite von  $\beta$ -Teilchen ist deswegen deutlich größer als von schweren  $\alpha$ -Teilchen gleicher Energie, obwohl sie stärker gestreut werden. Bei großen Energien sind die Strahlungsverluste pro Weglänge durch Bremsstrahlung größer als die Ionisationsverluste. Durch die Abbremsung in Materie, vor allem aufgrund der Ablenkung im Coulomb-Feld der Kerne, werden die Elektronen negativ beschleunigt und strahlen deswegen elektromagnetische Wellen ab. Die Flussdichte der Photonen ist dabei proportional zum Quadrat der Beschleunigung. [2]

### 2.3.3. Wechselwirkung von Gammaquanten mit Materie

Der Photoeffekt tritt vor allem bei höheren Photonenenergien ( $h \cdot \nu > E_b$ ) auf. Das Photon wird durch ein Hüllenelektron absorbiert. Anschließend verlässt das Elektron mit der kinetischen Energie  $E_{kin} = h \cdot \nu - E_b$  das Atom. Das Atom nimmt einen Teil des Impulses auf und erfährt daher einen Rückstoß, damit die Energie- und Impulserhaltung durch das Verschwinden des Photons nicht verletzt wird. Bei noch höheren Photonenenergien spielt die inelastische Streuung (der Compton-Effekt) eine wichtige Rolle. Das gestreute  $\gamma$ -Quant erfährt eine Änderung in seiner Wellenlänge und somit in der Energie. Die Paarbildung tritt bei sehr hohen Energien  $E_\gamma > 2m_e c^2$  auf. Das  $\gamma$ -Quant erzeugt im Coulomb-Feld des Atomkerns ein Elektron-Positron-Paar und der Atomkern erfährt dadurch einen Rückstoß. [2]

Hochenergetische Teilchen im keV-MeV Bereich wie z.B.  $\gamma$ -Quanten verlieren bei der Ionisation eines Atoms mit Ionisationsenergien  $E_b \approx 10$  eV nur einen geringen Teil ihrer Energie. Der spezifische Energieverlust pro Länge  $dE/dx$  hängt daher vor allem von der Art des ionisierenden Teilchens und seiner Energie ab. Außerdem ist die Bedeutsamkeit der verschiedenen Wechselwirkungsprinzipien für die Absorption von Photonen in unterschiedlichen Energiebereichen von der Kernladungszahl  $Z$  der Materie abhängig. Die Art und Dichte des Materials hat folglich ebenfalls einen Einfluss. [2] Die  $\gamma$ -Strahlung wird bei dem Durchgang einer gleichen Schichtdicke  $x$  um den gleichen Bruchteil des linearen Schwächungskoeffizienten  $\mu$  abgeschwächt. Das Schwächungsgesetz für elektromagnetische Strahlung beschreibt die durchdringende Intensität  $I(x)$  von der Anfangsintensität  $I_0$ .

$$I(x) = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot d} \quad [9] \quad (2.11)$$

## 2.4. Detektoren

Ionisierende Strahlung kann nicht mit den menschlichen Sinnen (z. B. sehen, riechen, schmecken, etc.) wahrgenommen werden. [3] Daher müssen zum Nachweis von Strahlung Detektoren eingesetzt werden, um sie zu messen und anschließend eine mögliche Gefahr bewerten zu können. Diese Detektoren funktionieren häufig durch das Prinzip der Anregung oder Ionisation von Atomen. Die von den Strahlungsteilchen erzeugten Signale können verstärkt und anschließend gemessen werden. Die energieabhängige Wechselwirkung der Strahlung mit der Detektormaterie muss zur Energiebestimmung der

einfallenden Strahlung bekannt sein. [2]

Die Detektoren lassen sich in vier unterschiedliche Kategorien einteilen. Nachweisgeräte messen die Zahl der einfallenden Teilchen, ohne ihre Energie anzugeben. Spurendetektoren (z. B. Nebelkammern) machen die Spur eines Teilchens sichtbar. Energieauflösende (z. B. Szintillations-) Detektoren können die Energie der einfallenden Teilchen messen. Außerdem gibt es Kombinationen der eben genannten Varianten.

Jeder Detektor besitzt charakteristische Eigenschaften. Die Empfindlichkeit  $\eta = \frac{N_S}{N_0} \leq 1$  gibt das Verhältnis zwischen detektierten  $N_S$  und auf den Detektor einfallenden Teilchen  $N_0$  an. Sie ist abhängig vom Detektor sowie der Energie und Eigenschaft der Strahlung. Außerdem gibt es noch das Energieauflösungsvermögen  $E/\delta E$  und das räumliche Auflösungsvermögen. Das zeitliche Auflösungsvermögen  $1/\Delta t$  ist für die Totzeit und bei Koinzidenzmessungen wichtig, wenn mehrere Detektoren ein Ereignis messen. Dabei gibt  $\Delta t$  die minimale Zeit zwischen zwei Ereignissen an, die vom Detektor getrennt registriert werden können. Die Differenzierungsfähigkeit verschiedener Strahlungsarten ist abhängig von der teilchenspezifischen Nachweisempfindlichkeit  $\eta$ . [2]

Die Abbildung 2.5 zeigt die Abhängigkeit des Stroms von der Spannung zwischen den Elektroden von gasgefüllten Ionisationsdetektoren. Dafür ist es wichtig zu wissen, dass in dem Detektor Rekombinationen auftreten können. Dabei verbinden sich Ladungsträger mit entgegengesetzten Vorzeichen zu einem neutralen Atom, wenn viele ionisierende Teilchen an unterschiedlichen Orten des Detektors eintreffen. [2]

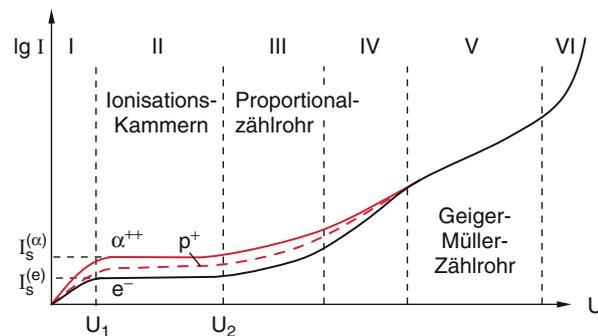


Abbildung 2.5.: Strom-Spannungscharakteristik von gasgefüllten Ionisations-Detektoren [2]

Die Strom-Spannungscharakteristik lässt sich in sechs verschiedene Arbeitsbereiche unterteilen. Im Bereich I liegt die Spannung zwischen 0V und  $U_1$ . Hier steigt der Strom linear an, weil Rekombinationsrate aufgrund der Wanderungszeit der Ladungsträger sinkt. Der nächste Arbeitsbereich wird für Ionisationskammern genutzt. Hier bleibt der Strom

konstant, weil alle Elektronen und Ionen "gesammelt" werden. Im Bereich III ist die kinetische Energie  $E_{kin}$  der Elektronen größer als die Ionisierungsenergie der Atome des Füllgases. Die freigesetzten Elektronen können durch Stoßionisation neue sekundäre Elektron-Ion-Paare erzeugen und eine Elektronenlawine entsteht. In dem Proportionalbereich verhält sich der Ausgangsstrom proportional zur primär gebildeten Rate und ist daher ein Maß für die Anzahl der gebildeten Ionenpaare. Die Kurve  $I_{\alpha}(U)$  in Abbildung 2.5 verläuft oberhalb der Kurve für Elektronen, weil die Ionisation durch  $\alpha$ -Teilchen bei gleicher Energie häufiger stattfindet als bei Elektronen. [2] Durch eine entsprechende Einstellung der Zählrohrspannung können die im selbsterstellten Versuch eingesetzten Proportionalzählrohre zwischen verschiedenen Strahlungsarten unterscheiden. Ist die Spannung so groß, dass nur die Impulse der  $\alpha$ -Strahlung die Diskriminator-schwelle überschreiten und damit detektiert werden, erhält man nur die Zählrate für diese Strahlungsart. [10] Bei weiterer Erhöhung der Spannung nimmt die Häufigkeit der durch Sekundärionisation gebildeten Ionenpaare zu. Im Bereich V lösen die ionisierenden Teilchen einen Spannungsimpuls aus, dessen Höhe unabhängig von der Teilchenart und der Energie ist. In diesem Spannungsbereich arbeiten Geiger-Müller-Zählrohre, die in den für den Schulbesuch verwendeten 'Inspector+' mit Typenbezeichnung 28022 von Radiation Alert eingebaut sind. Ab einer bestimmten Spannung findet eine selbstständige Entladung auch ohne ionisierende Teilchen statt, weshalb dieser Arbeitsbereich zur Detektion unbrauchbar ist. [2]

### 2.4.1. Geigerzähler

Die prinzipielle Funktionsweise eines Geiger-Müller-Zählrohrs, welches eingebaut in einem Inspector bei den Schulbesuchen verwendet wird, ist analog zu der eines Proportionalzählrohrs, welches anschließend näher behandelt wird. Der größte Unterschied der beiden Strahlungsmessgeräte besteht darin, dass der Geigerzähler in einem Arbeitsbereich mit höherer Spannung arbeitet.

Das geladene Teilchen trifft beim Zählrohr in Abbildung 2.6 durch das Zählrohrfenster in ein gasgefülltes zylinderförmiges Rohr. Dort ionisiert es Gasatome. Die freien Elektronen werden durch das elektrische Feld zwischen dem positiv geladenen Zählendraht und dem negativen Metallrohr beschleunigt und ionisieren dabei weitere Atome. Folglich entsteht eine Elektronenlawine mit Ladung  $Q$ , die beim Auftreffen auf den Draht zu einem Spannungsimpuls  $U(t)=Q(t)/C$  führt. Durch eine Verstärkung kann am Zähler die An-

zahl der detektierten Teilchen gemessen werden oder durch einen Lautsprecher können akustische Klicksignale erzeugt werden. [3]

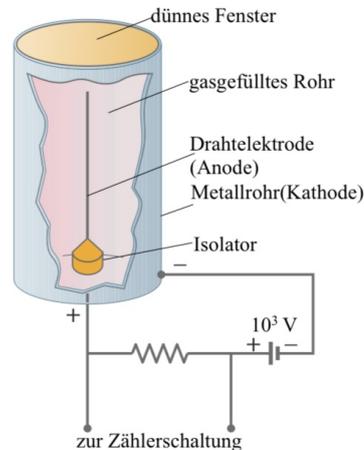


Abbildung 2.6.: Aufbau Zählrohr [3]

Mit diesem Messgerät ist es nicht möglich, die Energie zu messen oder die Art der Strahlung zu bestimmen. Lediglich durch die Wahl der Fensterfoliendicke ist es möglich, dass z. B. keine  $\alpha$ -Teilchen mit der Energie  $E_\alpha=5$  MeV ab  $50 \mu\text{m}$  Aluminium mehr detektiert werden können. [2]

### 2.4.2. Proportionalzählrohr

Die Kontaminationsmessgeräte, die im selbst erstellten Versuch verwendet werden, sind Proportionalzählrohre. Diese werden bei Feldstärken oberhalb von  $10^6$  V/m im Arbeitsbereich III der bereits vorgestellten Abbildung 2.5 betrieben. Die Zahl der primär erzeugten Ionenpaare ist proportional zur Energie der einfallenden Teilchen. Die Energieauflösung eines Proportionalzählrohrs kann  $\Delta E/E \approx 0,1$  betragen. [2]

**Großflächenproportionalzählrohr/ Kontaminationsmonitor:** Beim offenen Umgang mit radioaktiven Stoffen z. B. in radiochemischen, radiobiochemischen und nuklearmedizinischen Laboren können Kontaminationen von Arbeitsflächen und -kleidung auftreten. [10] Großflächenproportionalzählrohre werden zum Nachweis von radioaktiven Substanzen auf Oberflächen verwendet. Eingebaut in Oberflächenkontaminationsmessgeräten können Arbeitsgeräte, die Kleidung oder der Körper auf kontaminierten Stellen untersucht werden. Dadurch kann eine versehentliche Aufnahme in den Körper (Inkorporation) vermieden werden. [11] Die Vermeidung der Aufnahme in den Körper

ist eine der 5 'A' Schutzmaßnahmen des Strahlenschutzes, die in Kapitel 2.5 thematisiert werden. Außerdem können Kontaminationsmonitore zur Messung von Raumabluft- oder Abwasserkontaminationen eingesetzt werden. Im Arbeitsschutz kann die Inkorporationsüberwachung um Schwellenwert- oder Raumluftmonitore ergänzt werden. [12] Je nach Tätigkeitsfeld kann auch eine Messung von möglicherweise radioaktiven Abfällen, Abwässern oder des Fortluftstroms erforderlich sein. [10]

Eine Kontaminationsmessung muss nach einer Tätigkeit in Kontrollbereichen, beim Verdacht einer Kontamination oder wenn mobile Gegenstände aus dem Kontrollbereich entfernt werden, erfolgen. Je nach Sicherheitsvorschriften ist diese auch bereits nach einzelnen Arbeitsschritten an Personen und Arbeitsplätzen durchzuführen. Die Messung gibt Aufschluss darüber, ob Personen kontaminiert oder Schutzmaßnahmen bei Überschreitung der Werte für Kontaminationen nach Strahlenschutzverordnung Anlage 4 Tab. 1 erforderlich sind. [12]

Bei der Untersuchung von Flächen auf Kontaminationen gibt es direkte und indirekte Messverfahren. Die Oberfläche kann direkt mit einem großflächigen Kontaminationsmonitor gemessen werden. Ebenfalls ist eine indirekte Messung mittels Wischprobe möglich, um haftende Kontaminationen zu ermitteln. Kratzproben werden bei rauen oder porösen Oberflächen und Spanproben bei einer Eindringung der Aktivität in das Material eingesetzt. [12]

**Bauweise:** Oberflächenkontaminations-Messgeräte können entweder mobil oder stationär sein. Mobile Kontaminationsmonitore sind entweder tragbar oder auf einem fahrbaren Untersatz montiert. Letztere eignet sich, um z. B. den Boden in einem konstanten Abstand zu untersuchen. Der Detektor und das Basisgerät können getrennte Geräte sein. Der Vorteil liegt hierbei in der Möglichkeit des Betriebs mit mehreren Detektoren gleichzeitig. Ebenfalls sind integrierte Bauweisen verfügbar. Diese Einhand-Kontaminationsnachweisgeräte erleichtern den tragbaren Umgang. [11] Aufgrund dessen wird sich im späteren selbstentwickelten Schülerexperiment für eine solche Bauweise entschieden.

Der Kontaminationsmonitor besitzt einen Detektor mit einer großen Oberfläche, um ein großes Ansprechvermögen zu erzielen. Dieses gibt das Verhältnis zwischen der gemessenen und tatsächlichen Impulsrate an. Für Zählrohre zum Nachweis von Oberflächenkontaminationen wird das Großflächenansprechvermögen  $\varepsilon_0$  bestimmt. Befindet sich das Gerät mit dem Eintrittsfenster des Detektors mit der Fensterfläche  $W$  direkt

über der untersuchten Fläche, so ist  $\varepsilon_0$  definiert als

$$\varepsilon_0 = \varepsilon \cdot \varepsilon_S \cdot W \cdot p$$

mit dem absoluten Ansprechvermögen  $\varepsilon$ , das das Verhältnis aus gemessener Impulszahl und aus der Quelle austretender Partikelteilchen pro Zeit angibt. Der Wirkungsgrad der Quelle  $\varepsilon_S$  gibt das Verhältnis aus der Anzahl der emittierten und im Präparat erzeugten Strahlungsteilchen und  $p$  die Teilchenausbeute und somit die Anzahl der zu messenden Strahlungsteilchen je Zerfall an. [13] Zusätzlich erleichtert die große Oberfläche des Kontaminationsmonitors das Absuchen größerer Oberflächen. Das Gerät zeigt die durch die einfallende ionisierende Strahlung erzeugte Impulsrate an. Daher kommt die Bezeichnung Impulsratenmessgerät oder Ratemeter. Alternativ lässt sich die Rate mit Hilfe eines Kalibrierfaktors in eine flächenbezogene Aktivität in  $\frac{Bq}{cm^2}$  umrechnen. [11]

Im Gegensatz zum Zählrohr aus Abbildung 2.6 ist der Zählrohrdraht von großflächigen Proportionalzählrohren mäanderförmig aufgespannt. Vor dem Zählrohrfenster ist häufig ein Gitter zum Schutz der dünnen Folie angebracht. In Abhängigkeit des Eintrittsfensters unterscheidet sich das Ansprechvermögen für die verschiedenen Strahlungsarten. Zur Detektion von Alphastrahlung wird eine sehr dünne Folie (ab ca.  $0,3 \text{ mg/cm}^2$ ) verwendet, um ein hohes Ansprechvermögen zu erreichen. Nachteilig daran ist, dass die Zählgasfüllung regelmäßig erneuert werden muss. Bei Zählgasen mit niedriger Ordnungszahl ist ferner zu beachten, dass das Ansprechvermögen für  $\gamma$ -Strahlung relativ gering ausfällt. [11]

Für den Versuch werden zwei unterschiedliche Geräte verwendet. Das Modell Berthold LB122 arbeitet mit einem Zählgasgemisch aus 85% Butan und 15% Propan. Dieses gelangt durch einen integrierten Zählgastank in das Proportionalzählrohr. Die Nachfüllung erfolgt durch eine externe Flüssiggaspatrone. Das Zählrohrfenster ist sehr dünn und daher nicht gasdicht. Deswegen sollte die Befüllung bei dem Schulbesuch erst kurz vor dem Versuch geschehen, so dass die Verwendung innerhalb einer Stunde erfolgt. [11] Der Kontaminationsmonitor Berthold LB 1210 B ist ein geschlossenes Proportionalzählrohr mit permanenter Gasfüllung (z. B. Xenon mit  $Z=54$ ). Es eignet sich zum Nachweis von  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung und ist für die  $\alpha$ -Strahlung unempfindlich. Die Kalibrierdaten für das Am-241 Isotop sind pro Sekunde bei  $0,3 \frac{Bq}{cm^2}$  und  $0,08 \cdot 10^{-4} \frac{\mu Ci}{cm^2}$ . Die Schwelleneinstellung bei  $3,7 \frac{Bq}{cm^2}$  pro 13 Sekunden. Die Werte gelten für Zählraten über dem Nulleffekt. [11]

## 2.5. Strahlenschutzaspekte

Bei der Tätigkeit mit radioaktiven Isotopen muss sich vor der ionisierenden Strahlung geschützt werden. Es wird zwischen externer und interner Strahlenexposition unterschieden. Bei der externen  $\beta$ -Strahlung findet die Bestrahlung von außen statt. Befindet sich die radioaktive Strahlungsquelle dagegen im Körper, so spricht man von einer internen Exposition.

Das Leitprinzip ALARA bedeutet „As low as reasonably achievable“ und besagt, dass die Strahlenbelastung unter Berücksichtigung des Aufwands so gering wie sinnvoll machbar zu sein hat. [14] Des Weiteren gelten die 'A's des Strahlenschutzes. Der Abstand sollte vergrößert werden, da sich die ionisierende Strahlung einer Punktquelle in alle Richtungen ausbreitet. Aufgrund des Abstandsquadratgesetzes nimmt die Intensität mit wachsendem Abstand  $r$  gemäß  $\propto \frac{1}{r^2}$  ab. Zusätzlich sollte die Aufenthaltsdauer in der Nähe eines radioaktiven Präparats reduziert werden, da die Dosis mit der Zeit linear ansteigt. Außerdem verringert eine Abschirmung die Dosis. Nach Möglichkeit sollte die Aktivität vermindert werden, welches bei den verwendeten Schulstrahlern vom Hersteller bereits umgesetzt wurde. Eine Aufnahme in den Körper ist zu vermeiden, um eine interne Strahlenexposition auszuschließen. [11]



## 3. Im Physikunterricht experimentieren

Das RadLab setzt auf Experimente als fundamentale Erkenntnisquelle. Der angestrebte Lerngewinn der Schülerexperimente beruht auf den im Kerncurriculum formulierten Kompetenzbereichen. Dieses Kapitel befasst sich mit wichtigen Aspekten von Experimenten im Physikunterricht und geht anschließend speziell auf Schülerexperimente ein. Abschließend folgt eine theoretische Einführung in die Bildungsstandards und Kompetenzen, an welche die Lern- und Kompetenzziele des selbstentwickelten Experiments anknüpfen.

### 3.1. Experimente

Experimente tragen eine wichtige Rolle als naturwissenschaftliche Erkenntnismethode. Sie helfen, physikalische Denk- und Arbeitsweisen einzuüben. Es werden Beobachtungen und Messungen an physikalischen Objekten durchgeführt. Dabei werden Variablen verändert und Daten gesammelt. Die Experimentierphasen lassen sich wie folgt einteilen:

- Vorbereitung
- Experimentieren
- Nachbereitung

In der Vorbereitung wird der Versuch geplant, während des Experimentierens werden Beobachtungen vorgenommen und Daten protokolliert und anschließend in der Nachbereitung die Messwerte analysiert, interpretiert und präsentiert. [15]

Ein Schulexperiment kann aus mediendidaktischer Sichtweise wichtige Mitteilungsfunktionen erfüllen. Viele physikalische Gesetzmäßigkeiten lassen sich viel eindrucksvoller und anschaulicher darstellen als bei einer verbalen Vermittlung. Physikalische Gesetzmäßigkeiten können dabei direkt erfahren oder quantitativ geprüft werden. Einige

Experimente zeigen den Zusammenhang zwischen der Physik in Technik und dem Alltag auf. Zudem helfen sie, beim Unterrichtseinstieg Interesse zu wecken und die Motivation der Schüler:innen im Verlauf aufrecht zu halten. Bedeutende Entwicklungen in der Wissenschaftsgeschichte können ebenfalls aufgezeigt werden. [15]

Die Experimente müssen sinnvoll in den Unterrichtsverlauf eingebettet sein, damit sie im Lehr-Lern-Prozess ihre Wirkung entfalten können. Die Vor- und Nachbereitung von Experimenten beeinflusst die Unterrichtsqualität signifikant. In der Regel wird hierfür mehr Zeit beansprucht, als für das eigentliche Experimentieren. [16]

Die Lerninhalte sollten auch bei Experimenten im Unterricht organisiert und strukturiert werden. Das zu vermittelnde Wissen muss entsprechend des Niveaus der Schüler:innen angemessen portioniert und sequenziert werden. Während des Unterrichts sollte sich auf das Wesentliche beschränkt werden und nur ein Experiment in das Blickfeld der Schüler:innen gerückt werden. Die Materialien der anderen Versuche des Tages sollten für die Schüler:innen noch nicht sichtbar sein. Die Lehrkraft trägt aus pädagogischer Sicht eine Vorbildwirkung. Die Schüler:innen übernehmen die vorgezeigte Arbeitsweise. Deswegen muss beim Vorführen eine präzise Arbeit erfolgen und die Sicherheitsrichtlinien eingehalten werden. Besonders der Umgang mit radioaktiven Präparaten und empfindlichen Messgeräten muss sachgerecht erfolgen. Ferner ist auf eine korrekte Verwendung der Fachsprache bei Versuchsbeschreibungen zu achten. Aus Sicht der Motivationspsychologie wird empfohlen, die Schüler:innen aktiv an wesentlichen Denk- und Handlungsprozessen teilnehmen zu lassen. [15]

## 3.2. Schülerexperimente

Die Gelegenheit für konkretes physikalisches Experimentieren und das Sammeln eigener Erfahrungen werden bei Schülerexperimenten ermöglicht. Dieser Wechsel der Unterrichtsform bietet viele Vorteile. Die Schüler:innen erwerben in einem längeren Entwicklungsprozess experimentelle Arbeitsweisen und Fertigkeiten. Sie können ihren Drang nach Eigentätigkeit befriedigen. Durch die Einbindung verstehen sie den Ablauf und Verlauf der Versuche besser. Außerdem wird der Umgang und die Bedienung von Messgeräten vermittelt. Entsprechend des Leistungsstands der Schüler:innen bieten sich Differenzierungsmöglichkeiten an. Kooperative und kommunikative Fähigkeiten in Gruppenarbeiten werden trainiert sowie das Bewältigen von Schwierigkeiten in der Datener-

fassung realisiert. [17]

Die Verbindung von Theorie und Praxis bei der direkten Anwendung fördert das Erkennen und das Verständnis von physikalischen Gesetzen bei der eigenen Begegnung mit dem Phänomen. Auf diese Weise können Lernprozesse nachhaltiger gestaltet werden. Durch die Aktivierung der Schüler:innen wird darüber hinaus optimalerweise die Motivation, Ausdauer und Freude an der Physik verstärkt. Die Nachteile bei Experimenten in Gruppen ist zum einen der erhöhte Gerätebedarf im Vergleich zu einem Demonstrationsversuch. Zudem vergrößert sich der Arbeitsaufwand. Die Vorbereitung und Betreuung während des Versuchs muss umfangreicher erfolgen. Außerdem ist die benötigte Unterrichtszeit für die Durchführung und Vor- und Nachbereitung nicht zu vernachlässigen. [18] Selbstständiges Experimentieren erfordert zudem eine gewisse Zeit seitens der Schüler:innen und Lehrkräfte, um mit den verbundenen Anforderungen vertraut zu werden. Dieses muss schrittweise gelernt werden. [19]

### 3.3. Bildungsstandards und Kompetenzen

Die Bundesrepublik Deutschland ist in Artikel 20 Absatz 1 GG als Bundesstaat konstituiert. Die Bildung wird aufgrund der föderalistischen Struktur durch die einzelnen Bundesländer geregelt und diese Kulturhoheit gilt als eine der wichtigsten Kompetenzbereiche. Aufgrund der schlechten deutschen PISA-Ergebnisse wurden 2002 als Maßnahme die Nationalen Bildungsstandards durch die Kultusministerkonferenz der Bundesländer (KMK) beschlossen. [20] Dies sind administrative Festlegungen, die die Unterrichtsqualität sichern, die Weiterentwicklung des Unterrichts anstreben und für vergleichbare Leistungen zwischen den Bundesländern sorgen sollen. [15]

Das Kerncurriculum gibt die grundlegenden Kompetenzen an, die im Unterricht angestrebt werden sollten. [20] Das Kerncurriculum des Landes Niedersachsen legt in Abbildung 3.1 vier Kompetenzbereiche für den Physikunterricht fest. Die inhaltsbezogenen Kompetenzen bilden den Kompetenzbereich Fachwissen. Dieser ist untergliedert in die Themenbereiche Mechanik, Energie, Magnetismus und Elektrizität, Optik, Thermodynamik und Kernphysik. Die prozessbezogenen Kompetenzen bestehen aus den Bereichen Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung. [21]

prozessbezogenen	inhaltsbezogenen
<i>Erkenntnisgewinnung</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Physikalisch argumentieren</li> <li>• Probleme lösen</li> <li>• Planen, experimentieren, auswerten</li> <li>• Mathematisieren</li> <li>• Mit Modellen arbeiten</li> </ul> <i>Kommunikation</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kommunizieren und dokumentieren</li> </ul> <i>Bewertung</i>	Untergliedert in folgende Themenbereiche: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Energie</li> <li>• Thermodynamik</li> <li>• Magnetismus und Elektrizität</li> <li>• Mechanik</li> <li>• Optik</li> <li>• Kernphysik</li> </ul>

Abbildung 3.1.: Kompetenzbereiche [21]

Unter dem Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung wird verstanden, dass die Schüler:innen physikalische Phänomene erkunden und in vielfältigen Möglichkeiten Erfahrungen mit eben diesen sammeln. Dadurch entwickelt sich ein fundiertes Begriffsnetz und die Sicherheit, in bekannten Kontexten physikalische Aufgaben und Probleme zu lösen. Die bedachtsame Entwicklung einer angemessenen Fachsprache und die Fähigkeit, diese von der Alltagssprache zu unterscheiden, findet im Bereich Kommunikation Berücksichtigung. Als Bewertung gilt ein reflektierter Umgang mit dem eigenen Vorgehen und eine realistische Einschätzung darüber, zu welchen Problemen die Physik Aussagen treffen kann. [21]

Der Beschluss der KMK über die Bildungsstandards enthält ebenfalls Beispielaufgaben, die in drei Anforderungsbereiche unterschieden werden. Diese sollen die Lehrkräfte bei der Erstellung eigener Aufgaben unterstützen. Der Anforderungsbereich I beinhaltet das Wissen wiederzugeben, während im Anforderungsbereich II das Wissen angewendet wird. Wird das Wissen transferiert oder verknüpft, wird dies als Anforderungsbereich III bezeichnet. Bei der Aufgabenerstellung ist zudem die Verwendung von Operatoren empfohlen, die Aktivitäten definieren und zu einer Standardisierung von Formulierungen beitragen. [15]

## 4. Das RadLab

Das RadLab ist ein Labor zu Radioaktivität auf Rädern, welches durch die Leibniz Universität Hannover, im speziellen dem Institut für Radioökologie und Strahlenschutz (IRS), mit Schülerexperimenten zum Thema Radioaktivität ausgestattet ist. Diese können normalerweise aufgrund der begrenzten Ausstattung mit Experimentiermaterialien an Schulen nicht durchgeführt werden. Das Projekt beruht auf der Masterarbeit von Dennis Raulin, in welcher bereits Arbeitsblätter inklusive Lösung sowie Lernvideos zur Vorbereitung ausgearbeitet wurden. Der durch die Experimente angestrebte Lerngewinn knüpft an das Kerncurriculum an. In den Musterlösungen im Anhang A sind die anvisierten inhaltsbezogenen und in der Masterarbeit zusätzlich die prozessbezogenen Kompetenzen zu finden. Laut Dennis Raulin handelt es sich bei dem RadLab um ein Schülerlabor sowie einen außerschulischen Lernort. [1] Aus Gründen der Glaubwürdigkeit wird zunächst in diesem Kapitel geklärt, ob dieses Konzept tatsächlich auf das RadLab zutrifft und anschließend folgt die Vorstellung der angebotenen Experimente mit den beabsichtigten, operationalisierten Lernzielen.

### 4.1. Charakterisierung des RadLabs

Das RadLab wurde von Dennis Raulin als Schülerlabor bezeichnet. [1] Gemäß Lernort Labor (2019) muss ein Lernort vier Kriterien erfüllen, um als Schülerlabor zu gelten. Das Lernen muss in einem fachadäquaten Laborraum stattfinden. Dieser soll eine authentische und professionelle Atmosphäre vermitteln. Außerdem müssen die Jugendlichen dort an mindestens 20 Tagen im Jahr selbstständig experimentieren können. [22] Das bisherige Konzept des RadLabs sieht vor, dass die Betreuenden aus dem Institut mit dem Lastenfahrrad und den Experimentiermaterialien zu der jeweiligen Schule fahren. Die Versuche werden meistens in dem Fachraum durchgeführt, in dem ansonsten der Physikunterricht stattfindet. Dieser Raum besitzt im Vergleich zu einem Forschungslabor

keine professionelle Ausstattung und vermittelt daher auch keine professionelle Atmosphäre, wie man sie in einer Forschungseinrichtung erwartet.

Der Begriff Schülerlabor ist dabei eng an einen außerschulischen Lernort geknüpft. [17] 'Außerschulische Lernorte sind Orte außerhalb des Schulhauses, an denen Personen jeglichen Alters im Rahmen formaler, non-formaler oder informeller Bildung lernen können.' [23] Das Lernen an einem solchen Lernort muss außerhalb des Schulgebäudes stattfinden. [24] Durch den Besuch des RadLabs innerhalb der Schule ist allerdings ein wichtiges Kriterium eines außerschulischen Lernorts verletzt. Dennis Raulin argumentierte in seiner Masterarbeit, dass durch das in den Hintergrund tretende schulische Umfeld der Fachraum durch den Besuch des RadLabs zu einem außerschulischen Lernort werden könne. [1] Grundsätzlich können alle Orte zu einem außerschulischen Lernort werden, sofern sie in die schulischen Lern- und Bildungsprozesse eingebunden werden. Hierbei muss es sich aber trotzdem um Orte außerhalb der Schule handeln. [24]

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass beim RadLab von keinem Schülerlabor gesprochen werden kann, da einerseits nicht alle vier Kriterien erfüllt werden. Andererseits kann durch den Besuch in der Schule das Merkmal eines Schülerlabors als ein außerschulischer Lernort nicht erfüllt werden. Damit das RadLab der Bezeichnung als Schülerlabor gerecht wird, müsste die Durchführung der Experimente außerhalb des Schulgebäudes stattfinden. Das Experimentieren könnte demnach beispielsweise in den Räumen des Instituts und somit an einem außerschulischen Lernort stattfinden. In der jetzigen Form kann bei dem RadLab von einem schulkomplementären Angebot gesprochen werden. Das Bildungsangebot kann von der Schule in diesem Umfang nicht zur Verfügung gestellt werden, sodass die Lernerfahrungen durch das Angebot der außerschulischen Einrichtungen ergänzt werden. [24] Die Versuche werden dann als Schülerexperimente in der Schule durchgeführt.

## 4.2. Übersicht der Experimente

Das RadLab bietet einen Umfang von neun verschiedenen Experimenten im Bereich der Kernphysik an, aus welchen die Lehrkraft selbstständig die für ihren Unterricht geeigneten Versuche auswählen kann. Diese werden dann im Umfang von vier Unterrichtsstunden durchgeführt. Daher ist es notwendig, dass die Lehrkraft mit einer anderen Lehrkraft ihre Doppelstunde tauscht, sodass ein zeitlicher Rahmen von vier aufeinanderfolgenden

Unterrichtsstunden geboten wird.

Beim Experiment *Auf dem Weg zum Zählrohr* wird die ionisierende Wirkung der Strahlung mit Hilfe von Elektroskopen untersucht. Die Schüler:innen (SuS) sollen dabei die Ionisation mit Hilfe des Kern-Hülle Modells von Atomen deuten. Zudem können sie die ionisierende Wirkung der Strahlung als Grundlage für den Nachweis von Kernstrahlung mit einer Funkenstrecke beschreiben und die Funktion eines Geiger-Müller-Zählrohrs erklären.

Die *Stochastische Schwankung* der Impulsrate anhand der Nullrate und höheren Impulsraten kann ebenfalls ausgewählt werden. Nach diesem Versuch sollten die Schüler:innen die stochastische Schwankung von Impulsraten erläutern können. Zudem besteht ein Lernziel in der Erklärung der Nullrate anhand der Impulsrate des Geiger-Müller-Zählrohrs, ohne dass sich ein radioaktives Präparat in der Nähe befindet. Zusätzlich können die Lernenden den Einfluss der Nullrate auf Messungen von Impulsraten radioaktiver Präparate erläutern.

Die Radioaktivität wird beim Versuch *Radon in der Umgebungsluft - Luftballon* untersucht. Hierfür wird ein Luftballon aufgeblasen und anschließend statisch aufgeladen. Dieser sammelt dadurch die Radon-Töchter aus der Luft. Darauffolgend wird die Impulsrate mit dem Inspector gemessen. Die Schüler:innen nennen Radon-222 und seine Folgeprodukte als eine natürliche Strahlungsquelle. Außerdem erklären sie den radioaktiven Zerfall mit Hilfe der Nuklidkarte als eine Elementumwandlung.

Die Halbwertszeit eines Tochternuklids von Uran-238 wird beim Schülerexperiment *Bestimmung der Halbwertszeit - Schüttelpräparat* mit dem Inspector, einem Schüttelpräparat und der Auswertung mit Hilfe des Taschenrechners bestimmt. Durch die charakteristische Halbwertszeit und einem Ausschnitt aus der Nuklidkarte soll auf das Nuklid Protactinium Pa-234m geschlossen werden. Die Schüler:innen beschreiben einen radioaktiven Zerfall unter Verwendung des Terminus Halbwertszeit. Außerdem können sie diese aus den aufgenommenen Messwerten berechnen. Anhand der Uran-238-Zerfallsreihe beschreiben die Schüler:innen die Folgeprodukte eines radioaktiven Isotops.

Darüber hinaus wird das Experiment *Natürliche Radioaktivität in Lebensmitteln* angeboten. Hierbei werden die Impulsraten von Magnesium und Kalium Tabletten, getrockneten Aprikosen, Paranüssen, Backpulver und einem Trinkwasserfilter gemessen. Die Schüler:innen vergleichen ihre vorher vermutete Reihenfolge der Lebensmittel mit der

höchsten messbaren Aktivität. Schnelle Gruppen können ihre Ergebnisse zudem auf Signifikanz überprüfen. Dabei stellen die Schüler:innen ihre Kenntnisse über natürliche Strahlenquellen dar. Sie können im Anschluss unterschiedliche Lebensmittel als Ausgangspunkt natürlicher Radioaktivität nennen. Leistungsstarke Gruppen überprüfen die Impulsraten der Lebensmittel auf signifikante Erhöhungen.

Die unterschiedliche *Reichweite verschiedener Strahler in der Luft* kann mit zwei verschiedenen bauartzugelassenen Schulstrahlern Am-241 und Cs-137 untersucht werden. Die Schüler:innen erklären die differente Reichweite von  $\alpha$ - und  $\gamma$ -Strahlung. Schnelle Gruppen skizzieren die selbstaufgenommenen Messwerte. Die Benennung der Vergrößerung des Abstands als Strahlenschutzmaßnahme stellt ein weiteres Lernziel dar.

Die Maßnahme Abschirmung zum Schutz vor ionisierender Strahlung wird beim Experiment *Abschirmung verschiedener Strahlungsarten* vermittelt. Hierzu werden verschiedene Materialien zwischen dem Inspector und den unterschiedlichen Präparaten Am-241, Sr-90 und Cs-137 gehalten und die Impulsraten gemessen. Anhand des Anteils der durchdringenden Strahlung wird das geeignete Abschirmmaterial für die jeweiligen Strahlungsarten gefunden. Die Schüler:innen vergleichen die  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung anhand ihres Durchdringungsvermögens von verschiedenen Absorbermaterialien. Außerdem ermitteln sie geeignete Materialien zur Abschirmung der jeweiligen Strahlungsarten. Die Benennung der Abschirmung als Strahlenschutzmaßnahme stellt ein weiteres Lernziel dar. Fortgeschrittene deuten zudem die steigende Impulsrate als Folge, wenn  $\beta$ -Strahlung mit Blei anstatt Aluminium abgeschirmt wird, als das Auftreten von Bremsstrahlung in Abhängigkeit der Ordnungszahl. [1]

Das RadLab wird zudem durch die Erstellung des Versuchs *Untersuchung von Gammapektren* in der Bachelorarbeit von Anton Gericke und durch den Versuch *Auffinden von Kontaminationen* erweitert.

# 5. Erprobung

Die Versuche des RadLabs von Dennis Raulin konnten bei sieben Schulbesuchen erprobt werden. Es stellten sich einige Arbeitsschritte der Experimente als nicht sinnvoll heraus und insbesondere die Arbeitsblätter bedurften einer Überarbeitung. Die Erfahrungen von der Erprobung und daraus resultierenden Modifizierung von den Versuchen 'Abschirmung verschiedener Strahlungsarten', 'Reichweite verschiedener Strahler in der Luft' sowie 'Natürliche Radioaktivität in Lebensmitteln' werden in diesem Kapitel nach allgemeinen Erkenntnissen dargestellt.

## 5.1. Allgemeines

Die Versuche des RadLabs wurden bei einer 8. Klasse, zwei 9. Klassen und vier 10. Klassen erprobt. Der zeitliche Umfang betrug dabei jeweils vier Unterrichtsstunden und somit 180 Minuten. Einen Überblick über die Stichprobe und die Anzahl sowie die durchgeführten Versuche finden sich in Tabelle 5.1. Der Leistungsstand variierte dabei enorm.

Datum	Schule	Klasse	Anzahl SuS	erprobte Experimente
24.05.	Ricarda-Huch-Schule	9	22	AWZ, A, Radon, R
25.05.	Ricarda-Huch-Schule	9	22	AWZ, R, Radon, A
28.06.	KWR	8	19	AWZ, R, A
04.07.	Gymnasium Isernhagen	10	24	NRL, HWZ, A
05.07.	Gymnasium Isernhagen	10	25	NRL, A, HWZ
06.07.	Gymnasium Isernhagen	10	22	NRL, A, HWZ
07.07.	Gymnasium Isernhagen	10	22	NRL, HWZ, A

Tabelle 5.1.: Überblick über die Erprobungstage

Die Abkürzungen bedeuten Folgendes:

Abkürzung	Bedeutung
SuS	Schüler:innen
KWR	Kaiser-Wilhelm- und Ratsgymnasium
AWZ	Auf dem Weg zum Zählrohr
A	Abschirmung verschiedener Strahlungsarten
Radon	Radon in der Umgebungsluft- Luftballon
R	Reichweite verschiedener Strahler in der Luft
NRL	Natürliche Radioaktivität in Lebensmitteln
HWZ	Bestimmung der Halbwertszeit- Schüttelpräparat

Tabelle 5.2.: Abkürzungsverzeichnis für Tabelle 5.1

Aufgrund der sehr umfangreichen Experimente von Dennis Raulin, die viele Mehrfachmessungen enthielten, konnte der von ihm zeitlich geplante Rahmen keineswegs eingehalten werden. Es stellte sich bereits nach dem ersten Schulbesuch heraus, dass die Experimente in ihrem Umfang deutlich gekürzt werden müssen. Die Durchführung von vier verschiedenen Schülerexperimenten der ursprünglichen Form in 180 Minuten ist nicht möglich. Der Ablauf am ersten Erprobungstag verlief sehr hektisch. Einzelne Versuche konnten nicht vollständig durchgeführt werden, obwohl bereits die Pausenzeiten verkürzt wurden. Dies führte zu Unmut bei den Schüler:innen, obwohl ihnen das Experimentieren prinzipiell gefallen hat. Der Besuch des RadLabs soll jedoch positiv in Erinnerung bleiben und den Lernenden genügend Zeit zum Experimentieren eingeräumt werden. Für den intendierten Lernerfolg ist es redundant, bei jedem Versuch die stochastische Schwankung der Impulsrate bei den Messungen zu berücksichtigen und die Mittelwerte zu berechnen. Aufgrund der zeitlichen Komponente ist es wichtiger, die Messungen mit verschiedenen Präparaten durchführen zu können. Zudem zeigte sich die reine Messung als recht monoton. Daher wurden die Mehrfachmessungen bei den meisten Versuchen gestrichen. Die stochastische Eigenschaft der Kernzerfälle wird nun bei der Messung der Nullrate verdeutlicht. Lediglich bei dem Versuch 'Natürliche Radioaktivität in Lebensmitteln' ist eine Mittelwertbildung notwendig, da ansonsten einzelne Impulsraten einzelner Lebensmittel unterhalb der Nullrate liegen können und dementsprechend zu Verwirrung führten.

Die Arbeitsblätter mussten aufgrund fehlender technischer Ausstattung mit iPads ausgedruckt werden. Sowohl beim Ausdrucken im Sinne der Nachhaltigkeit als auch aus Gründen der Übersichtlichkeit stellte sich die durchschnittliche Seitenanzahl der Arbeits-

blätter pro Versuch in Höhe von sieben Seiten als nicht geeignet heraus. Bei 25 Lernenden und vier durchgeführten Versuchen pro Klasse ergäbe dies einen Kopieraufwand von rund 400 Blättern pro Tag. Daher wurden die Arbeitsblätter auf vier Seiten komprimiert, ohne dass diese überladen erscheinen. Dabei nehmen der Überblick, die Arbeitsschritte, die Beobachtungen und die Ergebnisse jeweils eine Seite ein. Die Schüler:innen finden die Messwerte für Berechnungen schneller und übersehen keine Schritte. Außerdem werden sie nicht mit Zetteln überfrachtet und der Kopieraufwand halbiert sich. Bei den Aufgaben auf den Arbeitsblättern von Dennis Raulin kamen nur teilweise Operatoren zum Einsatz. [1] Diese sind jedoch empfohlen (siehe Abschnitt 3.3). Die Aufgabenstellungen wurden entsprechend überarbeitet. Beispielsweise wurde die ursprüngliche Aufgabe *Entscheidet aufgrund der berechneten Anteile, welche Materialien sich zur Abschirmung welcher Strahlungsart eignen.* [1] des Versuchs 'Abschirmung verschiedener Strahlungsarten' durch den Operator 'ermitteln' zu *Ermittelt aufgrund [...] modifiziert.* Unter 'ermitteln' ist das Finden eines Zusammenhangs oder einer Lösung und die Formulierung des Ergebnisses zu verstehen. [21] Auf den Arbeitsblättern für die Versuche Reichweite verschiedener Strahler in der Luft und Abschirmung verschiedener Strahlungsarten wurden die Abkürzungen der Präparate bei den Beobachtungen um die ausformulierten Namen ergänzt, damit den Schüler:innen die Benennung bei der Sicherung leichter fällt. Als beste Variante bei der Erprobung stellte sich heraus, dass jede Person alle Seiten vom Arbeitsblatt als Vorder- und Rückseite getackert ausgeteilt bekommt.

Anschließend können Rollen verteilt werden, sodass für die Arbeitsschritte, die Messdurchführung, das Protokollieren und die Berechnungen jeweils eine Person in der Gruppe zuständig ist. Durch diese Vorgehensweise wird die Effizienz bei der Aufgabenbewältigung erhöht und minimiert die Gefahr, dass sich einzelne Personen aus der Gruppenarbeit zurückziehen. An den entsprechenden Stellen der Versuche kann gemeinsam als Gruppe nach Erklärungen gesucht werden. Natürlich können die Rollen der Personen bei den verschiedenen Versuchen rotieren, sodass jede Person verschiedene Aufgaben übernehmen konnte. Damit jede Person eine sinnvolle Aufgabe in der Gruppe besitzt, liegt die optimale Gruppengröße bei vier Personen. Für die Schulbesuche mit dem RadLab standen fünf Inspektoren zur Verfügung. Denkbar wäre die Organisation eines weiteren Inspektors für zukünftige Schulbesuche. Pro Gruppe war eine Anzahl von fünf Schüler:innen noch hinnehmbar, wobei die Experimentiermöglichkeiten pro Person sank. Die Betreuung der Versuche mit zwei Experten hat sich bewährt, da erfahrungsgemäß viele Probleme und Nachfragen auftauchen.

Vor dem Versuch sollten die Inspektoren dahingegen überprüft werden, dass der Akku-stand ausreichend und die Timereinstellung auf eine Minute eingestellt ist. Vorsichtshalber können Ersatzbatterien mitgenommen werden. Die verschiedenen Präparate von den in dieser Bachelorarbeit vorgestellten Versuche werden von den Gruppen geteilt und die entsprechenden Impulsraten abwechselnd gemessen. Die Experimentiermaterialien können auf einem Tisch in der Mitte des Raumes positioniert werden. Diese Position ist für alle Gruppen gut zugänglich und muss sowieso frei bleiben, da die Gruppentische an den Rändern gebildet werden, damit die Schulstrahler in Richtung Wand oder Fenster und nicht auf Personen zeigen. Der Versuchsablauf wird vereinfacht, wenn die Schüler:innen sich das benötigte Präparat selbstständig nehmen und anschließend wieder zurückbringen.

Als Einführungsphase zu Beginn des Besuchstages bietet sich eine kurze Vorstellung über das RadLab und die Betreuenden an. Anschließend können die Schüler:innen nach einer Definition von Radioaktivität im Plenum gefragt werden. Dabei kann das Vorwissen der Lernenden erhoben und eine gemeinsame Grundlage geschaffen werden. Ein Plenumsgespräch über die Berührungspunkte mit der Radioaktivität im Alltag unterstreicht die Gegenwarts- und Zukunftsbedeutung des behandelten Themengebiets für die Schüler:innen. An diese lassen sich beim Einstieg in ein neues Experiment anknüpfen, um in das behandelte Thema einzuführen.

Außerdem sollten die für die durchgeführten Versuche relevanten Sicherheitsaspekte zu Beginn der Unterrichtseinheit im Rahmen einer Sicherheitsunterweisung der Experimentierenden akzentuiert werden. Dies geschah bei den Schulbesuchen mit Hilfe der PowerPoint Präsentationsfolie im Anhang A.2. Die Schüler:innen kennen das Prinzip der Abschirmung bereits durch die Strahlenschutz-Schürze beim Röntgen als Schutz vor der ionisierenden Strahlung. Wird gerade keine Messung beim Versuch durchgeführt, soll daher das radioaktive Präparat zurück in die Abschirmung gesteckt werden. Zudem ist darauf hinzuweisen, dass das Präparat nur in Richtung einer Wand oder eines Fensters zeigen darf und nicht auf Personen. Die Einhaltung der Sicherheitsregeln muss durch die Betreuenden kontrolliert werden, das sich nicht alle Schüler:innen an einen sicheren Umgang mit den radioaktiven Präparaten halten.

Die Bedienung des Inspectors ist nicht ganz intuitiv. Es hat sich bewährt, eine Präsentationsfolie (siehe A.2) mit einer Anleitung zum Messen der Impulsrate zu gestalten. Diese konnte für die Einweisung verwendet werden und zur Unterstützung während der anfänglichen Bedienungsprobleme eingeblendet bleiben. Außerdem sollte ein ein-

heitliches Modell verwendet werden, damit die Inspectoreinweisung zu Beginn für alle Gruppen nachvollziehbar ist. Die ersten Messungen mit dem Inspector dauern relativ lange und viele Schüler:innen benötigen dabei Hilfestellung, da z. B. der Schieberegler des Timers nur auf 'Set' statt auf 'On' geschoben wird.

Um den zeitlichen Rahmen einzuhalten und die Planung der Betreuenden des RadLabs zu unterstützen, bedarf es einem Verlaufsplanungsraster. Da dieses bislang fehlte, wurde in der Abbildung 5.1 ein exemplarischer Verlaufsplan für die Experimente entwickelt sowie auf Grundlage der Erprobungen modifiziert

Exemplarisches Verlaufsplanungsraster				
Phase (Zeit)	Aktivitäten		Sozial- und Interaktions- form	Material/ Medien
	Lehr-/ Lernaktivität	Didaktisch-methodischer Kommentar		
<i>Einstieg</i> ca. 5-10min	<i>Der Betreuende führt in das neue Experiment ein. Dazu bieten sich Anknüpfungspunkte von der Einführungsphase zu Beginn des Tages oder im Alltag an. SuS lesen den Einleitungstext vor.</i>	<i>Motivierender Einstieg: Relevanz für die SuS im Alltag; aktiviert die SuS; jeder SuS weiß, worum es geht</i>	<i>Plenum</i>	<i>Arbeitsblatt (Seite 1) mit dem Beamer projiziert</i>
<i>Erarbeitung</i> ca. 20-35min  <i>Reichweite:</i> ca. 20-25min <i>Abschirmung:</i> ca. 25-30min <i>Lebensmittel:</i> ca. 30-35min	<i>Die Arbeitsblätter und Experimentiermaterialien werden ausgeteilt. Ein Hinweis auf den Aufbau der Arbeitsblätter erfolgt. SuS lesen die Arbeitsschritte durch und verteilen Rollen innerhalb der Gruppe. SuS beginnen mit den Messungen und führen erforderliche Rechnungen durch. Die Betreuenden stehen als Ansprechpersonen zur Verfügung.</i>	<i>Alle SuS haben eine sinnvolle Aufgabe und tragen somit zum Erfolg des Versuchs bei. Didaktische Reserve: Schnelle Gruppen bearbeiten die Zusatzaufgabe oder die Rollen in der Gruppe werden getauscht</i>	<i>Gruppenarbeit</i>	<i>Arbeitsblatt Inspector Präparate + spezifische Versuchsmaterialien</i>
<i>Sicherung</i> ca. 10min	<i>Vergleichen der Messergebnisse: SuS stellen ihre Gruppenergebnisse vor. Frage nach möglichen Gründen für die Abweichungen. SuS überlegen mögliche Gründe für die Abweichung der Ergebnisse und Fehlerquellen. Frage nach der Bedeutung der Erkenntnisse im Strahlenschutz. SuS benennen das jeweilige Phänomen als Strahlenschutzmaßnahme.</i>	<i>Durch eine gemeinsame Sicherungsphase werden alle SuS zum Reflektieren angeregt und können zum Unterrichtsgespräch beitragen. Einheitlichen Lernzuwachs schaffen</i>	<i>Plenum</i>	<i>Arbeitsblatt Beamer</i>

Abbildung 5.1.: Exemplarisches Verlaufsplanungsraster

Als Einstieg zum Versuch bietet es sich an, den jeweiligen Einleitungstext 'Um was geht es?' im Plenum vorlesen zu lassen. Alle Schüler:innen werden auf diese Weise aktiviert und wissen anschließend um die thematische Ausrichtung des Versuchs Bescheid. Danach können die Arbeitsblätter und Experimentiermaterialien ausgeteilt werden. Nicht alle Lernenden schauen sich alle Seiten zu Beginn an, um einen Überblick zu bekom-

men. Daher sollte der Aufbau der Blätter grob erklärt werden, damit die Schüler:innen nicht die Tabellen für die Messwerte oder die Auswertung übersehen. Um Klarheit über die Aufgabe zu erlangen, kann eine gemeinsame Besprechung der Arbeitsschritte erfolgen und die Möglichkeit gegeben werden, Fragen zu stellen. Anschließend beginnen die Schüler:innen mit den Messungen in Gruppenarbeit und führen die geforderten Rechnungen durch. Im Sinne einer didaktischen Reserve beinhaltet jedes Arbeitsblatt eines Versuchs eine Zusatzaufgabe, die von schnellen oder leistungsstarken Gruppen bearbeitet werden kann.

Durch eine gemeinsame Sicherungsphase werden alle Schüler:innen zum Reflektieren angeregt und können zum Unterrichtsgespräch beitragen. Auf diese Weise kann ein verbindliches Ergebnis als gemeinsame Wissensbasis geschaffen werden. Dort sollten Gründe für die Abweichungen der Messergebnisse besprochen sowie die Bedeutung der Nullrate eingebunden werden und warum diese von den Messergebnissen abgezogen wird. Sie wird bei allen Versuchen vorausgesetzt und nicht alle Teilnehmenden kannten den natürlichen Untergrund. Die Nullrate muss an einem Versuchstag nur einmal bestimmt werden, dies spart Zeit und verkürzt die Durchführung der anschließenden Experimente um wenige Minuten.

## 5.2. Reichweite verschiedener Strahler in der Luft

Für den Versuch wird u.a. ein Am-241 und ein Cs-137 Präparat benötigt. Bisher stehen insgesamt jeweils 3 Präparate für das RadLab zur Verfügung. Folglich können nicht alle 5 Gruppen gleichzeitig die gleichen Präparate messen. Die ursprüngliche Variante des Versuchs beinhaltete 5 Arbeitsschritte. Bei den Schulbesuchen wurde beobachtet, dass die Schüler:innen diese chronologisch (Schritt für Schritt) bearbeiteten. Die Gruppen, die nicht den in den Arbeitsschritten zuerst genannten Strahler zur Verfügung hatten, haben nicht weiter experimentiert. Als Begründung hieß es, dass diese ja nicht den richtigen Strahler hätten. Nach einem Hinweis, die weiteren Arbeitsschritte zu lesen, wurde die entsprechende Messung mit einem anderen Präparat nur zögerlich umgesetzt. Diese Unterbrechung führte folglich zu zeitlichen Verzögerungen. Aufgrund dessen wurden die Arbeitsschritte überarbeitet. Die Messung der Impulsrate pro Minute soll für ein Präparat erfolgen. Die zu messenden Abstände für die jeweiligen Präparate sind im Anschluss angegeben. Für eine bessere Übersichtlichkeit sind zudem nur noch 3 getrennte Arbeitsanweisungen vorhanden. Das oben beschriebene Problem tauchte nach dieser

Modifizierung nicht erneut auf und alle Gruppen haben beide Präparate in unterschiedlichen Reihenfolgen gemessen. Zudem hat es sich bewährt, zu Beginn für 2 Gruppen den Am-241 Strahler und 3 Gruppen den Cs-137 Strahler auszuteilen. Mit dem Am-241 Strahler sind weniger Messungen durchzuführen. Die erste Gruppe, die alle Messungen mit Am-241 erledigt hat, erhält dann das dritte zur Verfügung stehende Cs-137 Präparat. Danach können die Gruppen die Präparate selbstständig rotieren. Denkbar wäre eine Erweiterung der RadLab Experimentiermaterialien um ein weiteres Schulstrahlerset.

Die mathematisierte Herleitung des Abstandsquadratgesetzes mittels Linearisierung der Messwerte als Aufgabe wurde aufgrund fehlenden Bezugs zum Kerncurriculums (KC) entfernt. [21] Außerdem ist die Taschenrechnerbedienbarkeit in den Jahrgängen 9 und 10 noch nicht trainiert genug für eine Regression. Der graphikfähige Taschenrechner wird häufig erst im Laufe der 9. Klasse eingeführt. Aufgrund der Vielzahl an verschiedenen Taschenrechnermodellen ist es zudem für die Betreuenden des RadLabs ungünstig, sich vor jedem Besuch mit der Bedienung des jeweiligen Taschenrechners vertraut zu machen. Eine mögliche Abwandlung der Aufgabe ist es, die Messwerte des Cs-137 graphisch darzustellen und den Verlauf der Messwerte zu skizzieren. Die Darstellung der Messwerte kann je nach Präferenz mit dem Taschenrechner oder vollkommen analog geschehen. Die Erstellung eines Graphen wird im Gegensatz zur Durchführung einer Regression früher und häufiger geübt. Der Graph kann anschließend zur Thematisierung des Abstands als Strahlenschutzmaßnahme zum Einsatz kommen. Ein ähnliches Prinzip könnten die Lernenden von der Hitze eines Lagerfeuers kennen. Die überarbeitete Musterlösung (A.3) enthält die mit dem Programm QtiPlot von IONDEV SRL skizzierten Messwerte und eine Regression auf Basis neu aufgenommener Messwerte, die ebenfalls dort zu finden sind.

Bei der Sicherung kam es häufiger zu sehr starken Abweichungen bei den Anteilen von Am-241. Beispielsweise wurde die Impulsrate von Am-241 beim Abstand von 0,3 cm offensichtlich falsch gemessen. Der Abstand war zu groß und folglich der bei 5 cm Entfernung detektierte Anteil ähnlich groß wie der vom Cs-137-Präparat. Auf solche Probleme sollte im Plenum eingegangen und die möglichen Ursachen durch die Schüler:innen vermutet werden. Aufgrund von Zeitmangel ist es möglich, dass nicht jede Gruppe dazu kommt, alle Messungen durchzuführen oder die Anteile zu berechnen. Bei ersterem ist es ratsam, schnell eine neue Messung als Demonstrationsexperiment durchzuführen und anschließend den neuen Anteil durch die Schüler:innen berechnen zu lassen. Während der Messung kann bereits auf die Maßnahme Abstand im Strahlenschutz eingegangen

werden, da bei Cs-137 erfahrungsgemäß die Abweichungen von der Musterlösung geringer ausfallen. Der gesamte Versuch inklusive Vor- und Nachbereitung nimmt ca. 35-40 Minuten in Anspruch.

### 5.3. Abschirmung verschiedener Strahlungsarten

Aufgrund des in 5.2 beschriebenen Problems wurden die Arbeitsschritte beim Versuch Abschirmung so überarbeitet, dass die Reihenfolge der zu messenden Präparate in den Arbeitsanweisungen nicht implizit vorgegeben ist. Außerdem sah die Variante von Dennis Raulin vor, den Am-241 Strahler in einem Abstand von 3 cm zu messen. Bei diesem Abstand durchdringt jedoch ein Anteil von rund  $A_1 = \frac{Z_{\text{Papier}}}{Z_{\text{ohneAbschirmung}}} = \frac{338 \text{ Imp/s}}{605 \text{ Imp/s}} \hat{=} 55,87\%$  das Papier. Dieses Ergebnis ist insofern nicht befriedigend, dass bei der Sicherung dem Am-241 die  $\alpha$ -Strahlungsart zugeordnet wird. Die Schüler:innen erwarten, eine deutlich stärkere Abschwächung durch ein Papier. Der Grund für den hohen Anteil liegt im Zerfallsschema in Abbildung 2.1. Neben dem  $\alpha$ -Zerfall sind auch  $\gamma$ -Übergänge möglich. Aufgrund der möglichen Energieniveaus des angeregten Tochterkerns besitzen die Heliumkerne unterschiedliche kinetische Energien. Gemäß Gleichung (2.10) sind verschiedene Werte für den Energieverlust dE pro Strecke dx und damit Reichweiten möglich. Bei einer Entfernung von 3cm wird nur noch ein vergleichsweise geringer Anteil der  $\alpha$ -Teilchen und dafür hauptsächlich  $\gamma$ -Quanten mit 60 keV detektiert. Aufgrund dessen wurde der Abstand für Am-241 auf 0,3cm verringert. Hierbei ergibt sich nun der folgende Anteil  $A_1 = \frac{Z_{\text{Papier}}}{Z_{\text{ohneAbschirmung}}} = \frac{1332 \text{ Imp/s}}{57893 \text{ Imp/s}} \hat{=} 2,30\%$  und entspricht somit den Erwartungen.

Für die Abschirmung mit Aluminium werden die 0,5 mm dicken Scheiben aus dem Praktikumslabor verwendet. Für die Schulbesuche ist eine sinnvolle Anzahl an Scheiben und somit Dicke des Aluminiums zu überlegen, da der durchdringende Anteil von der zurückgelegten Wegstrecke im Aluminium abhängt. Eine Übersicht über die möglichen Anteile liefert die folgende Tabelle. Zudem muss einerseits die Verfügbarkeit beachtet werden und andererseits der Umgang mit möglicherweise vielen einzelnen Scheiben in der Klasse.

Aluminium	Impulsrate [Imp/min]	Impulsrate-Nullrate [Imp/min]	Anteil [%]
0mm	118303	118256	
1*0,5mm	89013	88966	75,23
2*0,5mm	69333	69286	58,59
3*0,5mm	53630	53583	45,31
4*0,5mm	5635	5588	4,73
5*0,5mm	3441	3439	2,91
6*0,5mm	1140	1093	0,92
7*0,5mm	309	269	0,23
8*0,5mm	141	76	0,06

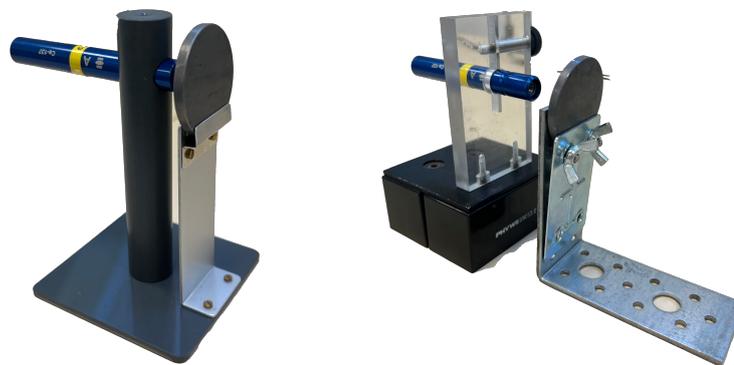
Tabelle 5.3.: Impulsraten für das Sr-90 Präparat und verschiedene Anzahl an Aluminiumscheiben

Bei der Erprobung hat es sich als sinnvoll erwiesen, vier Scheiben auszuteilen. Diese Anzahl sollte auch auf dem Arbeitsblatt stehen, da ansonsten erfahrungsgemäß nicht alle verwendet werden. Eine mögliche Lösung für zukünftige Schulbesuche wäre die Fertigung neuer Aluminiumplatten in der Stärke der verwendeten Bleiplatte von z.B. 4 mm. Die Schüler:innen nennen ansonsten Blei als geeignetes Material zur Abschirmung der  $\beta$ -Strahlung von Sr-90, da bei Verwendung der eingesetzten Bleischeibe mit 4 mm Dicke ein geringerer Anteil der ionisierenden Strahlung detektiert wird, als dies beispielweise bei 2 mm Aluminium der Fall ist (siehe Tabelle 5.3 und Musterlösung in Abschnitt A.4). Die Wahrscheinlichkeit, dass geladene Teilchen ihre Energie über die Bremsstrahlung abgeben, ist bei Blei im Vergleich zu Aluminium höher und die Strahlung kann vom Inspector detektiert werden. [9] Damit die Lernenden selbstständig zu der Erkenntnis gelangen, dass Aluminium zur Abschirmung von  $\beta$ -Strahlung besser geeignet ist als Blei, muss das Material die gleiche Dicke aufweisen. Außerdem wäre eine bessere Vergleichbarkeit zwischen den berechneten Anteilen der durchdringenden Strahlung bei Verwendung der Materialien Aluminium und Blei beim Cs-137 Präparat gegeben. Die Schüler:innen stellen sich bei der Zuordnung von Blei als geeignetes Abschirmmaterial von  $\gamma$ -Strahlung aufgrund des errechneten Anteils nicht zufrieden, da bei der Erprobung die verwendete Bleiplatte eine größere Dicke aufweist als die vier Aluminiumscheiben zusammen. Die Lernenden wissen folglich nicht, ob der Anteil der detektierten Strahlung des Cs-137-Präparats bei gleichen Dimensionen der Materialien bei Aluminium kleiner als bei Blei ausfallen könnte. Bei 4 mm Aluminium als Abschirmung wird ein Anteil von  $A_2 = \frac{Z_{\text{Aluminium}}}{Z_{\text{ohne Abschirmung}}} = \frac{923 \text{ Imp/s}}{1281 \text{ Imp/s}} \hat{=} 72,05\%$  detektiert. Der Anteil bei 4 mm Blei fällt mit einem Anteil von  $A_3 = \frac{Z_{\text{Blei}}}{Z_{\text{ohne Abschirmung}}} = \frac{895 \text{ Imp/s}}{1281 \text{ Imp/s}} \hat{=} 69,87\%$  im Gegensatz dazu geringer aus. Zusätzlich wird der Umgang und das Austeilen des Materials vereinfacht und die

Verfügbarkeit durch die Unabhängigkeit vom Praktikumseinsatz erhöht.

Das Berechnen der Anteile wurde mit in die Arbeitsschritte aufgenommen, da diese auf einer weiteren Seite leicht übersehen werden können. Zudem wird ohne die Berechnung die Sicherung erschwert. Die errechneten Werte können nach der Modifizierung direkt neben den dazugehörigen Messwerten eingetragen werden. Dies erhöht einerseits die Übersichtlichkeit. Darüber hinaus erleichtert es die Arbeit für die Schüler:innen, wenn zwischen dem Ablesen der Werte und Aufschreiben der Anteile nicht ständig zwischen Vorder- und Rückseite gewechselt werden muss.

Außerdem standen bisher nicht genügend Halterungen bei den Schulbesuchen zur Verfügung. Für den Versuch wurden deswegen neue Halterungen für die Schulstrahler und die Abschirmmaterialien erstellt (siehe Abbildung 5.2). Hierbei war es wichtig, dass die Haltevorrichtung nicht den Strahlengang beeinflusst. Zudem sollten diese ebenfalls bei dem Versuch Reichweite verwendet werden können und die Materialien ohne Festschrauben halten. Im Gegensatz zu dem Halter für das Abschirmmaterial von Dennis Raulin vereint dieser für beide Faktoren eine Lösung und vermittelt mehr Authentizität. Die Arbeitsblätter der beiden Versuche, wo die neue Halterung zum Einsatz kommt, wurden durch Bilder der überarbeiteten Materialien erweitert.



neu erstellte Halterung

Halterung von Dennis Raulin

Abbildung 5.2.: Halterungen

Für die anschließende Sicherung im Plenum hat es sich bewährt, zuerst die durchschnittliche Nullrate und die Anteile zu vergleichen sowie auf dem Arbeitsblatt zu notieren, welches per Ipad über einen Beamer übertragen wurde. Für das Ergebnis, welches Material sich zur Abschirmung welcher Strahlungsart eignet, wurde Abbildung 5.3 erstellt, da visuelle Informationen häufig besser im Gedächtnis bleiben als geschriebener Text

und weiterhin das mehrkanalige Lernen unterstützt wird. [15] Diese Abbildung kann anschließend gezeigt werden und es kann die Aufforderung folgen, dass die Schüler:innen diese selbstständig auf ihr Arbeitsblatt übernehmen und beschriften sollen.

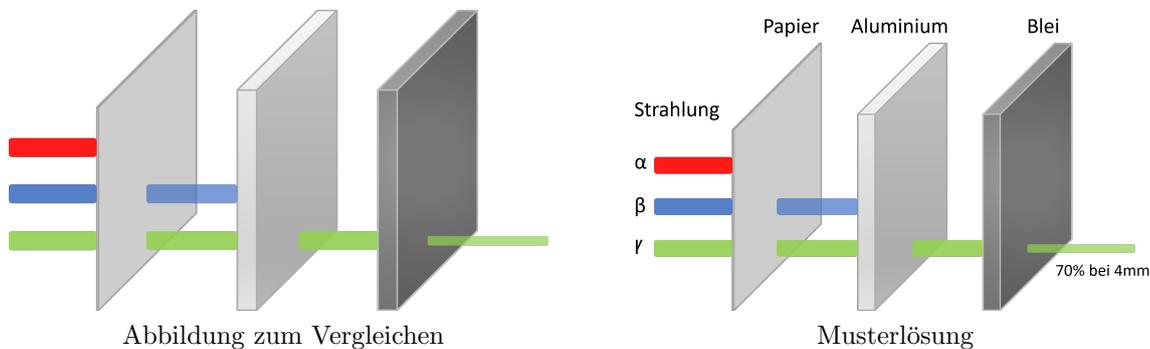


Abbildung 5.3.: Materialien zur Abschirmung der verschiedenen Strahlungsarten (eigene Darstellung)

Diese Vorgehensweise klappt gut und zügig. Im Plenum kann anschließend die Beschriftung kurz auf Richtigkeit überprüft werden. Besitzen die Schüler:innen noch nicht das Vorwissen über die unterschiedliche Abschirmbarkeit der verschiedenen Strahlungsarten, können im ersten Schritt auch nur die verwendeten Präparate und im zweiten Schritt die Namen  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung aufgrund der Unterschiede im Durchdringungsvermögen zugeordnet werden.

Seitens der Schüler:innen kam der Wunsch auf, auch eigene Materialien auf ihre abschirmende Wirkung zu untersuchen. Diese Idee könnten z.B. schnelle Gruppen im Sinne einer didaktischen Reserve umsetzen oder in einer weiteren Variante des Versuchs berücksichtigt werden. Erfahrungsgemäß dauert dieser Versuch inklusive Vor- und Nachbereitung ca. 40-50 Minuten. Bei Zeitmangel ist es möglich, dass jede Gruppe Messungen mit nur zwei verschiedenen Präparaten durchführt. Dafür ist es sinnvoll, dass jedes Präparat von mindestens einer Gruppe als erstes verwendet wird. Bei der Gruppenanzahl und der zur Verfügung stehenden Strahler war es sinnvoll, dass eine Gruppe mit Am-241 anfängt und jeweils zwei Gruppen mit Sr-90 und Cs-137, damit immer genügend Präparate zur Verfügung standen.

## 5.4. Natürliche Radioaktivität in Lebensmitteln

Die bei dem Versuch verwendeten Lebensmittel in Form von Aprikosen und Paranüsse wurden für die Schulbesuche in Petrischalen verpackt, um eine ausreichend große Anzahl an Präparaten zur Verfügung zu stellen. Die Arbeitsblätter wurden um neu aufgenommene Bilder der überarbeiteten Experimentiermaterialien ergänzt. Bei den Experimenten ist darauf zu achten, dass die Lebensmittel in den Behältnissen bleiben und nicht das Zählrohrfenster der Inspectoren verunreinigen. Dieses Experiment kann nach dem Versuch 'Abschirmung verschiedener Strahlungsarten' durchgeführt werden, damit die Schüler:innen den Einfluss der Abschirmung durch die Petrischale auf die detektierten Impulsraten beurteilen können.

Bei dem Versuch wird ebenfalls das Trinkwasser auf Radioaktivität untersucht. Hierfür werden rund 25l Leitungswasser durch einen Mikrofaserfilter laufen gelassen. Dieser filtert die Radon-Töchter Po-218, Pb-214, Bi-214 und Po-214 aus dem Wasser. Der Wasserfilter wird hinter eine Wasseruhr geschaltet. [1] Bei dem Gerät aus dem Praktikumslabor in Abbildung 5.4 ist darauf zu achten, dass die Rillen der Plastikscheiben jeweils zum Filter zeigen, damit dieser mehr Wasser filtern kann. Durch einen Dichtring wird vermieden, dass Wasser seitlich austritt und somit die gefilterte Menge vom Zählerstand abweicht. Durch zahlreiche Adapter lässt sich die Wasseruhr an alle gängigen schraubbaren Wasserhähne anschließen. Diese sollten unbedingt zu den Schulbesuchen mitgenommen und vorher auf Kompatibilität überprüft werden.



Überblick



Rillen der Plastikscheibe

Abbildung 5.4.: Trinkwasserfilter

Der Wasserfilter sollte vor der Messung auf einer Heizplatte getrocknet werden, da ansonsten die  $\alpha$ -Strahlung wegen der hohen Wechselwirkungswahrscheinlichkeit mit Materie vom Wasser absorbiert und nicht detektiert wird (siehe 2.3.1). Aufgrund der geringen

Halbwertszeit der Töchter im Minutenbereich darf der Wasserfilter nicht bereits im Institut, sondern erst kurz vor der Messung vorbereitet werden. Die braune Färbung des Filters des im Institut gefilterten Wassers in der Abbildung 5.4 kommt von den Ablagerungen in den zum Teil 60 Jahre alten Wasserleitungen aus Stahl. Diesbezüglich besteht jedoch kein direkter Zusammenhang mit der Impulsrate. Eine Verfärbung ist also kein Merkmal für die zu erwartende Impulsrate.

Außerdem ist zu beachten, dass nicht an allen Orten gleich hohe Impulsraten zu erhalten sind. Das Trinkwasser in Hannover kommt in unterschiedlichen Gebieten zu verschiedenen Anteilen aus den Trinkwasserquellen. In der Region Hannover stammt das Trinkwasser sowohl von der enercity AG als auch von der Harzwasserwerke GmbH. Das Wasser hat je nach Herkunft unterschiedliche Gehalte an Uran und Radium und somit Radon-Töchter. Ein Überblick über die Minimum-, Mittel- und Maximalwerte ist in Tabelle 5.4 dargestellt. Die Impulsrate fällt in Gebieten mit einem hohen Anteil von Trinkwasser aus dem Harz deutlich geringer aus.

	Einheit	Minimum	Mittelwert	Maximum	Grenzwert
enercity AG	mg/l	<0,0001	0,0002	0,0007	0,01
Harzwasserwerke GmbH	mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,01

Tabelle 5.4.: Urangehalt im Trinkwasser [25] [26]

Leistungsstarke oder schnelle Gruppen sollten zusätzlich überprüfen, bei welchen Lebensmitteln die Impulsrate signifikant erhöht gegenüber der Nullrate ist. [1] Die Durchführung eines t-Tests erschien als zu kompliziert aufgrund der fehlenden mathematischen Fähigkeiten der Schüler:innen in diesem Bereich. Daher wurde dieser entfernt und eine andere Zusatzaufgabe entwickelt. Die natürliche Radioaktivität in Lebensmitteln stellt eine große Relevanz im alltäglichen Leben der Schüler:innen dar. Sie verzehren z. B. Paranüsse beim Müsli zum Frühstück. Diese Alltagsbedeutung spiegelt sich in einem hohen Interesse und durch Nachfragen wieder, ob die Inkorporation eine Gefahr darstelle. In der Zusatzaufgabe sollen schnelle oder leistungsstarke Schüler:innen beurteilen, ob durch den Konsum der Lebensmittel eine Gefährdung für den menschlichen Körper aufgrund der ionisierenden Strahlung ausgeht. Diese Aufgabe greift das erwähnte Interesse an diesem Sachverhalt auf. Die Verwendung des Operators 'beurteilen' erwartet, dass die Lernenden ein selbstständiges Urteil formulieren und begründen. [21] Die Beantwortung der Frage kann durch eine Recherche der Schüler:innen in geeigneten Quellen, wie z. B. der Website des Bundesamts für Strahlenschutz, erfolgen. Anschließend sollten

die Ergebnisse in einem Plenumsgespräch zur Überprüfung der Richtigkeit verglichen und besprochen werden. Daher wird die Musterlösung von Dennis Raulin um diesen Teil ergänzt. Die Aufnahme von Kalium ist radiologisch aufgrund von Homöostase für den menschlichen Körper völlig unbedenklich. Der Kalium-40 Gehalt bleibt im Körper durch eine Selbstregulation konstant. Für die Funktion des Stoffwechsels benötigt der Körper ständig Kalium. Der Bedarf kann vollständig durch die Nahrung gedeckt werden. [27] Paranüsse gelten aufgrund des hohen Selengehalts als gesund. Für die Funktion der Schilddrüse und des Immunsystems benötigt der Körper Selen. Ebenfalls unterstützt es die Zellregeneration. Daher wird in manchen Quellen eine Verzehrempfehlung von zwei Paranüssen (ca. 8 Gramm) pro Tag ausgesprochen. Aufgrund des feinen Wurzelgeflechts des Paranussbaums kann der Radiumgehalt in den Nüssen im Vergleich zur Gesamtnahrung rund 1.000-fach erhöht sein. Laut des Bundesamts für Strahlenschutz führt die Strahlenbelastung durch den täglichen Verzehr von zwei Paranüssen zu keinen negativen gesundheitlichen Folgen. [28]

Der Versuch inklusive Einstieg und Sicherung dauert ca. 45-55 Minuten.

## 5.5. Versuchskombinationen

Als empfohlene Reihenfolge der Versuche bieten sich zwei erprobte Varianten an. Die Durchführung von drei Versuchen bei einem Besuch hat sich bewährt. Die Schüler:innen können ohne Zeitdruck experimentieren und müssen nicht unterbrochen werden, damit zügig das nächste Experiment beginnen kann. Eine ausführlichere Plenumsdiskussion wird dadurch ebenso ermöglicht.

*Variante 1:* Zuerst wird der Versuch 'Auf dem Weg zum Zählrohr', anschließend die Reichweite und danach die Abschirmung verschiedener Strahlungsarten durchgeführt. Die Schüler:innen lernen zu Beginn spielerisch den Umgang mit dem Elektroskop und einem Präparat und beachten dabei die Sicherheitsregeln. Beim nächsten Versuch wird der Inspector eingeführt und beim letzten Versuch wird das Versuchsequipment um die Abschirmmaterialien erweitert.

*Variante 2:* Das erste Experiment an dem Versuchstag ist 'Abschirmung verschiedener Strahlungsarten'. Die Schüler:innen lernen hierbei direkt die Bedienung des Inspectors, den Umgang mit den radioaktiven Präparaten und Abschirmungen kennen. Ein kompetenter Umgang mit dem Inspector zur Aufnahme der Messwerte wird bei der Bestim-

mung der Halbwertszeit mit einem Uran-Schüttelpräparat erfordert. Abschließend kann die natürliche Radioaktivität in Lebensmitteln untersucht werden. Der letzte Versuch sollte Möglichkeiten zur Reduktion aus Zeitgründen beinhalten. Bei der Messung von Lebensmitteln bietet sich eine Reduzierung der Mehrfachmessungen an.

Eine erprobte Zeiteinteilung der Versuche für einen RadLab Besuch der Variante 2 ist in Abbildung 5.5 zu sehen.

RadLab Besuch Verlaufsplanungsraster				
Phase (Zeit)	Aktivitäten		Sozial- und Interaktionsform	Material/ Medien
	Lehr-/ Lernaktivität	Didaktisch-methodischer Kommentar		
<i>Einführungsphase ca. 15min</i>	<i>Die Lehrkraft und Betreuenden begrüßen die SuS. Die SuS werden nach einer Definition und den Berührungspunkten von Radioaktivität im Alltag gefragt. Sicherheitsunterweisung Inspector Bedienungserklärung</i>	<i>Vorwissen der SuS erheben Motivierender Einstieg: Relevanz für die SuS im Alltag; aktiviert die SuS</i>	<i>Plenum</i>	<i>PowerPoint Präsentation mit dem Beamer projizieren</i>
<i>Versuch Abschirmung verschiedener Strahlungsarten ca. 40-50min</i>	<i>Siehe exemplarisches Verlaufsplanungsmuster</i>		<i>Gruppenarbeit, Plenum</i>	<i>Arbeitsblatt Inspector Präparate Halterungen Abschirmmaterialien Lineale Lebensmittel</i>
<i>Versuch Bestimmung der Halbwertszeit ca. 67min</i>	<i>Siehe exemplarisches Verlaufsplanungsmuster</i>		<i>Gruppenarbeit, Plenum</i>	<i>Arbeitsblatt Inspector Schüttelpräparat</i>
<i>Versuch Natürliche Radioaktivität in Lebensmittel ca. 45-55min</i>	<i>Siehe exemplarisches Verlaufsplanungsmuster</i>		<i>Gruppenarbeit, Plenum</i>	<i>Arbeitsblatt Inspector Präparate Lebensmittel</i>
<i>Fragebogen ausfüllen &amp; Verabschiedung ca. 5-10min</i>	<i>SuS füllen den Fragebogen aus Verabschiedung der Betreuenden des RadLabs</i>	<i>SuS können Feedback geben</i>	<i>Einzelarbeit, Plenum</i>	<i>Fragebogen</i>

Abbildung 5.5.: RadLab Besuch Verlaufsplanungsraster Variante 2



# 6. Untersuchung des Einflusses von Lenkung

In diesem Kapitel wird der Einfluss von Lenkung auf das Interesse in Abhängigkeit des Geschlechts untersucht. Hierfür wird sich zunächst mit den Kriterien der Glaubwürdigkeit befasst, um die Aussagekraft der Ergebnisse beurteilen zu können. Daraufhin folgt das Konzept des forschend-entdeckenden Unterrichts, weil die Versuchsanleitung im Sinne der Offenheit variiert wird. Das Konzept und die Methode der Untersuchung wird vorgestellt, bevor die Ergebnisse der Forschung dargestellt und diskutiert werden.

## 6.1. Kriterien der Glaubwürdigkeit

Das Ziel empirischer Forschung ist es, Hinweise zu geben, wie die Qualität des Unterrichts mit hoher Wahrscheinlichkeit verbessert werden kann. Die Glaubwürdigkeit der Aussagen ist dabei ein zentraler Anspruch. Damit die Ergebnisse aussagekräftig sind, müssen die Kriterien der Glaubwürdigkeit erfüllt werden. Ohne Kenntnis über die Gütekriterien Objektivität, Validität, Reliabilität und Signifikanz kann die Glaubwürdigkeit der Ergebnisse nicht beurteilt werden. [29]

Die Objektivität fordert, dass das Messergebnis unabhängig von äußeren Einflüssen ist. Die Minimierung subjektiver Einflüsse bei der Messung oder einer Beobachtung sollten angestrebt werden. [29] Unter der Reliabilität wird die Verlässlichkeit der Ergebnisse verstanden. Das Messinstrument soll jedes Item genau messen und bei ähnlichen Messungen gleiche Varianzen aufweisen. [29] Außerdem kann es zu Varianzen im Verhalten der Stichprobe kommen, wenn die Probanden unterschiedlich aufmerksam sind oder aber es können systematische Fehler auftreten, wenn diese nach sozialer Erwünschtheit antworten. Die Konsistenz bei den Itemergebnissen einer Intervallskala und die durch-

schnittliche Korrelation zwischen den Fragen wird durch den Cronbach  $\alpha$ -Koeffizient angegeben. Dieser liegt zwischen 0 und 1 und bei stark reliablen Ergebnissen in der Nähe von ,9. [30] Der Wert von dem Koeffizienten wird ohne Null vor dem Komma angegeben. Um aus den Messwerten valide Folgerungen ziehen zu können, ist eine Kompatibilität zwischen Design, Messinstrumenten und theoretischen Annahmen erforderlich. Dabei ist auch die Zusammensetzung der untersuchten Stichprobe zu berücksichtigen. [29] Signifikante Ergebnisse können erreicht werden, wenn es mehr als eine zufällige Korrelation zwischen den Variablen gibt. Hierfür wird die Schwelle der Irrtumswahrscheinlichkeit bei  $\alpha=0,05$  festgelegt, mit der die Nullhypothese fälschlicherweise abgelehnt wird, also ein Effekt angenommen wurde, obwohl keiner existiert. Die in dieser Untersuchung festgestellten Unterschiede können mit 95-prozentiger Sicherheit bestätigt werden. [29]

## 6.2. Forschend-entdeckender Unterricht

Der entdeckende Unterricht ist ein schülerorientiertes Unterrichtskonzept. Dabei entdecken die Schüler:innen für sie neue physikalische Zusammenhänge. Bei dem überarbeiteten Experiment handelt es sich um eine gelenkte Entdeckung, da Hinweise und Anweisungen für den Entdeckungsprozess der Lernenden gegeben werden. Die selbstständige Herangehensweise an Neues ist die wichtigste Methode zur Vermittlung neuen Wissens. Durch die eigene Entdeckung wird das Gelernte langfristig gesichert und gilt bei Erfolgserlebnissen als wichtigste Quelle, um Motivation, Selbstvertrauen und längerfristiges Interesse zu wecken. Die Entwicklung einer Strategie zum Lösen von Problemen wird ebenfalls vermittelt. [15] Die Förderung der Selbstbestimmtheit im Sinne der Selbstbestimmungstheorie ist eine wichtige Bestrebung bei Schülerexperimenten und wird verfolgt, um das Interesse zu fördern. Zudem nimmt die Selbstständigkeit eine wichtige Rolle bei der Persönlichkeitsentwicklung ein. Das Interesse an einer Tätigkeit hat einen Einfluss auf den Lernerfolg. Aus pädagogischer Sicht ist somit die Begeisterung der Lernenden eine sinnvolle Intention. [31]

Als nachteilig an offenen Versuchen kann sich der große Aufwand auf organisatorischer Ebene sowie in der Durchführung erweisen. Im Voraus müssen das Vorwissen, die experimentellen Fähigkeiten und das selbstständige Lernen bekannt sein, da diese die Effektivität beeinflussen. Bei der Organisation ist zudem der erhöhte Vorbereitungsaufwand gegenüber eines darbietenden Unterrichts zu beachten. Die Arbeitsmittel müssen in ausreichender Anzahl zur Verfügung gestellt werden. Hierbei punktet das RadLab insofern,

dass die Schulen in den seltensten Fällen mit einem Klassensatz entsprechender Materialien ausgestattet sind. Die Lehrkraft bietet lediglich Hilfestellungen an und unterstützt bei Problemen. Der Unterrichtsverlauf ist dabei offen. Für die Versuche sollten mindestens 90 Minuten eingeplant werden, damit den Schüler:innen mehr Freiräume eingeräumt werden können. Durch den erhöhten Zeitbedarf kann der entdeckende Unterricht im Konflikt mit der Vermittlung des Fachwissens stehen. [15]

Die Offenheit spielt in kritischen Beiträgen über Schülerexperimente eine wichtige Rolle. Die bisherige Forschung entdeckte, dass offen formulierte Problemsituationen beim Experimentieren dem Absinken des Interesses im Verlaufe der Stunde entgegenwirken, aber nicht automatisch zu einem besseren Verständnis führen. [17] Forschend-entdeckendes Lernen erfordert Hilfen und wird erst durch ein bestimmtes Maß an Lenkung effektiv. Den Lehrkräften kommt dabei die Aufgabe zu, die Schüler:innen zu unterstützen und anzuregen. Forschende Methoden ohne Führung oder mit geringer Lenkung erweisen sich als weniger effektiv als instruktionierte Ansätze. [15] In den wenigstens Fällen funktioniert der Erwerb von Fachwissen in Lernumgebungen mit minimaler Führung. [32] Die erfolgreiche Umsetzung konstruktivistischer Lehr-Lern-Umgebungen bedarf einer sinnvollen Balance zwischen Unterstützung und Autonomie. Dafür muss ein geeignetes Gleichgewicht zwischen Anleitung und Offenheit entstehen. [17]

## 6.3. Konzept der Untersuchung

### 6.3.1. Zentrale Fragestellung

Die zentrale Fragestellung dieser Untersuchung lautet, inwieweit beeinflusst Lenkung die emotionale Komponente des aktuellen Interesses. Das Konstrukt des Interesses ist mehrdimensional und beinhaltet die emotionale, wertbezogene und epistemische Komponente. [31] Für diese Forschung ist eine Beschränkung auf den emotionalen Bestandteil aus Gründen des Designs und Ablaufs der Untersuchung sinnvoll. Es wird vermutet, dass die wahrgenommenen Versuchsvariablen Offenheit (und Verständlichkeit) das aktuelle Interesse beeinflussen. Des Weiteren werden Unterschiedshypothesen für die statistische Auswertung formuliert. Die gerichtete Hypothese  $H_1$  lautet, dass offener Unterricht die emotionale Komponente des aktuellen Interesses fördert. Im Gegensatz dazu besagt die Nullhypothese  $H_0$ , dass hierbei keine Änderung eintritt und somit kein Effekt feststellbar ist. Außerdem wird der Einfluss des Geschlechts auf die Einschätzung der wahrgenomme-

nen Variablen untersucht. Hierfür wird erwartet, dass das Geschlecht einen Einfluss auf die Items ausübt. Die Nullhypothese dazu lautete, dass es keinen Unterschied zwischen den Geschlechtern gibt.

Das ausgewählte Untersuchungsinstrument lässt sich auf verschiedene Versuche des RadLabs anwenden. Dies erschien notwendig, da die Lehrkräfte der besuchten Schulen die Versuche auswählen konnten. Vor der Erstellung des Konzepts der Untersuchung war noch nicht abschließend geklärt, welcher Versuch für die Untersuchung modifiziert werden soll. Das Instrument ist unabhängig von der genauen Gestaltung des Versuchs und zur Selbstevaluation geeignet. [31]

Die Ergebnisse dieser empirischen Forschung können Anregungen für weitere Experimente und Unterrichtskonzepte liefern. Die bestehenden Versuche des RadLab Projekts könnten unter Berücksichtigung der neuen Erkenntnisse überarbeitet werden oder die Konzeption von neuen Experimenten in der Kernphysik beeinflussen.

### 6.3.2. Variablen der Untersuchung

Die aufgestellten Hypothesen werden überprüft, indem die abhängige Variable durch eine gezielte Intervention in die Variable Offenheit verändert werden soll. Hierfür müssen störende Variablen minimiert werden und die Bedingungen in den untersuchten Gruppen unverändert bleiben. [29]

Die Auswahl der Variablen wird auf Basis der Grundlagen in Abschnitt 6.2 und der zentralen Fragestellung getroffen. Gemäß der zentralen Fragestellung wird die emotionale Komponente des aktuellen Interesses als abhängige Variable aufgenommen. Bei dieser wird angenommen, dass sie von den Merkmalen der Personen und der Lernumgebung beeinflusst wird. [31] Das Geschlecht der Schüler:innen wird als Persönlichkeitsvariable gesehen und erhoben. Zudem werden die drei wahrgenommene Merkmale des Versuchs 'Offenheit', 'Verständlichkeit' und 'Größe der Herausforderung' untersucht. Das Merkmal Offenheit berücksichtigt die Unterstützung der Autonomie von den Schüler:innen. Diese gilt als eine wichtige Anforderung an interessefördernde Lernumgebungen und aktiviert die Personen kognitiv. Die Instruktionsqualität und Erfolgserlebnisse fördern das Interesse. Dieser Aspekt ist unter dem Merkmal Verständlichkeit zusammengefasst. Die Größe der Herausforderung berücksichtigt die kognitive Aktivierung und Herausforderung der Schüler:innen durch Schülerexperimente. [31]

## 6.4. Methode der Untersuchung

Zu Beginn dieses Abschnitts wird das Untersuchungsdesign sowie die Stichprobe beschrieben. Die quantitativen Daten dieser Untersuchung werden mit einem Fragebogen erhoben. Der Vorteil liegt darin, dass eine große Stichprobe effizient betrachtet werden kann und ein standardisiertes Verfahren möglich ist. Subjektive Einflüsse des Befragenden werden im Gegensatz zu einer Beobachtung minimiert. Damit können Messungen von Einstellungen bzw. affektiven Merkmalen erfolgen. [33]

### 6.4.1. Das Untersuchungsdesign und die Stichprobe

Das Ziel fachdidaktischer Forschung ist die Erforschung von Bedingungen für die Förderung von Schüler:innenleistung, Motivation oder Interesse. Die Untersuchungsdesigns werden dann als experimentell bezeichnet, wenn zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen unterschieden wird oder gelten als quasi-experimentell, wenn keine randomisierte Zuordnung der Versuchspersonen erfolgt. [29]

In der empirischen Forschung sollten die zu untersuchenden Gruppen vergleichbare Eigenschaften besitzen. Diese Untersuchung wird als quasi-experimentell bezeichnet, weil die Versuchspersonen nicht gleichmäßig unter Verwendung des Zufallsprinzips auf die Experimental- und Kontrollgruppen verteilt wurden, um den Einfluss unterschiedlicher personenbezogener Störgrößen zu minimieren. Die Personen wurden nicht randomisiert den Gruppen zugeordnet, sondern in ihrem Klassenverband untersucht. Dafür fand eine Parallelisierung der Klassen statt. Damit konnten möglichst vergleichbare Untersuchungsgruppen ermöglicht werden. In den Untersuchungs- und Kontrollgruppen liegen somit annähernd ähnliche Verteilungen der Geschlechtsmerkmale sowie zwischen den Versuchsvarianten ähnliche Gruppengrößen vor. Diese Merkmale können möglicherweise die abhängigen Variablen beeinflussen. Die vorgenommene Parallelisierung führt zu einer Vergrößerung der internen Validität. Durch die quasi-experimentelle Forschung können deshalb häufig keine Kausalitäten abschließend geklärt werden. Es ist nie auszuschließen, dass die Zusammenstellung der Stichprobe für die gemessenen Effekte ursächlich ist. [29]

Für die Auswahl der Stichprobe müssen mindestens 20 unabhängige Messungen durchgeführt werden können, bei denen eine Berechnung des Mittelwerts und der Standardabweichung erfolgen kann. Allerdings können bei einer Ausgangsgröße  $N=20$  pro Gruppe nur Aussagen über Unterschiede zwischen zwei Untersuchungsgruppen getroffen werden,

wenn große Effekte vorliegen. Zur Erkennung mittlerer Effekte wird  $N=40$  als Ausgangsgröße benötigt. Um kleinere Effektstärken nachzuweisen, sind größere Stichproben erforderlich. [29] Diese Forderungen sind bei den durchführbaren Unterschiedsuntersuchungen und der Aussagekraft der Ergebnisse zu beachten.

Für diese Forschung werden unabhängige Stichproben untersucht, da es sich hierbei um unterschiedliche Personen handelt. Insgesamt wurden die Schüler:innen von vier Parallelklassen der 10. Klassenstufe vom Gymnasium Isernhagen untersucht. Jeweils zwei Klassen werden dabei von zwei unterschiedlichen Lehrkräften unterrichtet. Es wird davon ausgegangen, dass die Parallelklassen vergleichbare Eigenschaften besitzen. Für den paarweisen Vergleich der beiden Untersuchungsgruppen stehen somit insgesamt 93 Schüler:innen zur Verfügung. Dabei handelt es sich um 36 Jungen, 55 Mädchen und zwei Personen, die kein Geschlecht angekreuzt haben. Letztere werden bei der Untersuchung der Items berücksichtigt, da die Zuordnung zur Variante des Versuchs bestehen bleibt. Wird jedoch der Einfluss des Geschlechts untersucht, werden die Ergebnisse dieser beiden Personen für die Auswertung vernachlässigt. Die genaue Aufteilung der Schüler:innen auf die einzelnen untersuchten Klassen unter Berücksichtigung des Geschlechts und des Versuchstages wird in der Tabelle 6.1 ersichtlich.

Unterrichtskonzept	Datum	männlich	weiblich	Summe
offen	04.07.2022	9	14	24
offen	06.07.2022	8	14	22
gelenkt	05.07.2022	9	16	25
gelenkt	07.07.2022	10	11	22

Tabelle 6.1.: Beschreibung der Stichprobe

### 6.4.2. Ablauf der Untersuchung

Bei allen 4 Klassen wurden an einem Tag die gleichen Versuche durchgeführt, um eine gute Vergleichbarkeit zu gewährleisten und das Gütekriterium Objektivität zu erfüllen. Hierbei handelte es sich aufgrund der Auswahl der Lehrkräfte um die Versuche 'Natürliche Radioaktivität in Lebensmitteln', 'Bestimmung der Halbwertszeit-Schüttelpräparat' und 'Abschirmung verschiedener Strahlungsarten'. Eine Öffnung der Aufgabenstellung bei den ersten beiden Versuchen stellte sich nach tiefgründigen Überlegungen aufgrund der geringen Variationsmöglichkeit bzw. dem hohen Schwierig-

keitsgrad als wenig sinnvoll heraus. Daher wurde der Versuch zur Abschirmung für die Untersuchung der zentralen Fragestellung ausgewählt. Der Versuch wurde in zwei verschiedenen Varianten durchgeführt. Die Zuordnung der Variante zu den Versuchstagen ist in Tabelle 6.1 ersichtlich.

Die Durchführung erfolgte am Ende des Schuljahres ca. eine Woche vor Beginn der Sommerferien. Das Themengebiet der Radioaktivität wurde dementsprechend bereits vollständig behandelt. In einem Gespräch mit den Lehrkräften vor den Versuchstagen konnte der Wissensstand und die Experimentierkompetenz der Schüler:innen eingeschätzt werden. Bereits im Winter befasste sich die Zielgruppe mit der Kernphysik, sodass damit zu rechnen war, dass die direkte kognitive Verfügbarkeit des Fachwissens zunächst eingeschränkt war. Infolge der Rekonstruktion des Wissens durch die Videos von Dennis Raulin und einer Wiederholungsstunde vor dem RadLab Besuch konnte jedoch davon ausgegangen werden, dass die Schüler:innen mit den Grundlagen der Radioaktivität wieder vertraut sind. Auf dieses Vorwissen konnte bei dem Versuch aufgebaut werden und die Aufgabenstellung entsprechend des Niveaus im folgenden Unterabschnitt konzipiert werden.

Die ausgewählten Experimente wurden in zwei unterschiedlichen Reihenfolgen durchgeführt. Dies war aufgrund schulorganisatorischer Aspekte der beiden Lehrkräfte erforderlich. Die jeweiligen Klassen einer Lehrperson bearbeiteten die Versuche jedoch in der gleichen Reihenfolge. Somit erfolgte in den beiden unterschiedlichen Abläufen auch die offene Aufgabenformulierung. Alle Klassen starteten mit dem Versuch 'Natürliche Radioaktivität in Lebensmitteln'. Am 04.07. und 07.07. wurde als nächstes die Halbwertszeit mit dem Schüttelpräparat bestimmt und anschließend pro Tag eine der beiden Versuchsvarianten von 'Abschirmung verschiedener Strahlungsarten' durchgeführt. Die Abfolge der letzten beiden Versuche war am 05.07. und 06.07. vertauscht.

### 6.4.3. Aufbau der Aufgabenstellung

Die Untersuchung wurde anhand des Versuchs 'Abschirmung verschiedener Strahlungsarten' durchgeführt. Hierfür wurde als gelenkte Variante die in Abschnitt 5.3 modifizierte Version des von Dennis Raulin entworfenen Arbeitsblatts verwendet (siehe Anhang A.4). [1] Das Arbeitsblatt wurde im Sinne eines entdeckenden Unterrichts überarbeitet. Hierbei wurden Merkmale von offenen Aufgabenstellungen umgesetzt. Die Schüler:innen werden gefordert, in der Übungsphase die Planung des Experiments zu übernehmen und das be-

reits gelernte Schema auf eine neue Fragestellung zu übertragen. Die gelenkte Aufgabenstellung schreibt durch die kleinschrittigen Arbeitsschritte einen expliziten Lösungsweg vor. Dahingegen wurde die Ausprägung von Offenheit erhöht und die Aufgabenstellung stellt implizite Anweisungen zum Lösungsweg, da die Schüler:innen Hilfen mit Hinweisen erhalten. Dieser Grad an Offenheit berücksichtigt das Wissen und die Fähigkeiten der Lerngruppe, soweit dies durch Gespräche mit den Lehrkräften vorab eingeschätzt werden konnte. [18]

Die offene Variante des Versuchs sieht vor, dass die Schüler:innen untersuchen sollen, mit welchem Material die Strahlung welchen Präparats am besten abgeschirmt werden konnte. Hierfür sollten die Impulsraten pro Minute für verschiedene Kombinationen gemessen werden. Es kam zu einem Einsatz von Hilfen für die gesamte Gruppe in schriftlicher Form. Für die anschließende Entscheidung, welche Materialien sich zur Abschirmung welcher Strahlungsart eignen, wurde der Tipp gegeben, die Anteile der Impulsrate zu berechnen, die durch die jeweiligen Materialien nicht abgeschirmt werden konnte. Ebenfalls war wie in der gelenkten Variante ein Hinweis enthalten, den Abstand während einer Messung nicht zu verändern und die verschiedenen Abschirmmaterialien im gleichen Abstand zum Strahler zu messen.

Der wesentliche Unterschied zur gelenkten Variante des Versuchs besteht darin, dass die detaillierten Arbeitsschritte und die Abstände zwischen dem Inspector und den zu messenden Präparaten nicht explizit vorgegeben wurde. An die unterschiedlichen Reichweiten der verschiedenen Strahlungsarten wurde in einem Hinweis erinnert. Die notwendige Verfügbarkeit des Fachwissens wurde vor Beginn des Versuchs geprüft. Die Schüler:innen sollten ihr Wissen über die unterschiedlichen Reichweiten wiedergeben. Durch diese kurze Wiederholung wurde die physikalische Grundlage bei den Lernenden im Gedächtnis in den Vordergrund gerückt. Dieser Transfer von der Kenntnis über die verschiedenen Reichweiten der Strahlungsarten in einen neuen Kontext der Abschirmung erhöht die Anzahl der Anforderungsmerkmale. Die Schüler:innen wurden durch das eigenständige Überlegen sinnvoller Abstände für die Messung der Präparate kognitiv herausgefordert. Außerdem wurde auf den Einfluss der Nullrate auf die Messergebnisse nur in dem Hinweis verwiesen und nicht wie in der gelenkten Variante als eigener Arbeitsschritt aufgeführt. Der Einfluss auf die Anteile bei diesem Versuch ist aber zu vernachlässigen. Der prinzipielle Aufbau einer sinnvollen Messwerttabelle war durch den vorherigen Versuch bekannt und konnte daher weggelassen werden. Die Schwierigkeit der Aufgabe steigerte sich folglich und auf den vorherigen Versuch konnte aufgebaut werden. Um an dieses Vorwissen

anknüpfen zu können, war die vorherige Durchführung mindestens eines gelenkten Versuchs für den optimalen Lernprozess notwendig. Während des Experimentierens stand den Lernenden bei Fragen und für Anregungen eine Lehrperson als Unterstützung zur Verfügung. [18]

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass der Versuch von einem formalen Experiment, welches die Arbeitsschritte exakt vorgibt, zu einem partiell offenen Experiment entwickelt wurde. Durch den Einsatz der erwähnten Hilfen werden die Lernenden beim Entdecken geführt. [31] Die selbstständige Entwicklung eines Versuchsaufbaus mit den zur Verfügung stehenden Materialien und der Auswertung von den Messwerten wird dagegen von den Schüler:innen gestaltet. [15]

#### 6.4.4. Aufbau des Fragebogens

Bei der Entwicklung des Fragebogens wurden einige Grundüberlegungen vorgenommen. Der Fragebogen sollte möglichst kurz konzipiert sein, damit viel Zeit für das Experiment bleibt und das Ausfüllen im Anschluss relativ zügig gelingt. Für die Bearbeitung des Fragebogens werden maximal fünf Minuten benötigt. Für die Erstellung des Fragebogens wurde in der Literatur nach bereits erprobten und bewährten Instrumenten recherchiert. Ausgewählte Items aus der Dissertation von Katrin Engeln [31] wurden übernommen und für die zu untersuchende Fragestellung modifiziert. Die 12 Items werden als geschlossene Fragen aus der Perspektive der Schüler:innen gestellt. Der Vorteil an einer gebundenen Beantwortung liegt in der simplen und objektiven Auswertbarkeit. Zusätzlich sind statistische Kennwerte einfacher zu berechnen. [33] Zur Beantwortung der Items stehen Likert-Skalen mit vier Antwortoptionen zur Verfügung. Diese unipolaren Rating-Skalen behinhalten die Optionen 'stimmt gar nicht', 'stimmt wenig', 'stimmt ziemlich' und 'stimmt völlig'. [31] Durch die Wahl einer geraden Anzahl an Antwortmöglichkeiten wird eine Antworttendenz zur Mitte vermieden. Diese zentrale Tendenz beschreibt, dass beispielsweise bei einer fünfstufigen Urteilsskala die Antworten im mittleren Bereich eingestuft werden, um extreme Urteile zu vermeiden. Eine Tendenz zur Mitte kann außerdem bedeuten, dass die Schüler:innen nicht genau über die Fragen nachdenken und einfach die Mitte der Stufen ankreuzen. Um dies zu umgehen, wird eine geradzahlige Anzahl der Skalen verwendet, die keine neutrale Kategorie aufweist. [30]

Der Fragebogen (A.1) enthält die Hinweise auf Anonymisierung der Antworten sowie, dass immer nur ein Kästchen angekreuzt werden soll. Das personenbezogene Geschlecht

ist zwischen männlich und weiblich auszuwählen. Die zu den Variablen aus Unterabschnitt 6.3.2 zugehörigen Items werden im Fragebogen abwechselnd aufgelistet und für die Auswertung nummeriert. Im Folgenden sind die Items inklusive der zugeordneten Nummer aufgelistet.

**Verständlichkeit:**

- (1) Ich habe alles gewusst, um das Experiment erfolgreich durchzuführen.
- (4) Ich habe die Anleitung zum Experimentieren gut verstanden.
- (7) Ich habe den Aufbau des Experiments verstanden.
- (10) Das Ziel des Experiments war mir klar.

**Offenheit:**

- (2) Während des Experiments hatte ich keine Möglichkeit, eigene Ideen auszuprobieren.
- (5) Der Ablauf des Experiments war fest vorgegeben und ich konnte keine eigenen Entscheidungen treffen.
- (8) Während des Experimentierens hatte ich das Gefühl, nichts selber bestimmen zu können.

**Emotionale Komponente des aktuellen Interesses:**

- (3) Beim Experimentieren habe ich mich wohl gefühlt.
- (6) Die Durchführung des Experiments war langweilig.
- (9) Das Experiment hat mir keinen Spaß gemacht.
- (12) Beim Experimentieren ist die Zeit sehr langsam vergangen.

**Größe der Herausforderung:**

- (11) Während des Experimentierens habe ich über das Experiment nachgedacht.

### 6.4.5. Statistische Methoden

Die Auswertung der mit dem Fragebogen erhobenen Daten erfolgt gemäß der Fragestellung aus Unterabschnitt 6.3.1. Zusätzlich wird der Einfluss des Geschlechts untersucht. Hierfür wird der Mittelwert und die Standardabweichung jedes Items und jeder Skala bestimmt. Dabei wird nach dem Geschlecht und der Versuchsvariante differenziert.

Die Antwortmöglichkeiten werden numerisch skaliert. Hierbei bedeutet 1= stimmt gar nicht und 4= stimmt völlig. Die Items für die Skalen Offenheit und Interesse sind negativ formuliert. Für die Auswertung sowie einer besseren Interpretation der Ergebnisse werden die Skalierungen für diese Fragen in Abschnitt 6.5 invertiert.

Für die Unterschiedshypothesen kann ein parametrischer Test (z. B. t-Test) durchgeführt werden, weil angenommen wird, dass die abhängige Variable normalverteilt und metrisch bzw. intervallskaliert ist. [30] Der t-Test für unabhängige Stichproben wird mit der Statistik- und Analyse-Software 'Statistical Package für Social Sciences' (SPSS®) durchgeführt. Hierfür wird das Signifikanzniveau bei  $\alpha = 0,05$  festgelegt. Das Signifikanzniveau kennzeichnet die festgelegte Wahrscheinlichkeit, mit der die Nullhypothese mit Hilfe eines Signifikanztests zu einem Fehler 1. Art führt. [34]

Für die Streuung der Werte in einer Stichprobe ist die Standardabweichung ein Maß. Aus der Größe und der Standardabweichung der Stichprobe kann der Standardfehler des Mittelwertes taxiert werden. Dieser kommt bei der Bildung eines Konfidenzintervalls zum Einsatz. Bei dem gewählten Signifikanzniveau bei  $\alpha = 0,05$  gibt SPSS es zu einer Wahrscheinlichkeit von 95% aus. Beträgt der zweiseitige p Wert bei der Signifikanz weniger als der Grenzwert  $\alpha = 0,05$ , so kann die Hypothese  $H_1$  angenommen werden. [35]

Ein t-Test für Mittelwertdifferenzen prüft die Unterschiede zwischen zwei Vergleichsgruppen auf Signifikanz. Dabei ist es notwendig zu differenzieren, ob die Gruppen unabhängige oder abhängige Stichproben darstellen. Bei abhängigen (gepaarten) Stichproben werden die Variablen mehrfach gemessen (z.B. zu verschiedenen Zeitpunkten). Besteht die Vergleichsgruppe aus unterschiedlichen Fällen, die unabhängig von Grundgesamtheiten ausgewählt wurden, spricht man von unabhängigen Stichproben. Dies ist bei dieser Untersuchung der Fall. Bei dem t-Test für zwei unabhängige Stichproben wird unterschieden, ob die Varianzen der beiden Vergleichsgruppen gleich sind oder sich unterscheiden. Deswegen wird zuerst ein Test auf Gleichheit der Varianzen mittels Levene-Test von SPSS durchgeführt. [35]

Die Stichprobendifferenz zwischen den beiden Mittelwerten  $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$  zum  $H_0$ -Wert  $\mu$  in Einheiten der Standardabweichung wird als Prüfgröße t bezeichnet. Hierbei unterscheiden sich gemäß der Hypothese  $H_0$  die Differenzen der untersuchten Mittelwerte nicht und somit ist  $\mu_1 - \mu_2 = 0$ . SPSS verwendet für die Prüfgröße t bei ungleicher Varianz die folgende Formel:

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad [35] \quad (6.1)$$

Sind hingegen die Varianzen in beiden Grundgesamtheiten gleich, wird von einem ge-

poolten t-Test gesprochen. Deswegen wird der Standardfehler auf Grundlage gleicher Varianzen geschätzt. Folglich ergibt sich eine andere Prüfgröße  $t$  zu

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{\sqrt{\frac{s_p^2}{n_1} + \frac{s_p^2}{n_2}}} = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{s_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad [35] \quad (6.2)$$

Die Zahl der Freiheitsgrade beträgt  $df = n_1 + n_2 - 2$ . Bei steigender Anzahl der Freiheitsgrade sinkt der t-Wert für das entsprechende  $1-\alpha$ -Quantil. [35]

In Abschnitt 6.5 wird der t-Test für unabhängige Stichproben verwendet, um die Stichprobe der Mädchen und Jungen sowie offenen und gelenkten Variante hinsichtlich der gespürten Laborvariablen und der emotionalen Komponente des aktuellen Interesses zu vergleichen. Bei den Ergebnissen in Abschnitt 6.5 wurde je nach Ergebnis für die Varianzgleichheit die entsprechende Form des t-Tests durchgeführt.

## 6.5. Ergebnisse und Diskussion

Für jede Skala und jedes Item wurde der Mittelwert  $\bar{x}$ , die Standardabweichung  $s$  und der  $\alpha$ -Koeffizient von Cronbach berechnet. Dabei wird zwischen den Varianten des Versuchs und dem Geschlecht unterschieden.

### 6.5.1. Ergebnisse der Skalen

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der wahrgenommenen Laborvariablen (Verständlichkeit, Offenheit und Herausforderung) und die Interessenvariable (emotionalen Komponente des aktuellen Interesses) werden in Tabelle 6.2 dargestellt.

	Verständlichkeit	Offenheit	Interesse	Herausforderung
offener Versuch				
Mittelwert $\bar{x}_o$	3,36	3,00	3,30	3,13
Standardabweichung $s_o$	0,74	0,85	0,90	0,77
Cronbachs $\alpha$	,45	,50	,71	
gelenkter Versuch				
Mittelwert $\bar{x}_g$	3,47	2,50	3,34	3,04
Standardabweichung $s_g$	0,51	0,77	0,76	0,71
Cronbachs $\alpha$	,51	,71	,79	

Tabelle 6.2.: Mittelwerte, Standardabweichungen und Cronbachs  $\alpha$  der wahrgenommenen Laborvariablen und der Interessenvariable

Außerdem ist zu beachten, dass die Fragen für die Offenheit und das Interesse negativ formuliert sind und in dieser Auswertung invertiert betrachtet werden. Ferner wurde für die Variablen der Cronbachs  $\alpha$  Koeffizient aufgeführt. Die Variable Herausforderung enthält nur ein Item und somit ist kein  $\alpha$  berechenbar. Der  $\alpha$ - Koeffizient von Cronbach sollte für eine gute Reliabilität möglichst nah an ,9 liegen. Für  $\alpha > ,7$  ist die Reliabilität akzeptabel. [34] Dies ist bei der Offenheit beim gelenkten Versuch und dem Interesse bei beiden Varianten der Fall. Für eine bessere Übersicht werden die Mittelwerte und Standardabweichungen in Abbildung 6.1 dargestellt.

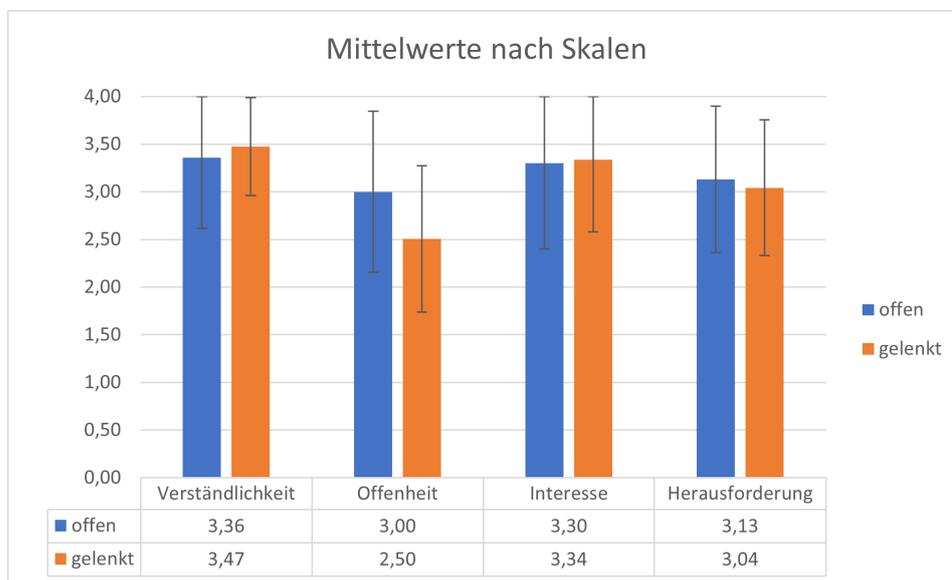


Abbildung 6.1.: Mittelwerte und Standardabweichungen der wahrgenommenen Laborvariablen und der Interessenvariable

Das Diagramm deutet darauf hin, dass sich die Variable Offenheit am deutlichsten un-

terscheidet. Die offene und gelenkte Variante des Versuchs haben sich also unterschieden. Aufgrund dessen wird in Unterabschnitt 6.5.2 speziell diese Skale mit Hilfe eines t-Tests genauer untersucht. Der Unterschied in der Offenheit führte scheinbar aber zu keinem größeren Effekt auf den anderen Skalen (z.B. kein größeres Interesse bei der offenen als bei der gelenkten Variante). Dies entspricht zunächst nicht der Erwartung, weil ein gewisser Grad an Offenheit bei Schülerexperimenten gefordert wird, damit die Schüler:innen kognitiv aktiviert werden (siehe 6.2).

### Einfluss des Geschlechts

Im Folgenden wird der Einfluss des Geschlechts auf die untersuchten Variablen in Abhängigkeit der Versuchsvariante verglichen.

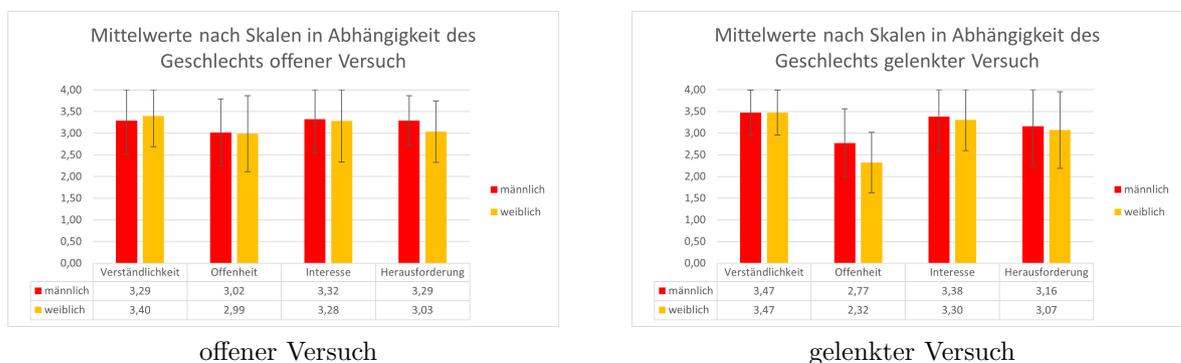


Abbildung 6.2.: Mittelwerte nach Skalen in Abhängigkeit des Geschlechts

Die Mittelwerte der Variablen Verständlichkeit und Interesse bei beiden Varianten des Versuchs liegen sehr nah beieinander. Die Mittelwerte liegen deutlich in den jeweiligen Standardabweichungen des anderen Geschlechts. Kleinere Unterschiede sind bei den Mittelwerten der Skala Herausforderung beim offenen Versuch zu erkennen. Die Jungen stimmen im Vergleich zu den Mädchen etwas mehr zu, während des Experimentierens über das Experiment nachgedacht zu haben. Bei der gelenkten Variante sieht man eine Abweichung bei den Mittelwerten der Skala Offenheit. Die Schülerinnen geben im Vergleich zu den Schülern an, weniger selbst bestimmt zu haben. Die Unterschiede der Mittelwerte bei den Skalen zwischen den Geschlechtern ist jedoch nicht signifikant. Deswegen werden bei den Ergebnissen nach Items die beiden Geschlechter zunächst zusammengefasst und anschließend erneut verglichen.

### 6.5.2. Ergebnisse der Items

Aufgrund der nicht immer akzeptablen Reliabilität der Skalen in Tabelle 6.2 werden die Items im Folgenden einzeln betrachtet. Bei der Abbildung 6.3 erkennt man Abweichungen zwischen den Mittelwerten der Items 2, 3, 5, 6, 7 und 8 des offenen und gelenkten Versuchs. Die Unterschiede bei diesen Items wurde mit dem t-Test von SPSS auf Signifikanz untersucht. Liegt der zweiseitige p-Wert unter dem festgelegten Signifikanzniveau von 5%, liegt ein signifikantes Ergebnis vor. Dann konnte die Nullhypothese zugunsten der Alternativhypothese verworfen werden. Die Stärke der Signifikanz kann durch den p-Wert ausgedrückt werden. [35]

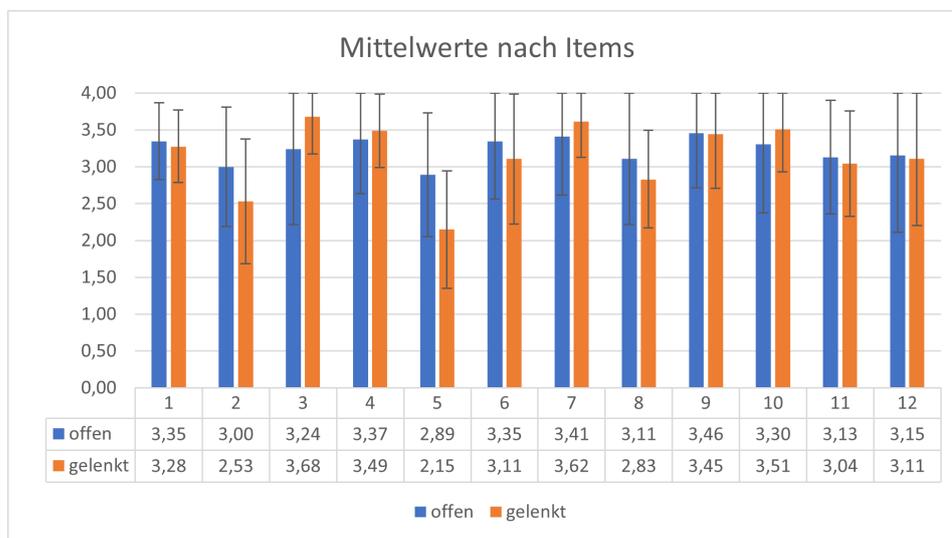


Abbildung 6.3.: Mittelwerte aller Geschlechter nach Items

Die Unterschiede bei den Items 2, 3 und 5 sind signifikant. Die Schüler:innen beim offenen Experiment stimmen mehr zu, eigene Ideen ausprobieren und eigene Entscheidungen treffen zu können. Der t-Test ergibt für dieses Item 2 ein zweiseitiges  $p=0,008$  und bestätigt somit einen signifikanten Unterschied. Die Personen haben sich im Vergleich zur gelenkten Variante beim Experimentieren nicht so wohl gefühlt (Item 3 mit  $p=0,012$ ). Zudem gibt es einen mit dem zweiseitigen p Wert von kleiner als 0,001 stark signifikanten Unterschied bei Item 5. Die Schüler:innen stimmen bei der gelenkten Variante mehr zu, dass der Ablauf des Experiments fest vorgegeben war und keine eigenen Entscheidungen getroffen werden konnten.

Auffällig ist, dass bis auf das Item 3 kein signifikanter Unterschied bei der Interessensvariable, bestehend aus den Items 3, 6, 9 und 12, gemessen werden konnte. Folglich hatte

die offene Variante keine messbare Auswirkung auf die emotionale Komponente des aktuellen Interesses. Dies spiegelt nicht die Erwartungen wieder, da in der didaktischen Forschung gefordert wird, dass die Lernenden durch ein sinnvolles Maß an Offenheit bei Schülerexperimenten kognitiv herausgefordert werden sollen.

Die beiden Items 2 und 5 wurden der Skala Offenheit zugeordnet. Bei dem dritten Item dieser Skala (Frage 8) konnte mit einem zweiseitigen  $p=0,094$  die Nullhypothese nicht abgelehnt werden.

### Einfluss des Geschlechts auf die Items

Die einzelnen Items werden auf den Einfluss des Geschlechts in Abhängigkeit der Versuchsvariante untersucht.

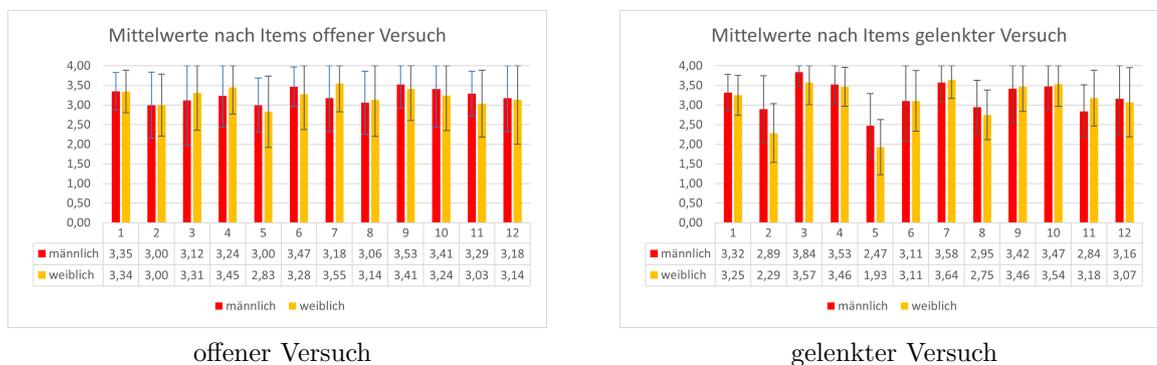


Abbildung 6.4.: Mittelwerte nach Items in Abhängigkeit des Geschlechts

Das linke Diagramm in Abbildung 6.4 lässt einen Unterschied der Mittelwerte beim offenen Versuch bei den Items 4, 6, 7, 11 vermuten. Die genannten Items wurden mit dem t-Test untersucht. Den geringsten zweiseitigen p Wert erreichte Item 4 mit  $p=0,151$ . Folglich konnte die Nullhypothese nicht verworfen werden. Bei der offenen Variante des Versuchs sind mit dem t-Test keine signifikanten Unterschiede festzustellen.

Das Diagramm der Mittelwerte des gelenkten Versuchs lassen Differenzen zwischen den Mittelwerten bei den Items 2, 3, 5, 8, 9 und 11 zwischen den Geschlechtern vermuten. Für das Item 2 erhält man ein zweiseitiges p von 0,012. Die Mädchen stimmen im Vergleich zu den Jungen signifikant häufiger zu, beim Experimentieren keine eigenen Ideen ausprobieren und Entscheidungen treffen zu können. Außerdem konnte bei Item 3 aufgrund eines p-Werts von  $p=0,047$  die Nullhypothese, dass das Geschlecht keinen Effekt auf die Frage hatte, verworfen werden. Die Schüler haben sich im Vergleich zu den Schülerinnen wohler beim Experimentieren gefühlt. Die Standardabweichung bei ihnen ist ebenfalls

deutlich höher. Hier gab es scheinbar auch größere Unterschiede zwischen den einzelnen weiblichen Personen. Ebenfalls gibt es einen signifikanten Unterschied bei Item 5 aufgrund des zweiseitigen p-Werts von 0,031. Die Mädchen stimmen im Vergleich zu den Jungen eher zu, dass der Ablauf der Experimente fest vorgegeben war und keine eigenen Entscheidungen getroffen werden konnten. Beim Item 8 (zweiseitiges  $p=0,313$ ), Item 9 ( $p=0,792$ ) und Item 11 ( $p=0,155$ ) kann die Nullhypothese dagegen nicht abgelehnt werden.

### 6.5.3. Zusammenfassung und Diskussion

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die beiden Versuchsvarianten bei der Offenheit der Aufgabenstellung signifikant unterschieden haben. Bei der emotionalen Komponente des aktuellen Interesses konnte bei einem Item ein signifikanter Unterschied festgestellt werden, dass sich die Schüler:innen bei der offenen Variante weniger wohl gefühlt haben. An den 3 anderen Items dieser Variablen konnte jedoch kein deutlicher Unterschied festgestellt werden. Die Reliabilität in der Skala Interesse ist mit einem Cronbachs  $\alpha=,71$  bei der offenen und  $\alpha=,79$  bei der gelenkten Variante zufriedenstellend. Daher lässt sich schlussfolgern, dass es keinen deutlichen Unterschied bei der Variable Interesse zwischen beiden Varianten des Versuchs gibt. Insgesamt kann diese Untersuchung keinen (positiven) Einfluss auf die emotionale Komponente des aktuellen Interesses in Abhängigkeit der gewählten Aufgabenstellung messen.

Bei der offenen Variante des Versuchs lässt sich bei keinem Item ein signifikanter Einfluss des Geschlechts feststellen. Erstaunlicherweise konnte dieser hingegen bei ausgewählten Items der gelenkten Variante festgestellt werden. Die Mädchen fühlten sich in ihrer Wahlfreiheit stärker eingeschränkt, weil sie im Vergleich zu den Jungen eher zustimmten, dass der Versuchsablauf fest vorgegeben war und sie nicht ihre eigenen Ideen ausprobieren konnten. Aufgrund dieser Einschränkung haben sie sich möglicherweise nicht so wohl gefühlt wie die männlichen Probanden. Dieser Zusammenhang konnte mit den gewählten Auswertungsmethoden aber nicht näher untersucht werden.

Die Ergebnisse für die Items der einzelnen Versuchsvarianten in Abhängigkeit des Geschlechts konnte nicht weiter untersucht werden, weil dann die Stichprobengröße mit teilweise 17 und somit deutlich unter 20 Teilnehmenden pro untersuchter Kategorie nicht mehr aussagekräftig wäre.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind für die Weiterentwicklung des RadLabs von Nutzen. Neu entwickelte sowie die überarbeiteten Arbeitsblätter können ebenfalls eng angeleitet sein. Schritte hin zu offenen Aufgaben würden nur Sinn machen, wenn die Lehrkraft die Versuche auf ihre Klasse und damit die Experimentierkompetenz der Schüler:innen anpasst. Dadurch könnte dann die Selbstständigkeit der Lernenden gefördert werden. Die Betreuenden des RadLabs kennen vor dem Schulbesuch jedoch nicht den genauen Leistungsstand der Klasse und die Kompetenz der Schüler:innen.

Aus den persönlichen Beobachtungen lässt sich sagen, dass ein Großteil der Schüler:innen der mit dem RadLab besuchten Schulen aus dem Unterricht nur geringe Erfahrungen im selbstständigen Experimentieren, insbesondere in Bezug auf die Radioaktivität, mitbringt. Bei dem für die Untersuchung ausgewählten Versuch zur Abschirmung und der geöffneten Aufgabenstellung wurde das Am-241-Präparat in einem zu großen Abstand (z. B. 5 cm) gemessen. In der Vorbereitung des Experiments stellten die Schüler:innen fest, dass die Reichweite von  $\alpha$ -Strahlung gering ist. Danach wurde darauf verwiesen, dass die Reichweite der  $\alpha$ -Strahlung in der Größenordnung weniger Zentimeter liegt. Ab einem Abstand von 3 cm kann kaum  $\alpha$ -Strahlung detektiert werden. Folglich ändert sich der Anteil der durchdringenden Strahlung bei größeren Abständen kaum, da bei einem solchen Abstand sowohl mit als auch ohne Papier als Abschirmung nur der  $\gamma$ -Anteil gemessen wird. Außerdem wurden durch die Schüler:innen die Anteile der durchdringenden Strahlung nicht berechnet, obwohl auf dem Arbeitsblatt darauf hingewiesen wird. Durch die fehlenden Anteile ist die anschließende Sicherung extrem erschwert. Es konnten nur die einzelnen Impulsraten verglichen werden, die bei allen Gruppen aufgrund des Abstandsquadratgesetzes stark variierten, weil unterschiedliche Abstände gewählt wurden. Die Beobachtung, dass die detektierte Strahlung des Am-241-Präparats in einem größeren Abstand nicht größtenteils mit einem Stück Papier abgeschirmt werden konnte, war zwar in dem speziellen Fall einseitig richtig. Andererseits konnte deswegen der Strahlung des Präparats nicht die  $\alpha$ -Strahlungsart zugeordnet werden. Die Abbildung 5.3 konnte nicht mehr optimal zum Einsatz kommen und das Ergebnis führte zu einer nicht ganz richtigen Dotierung bei den Schüler:innen. Deswegen machen Experimente mit offenen Aufgaben für das RadLab wenig Sinn und aus subjektiver Sicht führen sie nicht so gut wie die gelenkte Variante zum gewünschten Lerneffekt der inhaltsbezogenen Kompetenz. Eine objektive Erhebung des Kompetenzzuwachs erfolgte nicht. Die offene Aufgabestellung konnte entgegen der Erwartungen nicht signifikant die emotionale Komponente des aktuellen Interesses steigern.

Der Anteil beim Am-241-Präparat wäre vermutlich eher gemäß der Musterlösung ausgefallen, wenn zuvor der Versuch 'Reichweite verschiedener Strahler in der Luft' durchgeführt worden wäre. Hier hätten die Schüler:innen eindrucksvoll gesehen, wie groß der Effekt der Reichweite auf die gemessene Impulsrate besonders bei diesem Präparat ist. Dies sollte bei zukünftigen RadLab Besuchen mit den Lehrkräften in den Vorbesprechungen thematisiert werden. Außerdem hätten die zu messenden Abstände der Strahler vor dem Versuch gemeinsam überlegt und festgehalten werden können, damit die Vergleichbarkeit der Ergebnisse für die Sicherung erhöht wäre und insbesondere der Anteil bei Am-241 den Erwartungen entsprochen hätte. Aufgetretene Fehler sollten produktiv für die Diagnose zugrundeliegender Defizite genutzt und müssen nicht unbedingt verhindert werden. [18] Nach der gescheiterten Messung vom Am-241-Präparat sollte mit den Schüler:innen gemeinsam das Vorgehen reflektiert werden. Hierbei kann herausgestellt werden, welche Aspekte bereits gut funktioniert haben und wo Schwierigkeiten aufgetreten sind. Den Schüler:innen könnte die Frage gestellt werden, ob sie die Aufgabe in vollem Umfang erfüllt haben und welche Argumente dagegen sprechen könnten. Erkennen die Schüler:innen den Einfluss der Reichweite auf die Messung von  $\alpha$ -Strahlung erneut nicht, könnten die Gruppen das Präparat in verschiedenen Abständen messen und ihre Beobachtungen formulieren. Für zukünftige Forschungsfragen können Schritte entwickelt werden, wie die Schüler:innen an offen gestellte Experimentieraufgaben herangehen können.

Ein möglicher Grund für den ausbleibenden positiven Effekt auf das Interesse könnte die gewählte Aufgabenstellung sein. Diese könnte eventuell zu offen gestellt worden sein und somit zu einer Überforderung der Schüler:innen geführt haben. Ein Hinweis hierauf gibt die Auswertung des Items 3, dass die Schüler:innen sich vergleichsweise weniger wohl gefühlt haben. Dagegen spricht jedoch das Ergebnis des Items 9, dass kein Unterschied beim Spaßfaktor gemessen werden konnte. Mit einem zusätzlichen Interview hätte man besser untersuchen können, wie sicher und kompetent sich die Schüler:innen beim selbstständigen Experimentieren fühlten. Ein offenes Textfeld für Anmerkungen wäre ebenfalls denkbar, in dem Feedback zu dem Schwierigkeitsgrad gegeben werden kann. Diese Daten können dann jedoch aufgrund des offenen Antwortformats nicht mehr standardisiert erhoben und ausgewertet werden. Dieser qualitative Ansatz der Forschung wäre für die in dieser Bachelorarbeit durchgeführten Untersuchung jedoch zu umfangreich gewesen.

Bei den getroffenen Aussagen muss zudem die Aussagekraft empirischer Untersuchungen

berücksichtigt werden. Die Alternativhypothese könnte trotz nicht-signifikantem Ergebnis richtig sein. Somit kann über die Richtigkeit der Nullhypothese keine exakte Aussage getroffen werden. [34] In der didaktischen Forschung geht es nicht darum, etwas zu beweisen, sondern lediglich mit größerer Wahrscheinlichkeit den Effekt eines Konzepts beurteilen zu können. [18] Ferner könnten Unterschiede existieren, die aufgrund der geringen Effektstärke und vergleichsweise kleinen Untersuchungsgruppe nicht gemessen werden konnten.

Die Ergebnisse der Untersuchung wären vermutlich aussagekräftiger ausgefallen, wenn nur offene oder nur gelenkte Versuche bei einer Klasse durchgeführt worden wären. Diese Vorgehensweise erschien bei der Umsetzung aufgrund der durchgeführten Versuchen allerdings als nicht sinnvoll. Der in der Bachelorarbeit von Anton Gericke erprobte Versuch 'Bestimmung der Halbwertszeit- Schüttelpräparat' ist durch den hohen Schwierigkeitsgrad in einer offenen Variante nicht vorstellbar. Dieser Konzeptwechsel im Vergleich zu einem einfachen Design kann einen Einfluss auf die Ergebnisse haben. Der Fragebogen wurde am Ende des Versuchstages, also pro Versuchsvariante einmal direkt nach der Durchführung des untersuchten Experiments und jeweils einmal nach dem Versuch 'Bestimmung der Halbwertszeit - Schüttelpräparat' an dem Tag ausgefüllt. Die Eindrücke der verschiedenen Experimente könnten dadurch beim Ausfüllen des Fragebogens miteinander vermischt worden sein. Erfreulicherweise konnten trotz dieser Einschränkung signifikante Unterschiede bei dem wahrgenommenen Merkmal Offenheit zwischen beiden Versuchsgruppen festgestellt werden. Das könnte an dem Hinweis vor dem Ausfüllen liegen, dass dieser Fragebogen nur für den Versuch 'Abschirmung verschiedener Strahlungsarten' gilt.

# 7. Experiment: Auffinden von Kontaminationen

Das Experimentieren ist keine Garantie für einen motivierenden und lernwirksamen Unterricht. Deswegen muss es in ein solides Unterrichtskonzept eingebunden sein. [36] Die beabsichtigten Lern- und Kompetenzziele sowie die entwickelten Unterrichtsmaterialien werden in diesem Kapitel vorgestellt.

## 7.1. Lern- und Kompetenzziele

Die mit dem Versuch verfolgten Ziele sollten vor der Entwicklung definiert werden. Für das Experiment lassen sich Anknüpfungspunkte in den Bildungsstandards und dem Kerncurriculum finden. Die sogenannten Grobziele resultieren aus den erwähnten Kompetenzbereichen im Kerncurriculum in Abbildung 3.1. Für das Experiment zum Auffinden von Kontaminationen können sie in Feinziele unterteilt werden. [15]

Der Versuch deckt folgende **prozessbezogene Kompetenzen** ab:

*Physikalisch argumentieren:* Die Schüler:innen verwenden die erlernte Fachsprache.

*Probleme lösen:* Die Schüler:innen...

...führen selbstverantwortlich ihre Notizen.

...erkennen bekannte Zusammenhänge auch in einem neuen Umfeld.

*Planen, experimentieren, auswerten:* Die Schüler:innen...

...gehen zunehmend selbstständig mit dem Experimentiergerät um.

...tragen Ergebnisse von z. B. arbeitsteilig ausgeführten Experimenten sachgerecht und adressatenbezogen vor.

*Kommunizieren und dokumentieren:* Die Schüler:innen...

...wählen die Sprachebene adressatengerecht aus.

...stellen die Ergebnisse einer selbstständigen Arbeit zu einem Thema in angemessener Form schriftlich dar.

...zeigen die Grenzen physikalisch begründeter Entscheidungen auf. [21]

Für das behandelte Thema sind folgende **inhaltsbezogene Kompetenzen** vorgesehen:

*Fachwissen:* Die Schüler:innen...

...unterscheiden  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - Strahlung anhand ihres Durchdringungsvermögens.

...erläutern Strahlenschutzmaßnahmen mithilfe dieser Kenntnisse. [21]

Neben den erwähnten Kompetenzzielen lassen sich im Sinne der Mehrdimensionalität von Lernzielen weitere Ziele formulieren. Das Grobziel der kognitiven Lernziele sieht vor, dass die Schüler:innen das Auffinden radioaktiver Präparate mit einem Kontaminationsmonitor üben und die Probleme dabei erkennen. Diese Intention lässt sich in weitere Feinziele unterteilen. Die Schüler:innen sollen die Funktionsweise eines Kontaminationsmonitors und den Anwendungsbereich kennenlernen. Ein Verständnis für die Notwendigkeit verschiedener Geräte für die unterschiedlichen Strahlungsarten soll gebildet werden. Der eigenständige verantwortungsvolle Umgang mit dem Messgerät wird ebenfalls angestrebt. Soziale Kompetenzen sind bei einem gesellschaftlichen Zusammenleben von Menschen essentiell. Bei der Arbeitsteilung bei Gruppenaufgaben entwickeln sie die Fähigkeit, rücksichtsvoll und höflich mit ihren Mitmenschen umzugehen. Die Schüler:innen sollen ihre Ergebnisse unter Verwendung einer angemessenen Fachsprache im Plenum vorstellen. Außerdem wird angestrebt, dass die Lernenden Selbstvertrauen im verantwortungsbewussten Umgang mit radioaktiven Stoffen erlernen. Das Trainieren der Feinmotorik beim Umgang mit dem Gerät wird in dem motorischen Lernziel festgehalten. Weiterführend wird beabsichtigt, dass das vorhandene Wissen über die Reichweite und Abschirmung verschiedener Strahlungsarten vernetzt und auf eine neue Anwendung transferiert wird. Die Schüler:innen sollen alltägliche Sicherheitsmaßnahmen in der Forschung kennenlernen z.B. eine Sicherheitsschleuse mit Kontaminationsmonitor oder dem Aufspüren radioaktiver Kontaminationen nach Unfällen. [15]

Die wesentlichen Lernziele lassen sich wie folgt zusammenfassen: Die Schüler:innen...

...können die  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung anhand ihres Durchdringungsvermögens vergleichen.

...wenden ihr Wissen über die Reichweite und Abschirmung verschiedener Strahlungsarten in einem neuen Umfeld an.

...nennen die Vermeidung der Aufnahme in den Körper als eine Strahlenschutzmaßnahme.

## 7.2. Unterrichtsmaterialien

Auf einer Oberfläche wird das Auffinden von Kontaminationen geübt. Mit Hilfe der akustischen Impulssignalisierung des Kontaminationsmonitors wird die gesamte Oberfläche untersucht und der Bereich der Kontamination festgestellt. Die Sicherheit im Umgang mit radioaktiven Stoffen ist wichtig und ein angemessener Schutz daher essentiell. Die Schüler:innen können die Vermeidung der Aufnahme radioaktiver Stoffe in den Körper (Inkorporation) als Strahlenschutzmaßnahme benennen. [11]

### 7.2.1. Arbeitsblatt

Zu Beginn der Erarbeitungsphase erhalten die Schüler:innen ein Arbeitsblatt für den Versuch. Am Anfang werden die Experimentatoren durch die Aufklärung über den Nutzen und die Anwendungsmöglichkeiten eines Großflächenproportionalzählrohrs motiviert. Anschließend folgt das notwendige Vorwissen für diesen Versuch. Die Schüler:innen sollten mit einem Großflächenproportionalzählrohr Messwerte aufnehmen können. Außerdem kann der Einfluss der Nullrate auf Messungen ionisierender Strahlung erklärt werden. Die unterschiedlichen Strahlungsarten sollen verglichen werden können. Das Lernvideo *Die unterschiedlichen Strahlungsarten und Aktivität* von Dennis Raulin sollte zur Wiederholung vor dem Versuch angeschaut werden. [1] Danach folgt eine Auflistung der Versuchsmaterialien, welche zum Einsatz kommen. Auf der nächsten Seite stehen die folgenden Arbeitsschritte.

- 1. Stellt Hypothesen auf, welche Präparate man finden kann.*
- 2. Untersucht die Oberfläche auf mögliche „Kontaminationen“. Markiert die Stelle, an der ihr ein radioaktives Präparat vermutet.*
- 3. Schaut unter der Oberfläche nach, sobald ihr alle „Kontaminationen“ gefunden habt. Vergleicht die tatsächlichen Positionen mit euren Markierungen.*
- 4. Vergleicht eure Beobachtungen mit den vorher aufgestellten Hypothesen. Welches Präparat hat euch überrascht?*

Ebenfalls ist ein Hinweis vorhanden, dass das Großflächenproportionalzählrohr in einem konstanten Abstand über die Oberfläche bewegt werden soll. Auf der dritten Seite werden die aufgestellten Hypothesen formuliert und die Beobachtungen beschrieben. Für die

Auswertung der Ergebnisse sollen die Schüler:innen ihre Beobachtungen mit den vorher aufgestellten Hypothesen vergleichen und notieren, welches Präparat sie überrascht hat. Schnelle Gruppen können als didaktische Reserve zudem nach einer Erklärung suchen, falls sie ein Präparat gefunden haben, welches sich nicht mit den von ihnen zuvor aufgestellten Hypothesen vereinbaren lässt.

Das erstellte Arbeitsblatt ist im Anhang A.6 zu finden und wird zusätzlich auf der Website des Instituts für Radioökologie und Strahlenschutz unter <https://www.irs.uni-hannover.de/de/studium/material-fuer-schulen/> zum Download zur Verfügung stehen.

### 7.2.2. Musterlösung

#### Hinweise für die Lehrkraft:

Dieser Versuch knüpft an das Vorwissen des Experiments 'Abschirmung verschiedener Strahlungsarten' an. Durch das spielerische Auffinden von 'Kontaminationen' wird das Wissen in einen neuen Kontext transferiert und vertieft.

Die verschiedenen Präparate werden im Vorfeld nicht sichtbar unter einem Tisch platziert. Die Schüler:innen können entweder unterschiedliche Geräte verwenden oder schnelle Gruppen können zusätzlich das jeweils andere Gerät ausprobieren und überprüfen, ob es einen Unterschied bei den Ergebnissen gibt. Der Versuch kann mit den folgenden beiden Geräten durchgeführt werden.

Bei dem orangenen LB 1210 B Großflächenproportionalzählrohr kann der analoge Zeigerausschlag mit dem Faktor  $\times 1$  oder  $\times 10$  skaliert werden. Die Einheit beträgt Imp/s. Außerdem können die Impulse mittels eines Lautsprechers wiedergegeben und zwischen einer Zeitmittelung von  $\times 10$  gewählt werden, letzteres eignet sich aber nicht für diesen Versuch. Die Nullrate bei dem Gerät beträgt ca. 9-11 Imp/s. Je nach gewählter Skalierung ist also nur ein ganz geringer oder bereits ein relativ großer Zeigerausschlag auch ohne Präparat vorhanden. Die Skalierung sollte während des Aufsuchens der Präparate nicht geändert werden. Der Vorteil bei  $\times 10$  erleichtert die Interpretation der Messwerte. Der Zeiger schwankt nicht so stark um den Mittelwert des Nulleffekts und man erkennt besser die Detektion von ionisierender Strahlung, wenn der Zeiger deutlich auf rund 200 Imp/s (auf der Anzeige dann von im Mittel 1 auf 20) ausschlägt. Ab einem Zeigerausschlag von über 22 gibt das Gerät unabhängig von der gewählten Skala ein akustisches Warnsignal aus. In diesen Bereich gelangt man bei jeder detektierbaren Strahlung bei

einer Graduierung von  $\times 1$ . Je nach Anzahl der Gruppen im Raum und persönlichen Vorlieben kann also entschieden werden, wie hoch die Lautstärke sein soll.

Der weiße  $\alpha$ - und  $\beta$ -empfindliche Kontaminationsmonitor LB 122 muss vor Beginn des Versuchs befüllt werden, da die Gasfüllung wie in 2.4.2 beschrieben entweicht. Hierfür muss die Ventilschraube vor Einfüllen des Gases geöffnet sein, damit das vorher enthaltene Gas besser entweichen kann. Es bietet sich an, das Gerät bereits anzuschalten. Befindet sich zu wenig Zählgas in dem Gerät, zeigt es 'Gas auffüllen' an. Aus der Kartusche wird es so lange befüllt, bis diese Anzeige verschwindet. Die Fensterfolie darf sich nicht deutlich wölben. Nach Befüllen mit dem Zählgas muss die Schraube zuge dreht werden. Nach Abschluss des Versuchs und Lagerung soll die Schraube erneut geöffnet werden, damit ein Druckausgleich möglich ist. Das Zählrohr kann aufgrund der in 2.4 beschriebenen Strom-Spannungscharakteristik von gasgefüllten Ionisations-Detektoren zwischen  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlung unterscheiden. Bei dem Gerät kann mit dem Pfeil zwischen verschiedenen Einstellungen und digitalen Anzeigemöglichkeiten (z. B. Impulse pro Sekunde (Ips) oder einer flächenbezogenen Aktivität) unterschieden werden. Hierbei zeigt die Einstellung 'A' nur die Impulsrate pro Sekunde für  $\alpha$ -Strahlung und die Einstellung 'B' die für beide Strahlungsarten an. Für diesen Versuch eignet sich die Einheit Ips und die Einstellung 'B'.

### Lösungen:

Das Am-241-Präparat wird ohne Abschirmung von beiden Geräten detektiert. Befindet sich ein Tisch dazwischen, so wird das Präparat nur noch vom LB 1210 B Großflächenproportionalzählrohr detektiert. Der Grund liegt darin, dass Am-241 wie im Zerfallsschema in Abbildung 2.1 ersichtlich ein  $\alpha$ - und  $\gamma$ -Strahler ist. Der  $\alpha$ -Anteil wird aufgrund der geringen Reichweite in Materie (siehe 2.3.1) vom Tisch abgeschirmt und nur der  $\gamma$ -Anteil durchdringt diesen und kann detektiert werden. Der LB 122 ist jedoch aufgrund des Füllgases mit geringer Ordnungszahl (siehe 2.4.2) unempfindlich gegenüber  $\gamma$ -Strahlung.

Das Sr-90-Präparat kann von beiden Detektoren gemessen werden. Ein Teil der  $\beta$ -Strahlung kann trotz eines Tisches als Abschirmung vom LB 1210 B Monitor detektiert werden. Hierbei sollte die Skalierung aber  $\times 1$  betragen, damit die relativ geringe Erhöhung der Impulsrate um ca. 10 Ips gegenüber der Nullrate gut sichtbar ist. Mit dem LB 122 kann mit der Abschirmung keine erhöhte Impulsrate festgestellt werden.

Das Cs-137-Präparat aus Abbildung 2.4 kann ohne Abschirmung von beiden Detektoren

detektiert werden. Der LB 122 kann dabei nur den Anteil der  $\beta$ -Strahlung messen, der LB 1210 B Kontamat zusätzlich auch den  $\gamma$ -Anteil. Mit einem Tisch als Abschirmung kann die Strahlung von beiden Geräten gut detektiert werden.

## 8. Fazit und Reflexion

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Schüler:innen mit Freude experimentieren. Durch meine Überarbeitung der Arbeitsblätter und Versuche auf Grundlage der Erfahrungen aus der eigenen Erprobung ist das RadLab geeignet, in Zukunft eine Vielzahl an Schulen zu besuchen. Die Schülerexperimente eignen sich, um den Schüler:innen die Radioaktivität erfahrbar zu machen und eine Abwechslung zum konventionellen Unterricht zu bieten. Dahingegen hat meine Untersuchung gezeigt, dass eine Gestaltung offen formulierter Aufgabenstellungen der Experimente für das RadLab wenig sinnvoll erscheint. Erfahrungsgemäß treten während und nach den Versuchen viele Zwischenfragen auf. Das deutet auf ein großes Interesse sowohl seitens der Lernenden als auch Lehrenden hin, jedoch auch auf eine gewisse Unsicherheit im Bereich Radioaktivität. Die Betreuenden des RadLabs sollten sich im Vorfeld in die theoretischen Grundlagen der Experimente einlesen und diese selber durchführen, um sich auf mögliche Schwierigkeiten und Fehlerquellen vorzubereiten. Eine Sicherheitseinweisung und Bedienungserklärung für den Inspector sollten zu Beginn des Besuchstages erfolgen. Trotzdem halten sich nicht alle Schüler:innen an einen sicheren Umgang mit den radioaktiven Präparaten. Dieses sollte im Blick behalten und entsprechend reagiert werden.

Bei der Untersuchung des Einflusses von Lenkung hätten noch mehr Einflussgrößen untersucht werden können. Beispielsweise könnte der Effekt der Lehrkraft auf die Ergebnisse berücksichtigt werden. Dazu müsste die zur Verfügung stehende Stichprobe größer ausfallen. Bei einer erneuten Durchführung sollten zudem die erwähnten Fehlerquellen minimiert werden. Der Fragebogen könnte direkt nach dem variierten Experiment ausgefüllt werden. Andernfalls wäre eine offene Anleitung aller Versuche möglich. Hierbei muss jedoch die Experimentierkompetenz der Lerngruppe berücksichtigt werden, damit keine Überforderung der Lernenden auftritt. Denkbar wäre außerdem, die beiden Versuchsvarianten anhand des resultierten Fachwissenzuwachs zu vergleichen. Eine erneute Untersuchung des Einflusses von Lenkung könnte anhand des Versuchs 'Reichweite verschiedener Strahler in der Luft' erfolgen. Dieses Experiment eignet sich hierfür optimal,

da es mehr Möglichkeiten zur Öffnung gibt. Die Schüler:innen könnten die Präparate in sinnvollen, drei verschiedenen oder unterschiedlichen Abständen zwischen zwei angegebenen Entfernungen messen sollen. Beim Plenumsgespräch bei der Sicherung hätten zwar alle Werte für unterschiedliche Reichweiten, das Resultat sollte jedoch das gleiche sein.

Persönlich habe ich durch diese Bachelorarbeit und die Schulbesuche viel Neues gelernt. Der Umgang mit den Schüler:innen als auch die fachliche Vertiefung der Kernphysik waren sehr lehrreich. Die Durchführung einer empirischen Untersuchung mit ihren zahlreichen Facetten und die Grundlagen in der Datenauswertung mit einer Statistik-Software gestaltete sich herausfordernd. Leider konnte das selbsterstellte Experiment nicht mehr bei den Schulbesuchen erprobt werden. Durch die Berücksichtigung der Erfahrungen aus den bisherigen Experimente bei der Konzeption, sollte dieses für die Schule geeignet sein.

**Eigenständigkeitserklärung**

„Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe, dass alle Stellen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß aus anderen Quellen übernommen wurden, als solche kenntlich gemacht wurden und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegt worden ist.“

Hannover, den 24.08.2022

Konstantin Schremmer



# Literaturverzeichnis

- [1] Dennis Raulin. *RadLab: Ein mobiles Schülerlabor zum Thema Radioaktivität*. 2022.
- [2] Wolfgang Demtröder. *Kern-, Teilchen- und Astrophysik*, volume 4 of *Springer-Lehrbuch*. Springer Spektrum, Berlin and Heidelberg, 5. Auflage edition, 2017.
- [3] Douglas C. Giancoli. *Physik: Lehr- und Übungsbuch*. Physik. Pearson Studium, München, 3., erw. aufl. edition, 2010.
- [4] Hanno Krieger, editor. *Grundlagen der Strahlungsphysik und des Strahlenschutzes*. Lehrbuch. Springer Spektrum, Berlin, 6. Auflage edition, 2019.
- [5] Proteus H. Diagram of am-241 decay.
- [6] PG 268-II. Das  $\beta^-$ -Spektrum. Zerfallsreihe von Strontium-90.
- [7] Theo Mayer-Kuckuk. *Kernphysik*. Springer eBook Collection Life Science and Basic Disciplines. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 7., überarbeitete und erweiterte Auflage edition, 2002.
- [8] LEIFIphysik. Gammaspektrum von Cs-137: Zerfall von Cs-137.
- [9] Universität Tübingen. *Messung der Reichweite von  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlen und der Schwächung von  $\gamma$ -Strahlen durch Materie*.
- [10] Henning von Philipsborn and Rudolf Geipel. *Radioaktivität und Strahlungsmessung: Strahlenschutz*. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, 8. überarbeitete Auflage edition, 2006.
- [11] Hans-Gerrit Vogt and Jan-Willem Vahlbruch. *Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes*. Hanser, München, 7., überarbeitete auflage edition, 2019.
- [12] Institut für Radioökologie und Strahlenschutz. *Radioaktivität und Dosimetrie: FP I Praktikum*. 2016.

- 
- [13] Friedhelm Borchers. Strahlenschutz-Lexikon: Sammlung häufig benötigter Begriffe und Definitionen zum Strahlenschutz bei ionisierender Strahlung. 2012.
- [14] Bundesamt für Strahlenschutz. Industrielle Rückstände (NORM): Strahlenschutzmaßnahmen.
- [15] Ernst Kircher, Raimund Girwidz, and Hans Ernst Fischer, editors. *Physikdidaktik: Grundlagen*. Springer Spektrum, Berlin and Heidelberg, 4. Auflage edition, 2020.
- [16] Maike Tesch and Reinders Duit. Experimentieren im Physikunterricht – Ergebnisse einer Videostudie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10:51–69, 2004.
- [17] Ernst Kircher, Raimund Girwidz, and Peter Häußler, editors. *Physikdidaktik: Theorie und Praxis*. Springer-Lehrbuch. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 3. aufl. 2015 edition, 2014.
- [18] Ernst Kircher, Raimund Girwidz, and Peter Häußler, editors. *Physikdidaktik: Theorie und Praxis*. Springer-Lehrbuch. Springer, Berlin and Heidelberg, 2. aufl. edition, 2009.
- [19] Reinders Duit, Maike Tesch, and Silke Mikelskis-Seifert. Das Experiment im Physikunterricht. *PIKO-BRIEF*, (7), 2010.
- [20] Mikelskis, Helmut. *Physik-Didaktik: Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II*. Cornelsen Scriptor, Berlin, 2. aufl. edition, 2010.
- [21] Niedersächsisches Kultusministerium. *Kerncurriculum für das Gymnasium Schuljahrgänge 5 – 10: Naturwissenschaften*. 2015.
- [22] Rolf Hempelmann and A. Kratzer. *Schülerlabor-Atlas: Schülerlabore-einheitlicher Rahmen, große Vielfalt*. LernortLabor., 2019.
- [23] Christin Marie Sajons. *Kognitive und motivationale Dynamik in Schülerlaboren: Dissertation*, volume 302 of *Studien zum Physik- und Chemielernen*. 2020.
- [24] Robert Baar and Gudrun Schönknecht. *Außerschulische Lernorte: didaktische und methodische Grundlagen*, volume Band 30 of *Pädagogik*. Beltz, Weinheim and Basel, 1. auflage edition, 2018.
- [25] enercity AG. *Analyse auf chemische Stoffe gemäß Anlage 2 TrinkwV des von der enercity AG verteilten Trinkwassers der Harzwasserwerke GmbH*. 2022.
- [26] enercity AG. *Analyse auf chemische Stoffe gemäß Anlage 2 TrinkwV des von der*

- enercity AG verteilten Trinkwassers*. 2022.
- [27] Bundesamt für Strahlenschutz. Welche Radionuklide kommen in Nahrungsmitteln vor?
- [28] Bundesamt für Strahlenschutz. Natürliche Radioaktivität in der Nahrung.
- [29] Ernst Kircher, Raimund Girwidz, and Hans Ernst Fischer, editors. *Physikdidaktik: Methoden und Inhalte*. Springer Spektrum, Berlin, 4. auflage edition, 2020.
- [30] Nicola Döring and Jürgen Bortz. *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. SpringerLink Bücher. Springer, Berlin, Heidelberg, 5. vollständig überarbeitete, aktualisierte und erweiterte auflage 2016 edition, 2016.
- [31] Katrin Engeln. *Schülerlabors: authentische, aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken: Dissertation*, volume Band 36 of *Studien zum Physiklernen*. 2004.
- [32] Paul A. Kirschner, John Sweller, and Richard E. Clark. Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2):75–86, 2006.
- [33] Christoph Kulgemeyer. Wie erstelle ich einen Fragebogen? Eine Einführung in quantitative Methoden.
- [34] Jürgen Bortz and Christof Schuster. *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Springer-Lehrbuch. Springer, Berlin and Heidelberg, 7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage edition, 2010.
- [35] Jürgen Janssen and Wilfried Laatz. *Statistische Datenanalyse mit SPSS: Eine anwendungsorientierte Einführung in das Basissystem und das Modul Exakte Tests*. Springer, Berlin, 9., überarbeitete und erweiterte auflage edition, 2017.
- [36] Katrin Engeln and Manfred Euler. Forschen statt Pauken: Aktives Lernen im Schülerlabor. *Physik Journal*, 3:45–48, 2004.



# A. Allgemeine Ergänzungen

Im Folgenden wird der Fragebogen für die Untersuchung des Einflusses von Lenkung und die verwendeten Präsentationsfolien aufgeführt. Außerdem werden die überarbeiteten Arbeitsblätter und Lösungen für die Lehrkraft für die Experimente von Dennis Raulin aufgeführt. [1] Abschließend ist das selbsterstellte Arbeitsblatt sowie die Musterlösung für die Lehrkraft zu finden. Die Arbeitsblätter sind ebenfalls auf der Website des Instituts für Radioökologie und Strahlenschutz unter <https://www.irs.uni-hannover.de/de/studium/material-fuer-schulen/> zum Download zu finden.



## A.1. Fragebogen

### Fragebogen zum Versuch: Abschirmung verschiedener Strahlungsarten

Die Beantwortung der Fragen ist anonym, es soll **kein Name** aufgeschrieben werden.

Bitte immer nur **ein** Kästchen ankreuzen

Geschlecht:            männlich             weiblich

	Stimmt gar nicht	Stimmt wenig	Stimmt ziemlich	Stimmt völlig
Ich habe alles gewusst, um das Experiment erfolgreich durchzuführen.				
Während des Experiments hatte ich keine Möglichkeit, eigene Ideen auszuprobieren.				
Beim Experimentieren habe ich mich nicht wohl gefühlt.				
Ich habe die Anleitung zum Experimentieren gut verstanden.				
Der Ablauf des Experiments war fest vorgegeben und ich konnte keine eigenen Entscheidungen treffen.				
Die Durchführung des Experiments war langweilig.				
Ich habe den Aufbau des Experiments verstanden.				
Während des Experimentierens hatte ich das Gefühl, nichts selbst bestimmen zu können.				
Das Experiment hat mir keinen Spaß gemacht.				
Das Ziel des Experiments war mir klar.				
Während des Experimentierens habe ich über das Experiment nachgedacht.				
Beim Experimentieren ist die Zeit sehr langsam vergangen.				

## A.2. PowerPoint Präsentationsfolien



### Sicherheitseinweisung

- 3 A Regel:
  - Abstand
  - Aufenthaltszeit
  - Abschirmung
- Präparat nur in Richtung Wand/ Fenster zeigen, NICHT auf Personen



### Gruppenrolle

- Je 1 Person:
  - Arbeitsschritte
  - Inspector bedienen
  - Messwerte protokollieren
  - Rechnen



# Einweisung Inspector (GMZ)



1. Anschalten: Schieberegler auf "On", für Ton auf "Audio" stellen
2. oberen Schieberegler auf "Total/Timer" stellen, um die Impulsrate zu messen



3. Die zu messende Probe auf das runde Zählrohrfenster des Inspectors legen



4. Schieberegler Timer auf "On" stellen. Um eine erneute Messung aufzunehmen, den Regler kurz auf "Off" und anschließend erneut auf "On" schieben



## A.3. Reichweite verschiedener Strahlungsarten

Reichweite verschiedener Strahler in der Luft



### Reichweite verschiedener Strahler in der Luft

#### Um was geht es?

Die verschiedenen Strahlungsarten wechselwirken unterschiedlich stark mit Materie. Daher können diese auch in verschiedenen Entfernungen von einer Radioaktiven Quelle nachgewiesen werden. In diesem Versuch schauen wir uns die Reichweite der Alpha- und Gamma-Strahlung in der Luft genauer an.

#### Was müsst ihr wissen?

Ihr solltet...

- Messwerte mit dem Inspector aufnehmen können.
- den Einfluss der Nullrate auf Messungen der Zählrate von radioaktiven Präparaten erklären.
- aufgenommene Messwerte skizzieren können.

Zur Vorbereitung auf das Experiment solltet ihr euch folgende Videos anschauen:

#### Die unterschiedlichen Strahlungsarten und Aktivität



#### Welches Material braucht ihr?

- 1 Inspector
- 1 Am-241 Präparat
- 1 Cs-137 Präparat
- 1 Lineal



## Reichweite verschiedener Strahler in der Luft

**Was sollt ihr machen?**

Arbeitsschritte	Fertig?
<p>1. Messt die Nullrate im Klassenraum. Messt dabei <b>3</b> Mal die Anzahl der Impulse für <b>1</b> Minute. Bildet dann den Mittelwert.</p>	
<p>2. Steck den Inspector und ein Präparat in die jeweilige Halterung. Messt im Anschluss <b>1</b> Mal die Anzahl der Impulse für jeweils <b>1</b> Minute und tragt die Messwerte in die Tabelle ein.</p> <p>Die Abstände beim Am-241 Präparats sollen <b>0,3</b> cm, <b>5</b> cm und <b>10</b> cm und beim Cs-137 Präparat <b>0,3</b> cm, <b>5</b> cm, <b>10</b> cm, <b>15</b> cm und <b>20</b> cm betragen.</p> <p>Bei dem Abstand <b>0,3</b> cm haltet das Präparat mit der Halterung genau vor das Zählrohrfenster.</p>	
<p>3. Zieht im Anschluss die Nullrate von euren Messwerten ab.</p>	

## Reichweite verschiedener Strahler in der Luft

**Notiert eure Beobachtungen!****1 Messung der Nullrate**

Messung	Impulse pro Minute [Imp/min]
1. Messung	
2. Messung	
3. Messung	
Durchschnittliche Impulsrate $Z_0$	

**2-3 Messwerte des Americium-241 (Am-241) Präparats**

Abstand r [cm]	Impulsrate mit Nullrate Z [Imp/min]	Impulsrate ohne Nullrate $Z - Z_0$ [Imp/min]
0,3		
5		
10		

**4-5 Messwerte des Cäsium-137 (Cs-137) Präparats**

Abstand r [cm]	Impulsrate mit Nullrate Z [Imp/min]	Impulsrate ohne Nullrate $Z - Z_0$ [Imp/min]
0,3		
5		
10		
15		
20		

Reichweite verschiedener Strahler in der Luft



**Was sind eure Ergebnisse?**

1. Berechnet den Anteil  $A = \frac{Z_{5cm}}{Z_{0,3 cm}}$  der detektierten Impulsarte für beide Strahler. Erklärt warum sich die Anteile der Strahler unterscheiden.

**Zusatzaufgabe für schnelle Gruppe:**

2. Stellt eure Messwerte zum Cäsium 137-Präparat graphisch dar und skizziert den Graphen.

Reichweite verschiedener Strahler in der Luft



## Lösungen für die Lehrkraft – Reichweite verschiedener Strahler in der Luft

### Zu erreichende Lernziele

Die Schülerinnen und Schüler...

- ... erklären die unterschiedliche Reichweite von  $\alpha$ - und  $\gamma$ -Strahlung.
- ... skizzieren selbstaufgenommene Messwerte.
- ... nennen die Vergrößerung des Abstands zu einem radioaktiven Präparat als eine Strahlenschutzmaßnahme.

### Anknüpfungspunkte im KC

Die Schülerinnen und Schüler...

- ... unterscheiden  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - Strahlung anhand ihres Durchdringungsvermögens und beschreiben ihre Entstehung modellhaft.
- ... erläutern Strahlenschutzmaßnahmen mithilfe dieser Kenntnisse.
- ... beschreiben die Ähnlichkeit von UV-, Röntgen-,  $\gamma$ -Strahlung [...].

### Behandeltes Thema

Die verschiedenen Strahlungsarten wechselwirken unterschiedlich stark mit Materie, dementsprechend wechselwirken sie auch unterschiedlich stark mit den Molekülen in der Luft. Aus diesem Grund können die verschiedenen Strahlungsarten auch in unterschiedlichen Entfernungen zur radioaktiven Quelle nachgewiesen werden.

Reichweite verschiedener Strahler in der Luft

**Notiert eure Beobachtungen!****1 Messung der Nullrate**

Messung	Impulse pro Minute [Imp/min]
1. Messung	41
2. Messung	53
3. Messung	48
Durchschnittliche Impulsrate $Z_0$	47

**2-3 Messwerte des Americium-241 (Am-241) Präparats**

Abstand r [cm]	Impulsrate mit Nullrate Z [Imp/min]	Impulsrate ohne Nullrate $Z - Z_0$ [Imp/min]
0,3	57940	57893
5	378	331
10	174	127

**4-5 Messwerte des Cäsium-137 (Cs-137) Präparats**

Abstand r [cm]	Impulsrate mit Nullrate Z [Imp/min]	Impulsrate ohne Nullrate $Z - Z_0$ [Imp/min]
0,3	4510	4463
5	631	584
10	272	225
15	156	109
20	114	67



## Reichweite verschiedener Strahler in der Luft

**Was sind eure Ergebnisse?**

1. Berechnet den Anteil  $A = \frac{Z_{5cm}}{Z_{0,3 cm}}$  der detektierten Impulsrate für beide Strahler. Erklärt warum sich die Anteile der Strahler unterscheiden.

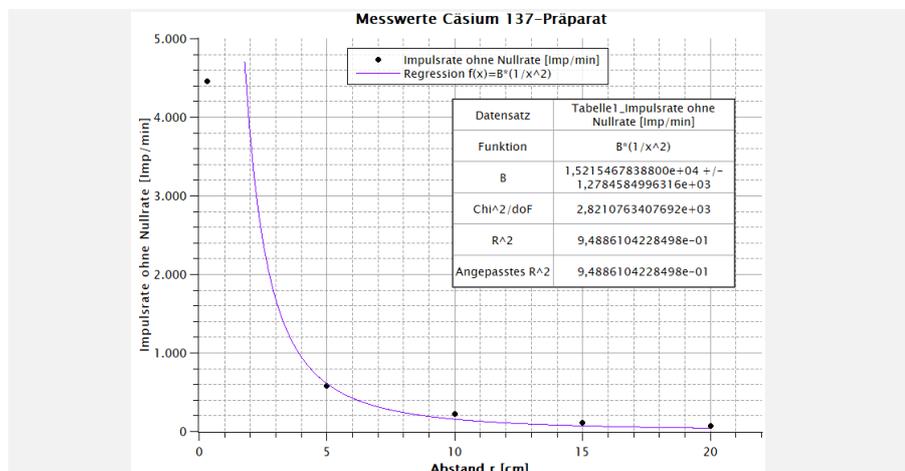
$$A_{Am-241} = \frac{Z_{5cm}}{Z_{0,3 cm}} = \frac{331}{57893} \triangleq 0,57\%$$

$$A_{Cs-137} = \frac{Z_{5cm}}{Z_{0,3 cm}} = \frac{584}{4463} \triangleq 13,09\%$$

Der Anteil der detektierten Impulsrate ist bei dem Cs-137 Präparat ( $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahler) deutlich größer als vom Am-241 Präparat ( $\alpha$ - und  $\gamma$ -Strahler), weil die  $\gamma$ -Strahlung im Vergleich zur  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlung eine viel geringere Wechselwirkungswahrscheinlichkeit mit Materie besitzt. Die  $\gamma$ -Strahlung hat deswegen eine größere Reichweite in Luft als die anderen beiden Strahlungsarten. Dies zeigt sich auch im Experiment.

**Zusatzaufgabe für schnelle Gruppe:**

2. Stellt eure Messwerte zum Cäsium 137-Präparat graphisch dar und skizziert den Graphen.



Durch die graphische Auftragung erkennt man einen starken Abfall der Impulsrate mit dem Abstand gemäß des Abstandsquadratgesetzes. Daher lässt sich die Vergrößerung des Abstands als Strahlenschutzmaßnahme formulieren.



## A.4. Abschirmung verschiedener Strahlungsarten

Abschirmung verschiedener Strahlungsarten



### Abschirmung verschiedener Strahlungsarten

#### Um was geht es?

Die verschiedenen Arten der ionisierenden Strahlung wechselwirken unterschiedlich stark mit Materie. Um sich vor den jeweiligen Strahlungsarten zu schützen, können unterschiedliche Materialien verwendet werden. In diesem Versuch untersuchen wir, welche Materialien sich zur Abschirmung welcher Strahlungsart eignen.

#### Was müsst ihr wissen?

Ihr solltet...

- Messwerte mit dem Inspector aufnehmen können.
- den Einfluss der Nullrate auf Messungen der Zählrate von radioaktiven Präparaten erklären.
- die unterschiedlichen Zerfallsarten vergleichen können.

Zur Vorbereitung auf das Experiment solltet ihr euch folgendes Video anschauen:

#### Die unterschiedlichen Strahlungsarten und Aktivität



#### Welches Material braucht ihr?



1 Am-241 Präparat, 1 Sr-90 Präparat, 1 Cs-137 Präparat, 1 Inspector, 1 Inspector-Halter,  
1 Blatt Papier, Aluminium-Platten, Blei-Platte

## Abschirmung verschiedener Strahlungsarten



## Was sollt ihr machen?

Arbeitsschritte	Fertig?
<p>1. Messt die Nullrate im Klassenraum. Messt dabei <b>3 Mal</b> die Anzahl der Impulse für eine Minute. Bildet dann den Mittelwert.</p> 	
<p>2. Stellt den Inspector und ein Präparat in einem konstanten Abstand auf und messt 1 Mal die Anzahl der Impulse für <b>1 Minute</b>. Der Abstand bei jeder Messung soll für das Sr-90 und Cs-137 Präparat <b>3cm</b> und für das Am-241 <b>0,3cm</b> betragen. Berührt bei dem Abstand <b>0,3 cm</b> mit dem Präparat leicht das Zählrohrfenster. Notiert die Impulsrate in der Tabelle.</p> 	
<p>3. Stellt nacheinander verschiedene Materialien mit der dafür vorgesehenen Halterung in den Strahlungsweg. Bei Am-241 reicht es, wenn ihr das Papier zwischen Strahler und Inspector klemmt. Messt jeweils 1 Mal die Impulse für <b>1 Minute</b>.</p> 	
4. Wiederholt die Schritte 2 und 3 für die verschiedenen Präparate.	
5. Zieht von allen Messwerten die Nullrate ab und tragt den Wert in der Spalte rechts daneben ein.	
<p>6. Berechnet für die jeweiligen Präparate die Anteile A der Impulsrate, die durch die jeweiligen Abschirmmaterialien nicht abgeschirmt werden können.</p> $A_1 = \frac{Z_{\text{Papier}}}{Z_{\text{ohne Abschirmung}}}; A_2 = \frac{Z_{\text{Aluminium}}}{Z_{\text{ohne Abschirmung}}}; A_3 = \frac{Z_{\text{Blei}}}{Z_{\text{ohne Abschirmung}}}$	

**Hinweis: Verändert nicht den Abstand während einer Messung. Achtet darauf, dass die verschiedenen Abschirmmaterialien im gleichen Abstand zum Strahler gemessen werden.**

## Abschirmung verschiedener Strahlungsarten

**Notiert Eure Beobachtungen!****1 Messung der Nullrate**

Messung	Impulse pro Minute [Imp/min]
1. Messung	
2. Messung	
3. Messung	
Durchschnittliche Impulsrate $Z_0$	

**2-6 Aufnahme der Messwerte**

Americium-241 (Am-241) Präparat

Material	Impulsrate Z [Imp/min]	Impulsrate ohne Nullrate Z- $Z_0$ [Imp/min]	Anteile A [%]
Ohne Abschirmung			
Blatt Papier			$A_1=$

Strontium-90 (Sr-90) Präparat

Material	Impulsrate Z [Imp/min]	Impulsrate ohne Nullrate Z- $Z_0$ [Imp/min]	Anteil A [%]
Ohne Abschirmung			
Blatt Papier			$A_1=$
4* Aluminiumplatten			$A_2=$
Bleiplatte			$A_3=$

Cäsium-137 (Cs-137) Präparat

Material	Impulsrate Z [Imp/min]	Impulsrate ohne Nullrate Z- $Z_0$ [Imp/min]	Anteile A [%]
Ohne Abschirmung			
Blatt Papier			$A_1=$
4* Aluminiumplatten			$A_2=$
Bleiplatte			$A_3=$

## Abschirmung verschiedener Strahlungsarten

**Was sind Eure Ergebnisse?**

1. Ermittelt aufgrund der berechneten Anteile, welche Materialien sich zur Abschirmung welcher Strahlungsart eignen.

A large, empty rectangular box with a light gray background, intended for the student to write their results for the first question.**Zusatzaufgabe für schnelle Gruppe:**

2. Erklärt die Erhöhung der Impulsrate, wenn Blei anstatt Aluminium bei einem Beta-Strahler verwendet wird.

A large, empty rectangular box with a light gray background, intended for the student to write their explanation for the additional task.



## Lösungen für die Lehrkraft – Abschirmung verschiedener Strahlungsarten

### Zu erreichende Lernziele

Die Schülerinnen und Schüler...

- ... vergleichen die  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung anhand ihres Durchdringungsvermögen von verschiedenen Absorbermaterialien.
- ... ermitteln geeignete Materialien zur Abschirmung der jeweiligen Strahlungsarten.
- ... nennen die Abschirmung als eine Strahlenschutzmaßnahme.
- ... deuten die steigende Impulsrate bei der Abschirmung von  $\beta$ -Strahlung mit Blei im Vergleich zu Aluminium, anhand der Abhängigkeit der Wahrscheinlichkeit vom Auftreten der Bremsstrahlung und der Ordnungszahl. **(Für Fortgeschrittene)**

### Anknüpfungspunkte im KC

Die Schülerinnen und Schüler

- ... unterscheiden  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - Strahlung anhand ihres Durchdringungsvermögens und beschreiben ihre Entstehung modellhaft.
- ... erläutern Strahlenschutzmaßnahmen mithilfe dieser Kenntnisse.

### Behandeltes Thema

Der größte Berührungspunkt von Schüler:innen mit Strahlenschutzmaßnahmen ist vermutlich ein Röntgenbild beim Arzt. Hierbei wird ein Kittel zur Abschirmung vor der ionisierenden Wirkung der Strahlung getragen, sodass Organe, die besonders empfindlich auf die ionisierende Strahlung reagieren, geschützt werden. Die unterschiedlichen Durchdringungsvermögen der jeweiligen Strahlungsarten sollen in diesem Experiment anhand unterschiedlicher Absorbermaterialien untersucht werden.

## Abschirmung verschiedener Strahlungsarten

**Notiert Eure Beobachtungen!****1 Messung der Nullrate**

Messung	Impulse pro Minute [Imp/min]
1. Messung	41
2. Messung	53
3. Messung	48
Durchschnittliche Impulsrate $Z_0$	47

**2-6 Aufnahme der Messwerte**

## Americium-241 (Am-241) Präparat

Material	Impulsrate Z [Imp/min]	Impulsrate ohne Nullrate Z-Z <sub>0</sub> [Imp/min]	Anteile A [%]
Ohne Abschirmung	57940	57893	
Blatt Papier	1379	1332	A <sub>1</sub> = 2,3

## Strontium-90 (Sr-90) Präparat

Material	Impulsrate Z [Imp/min]	Impulsrate ohne Nullrate Z-Z <sub>0</sub> [Imp/min]	Anteil A [%]
Ohne Abschirmung	118303	118256	
Blatt Papier	112650	112603	A <sub>1</sub> = 95,18
4*Aluminiumplatten	5635	5588	A <sub>2</sub> = 4,73
Bleiplatte	136	89	A <sub>3</sub> = 0,08

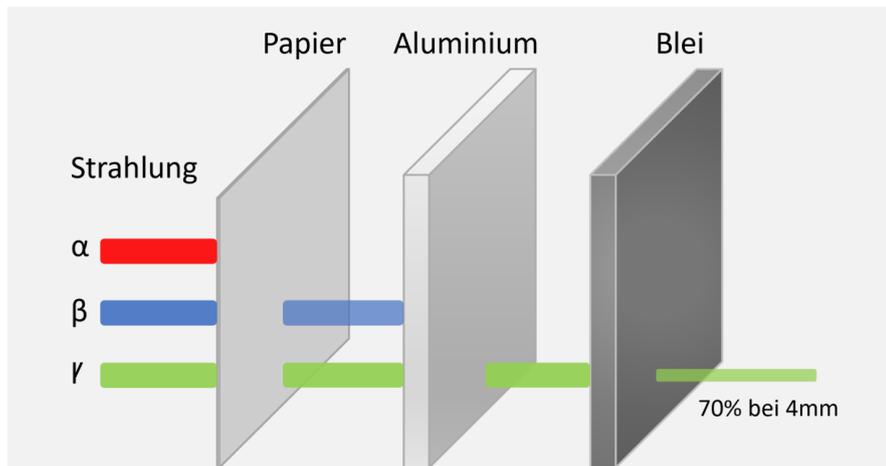
## Cäsium-137 (Cs-137) Präparat

Material	Impulsrate Z [Imp/min]	Impulsrate ohne Nullrate Z-Z <sub>0</sub> [Imp/min]	Anteile A [%]
Ohne Abschirmung	1328	1281	
Blatt Papier	1245	1198	A <sub>1</sub> = 93,52
4*Aluminiumplatten	1129	1082	A <sub>2</sub> = 84,47
Bleiplatte	942	895	A <sub>3</sub> = 69,87

## Abschirmung verschiedener Strahlungsarten

**Was sind Eure Ergebnisse?**

1. Ermittelt aufgrund der berechneten Anteile, welche Materialien sich zur Abschirmung welcher Strahlungsart eignen.



Aufgrund der berechneten Anteile zeigt sich, dass  $\alpha$ -Strahlung gut durch Papier abgeschirmt werden kann. Die  $\beta$ -Strahlung passiert Papier problemlos, allerdings durchdringt die  $\beta$ -Strahlung Aluminium und Blei kaum. Die  $\gamma$ -Strahlung abzuschirmen, stellt sich schwieriger dar, als die Teilchenstrahlung abzuschirmen. Dennoch zeigt sich, dass sich Blei als Abschirmmaterial am besten eignet.

Die Reichweite von Teilchenstrahlung in Materie ist endlich. Geladene Teilchen verlieren ihre Energie hauptsächlich durch elastische Stöße, Ionisationsprozesse und Strahlungsbremung. Für Teilchen, die Energien im Bereich von MeV haben, beträgt die Anzahl der Stöße üblicherweise über 10000. Bei der  $\beta$ -Strahlung unterscheidet sich der Weg der Elektronen durch die Materie, da sich dieser statistisch aus den verschiedenen Wechselwirkungsmechanismen zusammensetzt. Daher können die Elektronen der  $\beta$ -Strahlung einer Energie unterschiedliche Reichweiten aufzeigen. Üblicherweise wird diejenige Schichtdicke als Reichweite definiert, bei der 98% der Elektronen ihre gesamte Energie verloren haben. Für  $\alpha$ -Teilchen gilt dies ebenfalls, dennoch geben sie bei elastischen Stößen einen Großteil ihrer kinetischen Energie an den Stoßpartner und somit ihre gesamte Energie in sehr viel dünneren Materieschichten ab, weshalb die  $\alpha$ -Teilchen eine wesentlich geringere Reichweite in den verschiedenen Absorbermaterialien haben als die Elektronen der  $\beta$ -Strahlung.

Die Reichweite der  $\gamma$ -Strahlung in Materie ist größer, da die  $\gamma$ -Quanten eine geringere Wechselwirkungswahrscheinlichkeit mit der Materie haben als die geladenen  $\alpha$ - und  $\beta$ -Teilchen. Die Reichweite der  $\gamma$ -Strahlung kann durch die Schwächungsgesetz beschrieben werden:

$$I(x) = I_0 \cdot e^{-\mu x}$$

Hierbei ist  $\mu$  der sogenannte totale Schwächungskoeffizient, der sich aus den Anteilen der möglichen Wechselwirkungsmechanismen zusammensetzt:

$$\mu = \mu_{photo} + \mu_{Compton} + \mu_{Paar}$$

## Abschirmung verschiedener Strahlungsarten



Hierbei spielt die Halbwertsdicke eine entscheidende Rolle. Sie gibt an, bei welcher Schichtdicke die Anfangsintensität der Strahlung auf die Hälfte gesunken ist.

**Zusatzaufgabe für schnelle Gruppe:**

2. Erklärt die Erhöhung der Impulsrate, wenn Blei anstatt Aluminium bei einem Beta-Strahler verwendet wird.

Geladene Teilchen können ihre Energie in Materie ebenfalls durch die sogenannte Bremsstrahlung abgeben. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Teilchen ihre Energie über die Bremsstrahlung abgeben ist proportional zu  $Z^2$ . Da die Ordnungszahl bei Blei höher ist als bei Aluminium, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die Elektronen ihre Energie über die Bremsstrahlung abgeben und dabei Photonen emittieren. Diese Strahlung detektiert das Geiger-Müller-Zählrohr, wodurch die Impulsrate bei Blei im Gegensatz zu Aluminium erhöht ist. Daher ist es sinnvoll, für  $\beta$ -Strahler Abschirmmaterialien zu wählen, die eine kleine Ordnungszahl  $Z$  haben. Dieser Effekt ist besonders bei  $\beta$ -Strahlern mit einer hohen kinetischen Energie zu beachten, da die Bremsstrahlung für hochenergetische Elektronen als Energieübertragung dominant ist.

## Abschirmung verschiedener Strahlungsarten

**Abschirmung verschiedener Strahlungsarten****Um was geht es?**

Die verschiedenen Arten der ionisierenden Strahlung wechselwirken unterschiedlich stark mit Materie. Um sich vor den jeweiligen Strahlungsarten zu schützen, können unterschiedliche Materialien verwendet werden. In diesem Versuch untersuchen wir, welche Materialien sich zur Abschirmung welcher Strahlungsart eignen.

**Was müsst ihr wissen?**

Ihr solltet...

- Messwerte mit dem Inspector aufnehmen können.
- den Einfluss der Nullrate auf Messungen der Zählrate von radioaktiven Präparaten erklären.
- die unterschiedlichen Zerfallsarten vergleichen können.

Zur Vorbereitung auf das Experiment solltet ihr euch folgendes Video anschauen:

**Die unterschiedlichen Strahlungsarten und Aktivität****Welches Material braucht ihr?**

1 Am-241 Präparat, 1 Sr-90 Präparat, 1 Cs-137 Präparat, 1 Inspector, 1 Inspector-Halter,  
1 Blatt Papier, Aluminium-Platten, Blei-Platte

## Abschirmung verschiedener Strahlungsarten

**Was sollt ihr machen?**

Untersucht, welches Präparat mit welchem Material am besten abgeschirmt werden kann. Erstellt euch zuerst einen Plan zur Durchführung des Experiments. Messt die Impulsraten [Imp/min] für verschiedene Kombinationen. Für eure Entscheidung ist es hilfreich, für die jeweiligen Präparate die Anteile A der Impulsrate zu berechnen, die durch die jeweiligen Abschirmmaterialien nicht abgeschirmt werden können.

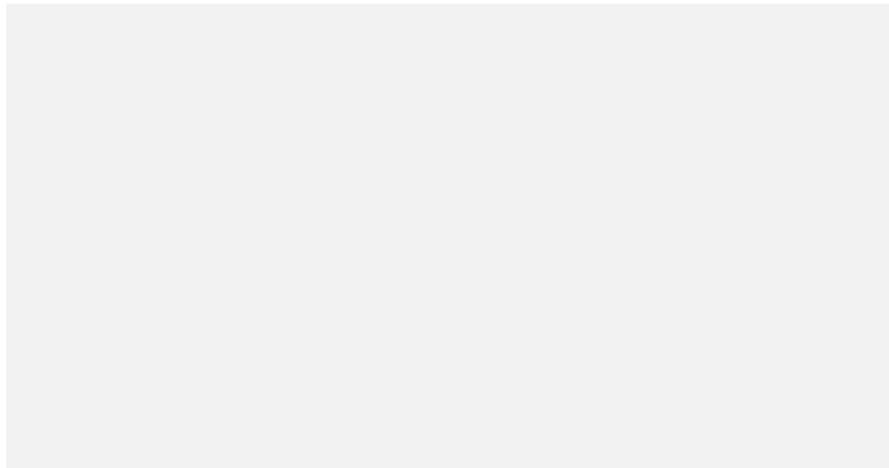
$$A_1 = \frac{Z_{\text{Papier}}}{Z_{\text{ohne Abschirmung}}}; A_2 = \frac{Z_{\text{Aluminium}}}{Z_{\text{ohne Abschirmung}}}; A_3 = \frac{Z_{\text{Blei}}}{Z_{\text{ohne Abschirmung}}}$$

**Hinweis:** Berücksichtigt den Einfluss der Nullrate auf eure Messergebnisse. Denkt an die unterschiedliche Reichweite der verschiedenen Strahlungsarten.

Verändert nicht den Abstand während einer Messung. Achtet darauf, dass die verschiedenen Abschirmmaterialien im gleichen Abstand zum Strahler gemessen werden.

**Was sind Eure Ergebnisse?**

Ermittelt aufgrund der berechneten Anteile, welche Materialien sich zur Abschirmung welcher Strahlungsart eignen.





## A.5. Natürliche Radioaktivität in Lebensmitteln

Natürliche Radioaktivität in Lebensmitteln



### Natürliche Radioaktivität in Lebensmitteln

#### Um was geht es?

Radioaktive Isotope haben zum Teil eine ähnliche chemische Eigenschaft wie Nährstoffe, weshalb Pflanzen und Tiere zum Wachsen, neben der benötigten Nährstoffe, auch radioaktive Isotope aufnehmen. Die Höhe der Aktivität der Lebensmittel hängt von dem Radioaktivitätsgehalt des Bodens und Wassers, der Verfügbarkeit der Nährstoffe und vom Lebensraum ab. Die radioaktive Belastung kann aber auch durch die Luft erfolgen, denn die Folgeprodukte von Rn-222 können sich auf Blättern von Pflanzen legen und durch diese dann in den Körper aufgenommen werden. Neben diesen natürlichen Quellen haben auch künstliche Quellen wie ein Kernwaffentest oder Reaktorunfälle einen Einfluss auf die Aktivität. In diesem Experiment werden wir uns deshalb mit Radioaktivität von Lebensmitteln beschäftigen.

#### Was müsst ihr wissen?

Ihr solltet...

- Messung mit dem Inspector durchführen können.
- den Einfluss der Nullrate auf Messungen der Zählrate von radioaktiven Präparaten erklären.

Zur Vorbereitung auf das Experiment solltet ihr euch folgende Videos anschauen:

#### Die unterschiedlichen Strahlungsarten und Aktivität



#### Welches Material braucht ihr?

Inspector  
getrocknete Aprikosen  
Magnesium und Kalium Tabletten  
Backpulver  
Paranüsse  
Wasserfilter



## Natürliche Radioaktivität in Lebensmitteln



## Was sollt ihr machen?

Arbeitsschritte	Fertig?
<p>1. Messt die Nullrate im Klassenraum. Messt dabei <b>3</b> Mal die Anzahl der Impulse für <b>1</b> Minute. Bildet im Anschluss den Mittelwert.</p>	
<p>2. Stellt Hypothesen über die Zählraten der zu untersuchende Gegenstände im Vorfeld der Messung in Form einer Rangliste auf. Die Gegenstände, die eurer Meinung nach die größte Zählrate aufweisen, sollten in der Rangliste möglichst weit oben stehen. Besprecht euch in eurer Gruppe.</p>	
<p>3. Messt mit dem Inspector die Zählrate jedes Gegenstands <b>3</b> Mal für jeweils <b>1</b> Minute. Legt dafür den Inspector mit dem Zählrohrfenster nach oben auf den Tisch und legt zur Messung die Gegenstände auf das Zählrohrfenster.</p>	
<p>4. Zieht von allen Messwerten die Nullrate ab und tragt die Werte für die Zählrate in die rechte Spalte der Tabelle ein.</p>	

## Natürliche Radioaktivität in Lebensmitteln

**Notiert eure Beobachtungen!****1 Messung des Nulleffekts**

Messung	Impulse pro Minute [Imp/min]
1. Messung	
2. Messung	
3. Messung	
Durchschnittliche Zählrate $Z_0$	

**2 vermutete Rangliste**

Platz	Gegenstand
1	
2	
3	
4	
5	

**3+4 Aufnahme der Zählraten**

Gegenstand	Zählrate Z [Imp/min]	Zählrate ohne Nullrate $Z-Z_0$ [Imp/min]	Platzierung
Getrocknete Aprikosen K-40	1. Messung:		
	2. Messung:		
	3. Messung:		
		Mittelwert:	
Magnesium und Kalium Tabletten K-40	1. Messung:		
	2. Messung:		
	3. Messung:		
		Mittelwert:	
Backpulver K-40	1. Messung:		
	2. Messung:		
	3. Messung:		
		Mittelwert:	
Paranüsse Ra-228, Ra-226	1. Messung:		
	2. Messung:		
	3. Messung:		
		Mittelwert:	
Wasserfilter Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214	1. Messung:		
	2. Messung:		
	3. Messung:		
		Mittelwert:	

## Natürliche Radioaktivität in Lebensmitteln

**Was sind eure Ergebnisse?**

1. Vergleicht eure Messung mit eurer vorher erstellten Rangliste und notiert, welcher Gegenstand euch überrascht hat.

**Zusatzinfo Radioaktives Trinkwasser:**

Durch das Einatmen von Radongas kann Lungenkrebs ausgelöst werden. Vor allem spielen dabei die Zerfallsprodukte eine große Rolle. Po-218 und Po-214 sind Schwermetalle, die die DNA schädigen können. Auch im Trinkwasser befindet sich Radon, denn Radongas ist in Wasser gut löslich. Je nach Herkunft des Wassers können sich allerdings die Radonkonzentrationen des Wassers unterscheiden. Im Wasser zerfällt Radon zu den Zerfallsprodukten Po-218, Pb-214, Bi-214 und Po-214. Diese können durch einen Glasfilter aus dem Wasser gefiltert werden. Mithilfe des Filters stellen wir dann das Präparat für dieses Experiment her.

**Zusatzaufgabe für schnelle Gruppe:**

2. Beurteilt, ob durch den Konsum der Lebensmittel eine Gefährdung für den menschlichen Körpers aufgrund der ionisierenden Strahlung ausgeht.

## Natürliche Radioaktivität in Lebensmitteln



## Lösungen für die Lehrkraft – Natürliche Radioaktivität in Lebensmitteln

### Zu erreichende Lernziele

Die Schülerinnen und Schüler...

- ... stellen ihre Kenntnisse über natürliche Strahlungsquellen dar.
- ... nennen verschiedene Lebensmittel als Quelle natürlicher Radioaktivität.
- ... überprüfen die Impulsraten der Lebensmittel auf signifikante Erhöhungen. (**für Fortgeschrittene**)

### Anknüpfungspunkte im KC

Die Schülerinnen und Schüler...

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

### Behandeltes Thema

Radioaktive Isotope haben zum Teil ähnliche chemische Eigenschaften wie Nährstoffe, weshalb Pflanzen und Tiere zum Wachsen, neben der benötigten Nährstoffe, auch radioaktive Isotope aufnehmen. Die natürliche Radioaktivität, welche zur Dosis des menschlichen Körpers beiträgt, wird hauptsächlich durch K-40, C-14, die langlebigen Radionuklide der Uran-Thorium-Zerfallsreihe und der Thorium-Zerfallsreihe bestimmt. Von den künstlichen Radionukliden spielt Cs-137 bei Lebensmitteln aus dem Wald eine entscheidende Rolle. Die Höhe der Aktivität der Lebensmittel hängt von dem Radioaktivitätsgehalt des Bodens und Wassers, der Verfügbarkeit der Nährstoffe und vom Lebensraum ab. Bestimmte Pflanzen oder Teile von ihnen, wie beispielsweise Paranüsse und Pilze, reichern bestimmte Radionuklide in einem hohen Maße an. Die radioaktive Belastung kann aber auch durch die Luft erfolgen, denn Rn-222 und die Folgeprodukte Pb-210 und Po-210 können sich auf Blättern von Pflanzen legen und durch diese dann in den Körper aufgenommen werden. Diese Radionuklide kommen im Besonderen bei Blattgemüse in höherer spezifischer Aktivität vor. Aber auch in Fischen und Meeresfrüchten können sich die Radionuklide Pb-210 und Po-210 anreichern. Für den menschlichen Körper ist Kalium ein wichtiger Bestandteil, damit der Stoffwechsel funktioniert. Der Bedarf kann vollständig durch die Nahrung gedeckt werden. Das Kalium enthält von Natur aus 0,0117 Prozent Kalium-40, welches ein Radionuklid ist. Da das Kalium im menschlichen Körper durch eine Selbstregulation sehr konstant vorhanden ist, ist auch Kalium-40 im menschlichen Körper vorhanden, welches zur effektiven Dosis des menschlichen Körpers beiträgt. Die Aufnahme von Kalium ist radiologisch aufgrund von Homöostase für den menschlichen Körper völlig unbedenklich. Paranüssen gelten aufgrund des hohen Selengehalts als gesund. Für die Funktion der Schilddrüse und das Immunsystem benötigt der Körper Selen. Ebenfalls unterstützt es die Zellregeneration. Daher wird in manchen Quellen eine Verzehrempfehlung von zwei Paranüssen (ca. 8 Gramm) pro Tag ausgesprochen. Aufgrund des feinen Wurzelgeflechts des Paranussbaums kann der Radiumgehalt in den Nüssen im Vergleich zur Gesamtnahrung rund 1.000-fach erhöht sein. Die spezifische Aktivität der Radium-Isotope Ra-228 und Ra-226 beträgt rund zehn Becquerel pro Kilogramm Frischmasse. Mit dem Verzehr von zwei Paranüssen pro Tag (ca. 8 Gramm), kann eine effektive Dosis von 160 Mikrosievert pro Jahr erreicht werden. Bei durchschnittlichen Ernährungsbedingungen beträgt die jährliche

## Natürliche Radioaktivität in Lebensmitteln



effektive Dosis durch Nahrung 300 Mikrosievert. Daher erhöht der Verzehr von zwei Paranüssen am Tag die Ingestionsdosis eines Erwachsenen, um etwa die Hälfte. Laut des Bundesamts für Strahlenschutz führt die Strahlenbelastung durch den täglichen Verzehr von zwei Paranüssen zu keinen negativen gesundheitlichen Folgen.

Neben diesen natürlichen Quellen haben auch künstliche Quellen wie Kernwaffentests oder Reaktorunfälle einen Einfluss auf die Aktivität von Lebensmitteln. Vor allem Süddeutschland wurde von den Folgen des Reaktorunfalls in Tschernobyl stark getroffen. Noch heute können einige wild wachsende Speisepilze durch das Cs-137 stark belastet sein.

Bei diesem Experiment werden Lebensmittel verwendet, die eine hohe spezifische Aktivität haben. Beispielsweise werden Paranüsse, aber auch getrocknete Aprikosen oder Magnesium und Kalium Tabletten, die einen hohen Kalium-Gehalt aufweisen, gemessen. Weinsteinbackpulver enthält ebenfalls Kalium-40, denn dieses enthält Kaliumhydrogentartrat als Treibmittel.

Im Trinkwasser befindet sich Radon, denn Radongas ist in Wasser gut löslich. Im Wasser zerfällt Radon zu den Zerfallsprodukten: Po-218, Pb-214 und Bi-214. Diese können durch einen Glasfaserfilter aus dem Wasser gefiltert werden. Mithilfe des Filters stellen wir dann das Präparat für dieses Experiment her. Bei dem Gerät aus dem Praktikumslabor ist darauf zu achten, dass die Rillen der Plastikscheiben jeweils zum Filter zeigen, damit dieser mehr Wasser filtern kann. Durch einen Dichtring wird vermieden, dass Wasser seitlich austritt und somit die gefilterte Menge vom Zählerstand abweicht. Durch zahlreiche Adapter lässt sich die Wasseruhr an alle gängigen schraubbaren Wasserhähne anschließen. Je nach Herkunft des Wassers können sich allerdings die Radonkonzentrationen des Wassers unterscheiden. Das Trinkwasser in Hannover kommt in unterschiedlichen Gebieten zu verschiedenen Anteilen aus den Trinkwasserquellen. In der Region Hannover stammt das Trinkwasser sowohl von der enercity AG als auch von der Harzwasserwerke GmbH. Das Wasser hat je nach Herkunft unterschiedliche Gehalte an Uran und somit Radon-Töchter. Die Impulsrate fällt in Gebieten mit einem hohen Anteil von Trinkwasser aus dem Harz deutlich geringer aus. Der Wasserfilter sollte vor der Messung auf einer Heizplatte getrocknet werden, da ansonsten nicht die  $\alpha$ -Strahlung des Po-218 Isotops detektiert wird. Aufgrund der geringen Halbwertszeit der Töchter im Minutenbereich darf der Wasserfilter nicht bereits im Institut, sondern erst kurz vor der Messung vorbereitet werden. Die braune Färbung des Filters des im Institut gefilterten Wassers kommt von den zum Teil 60 Jahre alten Wasserleitungen aus Stahl. Diesbezüglich besteht jedoch kein direkter Zusammenhang mit der Impulsrate. Eine Verfärbung ist also kein Merkmal für die zu erwartende Impulsrate.

**Um was geht es?**

Radioaktive Isotope haben zum Teil eine ähnliche chemische Eigenschaft wie Nährstoffe, weshalb Pflanzen und Tiere zum Wachsen, neben der benötigten Nährstoffe, auch radioaktive Isotope aufnehmen. Die Höhe der Aktivität der Lebensmittel hängt von dem Radioaktivitätsgehalt des Bodens und Wassers, der Verfügbarkeit der Nährstoffe und vom Lebensraum ab. Die radioaktive Belastung kann aber auch durch die Luft erfolgen, denn die Folgeprodukte von Rn-222 können sich auf Blättern von Pflanzen legen und durch diese dann in den Körper aufgenommen werden. Neben diesen natürlichen Quellen haben auch künstliche Quellen wie ein Kernwaffentest oder Reaktorunfälle einen Einfluss auf die Aktivität. In diesem Experiment werden wir uns deshalb mit Radioaktivität von Lebensmitteln beschäftigen.

## Natürliche Radioaktivität in Lebensmitteln

**Notiert eure Beobachtungen!****1 Messung des Nulleffekts**

Messung	Impulse pro Minute [Imp/min]
1. Messung	41
2. Messung	53
3. Messung	48
Durchschnittliche Zählrate $Z_0$	47

**2 vermutete Rangliste**

Platz	Gegenstand
1	
2	
3	
4	
5	

**3+4 Aufnahme der Zählraten**

Gegenstand	Zählrate Z [Imp/min]	Zählrate ohne Nullrate $Z-Z_0$ [Imp/min]	Platzierung
Getrocknete Aprikosen K-40	1. Messung: 47	0	5
	2. Messung: 57	10	
	3. Messung: 59	12	
	Mittelwert: 54	Mittelwert: 7	
Magnesium und Kalium Tabletten K-40	1. Messung: 123	76	2
	2. Messung: 114	67	
	3. Messung: 112	65	
	Mittelwert: 116	Mittelwert: 69	
Backpulver K-40	1. Messung: 107	60	3
	2. Messung: 109	62	
	3. Messung: 97	50	
	Mittelwert: 104	Mittelwert: 57	
Paranüsse Ra-228, Ra-226	1. Messung: 68	21	4
	2. Messung: 79	32	
	3. Messung: 73	26	
	Mittelwert: 73	Mittelwert: 26	
Wasserfilter Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214	1. Messung: 327	280	1
	2. Messung: 333	286	
	3. Messung: 351	304	
	Mittelwert: 337	Mittelwert: 290	

## Natürliche Radioaktivität in Lebensmitteln

**Was sind eure Ergebnisse?**

1. Vergleicht eure Messung mit eurer vorher erstellten Rangliste und notiert, welcher Gegenstand euch überrascht hat.

An dieser Stelle muss eine individuelle Antwort gegeben werden und es soll im Anschluss im Plenum möglicherweise zu Diskussionen über natürliche Strahlungsquellen kommen.

**Zusatzinfo Radioaktives Trinkwasser:**

Durch das Einatmen von Radongas kann Lungenkrebs ausgelöst werden. Vor allem spielen dabei die Zerfallsprodukte eine große Rolle. Po-218 und Po-214 sind Schwermetalle, die die DNA schädigen können. Auch im Trinkwasser befindet sich Radon, denn Radongas ist in Wasser gut löslich. Je nach Herkunft des Wassers können sich allerdings die Radonkonzentrationen des Wassers unterscheiden. Im Wasser zerfällt Radon zu den Zerfallsprodukten Po-218, Pb-214 und Bi-214. Diese können durch einen Glasfilter aus dem Wasser gefiltert werden. Mithilfe des Filters stellen wir dann das Präparat für dieses Experiment her.

**Zusatzaufgabe für schnelle Gruppe:**

2. Beurteilt, ob durch den Konsum der Lebensmittel eine Gefährdung für den menschlichen Körper aufgrund der ionisierenden Strahlung ausgeht.

Die Aufnahme von Kalium ist radiologisch aufgrund von Homöostase für den menschlichen Körper völlig unbedenklich. Der Kalium-40 Gehalt bleibt im Körper durch eine Selbstregulation konstant.

Laut des Bundesamts für Strahlenschutz führt die Strahlenbelastung durch den täglichen Verzehr von zwei Paranüssen zu keinen negativen gesundheitlichen Folgen.



## A.6. Auffinden von Kontaminationen



### Auffinden von Kontaminationen

#### Auffinden von Kontaminationen

##### Um was geht es?

Beim offenen Umgang mit radioaktiven Stoffen z. B. in radiochemischen, radiobiochemischen und nuklearmedizinischen Laboren können Kontaminationen von Arbeitsgeräten und der Kleidung auftreten. Großflächenproportionalzählrohre werden zum Nachweis von radioaktiven Substanzen auf Oberflächen verwendet. Sowohl Arbeitsflächen, die Kleidung als auch der Körper können mit Oberflächenkontaminations- Messgeräten auf kontaminierten Stellen untersucht werden. Dadurch kann eine versehentliche Aufnahme in den Körper (Inkorporation) vermieden werden. In diesem Versuch üben wir das Auffinden von Kontaminationen auf der Arbeitsfläche.

##### Was müsst ihr wissen?

Ihr solltet...

- Messwerte mit einem Großflächenproportionalzählrohr aufnehmen können.
- den Einfluss der Nullrate auf Messungen ionisierender Strahlung erklären.
- die unterschiedlichen Strahlungsarten vergleichen können.

Zur Vorbereitung auf das Experiment solltet ihr euch folgendes Video anschauen:

##### Die unterschiedlichen Strahlungsarten und Aktivität



##### Welches Material braucht ihr?



1 Am-241 Präparat, 1 Sr-90 Präparat, 1 Cs-137 Präparat, Großflächenproportionalzählrohr

## Auffinden von Kontaminationen

**Was sollt ihr machen?**

Arbeitsschritte	Fertig?
1. Stellt Hypothesen auf, welche Präparate man finden kann.	
2. Untersucht die Oberfläche auf mögliche „Kontaminationen“. Markiert die Stelle, an der ihr ein radioaktives Präparat vermutet. 	
3. Schaut unter der Oberfläche nach, sobald ihr alle „Kontaminationen“ gefunden habt. Vergleicht die tatsächlichen Positionen mit euren Markierungen.	
4. Vergleicht eure Beobachtungen mit den vorher aufgestellten Hypothesen. Welches Präparat hat euch überrascht?	

**Hinweis:** Bewegt das Großflächenproportionalzählrohr in einem konstanten Abstand über die Oberfläche.

## Auffinden von Kontaminationen

**Notiert Eure Beobachtungen!****1 Aufgestellte Hypothesen**

Präparate	Strahlungsart	Kann es gefunden werden?
Americium-241 (Am-241)		
Strontium-90 (Sr-90)		
Cäsium-137 (Cs-137)		

**2-3 Beschreibt eure Beobachtungen**

1. Welche radioaktiven Präparate konntet ihr mit dem Großflächenproportionalzählrohr finden?

2. Welche radioaktiven Präparate konntet ihr nicht mit dem Großflächenproportionalzählrohr finden?

## Auffinden von Kontaminationen

**Was sind Eure Ergebnisse?**

1. Vergleicht eure Beobachtungen mit den vorher aufgestellten Hypothesen und notiert, welches Präparat euch überrascht hat.

A large, empty rectangular box with a light gray background, intended for students to record their observations and results.**Zusatzaufgabe für schnelle Gruppe:**

2. Findet eine Erklärung, falls ihr ein Präparat gefunden habt, welches anhand eurer Hypothese nicht gefunden werden sollte.

A large, empty rectangular box with a light gray background, intended for students to provide explanations for any unexpected findings.

## Auffinden von Kontaminationen

**Lösungen für die Lehrkraft – Auffinden von Kontaminationen****Zu erreichende Lernziele**

Die Schülerinnen und Schüler...

- ... können die  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung anhand ihres Durchdringungsvermögens vergleichen.
- ... wenden ihr Wissen über die Reichweite und Abschirmung verschiedener Strahlungsarten in einem neuen Umfeld an.
- ... nennen die Vermeidung der Aufnahme in den Körper als eine Strahlenschutzmaßnahme.

**Anknüpfungspunkte im KC**

Die Schülerinnen und Schüler

- ... unterscheiden  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - Strahlung anhand ihres Durchdringungsvermögens und beschreiben ihre Entstehung modellhaft.
- ... erläutern Strahlenschutzmaßnahmen mithilfe dieser Kenntnisse.

**Behandeltes Thema**

Beim offenen Umgang mit radioaktiven Stoffen z. B. in radiochemischen, radiobiochemischen und nuklearmedizinischen Laboren können Kontaminationen von Arbeitsgeräten und der Kleidung auftreten. Großflächenproportionalzählrohre werden zum Nachweis von radioaktiven Substanzen auf Oberflächen verwendet. Sowohl Arbeitsflächen, die Kleidung als auch der Körper können mit Oberflächenkontaminations- Messgeräten auf kontaminierten Stellen untersucht werden. Dadurch kann eine versehentliche Aufnahme in den Körper (Inkorporation) vermieden werden. In diesem Experiment wird das Auffinden von Kontaminationen auf der Arbeitsfläche geübt.

## Auffinden von Kontaminationen

**Notiert Eure Beobachtungen!****1 Aufgestellte Hypothesen**

Präparate	Strahlungsart	Kann es gefunden werden?
Americium-241 (Am-241)	$\alpha$ & $\gamma$	
Strontium-90 (Sr-90)	$\beta^-$	
Cäsium-137 (Cs-137)	$\gamma$ & $\beta^-$	

**2-3 Beschreibt eure Beobachtungen**

1. Welche radioaktiven Präparate konntet ihr mit dem Großflächenproportionalzählrohr finden?

Befindet sich ein Tisch zwischen dem Am-241 Präparat und dem Zählrohr, so wird das Präparat nur noch vom LB 1210 B Großflächenproportionalzählrohr detektiert.

Ein Teil der  $\beta^-$ -Strahlung des Sr-90 Präparats kann trotz eines Tisches als Abschirmung vom LB 1210 B Monitor detektiert werden.

Mit einem Tisch als Abschirmung kann die Strahlung des Cs-137 Präparats von beiden Geräten gut detektiert werden.

2. Welche radioaktiven Präparate konntet ihr nicht mit dem Großflächenproportionalzählrohr finden?

Das Am-241 Präparats kann mit dem LB 122 Monitor nicht gefunden werden.

Mit dem LB 122 kann vom Sr-90 Präparat mit der Abschirmung keine erhöhte Impulsrate festgestellt werden.

## Auffinden von Kontaminationen

**Was sind Eure Ergebnisse?**

1. Vergleicht eure Beobachtungen mit den vorher aufgestellten Hypothesen und notiert, welches Präparat euch überrascht hat.

An dieser Stelle muss eine individuelle Antwort gegeben werden, und es soll im Anschluss im Plenum möglicherweise zu Diskussionen kommen.

**Zusatzaufgabe für schnelle Gruppe:**

2. Findet eine Erklärung, falls ihr ein Präparat gefunden habt, welches anhand eurer Hypothese nicht gefunden werden sollte.

Das Am-241-Präparat kann gefunden werden, weil es gemäß seines Zerfallsschemas ein  $\alpha$ - und  $\gamma$ -Strahler ist. Der  $\alpha$ -Anteil wird durch die geringe Reichweite in Materie abgeschirmt und nur der  $\gamma$ -Anteil durchdringt diesen und kann detektiert werden. Der LB 122 ist jedoch aufgrund des Füllgases mit geringer Ordnungszahl  $\gamma$ -unempfindlich.