

Leibniz Universität Hannover

**Fakultät für Mathematik und Physik
Institut für Radioökologie und Strahlenschutz**

Bachelorarbeit

**Entwicklung eines Unterrichtskonzepts für Schulversuche zur
Radioaktivität unter Verwendung von Augmented Reality
Methoden**

vorgelegt von: Charlotte Schütte
Matrikelnummer: 10014496
Studiengang: Fächerübergreifender Bachelor Physik/Mathe
vorgelegt am: 12.07.2021
1. Gutachter: Prof. Dr. Clemens Walther
2. Gutachter: Dr. Jan-Willem Vahlbruch

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	IX
1 Einleitung	1
2 Vorüberlegungen	2
2.1 Experimentieren im Physikunterricht	2
2.1.1 Zielsetzungen von Experimenten	2
2.1.2 Experimentelle Teilkompetenzen	2
2.1.3 Merkmale erfolgreicher Experimente im Unterricht	3
2.1.4 Bedeutung für die Planung von Unterricht	3
2.2 Medien im Unterricht	3
2.2.1 Digitale Medien	4
2.2.2 Klassische Medien	5
2.2.3 Bedeutung für die Planung des Unterrichtskonzepts	5
2.3 Alltagsvorstellungen	5
2.3.1 Beispiele einiger Alltagsvorstellungen	6
2.4 Forschend entdeckender Unterricht	8
3 Entwicklung der Augmented Reality Umgebung	10
3.1 Versuchsbeschreibungen	10
Versuch 1: Messung des Nulleffekts	10
Versuch 2: Reichweite von Alphastrahlung	11
Versuch 3: Absorption von Alphastrahlung	11
Versuch 4: Reichweite von Betastrahlung	11
Versuch 5: Absorption von Betastrahlung	11
Versuch 6: Reichweite von Gammastrahlung	12
Versuch 7: Schwächung von Gammastrahlung	12
3.2 Grundlagen für die Programmierung	13
3.2.1 Der Detektor	13
3.2.2 Beschreibung von Alphastrahlung	14
3.2.3 Beschreibung von Betastrahlung	14
3.2.4 Beschreibung von Gammastrahlung	16
3.2.5 Die Visualisierung	17
3.3 Die entwickelte App	17
3.3.1 Einschalten der App	18
3.3.2 Experimentieren mit der App	18
3.4 Physikalisches Vorwissen der Schüler*innen	19
3.4.1 Nuklidkarte	19
3.4.2 Strahlung radioaktiver Stoffe	19
3.4.3 Detektoren und Maßeinheiten	19
3.4.4 Methoden zur Versuchsauswertung	19

4	Entwicklung des Unterrichtskonzepts	20
4.1	Didaktische Analyse	20
4.1.1	Festlegen einer Zieldimension	20
4.1.2	Grobziele formulieren	21
4.1.3	Sachstrukturdiagramm	22
4.2	Methodische Ausgestaltung	23
4.2.1	Unterrichtsskizze	25
4.3	Material	29
4.3.1	Tafelbilder	29
4.3.2	Arbeitsblätter	30
4.3.3	Abgestufte Lernhilfen	30
4.4	Versuche in der AR Umgebung als Wiederholung von Eigenschaften von Alpha-, Beta- und Gammastrahlung	32
5	Wie kann Unterricht analysiert werden?	37
5.1	Abfrage des Vorwissens und Lernzielkontrolle	37
5.2	Evaluation der App	38
6	Durchführung der Unterrichtsstunden	39
6.1	Anpassung der Stunden an die Klassen	39
6.2	Reflexion: Differenz von antizipiertem und realisiertem Unterricht	40
7	Auswertung der Unterrichtsanalyse	43
7.1	Auswertung der Multiple Choice Tests	43
7.2	Auswertung der Evaluation der App	48
8	Fazit	52
9	Ausblick: Erweiterungsmöglichkeiten der App	54
10	Literaturverzeichnis	55
A	Anhang	58
A.1	Exkurs: Lernpsychologische Grundlagen	58
A.2	Bilder der App	59
A.3	Analyse mit dem Modell von Nawrath et al.	65
A.4	Druckvorlagen	65
A.4.1	Verhaltensregeln für den Umgang mit Tablets	65
A.4.2	Vorlage für die Versuchsprotokolle	66
A.4.3	Musterlösungen für die Versuchsprotokolle	71
A.5	Tafelbilder	81
A.5.1	Analyse vom Unterricht	84
A.6	Unterrichtsskizze zur Untersuchung des Durchdringungsvermögens an der Helene-Lange-Schule	86
A.7	Statistiken der Multiple Choice Tests	88
A.7.1	Notenschlüssel	88
A.7.2	Statistik für die Evaluationsbögen	94
B	Eigenständigkeitserklärung	95

Abbildungsverzeichnis

1	Modell für forschend entdeckenden Unterricht nach Bell sowie Schmidkunz und Lindemann [Krabbe und Fischer, 2020, Bell, 2007, Höttecke, 2010]	8
2	Schwerpunkte zur experimentellen Kompetenzentwicklung für die Versuche in einer AR Umgebung	21
3	Sachstrukturdiagramm	22
4	Vier abgestufte Lernhilfen zur Unterstützung der Bestimmung der Halbwertsschichtdicke	31
5	Lernhilfe zur Unterstützung der Umrechnung von Impulse pro 30 Sekunden in Impulse pro Sekunde	31
6	Abgestufte Lernhilfen zur Unterstützung des Zeichnens einer Ausgleichsfunktion	31
7	Identische Versuchsaufbauten für die Abschirmung von Betastrahlung zur Veranschaulichung der aufgetretenen Probleme	51
8	Fotos der beschrifteten QR-Codes	59
9	Foto der bildlichen Marker	59
10	Screenshot des App Menüs	60
11	Screenshot der Quelle mit einem Präparat ausgewählt	60
12	Screenshot der Quelle mit dem Drop Down Menü	61
13	Screenshot der Quelle mit ausgeschalteten Namen	61
14	Screenshot der Quelle mit einem ausgewählten Präparat. Der Name wird nicht angezeigt nur die Aktivität	62
15	Screenshot des Detektormenüs	62
16	Screenshot des Detektors, der die Zählrate in Impulsen pro Sekunde anzeigt	63
17	Screenshot des Detektors, der die Zählrate in Impulsen pro eingestelltem Zeitintervall misst	63
18	Screenshot der Abschirmung mit einigen der verschiedenen Möglichkeiten	64
19	Screenshot der Abschirmung, wenn ein Material ausgewählt ist	64
20	Analyse der Schwerpunkte zur experimentellen Kompetenzentwicklung für die Versuche in einer AR Umgebung	65
21	Tafelbild: Festhalten wichtiger Eigenschaften der AR Umgebung	81
22	Tafelbild: Tabelle zur Untersuchung der Reichweite	81
23	Tafelbild: Tabellen zur Untersuchung des Durchdringungsvermögens	82

24	Tafelbild: Festhalten wichtiger Eigenschaften der AR Umgebung in der Wiederholungsstunde	83
25	Tafelbild: Tabelle zur Untersuchung der Reichweite in der Wiederholungsstunde	83
26	Multiple Choice Tests	84
27	Evaluation für die Bewertung der AR App	85

Tabellenverzeichnis

1	Daten für die Alphastrahler der Augmented Reality Umgebung	14
2	Kenndaten von Strontium-90 [Vogt und Schultz, 2011]	14
3	Dosisleistungsfunktion für Strontium-90 ($A = 2,87$ kBq) für verschiedene Abstände r [Vogt und Vahlbruch, 2019], die mit Formel 3 resultierende Dosisleistung und entsprechende Zählrate	15
4	Kenndaten von Cobalt-60 [Vogt und Schultz, 2011]	16
5	Reziproke Schwächungskoeffizienten $1/S(x)$ [Vogt und Schultz, 2011] für Gammastrahlung von Cobalt-60 für verschiedene Abschirmungsmaterialien	17
6	Ausarbeitung der Unterrichtsphasen mit dem Modell zum forschend entdeckenden Unterricht, Abb. 1	23
7	Unterrichtsskizze zum Thema Reichweite von Strahlung radioaktiver Stoffe	26
8	Unterrichtsskizze zum Thema Durchdringungsvermögen von Strahlung radioaktiver Stoffe	28
9	Unterrichtsskizze zur Untersuchung von emittierter Strahlung von vier Präparaten	33
10	Unterrichtsskizze zur Untersuchung des Durchdringungsvermögens in der 10a an der Helene-Lange-Schule	86

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Formelzeichen

A	Aktivität	Bq
d	Absorptionskoeffizient	$\frac{1}{\text{m}}$
E	Energie	eV
f_β	Dosisleistungsfunktion	$\frac{\text{mSv}}{\text{h GBq}}$
\dot{H}	Dosisleistung	Sv/h
\dot{N}	Zählrate	Imp/s
r	Abstand	m
R_L	maximale Reichweite in Luft	m
$\frac{1}{S}$	reziproker Schwächungskoeffizient	
x	Dicke	m
Z_{eff}	Ordnungszahl	

Griechische Buchstaben

α	Alpha	
β	Beta	
γ, Γ	Gamma	
Γ_γ	Dosisleistungskonstante	$\frac{\text{mSv m}^2}{\text{h GBq}}$
$\frac{\Gamma_X}{Z}$	Dosisleistungskonstante	$\frac{\text{mSv m}^2}{\text{h GBq}}$
μ	Mikro	10^{-6}
τ	Totzeit	μs

Abkürzungen

AR	Augmented Reality
KC	Kerncurriculum
KMK	Kultusminister Konferenz
WLAN	Wireless Local Area Network
QR-Code	Quick Response Code

1 Einleitung

Digitalisierung spielt eine immer größere Rolle in der Schule. Nach einer Bekanntgabe der Kultusminister Konferenz (KMK) (2017) sollen digitale Medien regulär in den Unterricht integriert werden. Damit soll die Medienkompetenz der Schüler*innen gestärkt und durch den Alltagsbezug die Motivation erhöht werden [Kultusminister Konferenz, 2017]. Daher soll im Rahmen dieser Arbeit eine App zum Thema Radioaktivität konzipiert werden, die mit Augmented Reality (AR) Methoden arbeitet.

Augmented Reality heißt übersetzt „erweiterte Realität“. Die Idee der App besteht darin, auf diesem Wege einfache Schulversuche zur Reichweite und zum Durchdringungsvermögen von Alpha-, Beta- und Gammastrahlung in AR zu realisieren. Durch Platzieren von Markern, die Versuchsgeräten zugeordnet sind, sollen die Schüler*innen ihre Versuchsaufbauten in der Realität planen. Die AR App soll in der Lage sein, die Marker zu interpretieren und so die Geräte auf dem Bildschirm des zum Beispiel Tablets als Erweiterung der Realität darzustellen. Ziel der App wird es sein, ionisierende Strahlung zu visualisieren und so das Verständnis von Schüler*innen von Strahlung zu unterstützen.

Dazu werden zuerst die Anforderungen an die App zusammengetragen und die theoretischen Grundlagen erläutert, auf denen die App aufbauen wird. Es werden alle wichtigen Formeln benannt, auf denen die Programmierung der App aufbauen wird. Die Programmierung selber wird von Mitarbeitern des Instituts für Simulation und Graphik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg übernommen.

Im Rahmen der Entwicklung der App soll ein Prototyp an verschiedenen Schulen im Physikunterricht getestet werden. Dazu wird ein Unterrichtskonzept entwickelt, mit dem die App in verschiedenen Schulen ausprobiert werden kann. Im Zentrum der Stunden soll das Experimentieren in AR stehen. Ziel wird es sein, die Versuche mit den Schüler*innen durchzuführen und auszuwerten. Dazu müssen die Schüler*innen sich mit der App detailliert auseinandersetzen.

Es wird ein Evaluationsbogen entwickelt, auf dem Probleme mit der App benannt werden können, sowie Verbesserungsvorschläge und Wünsche an die App formuliert werden sollen. Aus den Erfahrungen und Erkenntnissen der Schüler*innen können wichtige Schlüsse für die Weiterentwicklung der App gezogen werden.

Neben dem Feedback der Schüler*innen soll auch ermittelt werden, ob ein Lernzuwachs mit den Experimenten in AR erreicht werden kann. So soll festgestellt werden, ob die Experimente ihren Zweck der Veranschaulichung und Unterstützung der Theorie erfüllen.

2 Vorüberlegungen

In diesem ersten Teil der Arbeit werden einige physikdidaktische Grundlagen vorgestellt und deren Bedeutung für die Planung der Unterrichtseinheit oder die Entwicklung der AR Umgebung besprochen. Zuerst werden wichtige Merkmale von Experimenten und Medien aufgezeigt, die im Unterricht beachtet werden sollten. Weiter werden einige Alltagsvorstellungen von Schüler*innen vorgestellt, die im Bereich Radioaktivität auftreten können. Abschließend wird eine Einführung in forschend entdeckenden Unterricht gegeben. Hier wird darauf eingegangen, welche zusätzlichen Anforderungen auf die Lehrkraft und die Schüler*innen zukommen, wenn ein eher offenes Unterrichtskonzept gewählt wird.

2.1 Experimentieren im Physikunterricht

Der Begriff Experiment kommt vom lateinischen Begriff „experimentum“, was soviel bedeutet wie Versuch, Probe, Erfahrung [Duden.de, 2021]. Im Weiteren werden die Begriffe Experiment und Versuch in Anlehnung an die Alltagssprache synonym verwendet [Girwidz, 2020a]. Unter einem naturwissenschaftlichen Experiment wird die Untersuchung einer Hypothese durch die Gewinnung empirischer Daten verstanden, um diese zu bestätigen oder zu widerlegen [e-teaching.org, 2016].

2.1.1 Zielsetzungen von Experimenten

Im Unterricht dienen Versuche allem voran der Erkenntnisgewinnung. Experimente sollen Schüler*innen helfen, naturwissenschaftliche Begriffe und Zusammenhänge besser zu verstehen [Nawrath und Peters, 2014]. Experimente können für verschiedene Zielsetzungen eingesetzt werden. Zum Beispiel kann die Wahrnehmungsfähigkeit geschult werden, oder es kann eine Verbindung zwischen Theorie und Praxis aufgezeigt werden. Bei der Planung von Experimenten für den Unterricht müssen Lehrkräfte die verschiedenen Zielsetzungen berücksichtigen, da andere Anforderungen an den Unterricht, die Lehrkraft und auch an die Schüler*innen gestellt werden.

2.1.2 Experimentelle Teilkompetenzen

Der Erwerb von prozessbezogenen Kompetenzen beim Experimentieren ist ein Hauptbestandteil des Physikunterrichts. Daher wurden die wichtigsten Kompetenzen zentral im Kerncurriculum festgehalten. Sie umfassen alle Fähigkeiten und Fertigkeiten, die Schüler*innen im Bereich des Experimentierens im Laufe ihrer Schulzeit erlangen sollen. Um die Planung eines kompetenzorientierten Unterrichts zu erleichtern, entwickelten

Nawrath et al. (2011) ein Modell experimenteller Kompetenzen. Mit dem Modell wird das Anforderungsprofil an Experimente spezifiziert. Jede benannte Teilkompetenz sollte im Unterricht behandelt werden. Mit der Dreiteilung der Skala können Lehrkräfte bei der Planung und der Nachbereitung eines Experiments die Bedeutung der Kompetenzen für das Experiment einschätzen. So erhalten Lehrkräfte einen Überblick, welche Kompetenzen im Unterricht behandelt wurden, und welche experimentellen Teilkompetenzen noch behandelt werden müssen.

2.1.3 Merkmale erfolgreicher Experimente im Unterricht

Das Befolgen aller bisher genannten Kriterien führt nicht automatisch zu einem erfolgreichen Unterricht mit Experimenten. Wichtig ist vor allem die ausreichende Planung der Experimente und das Erstellen eines Sachstrukturdiagramms [Girwidz, 2020a], damit die Lehrkraft sicherstellen kann, dass alle Schüler*innen über das nötige Grundwissen verfügen oder dieses vor der Durchführung erarbeiten. Außerdem müssen Lernhilfen zur Verfügung gestellt werden [Girwidz, 2020a], damit den Schüler*innen zu jedem Zeitpunkt der Experimentierphase klar ist, was zu tun ist und das Experimentieren nicht zu planlosem Ausprobieren führt. Die Lehrkraft muss also eine klare Struktur des Experiments und der erforderlichen Arbeitsschritte vorgeben.

2.1.4 Bedeutung für die Planung von Unterricht

Im Zentrum des Unterrichts werden die Experimente in der AR Umgebung stehen, daher werden auch die Ziele des Unterrichts von den Zielsetzungen von Experimenten beeinflusst. Dafür müssen nach der Entwicklung der AR Laborumgebung die damit möglichen Experimente klassifiziert werden. Dabei kann eine Analyse der Experimente mit diesem Modell von Nawrath et al. (2011) helfen.

2.2 Medien im Unterricht

Auf der Webseite „HellesKöpfchen.de“ schreibt Pawlak (2018): „Medien sind [...] Mittel oder Verfahren, mithilfe derer Informationen in Form von Texten, Bildern und Tönen verbreitet werden können. Durch sie können Menschen sich informieren, bilden, unterhalten und austauschen.“. Hier werden bereits vier verschiedene Zwecke von Medien angesprochen. Weitere Intentionen sind nach Girwidz (2020b) zum Beispiel Veranschaulichen von Inhalten oder die Individualisierung beziehungsweise die Differenzierung von Arbeitsschritten.

Der Zweck eines Medieneinsatzes im Unterricht hängt immer vom Kontext ab und muss daher bei der Analyse der Methoden im Bereich der Unterrichtsplanung berücksichtigt

werden [Girwidz, 2020b]. Neben den verschiedenen Intentionen des Medieneinsatzes können weitere Aspekte unterschieden werden. Eine Klassifikation nach technischen Aspekten ermöglicht die Unterteilung in technische und vortechnische Medien [Girwidz, 2020b]. Hierbei ist zu beachten, dass vortechnische Medien mit weniger Anforderungen an Rahmenbedingungen wie das Vorhandensein von WLANs auskommen. Technische Medien haben den Vorteil, dass sie mehr Darstellungsformen und Individualisierung bieten. Eine Klassifikation nach informationspsychologischen Aspekten teilt Medien nach dem angesprochenen Sinn ein, also ob Informationen visuell, auditiv, audio-visuell oder haptisch vermittelt werden. Die Bedeutung dieser Einteilung lässt sich mithilfe des Exkurses über lernpsychologische Grundlagen im Anhang A.1 erklären: Schüler*innen können nur begrenzt Informationen aufnehmen. Durch eine geeignete Kombination von visuell und auditiv vermittelten Inhalten kann die Verarbeitungstiefe gesteigert werden und folglich zu einer Leistungssteigerung führen. Mit dem Einsatz von neuen Medien fallen neue Aufgaben für die Lehrkraft an [Girwidz, 2020b]. Sie müssen:

- Kenntnisse über Symbol- und Codesysteme sicherstellen
- Informationsdichte angemessen wählen und auf mehrere Informationskanäle aufteilen
- Aufmerksamkeit auf wichtige Aspekte lenken und diese hervorheben
- Nur relevante Texte, Bilder oder Audiodateien ausgeben
- Verknüpfung von neuem Wissen mit vorhandenem Wissen ermöglichen

2.2.1 Digitale Medien

Digitale Medien wie Smartphones und Tablets gehören zu den technischen Medien und sind zentraler Bestandteil des Schüleralltags. Der Einsatz von digitalen Medien birgt auch weitere Aufgaben für die Lehrkraft, wie die ausreichende Medienkompetenz für den Umgang mit beispielsweise einem Tablet mitzubringen. Es bietet sich an, klare Verhaltensregeln für den Einsatz von Tablets oder Smartphones aufzustellen. Das Bildungsportal „schule.at“ schlägt einige Regeln vor [Das Bildungsportal Schule.at, 2021], die für das Experimentieren in Zeiten von Corona angepasst und erweitert wurden. Die entsprechende Druckvorlage findet sich im Anhang A.4.1. In den jeweiligen Klassen können die Regeln vor Start der Experimentierphase besprochen werden. Über Konsequenzen beim Nichteinhalten von Regeln muss mit den entsprechenden Klassenlehrer*innen im Vorfeld gesprochen werden.

2.2.2 Klassische Medien

Nicht nur die Nutzung von technischen Medien bringen eigene Anforderungen an den Unterricht und dessen Planung mit sich [Girwidz, 2020b]. Klassische vortechnische Medien, wie die Tafel oder das Arbeitsblatt, können verschiedene Funktionen im Unterrichtsverlauf übernehmen. Arbeitsblätter informieren, vertiefen oder kontrollieren, wogegen mit einem Tafelbild wichtige Unterrichtsabschnitte, Fragen oder Aussagen für einen späteren Zeitpunkt oder auch die Erarbeitungsschritte einer Aufgabe festgehalten werden können. Dabei ist eine klare Strukturierung und ein übersichtlicher Ablauf von der Lehrkraft zu gewährleisten, um den Schüler*innen die eigene Strukturierung von Wissen zu erleichtern. So müssen Arbeitsblätter, die die Funktion eines Versuchsprotokolls übernehmen, folgende Eigenschaften erfüllen:

1. Klare inhaltliche Orientierung und Verbindung von Theorie und Praxis durch die Skizze des Versuchsaufbaus.
2. Strukturierung der Arbeitsschritte durch Hilfestellungen.
3. Hilfe für gezielte Auswertung beispielsweise mit Impulsfragen, die die Datenbearbeitung und Interpretation gliedern.

2.2.3 Bedeutung für die Planung des Unterrichtskonzepts

Die Strukturierungshilfen der klassischen Medien unterstützen bei der Vorbereitung von Tafelbildern und Arbeitsblättern. Weiter muss sich die Lehrkraft ausreichend mit der AR Umgebung beschäftigen, um Schwierigkeiten zu erkennen und im Unterricht darauf hinweisen zu können. Darüber hinaus muss sichergestellt werden, dass in einer Wiederholung alle relevanten Aspekte für das Verständnis der Visualisierung besprochen werden.

2.3 Alltagsvorstellungen

Unter Alltagsvorstellungen werden die Vorerfahrungen und Annahmen der Schüler*innen verstanden, die diese zu einem bestimmten Thema mit in den Unterricht bringen. Das heißt, es handelt sich um Konzepte über das Thema, die vor der Behandlung in der Schule aufgebaut und gefestigt wurden [Duit, 1993]. Ein wichtiger Einflussfaktor ist die Alltagssprache. Die Alltagssprache beeinflusst die Sicht der Kinder auf die Welt. Erstens bietet die Sprache ein Ordnungssystem [Duit, 2020], mit dem Beobachtungen und Erfahrungen beschrieben und gedeutet werden können. Zweitens beeinflusst die Art und Weise, wie die Physik in Zeitschriften, Radio und Fernsehen dargestellt wird,

die Vorstellungen der Schüler*innen zu den jeweiligen Themen. Auch werden Einstellungen und Meinungen meist unreflektiert von Eltern und anderen Bezugspersonen übernommen.

All dies trägt zu einer Vorstellung der Schüler*innen zu verschiedenen Themen der Physik bei, die meist nicht mit den fachlichen Vorstellungen übereinstimmen. Die Schwierigkeit besteht darin, dass sich die Vorstellungen der Schüler*innen regelmäßig im Alltag bewähren und damit nicht direkt als falsch abgestempelt werden dürfen [Duit, 1993]. Daraus folgt eine weitere Problematik: Auf Grund der regelmäßigen Bestätigung ihrer Vorstellungen sehen die Schüler*innen meist keine Notwendigkeit für die fachliche Vorstellung [Duit, 2020]. Für einen erfolgreichen Unterricht müssen die Alltagsvorstellungen der Schüler*innen mit den fachlichen Vorstellungen gleichgestellt werden [Duit, 1993].

Mit Physikunterricht sollte eine Koexistenz der fachlichen und alltäglichen Vorstellungen angestrebt werden. Am Ende einer Unterrichtseinheit sollen die Schüler*innen erkennen, dass die physikalische Sichtweise an manchen Stellen, wie zum Beispiel beim Beschreiben eines Experiments, sinnvoller ist als ihre Alltagsvorstellung.

2.3.1 Beispiele einiger Alltagsvorstellungen

In diesem Abschnitt werden einige Vorstellungen zum Thema Radioaktivität vorgestellt und die Relevanz für die Planung der Unterrichtseinheit aufgezeigt. Darüber hinaus wird ein direkter Bezug zu den Schulversuchen hergestellt. Außerdem müssen nicht nur die Alltagsvorstellungen zu den fachlichen Themen bei der Unterrichtsplanung berücksichtigt werden. Auch die Einstellungen gegenüber Experimenten sind von Bedeutung und werden daher kurz behandelt.

Vorstellungen zur Definition von Strahlung: In seiner Forschungsarbeit geht Plotz (2016) darauf ein, dass der Begriff „radioaktive“ Strahlung im Unterricht vermieden werden sollte. Da der Begriff sowohl Teilchenstrahlung als auch elektromagnetische Strahlung umfasst, ist die Unterscheidung von Alpha-, Beta- und Gammastrahlung wichtig. In einem Physikbuch der Sek I wird von Strahlung radioaktiver Stoffe gesprochen, die Atome und Moleküle ionisieren kann [Bader und Oberholz, 2001]. Erst im nächsten Schritt wird erklärt, dass radioaktive Stoffe Alpha-, Beta- und Gammastrahlung aussenden [Bader und Oberholz, 2001]. Die Vorstellung vieler Schüler*innen von Alpha- und Betastrahlung als strahlende Partikel kann gut mit dem fachlich korrekten Konzept der Teilchenstrahlung verbunden werden [Plotz, 2016]. Eine Trennung der Teilchenstrahlung von Gammastrahlung ermöglicht die Verbindung von Gammastrahlung mit anderer elektromagnetischer Strahlung wie dem sichtbaren Licht. Diese Zusammenhänge können

bei der Wahl der Visualisierung oder deren Erklärung im Unterricht genutzt werden. Weiter sollte zwischen dem radioaktiven Stoff und der von ihm ausgesendeten ionisierenden Strahlung unterschieden werden. In einem weiteren Schritt kann dann die Wirkung von ionisierender Strahlung untersucht werden. Viele Schüler*innen verstehen diese Differenzierung der Begriffe zunächst nicht.

Schülervorstellungen zu Experimenten: Bei den Vorstellungen zu Experimenten handelt es sich meist um Erfahrungen der Schüler*innen aus dem vorangegangenen Unterricht oder um Einflüsse der Alltagssprache. Die Schüler*innen ziehen eine Verbindung zwischen Experimentieren und dem umgangssprachlichen „Herumexperimentieren“ [Nawrath und Peters, 2014] und nehmen daher an, dass Experimentieren keine zielgerichtete Handlung ist. Darüber hinaus sehen Schüler*innen das Ergebnis einer Messung oft in nur einem einzelnen Zahlenwert [Nawrath und Peters, 2014]. Hier bietet sich das Festhalten von qualitativen Aussagen an. Zum Beispiel sollte bei dem Versuch der Abschirmung von Betastrahlung festgehalten werden, dass Aluminium als Abschirmungsmaterial besser geeignet ist als Papier. Weiter können Aussagen der Form: Je dicker die Aluminiumschicht, desto besser die Abschirmung, festgehalten werden.

Einfluss von Alltagsvorstellungen auf Beobachtungen: Es wurde vorgestellt, dass Alltagsvorstellungen die Interpretationsgrundlage für Beobachtungen sind. Dies gilt auch für die Beobachtungen während Experimenten im Physikunterricht [Duit, 2020]. Wichtig ist daher, die relevanten Faktoren eines Experiments vor der Durchführung zu besprechen und so den Blick der Schüler*innen auf die wichtigen Stellen des Versuchsaufbaus zu lenken. Hierbei können Skizzen des Aufbaus und das Sammeln von Hypothesen unterstützen.

2.4 Forschend entdeckender Unterricht

Eine Möglichkeit der aktiven Schüler*innenteilnahme am Unterrichtsgeschehen ist der forschend entdeckende Unterricht. In diesem Vorschlag der Unterrichtsgestaltung geht es darum, den Lehr-Lern-Prozess an den Erkenntnisgewinnungsprozess der Forschung anzulehnen [Bell, 2007]. Schüler*innen sollen zu einem vorgegebenen Oberthema Forschungsfragen und passende Versuche entwickeln und durchführen. In der Literatur gibt es verschiedene Modelle, die ein Gerüst der Unterrichtsphasen mehr oder weniger genau vorgeben. Die geplante Unterrichtsstunde wird am forschend entdeckenden Modell nach Bell (2007) orientiert und mit Aspekten des Modells von Schmidkunz und Lindemann ergänzt [Krabbe und Fischer, 2020, Höttecke, 2010]. Das entstandene Orientierungsschema ist in Abbildung 1 zu sehen.

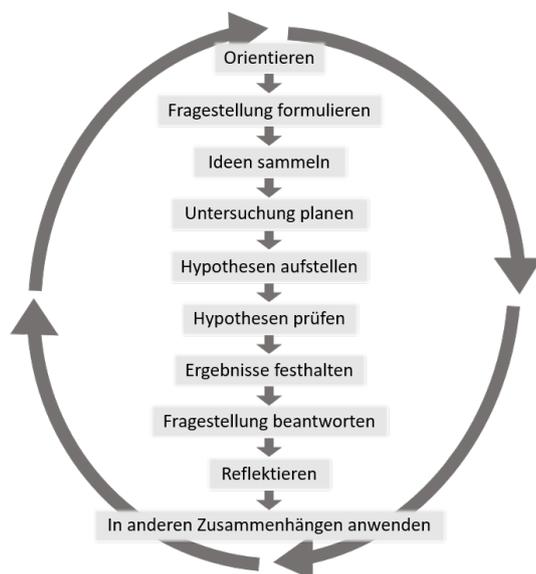


Abbildung 1: Modell für forschend entdeckenden Unterricht nach Bell sowie Schmidkunz und Lindemann [Krabbe und Fischer, 2020, Bell, 2007, Höttecke, 2010]

Die erste Phase des Unterrichts besteht aus einer Orientierung. Hier wird das Problem erfasst, und die Schüler*innen werden motiviert. Als nächstes wird eine passende Fragestellung formuliert. Der dritte Schritt besteht aus der Ideensammlung zu Untersuchungsmöglichkeiten. Hier wird das Problem weiter aufgeschlüsselt und studiert, bis Ideen für Lösungsvorschläge gesammelt werden können. In der nächsten Unterrichtsphase wird eine Untersuchung geplant, das heißt es wird entschieden, welcher Lösungsvorschlag verfolgt werden soll und es werden entsprechende Versuche geplant. Nachdem die Experimente samt Aufbauskitze und Durchführung festgehalten wurden, stellen die Schüler*innen Hypothesen über die möglichen Ergebnisse des Experiments auf. Sind die Vermutungen festgehalten, um einen späteren Vergleich zu ermöglichen, so können die Schüler*innen mit der gezielten Überprüfung ihrer Hypothesen begin-

nen. Sind alle Versuche abgeschlossen und die Beobachtungen festgehalten, werden die Ergebnisse ausgewertet, präsentiert und diskutiert. Die Ergebnisse der Experimente werden im Einklang oder im Widerspruch mit der zuvor genannten Hypothese formuliert. Zum Abschluss werden alle Phasen reflektiert und die Erkenntnisse in anderen Zusammenhängen angewendet. In diesem Schritt findet ein Rückbezug zum ursprünglichen Problem statt. Weiter kann im Zuge der Anwendung ein Bezug zum Alltag hergestellt werden. Ist eine mögliche Folgerung, dass weitere Experimente durchgeführt werden müssen, um das Problem näher zu untersuchen, kann bei der entsprechenden Phase erneut angesetzt werden. Es ist möglich, zwischen den Phasen zu springen. Eine klare Struktur des Unterrichts muss allerdings immer durch die Lehrkraft gewährleistet sein. Genauso steht es der Lehrkraft frei, Phasen mehr oder weniger offen zu gestalten. Sind die Schüler*innen eigenständiges Experimentieren nicht gewohnt, muss die Lehrkraft mehr Schritte vorgeben als in Klassen, die forschend entdeckendes Arbeiten gewohnt sind [Bell, 2007]. Durch Hilfestellungen in den freien Arbeitsphasen werden die Arbeitsschritte der Schüler*innen strukturiert. Weiter bietet das Sammeln von Zwischenergebnissen die Möglichkeit der Kontrolle, ob die Schüler*innen wissen, was zu tun ist, um ein zielgerichtetes Experimentieren sicherzustellen. Mögliche Probleme können direkt angesprochen und gelöst werden. Es gibt verschiedene Unterstützungsmöglichkeiten, die die Lehrkraft während der Arbeitsphasen anbieten kann. Eine Möglichkeit sind die sogenannten „Methodenwerkzeuge“, die verschiedene Methoden zur Situationsbewältigung bereitstellen [Dolch, 2012]. Zum Beispiel bieten abgestufte Lernhilfen für einzelne Schüler*innen eine individualisierte Unterstützung in Erarbeitungs- und Experimentierphasen [Studienseminar Koblenz, 2017]. Leistungsstärkere Schüler*innen können die Aufgaben mit wenig oder keiner Unterstützung bewältigen. Leistungsschwächere Schüler*innen finden in den abgestuften Lernhilfen für sie notwendige Hinweise und mögliche Lösungsstrategien zur Bewältigung der Aufgabe.

Die Lehrkraft muss also nicht nur ein produktives und strukturiertes Arbeitsumfeld schaffen, sondern auch entsprechendes Material zur Verfügung stellen [Bell, 2007], um den Lernprozess zu unterstützen. Dazu gehört es auch, klare Lernziele aufzustellen, die durch Unterstützung von entsprechenden Methoden, wie beispielsweise den abgestuften Lernhilfen, erreicht werden können [Krabbe und Fischer, 2020]. Weiter muss die Lehrkraft umfangreiches Wissen zu allen möglichen Themen mitbringen, die im Rahmen der Problemstellung auftauchen können [Bell, 2007].

3 Entwicklung der Augmented Reality Umgebung

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Simulation und Graphik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg wurde die AR Laborumgebung entwickelt. In dieser Arbeit werden die theoretischen Grundlagen erläutert, auf denen die Programmierung aufgebaut wurde. Auf Basis dieser Grundlagen und der im Folgenden beschriebenen Versuchsplanungen wurden im Rahmen dieser Arbeit die Anforderungen an die AR Laborumgebung entwickelt und mit dem Software Entwickler der Arbeitsgruppe Visualisierung an der Universität Magdeburg abgestimmt. Für die genaue Implementierung wird daher auf die Arbeitsgruppe Visualisierung verwiesen.

Die Grundidee zu den Versuchen in der AR Umgebung besteht darin, Alpha-, Beta- und Gammastrahlung zu visualisieren und einfache Experimente zu realisieren. Im Rahmen dieser Arbeit wurden Schulversuche zur Reichweite und Abschirmung ionisierender Strahlung geplant. Im Folgenden werden zuerst die Versuche beschrieben. Im Anschluss wird kurz erläutert, welche Vereinfachungen vorgenommen und welche endgültigen Beschreibungen der Strahlung gewählt wurden, um diese Versuche in der App umzusetzen. Am Ende wird das relevante Vorwissen der Schüler*innen festgehalten.

3.1 Versuchsbeschreibungen

Die Versuchsbeschreibungen orientieren sich an den Versuchen des Fachpraktikums des Instituts für Radioökologie und Strahlenschutz (2016) und wurden mithilfe des Physikbuches für die Sek I [Bader und Oberholz, 2001] und der Lernplattform der Joachim Herz Stiftung (2021) für die Schüler*innen vereinfacht und angepasst.

Material: Für die Experimente müssen die folgenden Komponenten verfügbar sein: Ein Detektor, verschiedene Strahlungsquellen und Abschirmungsmaterialien. Als Detektor bietet sich ein Geiger-Müller-Zählrohr an, welches die Impulse pro Zeitintervall misst. Als Strahlungsquellen muss je ein Alpha-, Beta- und Gammastrahlung zur Verfügung stehen. Als Material für die Abschirmung werden Aluminium, Polyethylen, Blei, Eisen und Beton genutzt.

Versuch 1: Messung des Nulleffekts

Durchführung: Ohne Präparat wird für 2 min der Nulleffekt des Zählrohrs gemessen und notiert.

Auswertung: Rechne die Zählrate um in Impulse pro Sekunde.

Anwendung: Bei den folgenden Versuchen wird der Nulleffekt von den gemessenen Zählraten abgezogen, um die Nettozählrate zu erhalten.

Versuch 2: Reichweite von Alphastrahlung

Durchführung: Der Alphastrahler wird an das Glimmerfenster des Detektors gebracht. In verschiedenen Abständen wird die Zählrate über 30 s gemessen. Die Impulse pro 30 s werden in einer Tabelle in Abhängigkeit vom Abstand dokumentiert und in Impulse pro Sekunde umgerechnet.

Auswertung: Stelle die Zählrate bei zunehmendem Abstand dar. Bestimme die Reichweite der Alphastrahlung.

Versuch 3: Absorption von Alphastrahlung

Durchführung: Das Präparat wird mit etwas Abstand vom Detektor platziert, sodass noch eine Zählrate gemessen wird. Wähle eine Abschirmung aus und stelle diese zwischen Zählrohr und Präparat.

Auswertung: Notiere die Beobachtungen.

Deutung: Welche Rückschlüsse lassen sich aus den Beobachtungen ziehen?

Versuch 4: Reichweite von Betastrahlung

Durchführung: Der Betastrahler wird an das Glimmerfenster des Detektors gebracht. In 5 cm Schritten wird die Zählrate über 30 s gemessen. Die Impulse pro 30 s werden in einer Tabelle in Abhängigkeit vom Abstand dokumentiert und in Impulse pro Sekunde umgerechnet. Die Messung endet bei 55 cm.

Auswertung: Für die Bestimmung der Reichweite werden die Messwerte in Impulsen pro Sekunde gegen den Abstand in ein Koordinatensystem eingetragen. Die Nullrate wird als konstante Gerade eingezeichnet.

Deutung: Durch das Zeichnen eines Ausgleichsgraphen kann der Schnittpunkt mit der Nullrate bestimmt werden. Hier ist die maximale Reichweite der Betastrahlung erreicht. Der Verlauf der Ausgleichsfunktion wird beschrieben, und die maximale Reichweite in Luft wird festgehalten.

Versuch 5: Absorption von Betastrahlung

Durchführung: Das Präparat wird im 20 cm Abstand vor dem Detektor platziert. Es stehen Scheiben aus zwei verschiedenen Absorptionsmaterialien zur Verfügung, Aluminium und Polyethylen. Es wird eine Scheibe Aluminium zwischen Detektor und Präparat geschoben und eine Messung der Impulsrate durchgeführt. Nacheinander werden weitere Scheiben hinzugenommen. Es wird jeweils eine Messung durchgeführt. Die Messdauer muss gegebenenfalls mit der Anzahl der Scheiben erhöht werden. In gleicher Form werden mehrere Messungen mit den Polyethylen-Scheiben gemacht.

Auswertung: Die Impulsrate in Imp/s wird als Funktion der Absorberschichtdicke aufgetragen. Die Nullrate wird ebenfalls eingezeichnet. Es wird eine Ausgleichsfunktion für die Messpunkte gezeichnet.

Deutung: Es wird der Verlauf der Ausgleichsfunktion beschrieben, und es werden die Fragen beantwortet, welches Material besser zur Abschirmung von Betastrahlung geeignet ist und warum.

Versuch 6: Reichweite von Gammastrahlung

Durchführung: Der Gammastrahler wird an das Glimmerfenster des Detektors gebracht. In 10 cm Abständen wird die Zählrate über 30 s gemessen. Die Impulse pro 30 s werden in einer Tabelle in Abhängigkeit vom Abstand dokumentiert und in Impulse pro Sekunde umgerechnet. Die Messung wird nach 1 m abgebrochen.

Auswertung: Die Messwerte abzüglich der Nullrate werden in Impulse pro Sekunde gegen den Abstand in ein Koordinatensystem eingetragen. Es wird eine Ausgleichsfunktion gezeichnet.

Deutung: Es wird der Verlauf der Ausgleichsfunktion beschrieben und es wird die Frage beantwortet, was mithilfe des Graphen über die Reichweite von Gammastrahlung ausgesagt werden kann.

Versuch 7: Schwächung von Gammastrahlung

Durchführung: Das Präparat wird mit 30 cm Abstand vor dem Detektor platziert. Es stehen drei verschiedene Absorptionsmaterialien zur Verfügung: Blei, Eisen und Beton. Es wird eine Scheibe Blei zwischen Detektor und Präparat geschoben, und eine Messung der Impulsrate durchgeführt. Nacheinander wird jeweils eine weitere Scheibe hinzugenommen. Es wird jeweils eine Messung durchgeführt. Die Messdauer muss gegebenenfalls mit der Anzahl der Scheiben erhöht werden. Analog werden mehrere Messungen mit den Eisen- und Beton-Scheiben gemacht.

Auswertung: Die Impulsrate in Imp/s abzüglich der Nullrate wird als Funktion der Dicke des Schwächungsmaterials aufgetragen. Es wird eine Ausgleichsfunktion gezeichnet und deren Verlauf beschrieben.

Mithilfe einer Ausgleichsfunktion lässt sich die sogenannte „Halbwertsschichtdicke“ bestimmen. Es wird die Zählrate \dot{N}_1 mit der Schichtdicke x_1 abgelesen. Dann wird die Zählrate \dot{N}_2 gesucht, die halb so groß ist wie \dot{N}_1 , und die zugehörige Dicke x_2 bestimmt. Die Differenz $x_2 - x_1$ entspricht der Halbwertsschichtdicke $x_{\frac{1}{2}}$.

Deutung: Es wird die Frage beantwortet, welches Material besser zur Abschirmung von Gammastrahlung geeignet ist. Die Entscheidung wird mit der Halbwertsschichtdicke begründet.

3.2 Grundlagen für die Programmierung

Für die Programmierung muss entschieden werden, welche Faktoren im Gegensatz zu einer realen Laborumgebung vernachlässigt werden können. Allgemein werden semi-empirische Modelle genutzt. Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass jedes Präparat genau eine Strahlung aussendet. Die App wurde so konzipiert, dass auch die Dosisleistung angezeigt werden kann. Es wurde somit eine Grundlage gelegt, die im Rahmen dieser Arbeit vorerst nicht weiter genutzt wird. Aufbauend hierauf kann die App leichter erweitert und für andere Anwendungsbereiche genutzt werden. Im Folgenden wird kurz erläutert, welche Variablen berücksichtigt werden.

3.2.1 Der Detektor

Der Detektor muss zweidimensional verschoben werden können. Die Nullrate wird mit $1 \text{ Imp/s} \hat{=} 70 \text{ nSv/h}$ simuliert, die als Untergrund auf die Zählrate des Präparats addiert wird. Wird kein Präparat ausgewählt, zeigt der Detektor nur die Nullrate an. Es wird von einer Ungenauigkeit von $\pm 5\%$ ausgegangen.

Geiger-Müller-Zählrohr: Als erste Möglichkeit steht ein Geiger-Müller-Zählrohr zur Wahl, welches die Impulsrate in Impulsen pro Sekunde misst. Weiter kann das Zählrohr eine Messung über eine bestimmte Zeitspanne wie zum Beispiel 30 s durchführen und zeigt dann die im Zeitintervall gemessenen Impulse an. Dabei zählt das Zählrohr einfach die Impulse hoch, bis die entsprechende Impulsrate in Impulse pro Zeitintervall erreicht ist. Die Messung stoppt nach der eingestellten Zeit automatisch.

Dosisleistungsmessgerät: Als zweite Möglichkeit steht ein Dosisleistungsmessgerät zur Auswahl, welches die Dosisleistung in $\mu\text{Sv/h}$ angibt. So kann analog zu einer Messung der Zählrate die Dosisleistung gemessen werden.

Zur Vereinfachung werden die Dosisleistung \dot{H} und die Zählrate \dot{N} als proportional angesehen. Für die Bestimmung der Zählrate wurde ein Messwert für das entsprechende Strontium-90 Präparat aus dem Laborpraktikum genommen. Die Messung wurde mit einem Geiger-Müller-Zählrohr im Labor aufgenommen. Im Folgenden wird der Zusammenhang 1 angenommen. Die Dosisleistung in $\mu\text{Sv/min}$ wird in eine Zählrate in Imp/min umgerechnet.

$$\dot{N} = 59703,6 \frac{\text{Imp}}{\mu\text{Sv}} \cdot \dot{H} \quad (1)$$

3.2.2 Beschreibung von Alphastrahlung

Es wird von einer Punktquelle als Alphastrahler ausgegangen, die einen kegelförmigen Strahl emittiert. Um die Messung zu vereinfachen, wird angenommen, dass der Strahl mit zunehmendem Abstand leicht auffächert, daher die Kegelform. Es werden zwei Präparate zur Verfügung gestellt, die in Schulen typischerweise vorhanden sind. Es wurde Americium-241 mit einer Aktivität von 0,49 kBq und Radium-226 mit 60 kBq gewählt. Der Strahl hat eine konstante Zählrate \dot{N} , siehe Tabelle 1. Die Zählrate bricht nahezu abrupt ab, wenn die maximale Reichweite der Alphastrahlung in Luft R_L erreicht ist. Diese ist abhängig von der Energie E in MeV und kann über die Formel $R_L = 0,32 \cdot E^{\frac{3}{2}}$ abgeschätzt werden [Funke Digital GmbH, 2021]. Für Americium-241 beträgt die Reichweite in Luft ca. 4 cm, für Radium-226 ca. 3,3 cm.

Tabelle 1: Daten für die Alphastrahler der Augmented Reality Umgebung

Präparat	Aktivität A in kBq	α -Energie E in MeV	Zählrate \dot{N} in Imp/s
Americium-241	0,49	5,486	58,8
Radium-226	60	4,784	7200

Für die Abschirmung von Alphastrahlung können beliebige Materialien genutzt werden. Klassisch wird ein Blatt Papier genutzt, welches ungefähr eine Dicke von 0,15 mm hat. Aufgrund des geringen Durchdringungsvermögens von Alphastrahlung, wird angenommen, dass durch eine beliebige Abschirmung die Strahlung komplett abgeschirmt wird. Die Zählrate bricht in der App daher nach einer Abschirmung beliebiger Dicke einfach ab.

3.2.3 Beschreibung von Betastrahlung

Es wird von einer Punktquelle als Betastrahler ausgegangen. Durch Blenden hinter der Probe wird der Abstrahlwinkel des Präparats reduziert, sodass sich die Strahlung kegelförmig von der Quelle weg ausbreitet. Es wird ein Strontium-90 Präparat mit einer Aktivität von 2,87 kBq zur Verfügung gestellt, siehe Tabelle 2.

Tabelle 2: Kenndaten von Strontium-90 [Vogt und Schultz, 2011]

Präparat	Aktivität A in kBq	β -max.-Energien in keV
Strontium-90	2,87	546

Die Dosisleistung \dot{H} nimmt näherungsweise mit zunehmendem Abstand von der Quelle antiproportional zum Abstandsquadrat ab. Dieser Zusammenhang wird mit der Formel

3 beschrieben. Die antiproportionale Abnahme mit dem Abstandsquadrat wird in der Dosisleistungsfunktion berücksichtigt. Diese wurde dem Buch „Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes“ entnommen [Vogt und Vahlbruch, 2019] und findet sich in Abhängigkeit vom Abstand r in Tabelle 3, genauso wie die resultierende Dosisleistung \dot{H} .

Die Zählrate wird über Formel 1 berechnet. Nach Berücksichtigung der Totzeit des Zählrohrs von $\tau = 100 \mu\text{s}$ ergeben sich die Werte für die gemessene Zählrate, gemäß Tabelle 3. Über die Formel 1 wird eine schon korrigierte Zählrate berechnet, die die Totzeit des Detektors nicht berücksichtigt. Um eine realistische Messung zu ermöglichen, muss die Zählrate mit Formel 2 angepasst werden.

$$\dot{N}_\tau = \frac{\dot{N}}{\dot{N} \cdot \tau + 1} \quad (2)$$

$$\dot{H}(r) = f_\beta(r) \cdot A \quad (3)$$

Tabelle 3: Dosisleistungsfunktion für Strontium-90 ($A = 2,87 \text{ kBq}$) für verschiedene Abstände r [Vogt und Vahlbruch, 2019], die mit Formel 3 resultierende Dosisleistung und entsprechende Zählrate

Abstand r in m	0,01	0,05	0,1	0,2	0,5	1	2
Dosisleistungsfunktion $f_\beta(r)$ in $\frac{\text{mSv}}{\text{hGBq}}$	$1,7 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^3$	$2,0 \cdot 10^3$	450	70	16	2
Dosisleistung \dot{H} in $\mu\text{Sv/h}$	487,900	22,960	5,740	1,291	0,189	0,042	0,005
Zählrate \dot{N} in Imp/min	259 525	20 806	5340	1209	189	42	5

Werden Abschirmungen benutzt, so kommt es zur Schwächung im Material. Für die Dosisleistung nach der Abschirmung wird Formel 4a verwendet, da eine natürliche Exponentialfunktion die Abschirmung von Betastrahlung für den Verwendungszweck ausreichend genau beschreibt.

$$\dot{H}_{\text{Abschirmung}}(r, x) = \dot{H}(r) \cdot \exp(-d \cdot x) \quad (4a)$$

$$\dot{N}_{\text{Abschirmung}}(r, x) = \dot{N}(r) \cdot \exp(-d \cdot x) \quad (4b)$$

Aus dem Laborpraktikum wird für den Absorptionskoeffizienten d für Aluminium $d = 1,084 \frac{1}{\text{mm}}$ und für Polyethylen $d = 0,356 \frac{1}{\text{mm}}$ übernommen. Die Dicke des Abschirmungsmaterials wird mit x bezeichnet. Die Dosisleistung \dot{H} berechnet sich über die

Formel 3. Je nachdem an welcher Stelle die Abschirmung eingesetzt wird, wird $f_\beta(r)$ für die Dosisleistung entsprechend gewählt. Analog kann direkt auch die Zählrate \dot{N} anstatt der Dosisleistung \dot{H} eingesetzt werden, dann ergibt sich die Zählrate nach der Abschirmung mit Formel 4b.

Im Weiteren entsteht in der Abschirmung Bremsstrahlung. Diese findet für die Schulversuche keine Anwendung, wird aber für mögliche Erweiterungen der App direkt berücksichtigt. Wir nehmen für die Dosisleistung der Bremsstrahlung an, dass Formel 5 gilt. Dabei ist die Dosisleistungskonstante $\frac{\Gamma_x}{Z} = 1,6 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mSv m}^2}{\text{h GBq}}$. Die Ordnungszahlen der Abschirmungsmaterialien Z_{eff} sind $Z_{eff} = 13$ für Aluminium und $Z_{eff} = 4,75$ für Polyethylen. Die Aktivität A wird in GBq eingesetzt.

$$\dot{H}_{\text{Bremsstrahlung}} = \frac{\Gamma_x}{Z} \cdot Z_{eff} \frac{A}{r^2} \quad (5)$$

Gemäß Formel 6 ergibt sich hinter einer Abschirmung mit der Dicke x die Dosisleistung im Abstand r .

$$\dot{H}_{\text{hintere}}(r, x) = \dot{H}_{\text{Abschirmung}}(r, x) + \dot{H}_{\text{Bremsstrahlung}}(r) \quad (6)$$

3.2.4 Beschreibung von Gammastrahlung

Es wird von einer Punktquelle als Gammastrahler ausgegangen, die in alle Richtungen strahlt. Als Präparat wird Cobalt-60 mit einer Aktivität von 41,8 kBq genutzt, siehe Tabelle 4.

Tabelle 4: Kenndaten von Cobalt-60 [Vogt und Schultz, 2011]

Präparat	Aktivität A in kBq	Γ_γ in $\frac{\text{mSv m}^2}{\text{h GBq}}$
Cobalt-60	41,8	0,354

Die Dosisleistung nimmt näherungsweise antiproportional zum Abstandsquadrat ab. Mit Formel 7 kann die Dosisleistung ohne Abschirmung \dot{H}_0 in Abhängigkeit vom Abstand r zwischen Quelle und Detektor berechnet werden [Vogt und Schultz, 2011]. Die Dosisleistungskonstante Γ_γ für das Präparat ist Tabelle 4 zu entnehmen.

$$\dot{H}_0(r) = \Gamma_\gamma \frac{A}{r^2} \quad (7)$$

Mit Abschirmung ergibt sich für die Dosisleistung hinter der Abschirmung \dot{H} der Zusammenhang 8 mit $\frac{1}{S}(x)$, dem reziproken Schwächungskoeffizienten für Breitstrahlgeometrie, in Abhängigkeit von der Schichtdicke x [Vogt und Schultz, 2011]. Im Unterschied zur Schmalstrahlgeometrie wird die Streustrahlung, die in der Abschirmwand entsteht, in

der Breitstrahlgeometrie am Detektor berücksichtigt und nicht kollimiert. Der reziproke Schwächungskoeffizient kann abhängig vom Abschirmmaterial und der Schichtdicke angegeben werden, Tabelle 5.

$$\dot{H}(r, x) = \frac{1}{S}(x)\dot{H}_0(r) \quad (8)$$

Tabelle 5: Reziproke Schwächungskoeffizienten $1/S(x)$ [Vogt und Schultz, 2011] für Gammastrahlung von Cobalt-60 für verschiedene Abschirmungsmaterialien

Schichtdicke x in cm	5	10	15	20	25	30	35	40	-
$1/S(x)$ für Beton	0,85	0,65	0,45	0,30	0,19	0,12	0,08	0,05	-
Schichtdicke x in cm	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$1/S(x)$ für Eisen	0,86	0,70	0,60	0,48	0,38	0,28	0,21	0,16	0,12
$1/S(x)$ für Blei	0,65	0,40	0,26	0,15	0,09	0,05	-	-	-

3.2.5 Die Visualisierung

Bei der Visualisierung der Strahlung wurde auf die Unterscheidung von Alpha- und Betastrahlung als Teilchenstrahlung und von Gammastrahlung als elektromagnetische Strahlung aufgebaut, siehe Abschnitt 2.3.1: Beispiele einiger Alltagsvorstellungen. Alphastrahlung wird als Zusammenschluss von vier Kugeln dargestellt. Immer zwei haben die gleiche Farbe. Damit wird ein Heliumkern aus zwei Protonen und zwei Neutronen dargestellt. Betastrahlen werden durch einzelne Kugeln visualisiert, diese bilden Elektronen ab. In dem kegelförmigen Strahl bewegen sich so die Teilchen von der Quelle weg. Da die Energieverteilung von Betastrahlung kontinuierlich ist, nimmt die Dichte der Elektronen mit der Reichweite analog zur Dosisleistung ab. Für die Visualisierung von Gammastrahlung wurde die Verbindung zu anderer elektromagnetischer Strahlung genutzt. Die Quelle der Gammastrahlung emittiert in alle Richtungen sichtbares Licht, wie in Kapitel 2.3.1 vorgeschlagen wird.

3.3 Die entwickelte App

In diesem Abschnitt wird die App vorgestellt, die im Rahmen dieser Arbeit konzipiert wurde. Bei der Benutzung der App sind einige wichtige Aspekte zu beachten, die in diesem Abschnitt mit Beispielen aufgezeigt werden. Die entsprechenden Abbildungen befinden sich im Anhang in Abschnitt A.2.

3.3.1 Einschalten der App

Wird die App geöffnet, erscheint zuerst das Logo von Euratom, die die Programmierung der App unterstützt haben. Wird der Bildschirm berührt, so verschwindet das Logo. Es bleibt der Tisch oder was sich gerade vor der Kamera des Tablets befindet zu sehen. Oben rechts sind drei Punkte abgebildet, die zu einem Auswahlménü führen, siehe Abbildung 10. In dem Auswahlménü sind verschiedene Einstellungsmöglichkeiten für die Visualisierung möglich: Es können entweder die Teilchen, also zum Beispiel die Helium-Kerne, angezeigt werden, die sich von der Quelle zum Detektor bewegen. Oder es kann die Ausbreitung der Strahlung betrachtet werden, die farblich unterlegt ist. Alternativ kann beides zusammen oder nichts von beidem angezeigt werden. Ganz oben in dem Ménü können außerdem die Namen der Präparate ausgeschaltet werden. Worin der Unterschied besteht, wird im nächsten Abschnitt erläutert.

3.3.2 Experimentieren mit der App

Die App erkennt Marker und ergänzt diese durch Geräte oder Materialien zum Experimentieren. Die Marker können entweder QR-Codes sein, die beschriftet werden können, siehe Abbildung 8, oder die Marker sind bildliche Darstellungen der Geräte in der App, siehe Abbildung 9. Wird einer der Marker eingescannt, so erscheint ein Detektor, eine Abschirmung oder eine Strahlungsquelle. An der Quelle kann zwischen den vier verschiedenen Präparaten gewählt werden, siehe Abbildung 12. Wird ein Präparat ausgewählt, so sind jeweils der Name des Präparats, die Strahlungsart und die Aktivität der Quelle angegeben, siehe Abbildung 11. Sind die Namen ausgeschaltet, sind nur noch Zahlen und Aktivitäten zu sehen, siehe Abbildungen 13 und 14. Am Detektor kann die Einheit der Messung eingestellt werden, siehe Abbildung 15. Sind „Imp/s“ eingestellt, so wird ein Messwert in Impulse pro Sekunde angezeigt, siehe Abbildung 16. Ist der Unterpunkt „Imp“ ausgewählt, so kann zuerst eine Zeitspanne ausgewählt werden. Wird dann die Messung gestartet, zählt der Detektor die Impulse über die Zeitspanne hoch, siehe Abbildung 17. An der Abschirmung lassen sich fünf verschiedene Materialien wählen, siehe Abbildung 18. Ist ein Material ausgewählt, so kann durch einen Schieberegler die Dicke verstellt werden, siehe Abbildung 19. Wichtig für das Einscannen ist es, die Marker einzeln und aus sehr kurzer Entfernung zu scannen. Werden Versuche mit der App durchgeführt, so müssen die Messgeräte dabei in der Regel verschoben oder gedreht werden. Wichtig ist es, die Marker zu verschieben und dann erneut einzuscannen, bevor eine Messung gestartet wird. Sollte es zu ungewollten Verschiebungen der Geräte kommen, kann durch ein kurzes Abdecken der Kamera der Einscannprozess neu gestartet werden.

3.4 Physikalisches Vorwissen der Schüler*innen

Bei der geplanten Einheit handelt es sich um eine Doppelstunde, in der die Versuche durchgeführt und ausgewertet werden sollen. Für einen reibungslosen Ablauf brauchen die Schüler*innen einige Grundlagen, die vorausgesetzt werden, und auf denen aufgebaut werden kann.

3.4.1 Nuklidkarte

Ein Grundwissen über den Atombau unterstützt das Verständnis zum radioaktiven Zerfall und ist daher wünschenswert. Die Definition von Isotopen, als Elemente mit gleicher Kernladungszahl Z mit verschiedenen Neutronenzahlen N , wird als Wissen vorausgesetzt, ebenso die Ordnung der Isotope auf der Nuklidkarte nach Protonenzahl Z und Neutronenzahl N . Die Definition eines Nuklids als ein Atom, welches durch die Anzahl der Nukleonen und der Protonen im Kern charakterisiert wird, wäre ebenfalls wünschenswert. Weiter werden die folgenden zwei Schreibweisen genutzt: A_ZX oder $X - A$, wobei X für das jeweilige Elementsymbol steht. Zum Beispiel für Strontium-90 ${}^{90}_{38}\text{Sr}$ oder Sr-90.

3.4.2 Strahlung radioaktiver Stoffe

Um die Visualisierung der Strahlung in der AR Umgebung zu verstehen, müssen die Schüler*innen über die Natur von Alpha-, Beta- und Gammastrahlung Bescheid wissen. Dies sollte auf Grund der großen Bedeutung für das Verständnis der Visualisierung am Stundenbeginn wiederholt werden.

3.4.3 Detektoren und Maßeinheiten

Für die Durchführung der Unterrichtseinheit ist kein detailliertes Wissen über Geiger-Müller-Zählrohre notwendig. Das Wissen, dass es verschiedene Nachweisgeräte für ionisierende Strahlung gibt, kann ebenfalls kurz in der Stunde erläutert werden. Wichtiger ist das Verständnis der Messgrößen: Die Zählrate in Impulse pro Sekunde gibt an, wie viele Strahlungsteilchen im Detektor pro Zeiteinheit registriert werden. Weiter wird die Aktivität als Anzahl der Kernzerfälle pro Sekunde in Becquerel nicht weiter erklärt. Außerdem sollte Hintergrundstrahlung als Folge von natürlicher Radioaktivität thematisiert worden sein.

3.4.4 Methoden zur Versuchsauswertung

Für die Versuchsauswertung wird auf das Zeichnen von Ausgleichsfunktionen zurückgegriffen, dies sollte den Schüler*innen bereits vorher bekannt sein.

4 Entwicklung des Unterrichtskonzepts

4.1 Didaktische Analyse

Die didaktische Analyse stellt ein Planungsinstrument für den Unterricht dar [Kircher und Girwidz, 2020]. In vier Schritten werden Stundenziele festgelegt. Dazu wird eine Zieldimension für die Stunde mithilfe eines Fragenkatalogs nach Kircher und Griwidz (2020) identifiziert. Hierzu wird eine Stichwortliste mit allen relevanten Punkten für die Stunde begonnen. Anschließend werden die Stichpunkte mit dem Fragenkatalog verglichen. Jene Fragen werden ausgewählt, die mit den folgenden Zieldimensionen: Innere Struktur der Physik, Bildungsgehalt, Zukunfts- oder Gegenwartsbedeutung die meisten Übereinstimmungen mit den Stichpunkten aufweisen. Mit dieser Grundlage werden Grobziele formuliert, die am Ende der Stunde erreicht werden sollen. Dazu gehören ein Minimal- und ein Maximalziel. Die Stunde wird auf das Erreichen des Minimalziels hin geplant. Hierfür werden sogenannte Feinziele formuliert, die die Lernziele einzelner Unterrichtsphasen darstellen, dies geschieht beim Erstellen der Unterrichtsskizze in Abschnitt 4.2. Bleibt am Ende noch Zeit, so kann das Erreichen des Maximalziels angestrebt werden. Sind die Grob- und Feinziele formuliert, wird die Stichwortliste mit allen relevanten Inhalten zum Erreichen der Ziele ergänzt. Aus der Liste wird nun ein Sachstrukturdiagramm gebaut, in diesem finden sich alle wichtigen Begriffe, Konzepte und Alltagsvorstellungen, die während der Stunde berücksichtigt werden müssen.

4.1.1 Festlegen einer Zieldimension

Zuerst werden wichtige Bestandteile der zu planenden Stunde festgehalten. Im Mittelpunkt der Stunde wird die Arbeit in der AR Umgebung stehen. Hierfür sollen die Schüler*innen Faktenwissen über die Zusammensetzung von Alpha-, Beta- und Gammastrahlung nutzen, um die Visualisierungen in der AR Umgebung zu erklären. Weiter sollen die Schüler*innen am Ende der Stunde Wissen über grundlegende Begriffe, wie das Durchdringungsvermögen von ionisierender Strahlung, oder Gesetze, wie das Abstands-Quadrat-Gesetz, erarbeitet haben. Außerdem werden wichtige physikalische Methoden durch das Aufstellen von Hypothesen und das eigenständige Experimentieren geschult. Die AR Umgebung wird in der Stunde als Mittel zum Zweck genutzt. Der Stundeninhalt bezieht sich auf die innere Struktur der Physik, die vermittelt werden soll.

4.1.2 Grobziele formulieren

Beim Formulieren der Grobziele müssen unter anderem die Zielsetzungen von Experimenten berücksichtigt werden, da die Versuche in der AR Umgebung das Zentrum der Unterrichtsstunde bilden. Ob der Schwerpunkt dabei auf prozessbezogenen oder auf inhaltsbezogenen Kompetenzen liegt, wird mithilfe der Analyse von Nawrath et al. (2011) für die Experimente aus Kapitel 3.1 weiter untersucht. Die experimentellen Teilkompetenzen wurden mit der Skala bewertet und entsprechend ihrer Wichtigkeit für die Experimente markiert, siehe Abbildung 2. Das Beobachten und Messen findet in der AR Umgebung statt. Daher liegt hier definitiv ein Schwerpunkt der Stunde. Weiter sind auch die Auswertung und Deutung der Experimente von Bedeutung. Weniger Bedeutung erhalten die Teilkompetenzen: Fragestellung entwickeln, Daten aufbereiten und Vermutungen aufstellen, da dies abhängig von den Vorkenntnissen der Schüler*innen im Unterrichtsgespräch gemeinsam stattfindet. Die Schüler*innen müssen keine Experimente aufbauen und auch das Planen der Versuche ist durch die bereitgestellten Materialien in der AR-Umgebung sehr eingeschränkt und steht nicht im Mittelpunkt der Stunde.

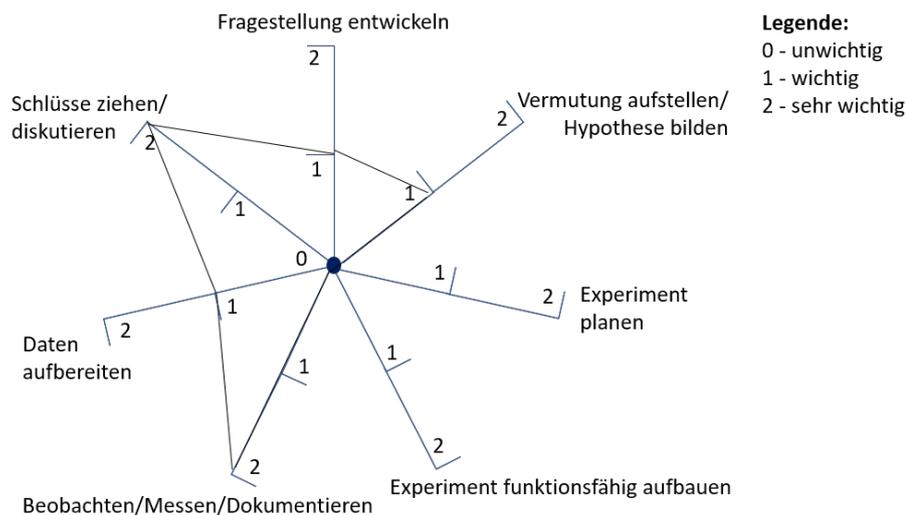


Abbildung 2: Schwerpunkte zur experimentellen Kompetenzentwicklung für die Versuche in einer AR Umgebung aus Kapitel 3.1 nach Nawrath et al. (2011)

Neben dem Experimentieren steht somit das Erarbeiten der Unterschiede von Alpha-, Beta- und Gammastrahlung durch ihre Reichweite und ihr Durchdringungsvermögen im Vordergrund der Stunde. Die Tablets übernehmen den Zweck der Wissensvermittlung und Veranschaulichung. Daher wird der Schwerpunkt auf inhaltsbezogene Kompetenzen gelegt und es werden die folgenden Grobziele formuliert:

- G1 Die Schüler*innen können mithilfe der Daten aus den Experimenten zu der Reichweite von Alpha-, Beta- und Gammastrahlung die Reichweiten der untersuchten ionisierenden Strahlung in Luft vergleichen.

G2 Die Schüler*innen sind in der Lage auf Grundlage der experimentellen Daten zum Durchdringungsvermögen zu bewerten, welche Materialien besser zur Schwächung bzw. Abschirmung von ionisierender Strahlung geeignet sind.

Das erste Grobziele stellt ein Minimalziel für den Unterricht dar. Das zweite Grobziel ist ein Maximalziel. Diese Ziele finden sich in den inhaltlichen Kompetenzen zum Themenbereich Atom- und Kernphysik für dem Doppeljahrgang 9/10 im Kerncurriculum [Niedersächsisches Kultusministerium, 2015].

4.1.3 Sachstrukturdiagramm

Ein Sachstrukturdiagramm enthält alle fachlichen Lernvoraussetzungen und Lernziele [Kircher, 2013b]. Die Struktur des Diagramms ergibt sich aus dem Aufbau der Physik. Mit Pfeilen werden Zusammenhänge aufgezeigt, die erstmal nicht näher definiert sind [Kircher, 2013b]. So erhalten Lehrkräfte einen Überblick über die Unterrichtsthemen und eine mögliche Strukturierungshilfe für die Reihenfolge von Teilthemen [Kircher, 2013b]. Neben den fachlichen Inhalten wurden auch die Visualisierung und die dafür notwendigen Vorkenntnisse im Diagramm mit aufgenommen, da die AR Umgebung einen großen Teil der Stunde ausmacht. Das Diagramm für die Sachstruktur der Unterrichtsstunde für die Schulversuche zur Radioaktivität befindet sich in Abbildung 3.

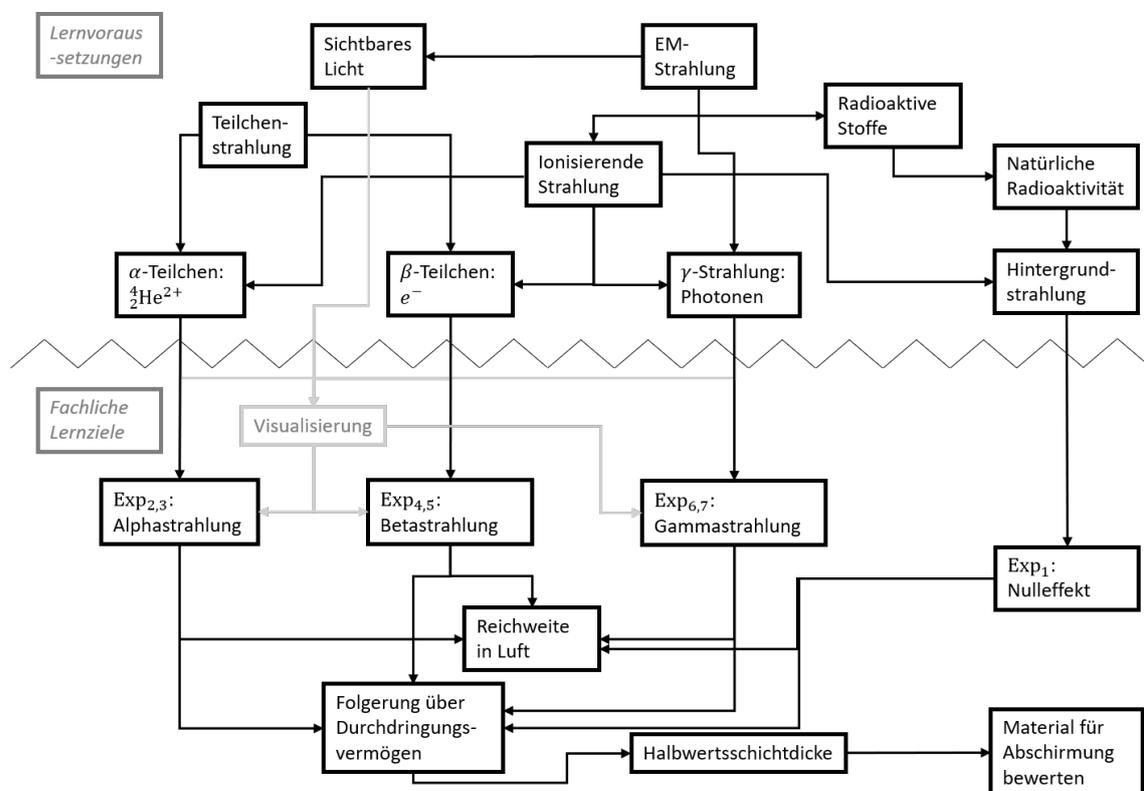


Abbildung 3: Sachstrukturdiagramm für die Versuche zur Radioaktivität in AR

4.2 Methodische Ausgestaltung

Ist die Grobplanung einer Unterrichtsstunde abgeschlossen, kann die detailliertere Planung ansetzen. Mithilfe des Sachstrukturdiagramms und der Grobziele können Lernziele für die einzelnen Unterrichtssequenzen formuliert werden, die über die fachlichen Ziele hinausgehen. Außerdem muss die Unterrichtsskizze durch passende Methoden und die benötigten Medien ergänzt werden. Die Methoden helfen Zielsetzungen zu erreichen und Unterricht differenziert zu gestalten [Kircher, 2013a]. Die Grundidee des Unterrichts besteht darin, nacheinander die zwei Eigenschaften, Reichweite und Durchdringungsvermögen von Strahlung radioaktiver Präparate, zu untersuchen. Angefangen mit einer Orientierungsphase, in der die Schüler*innen die App kennenlernen, kann zuerst die eine Eigenschaft und im Anschluss die zweite Eigenschaft mit der AR App untersucht werden. Es bietet sich an, jeweils eine Unterrichtsstunde einer Eigenschaft zu widmen. Das Ziel der ersten Stunde wird „G1: Die Schüler*innen vergleichen mithilfe der Daten aus den Experimenten zu der Reichweite von Alpha-, Beta- und Gammastrahlung die Reichweite der untersuchten ionisierenden Strahlung in Luft.“ sein. Das Ziel der zweiten Stunde bildet „G2: Die Schüler*innen bewerten auf der Grundlage der experimentellen Daten zum Durchdringungsvermögen, welche Materialien besser zur Schwächung bzw. Abschirmung von ionisierender Strahlung geeignet sind.“. Die Planung beider Stunden orientiert sich am Modell für forschend entdeckenden Unterricht, welches in Abschnitt 2.4 vorgestellt wurde. Die grobe Ausarbeitung der einzelnen Unterrichtsphasen erfolgt in Form einer Tabelle, die die Phasen des Modells, den Inhalt und die Lernziele beinhaltet, siehe Tabelle 6.

Tabelle 6: Ausarbeitung der Unterrichtsphasen mit dem Modell zum forschend entdeckenden Unterricht, Abb. 1

Phase	Lernziel	Inhalt
Orientieren		<ul style="list-style-type: none"> • Die Schüler*innen erkunden die AR Umgebung und beschriften die QR-Codes • Beobachtungen werden gesammelt. • Material in der App wird festgehalten. • Visualisierung wird besprochen und die Zusammensetzung der Strahlungsarten wird wiederholt. • Die Einheit der Zählrate wird wiederholt.
Forschungsziel festlegen		<ul style="list-style-type: none"> • Es wird ein übergeordnetes Forschungsziel festgelegt, also das, was mit der App untersucht werden kann. • Ein mögliches Ziel wäre: „Wir untersuchen die Eigenschaften von 4 radioaktiven Präparaten in der AR Umgebung und treffen Aussagen über ihre Reichweite und ihr Durchdringungsvermögen“

Fortsetzung von Tabelle 6: Ausarbeitung der Unterrichtsphasen mit dem Modell zum forschend entdeckenden Unterricht, Abb. 1

Phase	Lernziel	Inhalt
Untersuchung planen Reichweite		<ul style="list-style-type: none"> • Es werden drei Versuchsprotokolle angelegt, die Vorlage befindet sich bei den Druckvorlagen im Anhang A.4.2. • Im Plenum wird die Durchführung besprochen. • Es wird der Aufbau besprochen.
Hypothese aufstellen Reichweite von α - β - und γ -Strahlung		<ul style="list-style-type: none"> • Im Plenum werden Hypothesen geäußert, welches Verhalten der Strahlung die Schüler*innen erwarten.
Hypothese prüfen	<p>f1 Die Schüler*innen sind in der Lage Messungen in AR zu machen und dokumentieren ihre Daten in Wertetabellen.</p> <p>f2 Die Schüler*innen können die Versuche nach den Anweisungen von Kapitel 3.1: Versuche 1, 2, 4 und 6 auswerten.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Es wird eine Nulleffektmessung durchgeführt. • Die Schüler*innen arbeiten mit der AR Umgebung eigenständig und nehmen Messwerte auf. • Die Messdaten werden entsprechend Kapitel 3.1 ausgewertet.
Ergebnisse festhalten	f3 Die Schüler*innen sind in der Lage ihre Ergebnisse als qualitative Aussagen zu formulieren, beispielsweise: „Wird die Zählrate der Strahlung des Americium-241 Präparats mehr als einige Zentimeter von der Quelle entfernt gemessen, so wird nur der Nulleffekt gemessen.“	<ul style="list-style-type: none"> • Die Ergebnisse der Auswertung werden als qualitative Aussagen im Plenum besprochen und festgehalten.
Ergebnisse auf den ersten Teil des Forschungsziels zurückbeziehen	G1 Die Schüler*innen können mithilfe der Daten aus den Experimenten zu der Reichweite von Alpha-, Beta- und Gammastrahlung die Reichweiten der untersuchten ionisierenden Strahlung in Luft vergleichen.	<ul style="list-style-type: none"> • Die Ergebnisse der einzelnen Versuche werden miteinander verglichen und qualitative Aussagen getroffen.
Untersuchung planen Durchdringungsvermögen		<ul style="list-style-type: none"> • Es werden weitere Versuchsprotokolle angelegt. • Im Plenum wird die Durchführung besprochen. • Es wird eine Aufbauskizze gezeigt.
Hypothese aufstellen Abschirmung von α - β - und γ -Strahlung		<ul style="list-style-type: none"> • Im Plenum werden Hypothesen geäußert, welches Verhalten der Strahlung die Schüler*innen erwarten.
Hypothese prüfen	<p>f1 Die Schüler*innen sind in der Lage Messungen in AR zu machen und dokumentieren ihre Daten in Wertetabellen.</p> <p>f2 Die Schüler*innen können die Versuche nach den Anweisungen von Kapitel 3.1: Versuche 1, 2, 4 und 6 auswerten.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Die Schüler*innen arbeiten mit der AR Umgebung eigenständig und nehmen Messwerte auf. • Die Messdaten werden entsprechend Kapitel 3.1 ausgewertet.
Ergebnisse festhalten	f3 Die Schüler*innen sind in der Lage ihre Ergebnisse als qualitative Aussagen zu formulieren.	<ul style="list-style-type: none"> • Die Ergebnisse der Auswertung werden als qualitative Aussagen im Plenum besprochen und festgehalten.

Fortsetzung 2 von Tabelle 6: Ausarbeitung der Unterrichtsphasen mit dem Modell zum forschend entdeckenden Unterricht, Abb. 1

Phase	Lernziel	Inhalt
Ergebnisse auf den zweiten Teil des Forschungsziels zurückbeziehen	f4 Die Schüler*innen können mithilfe der Daten aus den Experimenten zum Durchdringungsvermögen von Alpha-, Beta- und Gammastrahlung das Durchdringungsvermögen der untersuchten ionisierenden Strahlung in Luft vergleichen.	<ul style="list-style-type: none"> Die Ergebnisse der einzelnen Versuche werden miteinander verglichen und qualitative Aussagen getroffen.
Ergebnisse reflektieren	G2 Die Schüler*innen sind in der Lage auf Grundlage der experimentellen Daten zum Durchdringungsvermögen zu bewerten, welche Materialien besser zur Schwächung bzw. Abschirmung von ionisierender Strahlung geeignet sind.	<ul style="list-style-type: none"> Es wird besprochen, was die verschiedenen Reichweiten und Durchdringungsvermögen in der Umwelt und im praktischen Umgang mit radioaktiven Materialien bedeuten.

4.2.1 Unterrichtsskizze

Eine Unterrichtsskizze enthält tabellarisch den gesamten Unterrichtsverlauf. In dieser Arbeit wird das Schema nach Peterssen [Kircher, 2013a] genutzt. Dieses enthält Informationen über die eingeplante Zeit einer Unterrichtssequenz, über das geplante Verhalten der Lehrkraft und das erwartete Verhalten der Schüler*innen. Weiter werden die verwendeten Sozialformen genannt sowie die Medien, die benutzt werden sollen. Die letzte Spalte enthält einen didaktischen Kommentar. Hier wird festgehalten, was mit der Phase bezweckt wird. In Tabelle 6 sind alle Phasen des Unterrichts festgehalten, die für eine erfolgreiche Erarbeitung der Themen durchlaufen werden sollen. Zu einer Unterrichtsstunde gehört zusätzlich noch eine Begrüßung und ein Abschluss der Stunde. Weiter soll die App evaluiert werden. Die Entwicklung der Evaluation befindet sich in Abschnitt 5: Wie kann Unterricht analysiert werden?. Für die Bewertung muss Zeit eingeplant werden. Die Unterrichtsskizze der ersten Stunde zur Reichweite der Strahlung radioaktiver Stoffe ist in Tabelle 7 zu sehen. Die Unterrichtsskizze zum Durchdringungsvermögen ist in Tabelle 8 zu finden.

Unterrichtsskizze zur Untersuchung der Reichweite

Tabelle 7: Unterrichtsskizze zum Thema Reichweite von Strahlung radioaktiver Stoffe

Zeit in min.	Phase/ Sozialform/ Medien	Verhalten der Lehrkraft	Erwartetes Verhalten der Schüler*innen	Didaktischer Kommentar
5	Begrüßung/ Vorstellung Frontalunterricht <ul style="list-style-type: none"> • Plakat: Verhaltensregeln (siehe Anhang A.4.1) 	<ul style="list-style-type: none"> • begrüßt die Klasse • stellt sich vor • ordnet das Stundenthema in die Unterrichtseinheit Radioaktivität ein • stellt die Verhaltensregeln für den Umgang mit Tablets vor • informiert über das Stundenthema: Eigenschaften von Strahlung radioaktiver Stoffe 	<ul style="list-style-type: none"> • stellen gegebenenfalls Rückfragen 	Die Schüler*innen werden über den Grund informiert, warum eine Gastlehrkraft anwesend ist. Weiter erhalten sie einen Überblick über die Arbeit mit den Tablets. Außerdem muss an die letzte Stunde kurz angeknüpft werden, um die Experimente zu den theoretischen Grundlagen zu ordnen zu können.
10	Abfrage des Vorwissens Multiple Choice Test <ul style="list-style-type: none"> • Fragebögen (siehe Abb. 26) 	<ul style="list-style-type: none"> • verteilt die Fragebögen 	<ul style="list-style-type: none"> • beantworten die Fragen 	Mit der Abfrage des Vorwissens wird der Lernstand zu Beginn der Stunde festgehalten. So kann der Wissensstand am Stundenende mit dem am -anfang verglichen werden und im besten Fall ein Lernfortschritt verzeichnet werden.
5	Orientieren Einzelarbeit <ul style="list-style-type: none"> • QR-Codes • Tablets 	<ul style="list-style-type: none"> • verteilt das Material • stellt Aufgabe: Wir wollen mit der App die Reichweite und das Durchdringungsvermögen von der Strahlung radioaktiver Stoffe untersuchen. Dazu werden Messgeräte benötigt. Diese sind durch QR-Codes gegeben. Scannt diese ein und findet heraus, welcher QR-Code welches Gerät darstellt. Beschriftet dann die QR-Codes. 	<ul style="list-style-type: none"> • erkunden die AR Umgebung • beschriften die QR-Codes 	In dieser Phase sollen die Schüler*innen die App erkunden und sich eigenständig damit auseinandersetzen. Bei Problemen kann die Lehrkraft individuell eingreifen.
10	Erkenntnisse zusammentragen Klassengespräch <ul style="list-style-type: none"> • Tafelbild (siehe Abb. 21) 	<ul style="list-style-type: none"> • hält Stichpunkte an der Tafel fest • weist auf wichtige Aspekte der App hin, siehe Abschnitt 3.3 • lässt die Visualisierungen erklären 	<ul style="list-style-type: none"> • sammeln Eigenschaften der App • geben die Zusammensetzung der Strahlungsarten wieder • erklären den Begriff Zählrate 	Es werden alle Erkenntnisse zusammengetragen, um den Schüler*innen die Möglichkeit zu geben, ihre Ergebnisse zu ordnen. Weiter ist es wichtig, da hier festgestellt wird, ob die Visualisierungen, die Messgeräte und die Einheiten bekannt sind. Die Verbindung zwischen dem theoretischen Wissen und der Anwendung wird so hergestellt und kann gegebenenfalls durch Wiederholungen zusätzlich beleuchtet werden.

Fortsetzung von Tabelle 7: Unterrichtsskizze zum Thema Reichweite von Strahlung radioaktiver Stoffe

Zeit in min.	Phase/ Sozialform/ Medien	Verhalten der Lehrkraft	Erwartetes Verhalten der Schüler*innen	Didaktischer Kommentar
5	Durchführung besprechen Klassengespräch <ul style="list-style-type: none"> • Versuchsprotokoll 1, 2 und 4 (siehe Anhang A.4.2) 	<ul style="list-style-type: none"> • erklärt, dass zuerst nur die Reichweite untersucht werden soll • stellt die Arbeitsblätter vor • stellt die Durchführung vor 	<ul style="list-style-type: none"> • stellen Rückfragen 	Zuerst wird eine Zielsetzung für die Experimente besprochen. Mit dem Aufstellen eines Forschungsziels erhält das Experimentieren eine Zielrichtung. Das Ziel lautet: Wir untersuchen die Reichweite von α -, β - und γ -Strahlung. Weiter erhält die Stunde dadurch einen wichtigen roten Faden, der am Ende der Stunde wieder aufgegriffen werden kann. Hier kann auch eine Idee der Schüler*innen aus der Orientierungsphase aufgegriffen werden. Weiter wird die Durchführung besprochen, um Unklarheiten zu vermeiden.
30	Experimente (Ablauf nach Tabelle 6: Reichweite) Gruppenarbeit <ul style="list-style-type: none"> • Tablets • QR-Codes • Versuchsprotokoll 1, 2 und 4 (siehe Anhang A.4.2) 	<ul style="list-style-type: none"> • gibt Hilfestellung 	<ul style="list-style-type: none"> • stellen Hypothesen zum Versuchsausgang auf • führen die Versuche mit der App durch und dokumentieren ihre Ergebnisse • werten die Messdaten aus 	In der Phase der Experimente findet freies Arbeiten statt. Die Schüler*innen erhalten die Möglichkeit, alle Experimente in ihrer eigenen Geschwindigkeit durchzuführen. Durch die vorgefertigten Gerüste der Versuchsprotokolle ist ein Leitfaden gegeben, an dem sie sich orientieren können. Die Lehrkraft steht ebenfalls für Fragen zur Verfügung. Je nach Klasse kann das Festhalten von Zwischenergebnissen ebenfalls hilfreich sein. In diesem Fall werden die Arbeitsblätter in regelmäßigen Abständen mit der Klasse zusammen ausgefüllt und besprochen.
20	Ergebnisse zusammentragen Schüler*innen-Kette <ul style="list-style-type: none"> • Tafelbild (siehe Abb. 22) 	<ul style="list-style-type: none"> • fordert die Klasse auf, die Ergebnisse vorzustellen • notiert die genannten Punkte an der Tafel 	<ul style="list-style-type: none"> • stellen die Ergebnisse der Versuche vor • vergleichen die Ergebnisse der einzelnen Versuche • formulieren qualitative Aussagen zu den Versuchsergebnissen 	Diese Phase ist wichtig, um die Ergebnisse zu sichern. Die Lehrkraft muss strukturiert die Ergebnisse festhalten, um den Lernprozess der Schüler*innen zu unterstützen. Hier werden Ergebnisse in einer Klassendiskussion gesammelt. So werden Unklarheiten direkt von den Mitschüler*innen beantwortet. Die Lehrkraft ist erstmal nur die Schreibkraft und greift nur ein, wenn die Schüler*innen nicht weiter kommen. Hier kann die Lehrkraft durch gezielte Impulsfragen die Erarbeitung und Ergebnissicherung lenken.
5	Verabschiedung Frontalunterricht	<ul style="list-style-type: none"> • fasst die Ergebnisse der Stunde kurz zusammen • gibt einen Ausblick auf die Versuche mit dem Durchdringungsvermögen • verabschiedet die Klasse 		Die Lehrkraft fasst die Stundenergebnisse kurz zusammen und schließt so das Thema ab. Weiter wird eine Verbindung zur nächsten Stunde gezogen, in dem ein Ausblick auf die kommenden Versuche gegeben wird.

Unterrichtsskizze zur Untersuchung des Durchdringungsvermögens

Tabelle 8: Unterrichtsskizze zum Thema Durchdringungsvermögen von Strahlung radioaktiver Stoffe

Zeit in min.	Phase/ Sozialform/ Medien	Verhalten der Lehrkraft	Erwartetes Verhalten der Schüler*innen	Didaktischer Kommentar
2	Begrüßung Frontalunterricht	<ul style="list-style-type: none"> • begrüßt die Klasse 		
10	Wiederholung Frontalunterricht	<ul style="list-style-type: none"> • fordert die Schüler*innen auf, kurz die Ergebnisse der letzten Stunde zu wiederholen 	<ul style="list-style-type: none"> • fassen die Erkenntnisse zur Reichweite der untersuchten Strahlung aus der letzten Stunde zusammen 	Die Schüler*innen sollen durch die kurze Wiederholung wieder in das Thema finden. Es werden auch die wichtigsten Eigenschaften der App wiederholt. So können sich die Schüler*innen an die Arbeit mit der App von letzter Stunde erinnern.
3	Durchführung besprechen Frontalunterricht <ul style="list-style-type: none"> • Versuchsprotokoll 3 und 5 (siehe Anhang A.4.2) 	<ul style="list-style-type: none"> • erklärt, dass das Durchdringungsvermögen untersucht werden soll • stellt die Arbeitsblätter vor • stellt die Durchführung vor 	<ul style="list-style-type: none"> • stellen Rückfragen 	Nach der kurzen Wiederholung wird die Durchführung besprochen. Die Schüler*innen können sich auf den Arbeitsblätter die Aufgaben durchlesen. Die Lehrkraft kann auf wichtige Punkte hinweisen.
35	Experimente (Ablauf nach Tabelle 6: Durchdringungsvermögen) Gruppenarbeit <ul style="list-style-type: none"> • Tablets • QR-Codes • Versuchsprotokoll 3 und 5 (siehe Anhang A.4.2) • abgestufte Lernhilfen (siehe Abschnitt 4.3.3) 	<ul style="list-style-type: none"> • gibt Hilfestellung • weist auf abgestufte Lernhilfen hin 	<ul style="list-style-type: none"> • stellen Hypothesen zum Versuchsausgang auf • führen die Versuche mit der App durch und dokumentieren ihre Ergebnisse • werten die Messdaten aus 	In der Phase der Experimente findet freies Arbeiten statt. Die Schüler*innen können wieder in ihrer eigenen Geschwindigkeit arbeiten. Durch die Versuchsprotokolle ist ebenfalls wieder ein Leitfaden gegeben, an dem sie sich orientieren können. Mit den abgestuften Lernhilfen können die Schüler*innen die Auswertung selbständig bewältigen. Die Lehrkraft steht ebenfalls für Fragen zur Verfügung. Je nach Klasse kann das Festhalten von Zwischenergebnissen ebenfalls hilfreich sein. In diesem Fall werden die Arbeitsblätter in regelmäßigen Abständen mit der Klasse zusammen ausgefüllt und besprochen.
20	Ergebnisse zusammentragen Schüler*innen-Kette <ul style="list-style-type: none"> • Tafelbild (siehe Abb. 23) 	<ul style="list-style-type: none"> • fordert die Klasse auf, die Ergebnisse vorzustellen • notiert die genannten Punkte an der Tafel 	<ul style="list-style-type: none"> • stellen die Ergebnisse der Versuche vor • vergleichen die Ergebnisse der einzelnen Versuche • formulieren qualitative Aussagen zu den Versuchsergebnissen • nutzen die kleine Halbwertsschichtdicke von Blei als Argument für Blei als beste Abschwächung von Gammastrahlung 	Diese Phase ist wichtig, um die Ergebnisse zu sichern. Die Lehrkraft muss strukturiert die Ergebnisse festhalten, um den Lernprozess der Schüler*innen zu unterstützen. Hier werden Ergebnisse in einem Klassengespräch gesammelt. Die Schüler*innen stellen ihre Auswertungen vor und erklären, wie sie zu ihren Deutungen gekommen sind. Fehlerhafte Aussagen können von Mitschüler*innen aufgegriffen und berichtigt werden.

Fortsetzung von Tabelle 8: Unterrichtsskizze zum Thema Durchdringungsvermögen von Strahlung radioaktiver Stoffe

Zeit in min.	Phase/ Sozialform/ Medien	Verhalten der Lehrkraft	Erwartetes Verhalten der Schüler*innen	Didaktischer Kommentar
15	Arbeit mit der AR Umgebung evaluieren Einzel- oder Partnerarbeit <ul style="list-style-type: none"> • Evaluationsbogen (siehe Anhang Abb. 27) • Lernzielkontrolle (siehe Anhang Abb. 26) 	<ul style="list-style-type: none"> • verteilt die Evaluationsbögen • verteilt die Lernzielkontrollen 	<ul style="list-style-type: none"> • beantworten die Fragen • besprechen sich gegebenenfalls mit ihrem Sitznachbarn 	Die Evaluation der Stunde gilt allem voran der Bewertung der AR Umgebung. Weiter wird eine Lernzielkontrolle durchgeführt. Diese dient dazu, den Lernzuwachs durch die AR Experimente festzuhalten.
5	Verabschiedung Frontalunterricht	<ul style="list-style-type: none"> • verabschiedet sich • bedankt sich für die Mitarbeit 		

4.3 Material

Bei der Erstellung der Materialien muss deren jeweilige Funktion berücksichtigt werden, vergleiche Kapitel 2.2.2. In der Unterrichtsskizze wurde bereits auf die entsprechenden Arbeitsblätter und Tafelbilder hingewiesen, diese befinden sich im Anhang A.4.

4.3.1 Tafelbilder

Das erste Tafelbild dient zum Festhalten wichtiger Eigenschaften der AR Umgebung. Darüber hinaus muss das Tafelbild Platz für eine Wiederholung der Zusammensetzung der Strahlungsarten haben. Als Tafelbild wird eine Mind-Map gewählt. So können die Schüler*innen alle relevanten Punkte der App aufzählen, und das Tafelbild kann nebenbei mit ihren Anmerkungen aufgebaut werden. Die Lehrkraft sollte darauf achten, die Formulierungen der Schüler*innen zu übernehmen. Erforderliche Korrekturen müssen aktiv im Plenum diskutiert werden, damit die Schüler*innen direktes Feedback erhalten. Darüber hinaus unterstützt die Besprechung die visuell verfügbaren Informationen. Ein Vorschlag für das Tafelbild befindet sich im Anhang in Abbildung 21.

Ein weiteres Tafelbild wird jeweils am Ende der ersten und zweiten Stunde erstellt, um die erarbeiteten Inhalte festzuhalten. Dieses Tafelbild muss übersichtlich geplant werden und wieder mit den Schüler*innen zusammen erstellt werden. Erstmal müssen die Messwerte aus den Experimenten festgehalten werden. Eine Auswertung in Form von Graphen können die Schüler*innen auf den verfügbaren Arbeitsblättern eigenständig durchführen. Die Deutung der Ergebnisse muss an der Tafel festgehalten werden. Vorschläge für die Tafelbilder befinden sich in den Abbildungen 22 und 23 im Anhang.

4.3.2 Arbeitsblätter

Für den Hauptteil der Stunde müssen Arbeitsblätter geplant werden, die die Funktion eines Versuchsprotokolls übernehmen. Das heißt, zuerst muss eine klare inhaltliche Verbindung zur Theorie hergestellt werden. Hierzu wird die Forschungsfrage formuliert, die Durchführung festgehalten und eine Skizze gezeichnet. Weiter sind alle wichtigen Arbeitsschritte vorgegeben und können in der vorgeschlagenen Reihenfolge abgearbeitet werden. Leistungsstärkere Schüler*innen können sich ohne weitere Hilfsmittel an den Arbeitsschritten orientieren. Für leistungsschwächere Schüler*innen können weitere Tipps zur Verfügung gestellt werden. Die Arbeitsblätter stellen eine Differenzierungsmöglichkeit dar, die individuell an Klassen angepasst werden können. Mit leistungsstärkeren Klassen können die Durchführungen gemeinsam im Plenum besprochen werden. Für unerfahrenere Klassen mit forschend entdeckendem Unterricht können die Durchführungen vorgegeben werden. Die Vorlagen für die Versuchsprotokolle und deren Musterlösungen befinden sich im Anhang A.4.2. Die Arbeitsblätter können ab dem Zeitpunkt eingesetzt werden, an dem das erste Tafelbild fertig gestellt wurde. Während der Experimentierphase können die Arbeitsblätter für eine Besprechung von Zwischenergebnissen an der Tafel genutzt werden, indem Teile der Auswertung gemeinsam an beispielhaften Daten durchgeführt werden.

4.3.3 Abgestufte Lernhilfen

Abgestufte Lernhilfen sind ein Methoden-Werkzeug, welches selbstreguliertes Arbeiten fördert und die Schüler*innen zum aktiven Problemlösen auffordert [Studienseminar Koblenz, 2017]. Die Lehrkraft hat so mehr Zeit, um einzelnen Schüler*innen gezielt zu helfen [Studienseminar Koblenz, 2017]. In den geplanten Stunden bieten sich abgestufte Lernhilfen vorrangig bei der Bestimmung der Halbwertsschichtdicke an. Es stehen vier Abstufungen zur Verfügung. Die erste Hilfestellung beschäftigt sich mit der Definition der Halbwertsschichtdicke. Der zweite Tipp beschreibt die Bestimmung der Halbwertsschichtdicke. Die letzten zwei Unterstützungen geben an, was aus den bestimmten Werten gefolgert werden kann. Die abgestuften Lernhilfen sind in Abbildung 4 zu finden.

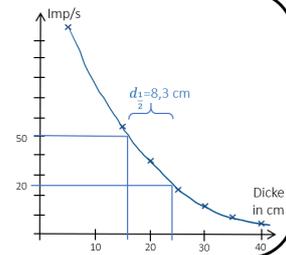
Weiter ist ein Tipp für die Umrechnung von Impulse pro 30 Sekunden in Impulse pro Sekunde sinnvoll, siehe Abbildung 5. Außerdem werden Schüler*innen Probleme beim Zeichnen einer Ausgleichsfunktion haben, ein entsprechender Tipp ist in Abbildung 6 zu finden.

Tip 1: Definition

Die Halbwertsschichtdicke ist die Schichtdicke, die die Zählrate auf die Hälfte schwächt.

Tip 2: Bestimmung der Halbwertsschichtdicke

1. Trage deine Messwerte in einen Graphen ein und zeichne eine Ausgleichsfunktion.
2. Zeichne zwei waagerechte Geraden in den Graphen ein. Die erste Gerade zeichne bei einer großen Zählrate ein. Die zweite Gerade wird bei der Hälfte der Zählrate eingezeichnet. Zum Beispiel bei 50 Imp/s und bei 25 Imp/s.
3. Bestimme den Schnittpunkt der waagerechten Geraden mit der Ausgleichsfunktion.
4. Die Differenz der x-Werte ist die Halbwertsschichtdicke.

**Tip 3: Aussagekraft der Halbwertsschichtdicke**

Mit der Halbwertsschichtdicke ist eine Kriterium gegeben, um das Abschwächungsvermögen von γ -Strahlung verschiedener Materialien zu charakterisieren. Je kleiner die Halbwertsschichtdicke, desto schneller sinkt die Zählrate mit zunehmender Dicke.

Tip 4: Lösung

Es folgt: Je kleiner die Halbwertsschichtdicke eines Materials, desto besser schirmt dieses γ -Strahlung ab.

Abbildung 4: Vier abgestufte Lernhilfen zur Unterstützung der Bestimmung der Halbwertsschichtdicke

Tip: Umrechnung von Imp/30s zu Imp/s

Beispiel: $178 \frac{\text{Imp}}{30\text{s}} = 6 \frac{\text{Imp}}{\text{s}}$

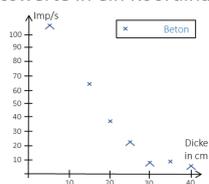
$$1 \frac{\text{Imp}}{30\text{s}} = \frac{1}{30} \frac{\text{Imp}}{\text{s}}$$

Abbildung 5: Lernhilfe zur Unterstützung der Umrechnung von Impulse pro 30 Sekunden in Impulse pro Sekunde

Tip: Zeichnen einer Ausgleichsfunktion

1. Trage alle Messwerte in ein Koordinatensystem ein

Zum Beispiel:



2. Versuche, den Verlauf der Punkte zu beschreiben

Zum Beispiel: Die Zählrate nimmt mit zunehmender Dicke des Materials ab. Der Verlauf der Punkte ist scheinbar exponentiell.

3. Zeichne eine Funktion, die die Mehrheit der Punkte trifft

Trifft die Funktion einen Punkt nicht, ist dies nicht schlimm, es sollte allerdings die Mehrheit der Punkte getroffen werden

Zum Beispiel:

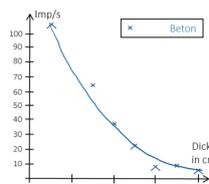


Abbildung 6: Abgestufte Lernhilfen zur Unterstützung des Zeichnens einer Ausgleichsfunktion

4.4 Versuche in der AR Umgebung als Wiederholung von Eigenschaften von Alpha-, Beta- und Gammastrahlung

Wurde das Thema Radioaktivität bereits vollständig in der Schule behandelt, so kennen die Schüler*innen die Eigenschaften von Alpha-, Beta- und Gammastrahlung bereits. Die Versuche in der AR Umgebung können an dieser Stelle als Wiederholung eingesetzt werden. Die Stunde soll weniger auf die verschiedenen Strahlungsarten aufbauen, sondern mehr auf deren Eigenschaften. Als Voraussetzung muss gegeben sein, dass die Schüler*innen die Strahlungsarten und ihre Eigenschaften kennen. Dann können die Schüler*innen mit der App die gegebenen Präparate untersuchen und die emittierte Strahlung der Präparate einer Strahlungsart zuordnen. Die App unterstützt das Unterdrücken der Namen der Präparate. Von einem Ausschalten der Visualisierung wurde Abstand genommen, da die App noch sehr sprunghaft ist. Ein Ausrichten der Strahlungsquelle und des Detektors ohne Visualisierung ist schwierig und zeitaufwendig. Nach einer Orientierungsphase, in der die Schüler*innen die App kennenlernen, wird gemeinsam die Untersuchung der Präparate geplant. Hier kann zunächst nur die Reichweite untersucht werden. Die Abschirmungen sind strahlungsartspezifisch. In der App sind somit keine Werte für das Abschirmungsvermögen von Betastrahlung durch Beton oder von Gammastrahlung durch Aluminium hinterlegt. Für einen reibungslosen Experimentiervorgang ist wichtig, dass vor der Untersuchung des Durchdringungsvermögens bekannt ist, welches Präparat welche Strahlung emittiert. In einer ersten Unterrichtsphase untersuchen die Schüler*innen die namenlosen Präparate auf die Reichweite ihrer emittierten Strahlung. In einer freien Arbeitsphase untersuchen die Schüler*innen die Strahlung der Präparate in der App und nehmen Messreihen auf. Als Unterstützung zur Herangehensweise an die Versuche und deren Auswertung werden abgestufte Lernhilfen zur Verfügung gestellt. Wurden alle Versuche durchgeführt, werden die Erkenntnisse der Schüler*innen gesammelt. Nach einer gemeinsamen Zuordnung von den Strahlungsarten zu den Präparaten, kann das Durchdringungsvermögen untersucht werden. An dieser Stelle müssen die Namen der Präparate wieder eingeschaltet werden. Es sollte eine Thematisierung der Zusammensetzung stattfinden, um den Umgang mit der Visualisierung der Strahlung zu unterstützen. Die entsprechende Unterrichtsskizze befindet sich in Tabelle 9. Die Tafelbilder für diese Stunde sind im Anhang A.4.

Tabelle 9: Unterrichtsskizze zur Untersuchung von emittierter Strahlung von vier Präparaten

Zeit in min.	Phase/ Sozialform/ Medien	Verhalten der Lehrkraft	Erwartetes Verhalten der Schüler*innen	didaktischer Kommentar
5	Begrüßung/ Vorstellung Frontalunterricht <ul style="list-style-type: none"> Plakat: Verhaltensregeln (siehe Anhang A.4.1) 	<ul style="list-style-type: none"> begrüßt die Klasse stellt sich vor ordnet das Stundenthema in die Unterrichtseinheit Radioaktivität ein informiert die Klasse über die geplante Stunde stellt die Verhaltensregeln für den Umgang mit Tablets vor 	<ul style="list-style-type: none"> stellen gegebenenfalls Rückfragen 	Die Schüler*innen sollen über die neue Unterrichtssituation der Gastlehrkraft aufgeklärt werden und informativ in das Thema eingeleitet werden. So wird ihnen der Zweck der Stunde offengelegt.
10	Abfrage des Vorwissens Multiple Choice Test <ul style="list-style-type: none"> Fragebögen (siehe 26) 	<ul style="list-style-type: none"> verteilt die Fragebögen 	<ul style="list-style-type: none"> beantworten die Fragen 	An dieser Stelle ist das Abfragen des Vorwissens wichtig, um festzustellen, ob mit der Unterrichtseinheit über die Versuche in AR Wissenslücken aus dem vorangegangenen Unterricht gefüllt werden können.
10	Orientieren Einzelarbeit <ul style="list-style-type: none"> QR-Codes Tablets 	<ul style="list-style-type: none"> verteilt das Material stellt die Aufgabe vor: scannt die QR-Codes mit der App ein findet heraus, was die QR-Codes darstellen beschriftet die QR-Codes überlegt euch, was ihr damit untersuchen könnt 	<ul style="list-style-type: none"> erkunden die AR Umgebung beschriften die QR-Codes 	In dieser Phase sollen die Schüler*innen die AR Umgebung kennenlernen und eigenständig erkunden. So erhalten sie einen guten Überblick und haben ausreichend Zeit sich in ihr zurecht zu finden. Mögliche Probleme können in Einzelgesprächen geklärt werden, ohne dass die Mitschüler*innen aufgehalten werden.
5	Eigenschaften der App sammeln Klassengespräch (Schüler*innen-Kette) <ul style="list-style-type: none"> Tafelbild (siehe Abb. 24) 	<ul style="list-style-type: none"> fordert die Schüler*innen dazu auf, Eigenschaften der App zu benennen hält Erkenntnisse an der Tafel fest weist auf einige wichtige Aspekte der App hin, siehe Abschnitt 3.3 	<ul style="list-style-type: none"> sammeln Eigenschaften der App erklären den Begriff Zählrate stellen Vermutungen auf, welche Versuche mit der App durchgeführt werden können z.B. „Mit der App kann die Reichweite und das Durchdringungsvermögen untersucht werden“ 	In der Besprechung im Plenum werden alle Erkenntnisse der Schüler*innen präsentiert und können durch Anmerkungen der Lehrkraft wenn notwendig ergänzt werden. Diese Diskussion ist wichtig, um die visuellen Informationen auditiv zu unterstützen, siehe Kapitel 2.2. Mit der Wiederholung der Zusammensetzung der Strahlungsarten wird die Grundlage der Visualisierung besprochen und so sichergestellt, dass alle Schüler*innen diese verstehen. Weiter wird auf diese Art direkt an das Vorwissen der Schüler*innen angeknüpft und so die Strukturierung des neuen Wissens erleichtert. Außerdem wird so eine Verbindung von Repräsentation in der App, der Praxis und der Theorie hergestellt.

Fortsetzung von Tabelle 9: Unterrichtsskizze zur Untersuchung von emittierter Strahlung von vier Präparaten

Zeit in min.	Phase/ Sozialform/ Medien	Verhalten der Lehrkraft	Erwartetes Verhalten der Schüler*innen	didaktischer Kommentar
5	Aufgabe vorstellen Frontalunterricht <ul style="list-style-type: none"> • Tafelbild (siehe Abb. 25) 	<ul style="list-style-type: none"> • teilt die Klasse in zwei Hälften • erklärt die Aufgabe: Gruppe 1 nimmt Werte für verschiedene Abstände zwischen Detektor und Quelle für die Präparate 1 und 3 auf. Gruppe 2 nimmt Werte für verschiedene Abstände für die Präparate 2 und 4 auf. Überlegt euch, welche Strahlung von den Präparaten emittiert wird 	<ul style="list-style-type: none"> • übernehmen die Tabelle 	Da nur eine Doppelstunde zur Verfügung steht, bleibt nur Zeit, dass jeder zwei Präparate vermessen kann. Die einzelnen Gruppen haben so ausreichend Zeit, um sich Gedanken darüber zu machen, welche Strahlungsart emittiert wird.
3	Vermutungen aufstellen Klassengespräch	<ul style="list-style-type: none"> • fordert die Schüler*innen dazu auf, über die möglichen Ausgänge der Versuche nachzudenken • hält die Vermutungen an der Tafel fest 	<ul style="list-style-type: none"> • benennen die Reichweite von Alpha-, Beta- und Gammastrahlung • ordnen ihr Wissen über die Reichweite der Strahlungsarten möglichen Versuchsergebnisse zu: „Da Alphastrahlung eine Reichweite von wenigen Zentimetern hat, wird vermutlich in einem Abstand von 10 cm nur noch der Nulleffekt gemessen, wenn das Präparat Alphastrahlung emittiert.“ 	Mit den Vermutungen entwickeln die Schüler*innen eine Erwartungshaltung die auch mit ihrem theoretischen Wissen verknüpft wird.
7	Experimente freies Arbeiten <ul style="list-style-type: none"> • Tablets • QR-Codes 	<ul style="list-style-type: none"> • unterstützt 	<ul style="list-style-type: none"> • nehmen Messwerte für verschiedene Abstände auf • dokumentieren ihre Messwerte 	Hier findet freies Arbeiten statt. Die Schüler*innen können in ihrem eigenen Tempo arbeiten. Die Lehrkraft kann dort unterstützen, wo Hilfe benötigt wird.

Fortsetzung 2 von Tabelle 9: Unterrichtsskizze zur Untersuchung von emittierter Strahlung von vier Präparaten

Zeit in min.	Phase/ Sozialform/ Medien	Verhalten der Lehrkraft	Erwartetes Verhalten der Schüler*innen	didaktischer Kommentar
5	Experimente auswerten Klassengespräch <ul style="list-style-type: none"> • Tafelbild (siehe Abb. 25) 	<ul style="list-style-type: none"> • ergänzt Tabelle durch Messwerte von Schüler*innen • fordert die Schüler*innen auf begründet den Präparaten eine Strahlungsart zuzuordnen 	<ul style="list-style-type: none"> • ordnen die Präparate 1 und 2 Alphastrahlung zu, da die Zählrate bereits bei 10 cm auf die Nullrate abgefallen ist • ordnen Betastrahlung dem Präparat 3 zu, da die Abnahme der Zählrate bei 60 cm nahe der Nullrate ist • ordnen Gammastrahlung dem Präparat 4 zu, da die Zählrate bei 60 cm deutlich größer als die Zählrate im gleichen Abstand von Präparat 3 ist • nutzen die Visualisierungen zur Begründung ihrer Zuordnungen von Präparat und Strahlungsart 	Dieser Schritt bildet den Abschluss des ersten Stundenteils. Die Schüler*innen lösen das Rätsel, welches Präparat welche Strahlung emittiert. Weiter wird ihr Wissen über die Strahlung durch Daten aus den Experimenten unterstützt. So erhalten sie ein positives Erfolgserlebnis.
2	Aufgabe vorstellen Frontalunterricht <ul style="list-style-type: none"> • Versuchsprotokoll 3 und 5 (siehe Anhang A.4.2) 	<ul style="list-style-type: none"> • verteilt die Arbeitsblätter • teilt die Klasse in zwei Hälften • erklärt die Aufgabe: Gruppe 1 nimmt Werte für verschiedene Dicken der Abschirmungsmaterialien Polyethylen für das Strontium-90 Präparat und Blei für das Cobalt-60 Präparat. Gruppe 2 nimmt Werte für verschiedene Dicken der Abschirmungsmaterialien Aluminium für das Strontium-90 Präparat und Eisen für das Cobalt-60 Präparat. 	<ul style="list-style-type: none"> • übernehmen die Tabelle 	Hier steht wieder der Zeitfaktor im Mittelpunkt, wodurch jeder Schüler*in nur zwei von fünf Messreihen aufnehmen kann. Schnelle Schüler*innen können die fehlende Messreihe zur Abschirmung mit Eisen aufnehmen und müssen sich so nicht langweilen. Ansonsten muss die Lehrkraft sicherstellen, dass alle Schüler*innen wissen, was zu tun ist. Dazu gehört auch sicherzustellen, dass alle den Aufbau verstehen.

Fortsetzung 3 von Tabelle 9: Unterrichtsskizze zur Untersuchung von emittierter Strahlung von vier Präparaten

Zeit in min.	Phase/ Sozialform/ Medien	Verhalten der Lehrkraft	Erwartetes Verhalten der Schüler*innen	didaktischer Kommentar
13	Experimente Gruppenarbeit <ul style="list-style-type: none"> • Versuchsprotokolle 3 und 5 (siehe Anhang A.4.2) • abgestufte Lernhilfen (siehe Abschnitt 4) 	<ul style="list-style-type: none"> • unterstützt • weist auf abgestufte Lernhilfen hin 	<ul style="list-style-type: none"> • nehmen Messwerte für verschiedene Dicken der Abschirmungsmaterialien auf • dokumentieren ihre Messwerte 	Durch die vorgegebenen Versuchsprotokolle und die abgestuften Lernhilfen hat die Lehrkraft wieder Freiraum, um auf Fragen individuell einzugehen.
15	Experimente auswerten Frontalunterricht <ul style="list-style-type: none"> • Tafelbild (siehe Abb. 23) 	<ul style="list-style-type: none"> • notiert Messwerte 	<ul style="list-style-type: none"> • stellen ihre Messwerte vor • folgern aus den Messwerten und den bestimmten Halbwertsschichtdicken, welches Material am besten die jeweilige Strahlung abschirmt 	Hier wird das Thema der Stunde abgeschlossen. Wichtig ist die allgemeine Erklärung, wie die Halbwertsschichtdicke bestimmt wird. Schnelle Schüler*innen konnten mit den abgestuften Lernhilfen bereits eine Wiederholung zur Halbwertsschichtdicke erhalten. Für alle weiteren Schüler*innen müssen diese Inhalte kurz angesprochen werden.
8	Arbeit mit der AR Umgebung evaluieren Einzel- oder Partnerarbeit <ul style="list-style-type: none"> • Evaluationsbögen (siehe Anhang Abb. 27) • Lernzielkontrolle (siehe Anhang Abb. 26) 	<ul style="list-style-type: none"> • verteilt die Evaluationsbögen • verteilt die Lernzielkontrollen 	<ul style="list-style-type: none"> • beantworten die Fragen 	Mit der Evaluation soll die Arbeit mit der App und die App an sich bewertet werden, um diese gegebenenfalls zu verbessern. Mit der Lernzielkontrolle können im Vergleich zur Abfrage des Vorwissens wichtige Aussagen getroffen werden, ob die Arbeit mit der App die theoretischen Inhalte ergänzt und die Vernetzung von Wissen ermöglicht hat.
2	Verabschiedung Frontalunterricht	<ul style="list-style-type: none"> • verabschiedet sich • bedankt sich für die Mitarbeit 		

5 Wie kann Unterricht analysiert werden?

Neben den Experimenten soll auch das Testen der App im Vordergrund der Unterrichtsstunde stehen. Mit Evaluationsbögen sollen die Schüler*innen ihre Erkenntnisse zur App und der Arbeit mit AR festhalten. Jede Diagnostik hängt von verschiedenen Faktoren ab. Neben der Performance der Lehrkraft, hängt der Erfolg einer Stunde ebenfalls an den Schüler*innen. Mit Wissen über ihre Motivation, ihr Vorwissen und ihre Leistungsbereitschaft können die erhobenen Daten gedeutet werden [Fischer und Krabbe, 2020]. Außerdem sind alle Daten situationsabhängig [von Aufschnaiter et al., 2020], es spielen die Klassengröße und das Lernklima eine Rolle. Zusätzlich zu den Daten sind auch Beobachtungen wichtig, die die Daten ergänzen [von Aufschnaiter et al., 2020]. Ferner soll zu der Bewertung der App auch noch der Lernfortschritt der Schüler*innen festgehalten werden. Hiermit soll die Frage beantwortet werden, ob die Schüler*innen durch die Arbeit mit der App etwas gelernt haben.

5.1 Abfrage des Vorwissens und Lernzielkontrolle

Um das Vorwissen abzufragen, bietet sich ein Multiple Choice Test an. Die Bearbeitungszeit ist sehr kurz, sie beträgt etwa 1 Minute pro Frage [Mie, 2002]. So kann der aktuelle Lernstand schnell in Erinnerung gerufen werden. Zusätzlich findet eine Aktivierung des Wissens statt [Mie, 2002], so dass die erforderlichen Inhalte für die kommenden Stunden abrufbar sind und mit dem neuen Input verknüpft werden können. Ein Multiple Choice Test ist außerdem sehr einfach aufgebaut. Die verschiedenen Wahlmöglichkeiten sollten so gewählt werden, dass alle Antworten für eine*n unwissenden Schüler*in richtig erscheinen [Mie, 2002]. Hier sind mögliche Denkfehler oder Fehlvorstellungen als Auswahl möglich. Alle Fragen sind zum Thema Radioaktivität. Die relevanten Vorkenntnisse der Schüler*innen wurden bereits in Abschnitt 3.4 behandelt. Aufbauend darauf beziehen sich die ersten Fragen allgemein auf die verschiedenen Strahlungsarten. Hier können direkt Fehlvorstellungen zur Reichweite oder Zusammensetzung abgefragt werden.

Es wurden sieben Fragen entwickelt. In Frage 1 werden Reichweite, Abschirmung und Zusammensetzung von Alphastrahlung thematisiert. Hier wird die Fehlvorstellung aufgegriffen, dass Alphastrahlung weiter als nur ein paar Zentimeter eindringt. In Frage 2 wird sowohl wieder die Reichweite behandelt, als auch die Natur der ausgesandten Teilchen. Die Fehlvorstellung, dass Protonen ausgesendet werden, wird angesprochen. In Frage 3 muss einerseits zwischen Teilchenstrahlung und elektromagnetischer Strahlung unterschieden werden. Andererseits wird thematisiert, dass Gammastrahlung keine endliche Reichweite hat und durch dicke Schichten abgeschwächt werden kann. Als nächstes werden in den Fragen 4, 5 und 6 die Vorstellungen zum Durchdringungsvermögen abge-

fragt und welche Materialien am besten für die Abschirmung geeignet sind. Zur Auswahl stehen die Materialien, die in der App ausgewählt werden können, also Aluminium und Polyethylen für Betastrahlung und Beton, Blei und Eisen für Gammastrahlung. Als letzte Frage werden Vorstellungen zum Begriff Halbwertsschichtdicke abgefragt. Es werden zwei Fehlvorstellungen aufgegriffen. Eine besteht in dem Glauben, dass die Halbwertsschichtdicke eine Schichtdicke von 0,5 cm ist. Die andere besagt, dass es sich um ein Material handelt, welches doppelt so viel schwächt wie Blei.

Die Fragen dienen neben der Abfrage des Vorwissens zur direkten Vorbereitung der Stunde und behandeln alle Themen, die in der Stunde relevant sein werden. Daher können die gleichen Fragen als Lernzielkontrolle am Ende der Stunde verwendet werden. Die Druckvorlage befindet sich im Anhang A.5.1 in Abbildung 26. Die Auswertung der Multiple Choice Tests findet in Abschnitt 7.1 statt.

5.2 Evaluation der App

Die Evaluation der App zielt auf die Empfindungen der Schüler*innen in Bezug auf die App, die Experimente und die Visualisierungen ab. Im oberen Teil des Bogens können Angaben zu Geschlecht, Alter, Sehschwäche und Vorerfahrungen mit AR gemacht werden. Später können so die einzelnen Bögen eingeordnet und auf Grundlage der Angaben gedeutet werden. Im nächsten Teil werden die Einstellungen und Wahrnehmungen zur Arbeit mit der App und den Experimenten abgefragt. Es sollen die folgenden Aussagen nach „Trifft zu“ und „Trifft nicht zu“ bewerten:

- Die Arbeit mit der App hat Spaß gemacht.
- Die Arbeit mit der App war abwechslungsreich und spannend.
- Die App ist einfach verständlich.
- Das Aufnehmen der Messwerte war einfach.
- Die Experimente in AR können reale Experimente ersetzen.

Durch fünf verschiedene Abstufungen der möglichen Antworten können die Bögen differenziert ausgewertet werden. Durch das Feld mit freien Antwortmöglichkeiten wird den Schüler*innen darüber hinaus die Option gegeben, ihre Meinung zu sagen.

Der dritte Teil besteht aus einer Bewertung der Visualisierungen. Wieder gibt es durch fünf Abstufungen eine Differenzierungsmöglichkeit, welche Visualisierung am ansprechendsten war oder das Verständnis von Strahlung am meisten verbessert hat. Ganz unten auf dem Bewertungsbogen besteht wieder die Option, frei seine Meinung zu äußern, was gut war und was an der App verbessert werden könnte. Die Druckvorlage befindet sich im Anhang A.5.1 in Abbildung 27. Die Auswertung der Evaluationen der App befindet sich in Abschnitt 7.2.

6 Durchführung der Unterrichtsstunden

Zu Beginn der Planungsphase der Unterrichtsbesuche befanden sich alle Schüler*innen der neunten und zehnten Klasse im Homeschooling. Es haben 4 Lehrkräfte zugesagt, dass die App in ihren Klassen getestet werden könne. In drei von vier Klassen wurde das Thema Radioaktivität bereits komplett am Anfang des Jahres im Online-Unterricht durchgenommen. In Gesprächen mit den Lehrkräften wurde bestätigt, dass die Schüler*innen Kenntnisse über die Reichweite und das Durchdringungsvermögen von Strahlung radioaktiver Stoffe besitzen. Weiter ist ihnen auch die Natur der Alpha-, Beta- und Gammastrahlung bekannt. Bei den benannten Klassen handelt es sich um zwei zehnte Klassen der Bismarckschule und einer elften Klasse der Wilhelm-Raabe-Schule. In der letzten Klasse, einer zehnten Klasse der Helene-Lange-Schule, wird das Thema Radioaktivität zum Zeitpunkt des Unterrichtsbesuches behandelt. Daher passen die Experimente mit der AR App genau in den Unterrichtsverlauf. Durch die sinkenden Inzidenzzahlen in Hannover war es möglich, in allen Klassen die AR Umgebung in Präsenz zu testen. Allerdings stand nur eine Stunde zur Verfügung, da zum Zeitpunkt der Planung der Unterricht mit halber Klassenstärke stattgefunden hat. Jeweils in einer Woche sollte eine Hälfte der Klasse die Versuche durchführen. Die Untersuchungsphase hätte dadurch zwei Wochen gedauert. Eine Planung mit mehr Stunden pro Klasse hätte vier Wochen in Anspruch genommen und wäre zeitlich im Rahmen dieser Bachelorarbeit nicht möglich gewesen. Durch den Wechsel von halber Klassenstärke auf volle Klassenstärke mitten in der Untersuchungsphase fand eine erneute Verschiebung nach hinten statt, wodurch eine zweite Stunde zeitlich nicht mehr möglich war. Daher musste das Unterrichtspensum auf eine Stunde reduziert werden. Die Arbeit mit den Tablets kann auf jeden Fall nach nur einer Stunde bereits evaluiert werden. Wichtig ist, dass in den Stunden ebenfalls Wissen vermittelt wird, um einen Lernzuwachs messen zu können.

6.1 Anpassung der Stunden an die Klassen

Für eine reibungslose Durchführung musste die Planung an die jeweiligen Klassen angepasst werden. Im weiteren Verlauf werden die Klassen folgendermaßen benannt: Die 10a ist die Klasse der Helene-Lange-Schule, die 10b und 10c sind die zwei Klassen der Bismarckschule und die 11a ist die Klasse der Wilhelm-Raabe-Schule.

Die Stunde in der Helene-Lange-Schule mit voller Klassenstärke beschäftigte sich nur mit dem Durchdringungsvermögen der Strahlung radioaktiver Stoffe. Die Reichweite hatten die Schüler*innen der 10a bereits in der vorherigen Stunde mit Realexperimenten untersucht. Auf diese Ergebnisse konnte daher aufgebaut werden. Anders als

in der vorgeschlagenen Unterrichtsstunde zum Durchdringungsvermögen in Tabelle 8, musste eine Orientierung in der App ermöglicht werden. In dieser Phase mussten den Schüler*innen Zeit gegeben werden, die App zu erkunden. Im Anschluss sollten die Eigenschaften der App festgehalten und besprochen werden. Hier fand auch eine Wiederholung der Zusammensetzung von Alpha-, Beta- und Gammastrahlung statt. Die gekürzte und angepasste Unterrichtsskizze für die Stunde in der Helene-Lange-Schule befindet sich im Anhang A.6 in Tabelle 10. Da sich der didaktische Kommentar nicht von den Kommentaren aus den Tabelle 7 und 8 unterscheidet, sondern nur die Struktur der Stunde verändert wurde, ist kein didaktischer Kommentar in der Tabelle zu finden. In der Klasse 10b der Bismarckschule fanden zwei Stunden mit halber Klassenstärke statt. Die Lehrkraft war aufgrund der Coronapandemie im Homeoffice. Die Schüler*innen kamen daher extra für die Unterrichtsstunde mit den AR Versuchen in die Schule. Die Wiederholungsstunde aus Abschnitt 4.4 wurde bereits für eine Stunde konzipiert und konnte daher hier verwendet werden.

In der 10c der Bismarckschule fand eine Stunde mit halber Klassenstärke statt, die zweite Stunde dagegen mit voller Klassenstärke. Leider konnten die Gruppen nicht räumlich von einander getrennt werden. So musste dauerhaft zwischen den zwei verschiedenen Gruppen unterschieden werden, was gerade bei den Schüler*innen zu Verwirrung geführt hat. Trotzdem haben die Schüler*innen der ersten Klassenhälfte mehr Zeit gehabt, sich mit der App zu beschäftigen und konnten alle Experimente vollständig durchführen, indem sie alle Messreihen aufnehmen. In der zweiten Hälfte der 10c wurde analog zur Klasse 10b die Unterrichtsstunde aus Abschnitt 4.4 durchgeführt.

In der 11a der Wilhelm-Raabe-Schule wurde ebenfalls eine Wiederholungsstunde analog zu denen in der Bismarckschule durchgeführt, siehe Abschnitt 4.4.

6.2 Reflexion: Differenz von antizipiertem und realisiertem Unterricht

Die Unterrichtsstunden in allen Klassen konnten nach der vorliegenden Planung umgesetzt werden. Der Start in die Stunde bis zu den Experimenten hat jedes Mal sehr gut funktioniert und konnte innerhalb des Zeitplans absolviert werden. Der Erfolg mit den Tablets hing stark von der Vollständigkeit der relevanten Informationen zur Arbeit mit der App ab. In der Orientierung muss die Lehrkraft darauf achten, alle relevanten Informationen zum Umgang mit der App an die Schüler*innen weiterzugeben. Dazu gehören unter anderem die Vorgehensweise beim Einscannen der QR-Codes, sowie die Notwendigkeit eines erneuten Einscannens nach dem Verschieben oder Drehen der QR-Codes. In der ersten Stunde in der 10b sind daher mehr Probleme während der Arbeit

mit den Tablets aufgetreten, da hier die notwendige Sensibilisierung der Lehrkraft für Probleme während der ersten Anwendung der App noch nicht stattgefunden hat. Nach wiederholtem Testen der App in den Wochen vor der ersten Stunde war der Umgang selbstverständlich geworden. Im Allgemeinen konnten solche kleinen Probleme beim Verschieben oder Drehen der Messgeräte schnell durch die drei zur Verfügung stehenden Ansprechpartner gelöst werden.

Unabhängig von dem Umgang mit den QR-Codes sind einige technische Probleme aufgetreten, die Schwierigkeiten in der Programmierung, oder dem Konzept der App aufgezeigt haben. So konnten zum Beispiel viele Schüler*innen keine Messreihen zur Abschirmung von Betastrahlung aufnehmen, da die Strahlung trotz richtiger Positionierung der QR-Codes nicht durch die Abschirmung sondern an der Abschirmung vorbei lief. Dieses Problem ist auch vereinzelt bei Messungen des Durchdringungsvermögens von Gammastrahlung aufgetreten. Diese müssen in weiteren Versionen der App berücksichtigt und verbessert werden. Vorschläge für Verbesserungen befinden sich im Ausblick in Abschnitt 8. Durch die vereinzelt Probleme hat sich die Experimentierphase meist etwas länger hingezogen, als geplant, wodurch weniger Zeit für eine ausführliche Auswertung zur Verfügung stand. Dem Großteil der Schüler*innen fiel die Auswertung der Werte allerdings leicht, so dass eine Auswertung und Deutung auch in 10 statt 15 Minuten möglich war. Viele Schüler*innen haben argumentiert, dass auch mithilfe der Visualisierung ihre Deutung unterstützt wurde. Zum Beispiel haben die Schüler*innen richtig argumentiert, dass nicht nur die Zählrate der Betastrahlung vom Strontium-90 Präparat mit zunehmender Dicke der Aluminiumwand abnimmt, sondern auch die Farbe der Ausbreitung der Betastrahlung an Intensität verliert. Nur in der 10a konnten keine Ergebnisse zum Durchdringungsvermögen von Gammastrahlung notiert werden, da nur eine Messreihe mit Beton als Abschirmung zur Verfügung stand. Diese Klasse hatte im Umgang mit der App viele Probleme, die durch das Auftreten weiterer technischer Probleme verstärkt wurden. Außerdem haben die Schüler*innen der 10a deutlich weniger Begeisterung an der Arbeit mit der App gezeigt, als die anderen Klassen. Die anderen Klassen haben auf den ersten Blick die Arbeit mit der App als angenehme Abwechslung angesehen und hatten auch meistens Spaß an den Versuchen. Die Bewertungen der Schüler*innen zur App werden im nächsten Abschnitt 7 behandelt.

Unabhängig von der App hat die Experimentierphase meist gut funktioniert. Die Schüler*innen konnten die Aufgabenstellungen gut umsetzen. Eine Analyse der Experimentierphase mit dem Modell von Nawrath et al. (2011) hat die folgenden Schwerpunkte der Stunden offengelegt: Wie erwartet, werden allem voran die Kompetenzen des Beobachtens, Messens, Dokumentierens und Diskutierens gefördert, siehe Abbildung 20 im

Anhang. Auch das Ausbauen der experimentellen Kompetenzen des Datenaufbereitens und der Hypothesenbildung konnten mit den Experimenten wie geplant, unterstützt werden. Das Entwickeln der Fragestellung war in der Planung als „eher wichtig“ angesehen worden, fand im Unterricht allerdings keine Realisierung. Dafür hat sich herausgestellt, dass das Aufbauen eines funktionsfähigen Experiments einen deutlich größeren Bestandteil des Unterrichts ausmacht, als gedacht. Unter Berücksichtigung aller technischen Probleme, hat der Aufbau und die Kalibrierung der QR-Codes und damit der Geräte viel Anwendung in der Stunde gefunden. Es kam zu Schwierigkeiten mit dem Einscannen und der Positionierung der QR-Codes und den zugehörigen Geräten in der App, was viel Zeit beansprucht hat und bei vielen Schüler*innen zu Frustration geführt hat. Werden allerdings die technischen Probleme, die durch Weiterentwicklungen der App unterbunden werden können, vernachlässigt, nimmt das funktionsfähige Aufbauen der Versuche nichtsdestotrotz einen großen Teil der Stunde ein. Dabei ist die Behandlung des Versuchsaufbaus relevant zum Erreichen der Lernziele. Alleine die Auswahl einer Reihenfolge der Geräte fiel manchen Schüler*innen schwer, wodurch die Abschirmungen plötzlich hinter dem Detektor stand, und so den Zweck einer Abschirmung nicht erfüllen konnte. Für Aussagen über die Materialien für eine gute Abschirmung brauchen die Schüler*innen daher das Wissen über den Versuchsaufbau. Weiter spielt das funktionsfähige Aufbauen eines Experiments bei Realexperimenten eine große Rolle. Dadurch dass, auch in der AR Umgebung der Aufbau einen wichtigen Bestandteil der Experimente darzustellen scheint, stehen die Experimente in AR den Realexperimenten in dieser Hinsicht nicht nach.

Abschließend kann gesagt werden, dass die Unterrichtsstunden in allen Klassen an sich gut liefen. Es konnten wichtige Erfahrungen mit der App gesammelt werden, die in den abschließenden Kapiteln in Form von Verbesserungsvorschlägen und Erweiterungsmöglichkeiten für die App festgehalten werden. Aus der Analyse mit dem Modell von Nawrath et al. (2011) kann darüber hinaus geschlossen werden, dass auch das Aufbauen der Experimente im Unterricht mit der AR App Anwendung findet. Hier handelt es sich definitiv nicht um das klassische Aufbauen von Experimenten, wie das bei realen Experimenten der Fall wäre. Trotzdem muss das Aufbauen und Ausrichten der Komponenten von den Schüler*innen aktiv durchgeführt werden.

7 Auswertung der Unterrichtsanalyse

In jeder Stunde wurden jeweils zwei Wissensabfragen als Multiple Choice Tests verteilt. Dabei wurde das Wissen am Anfang der Stunde abgefragt und am Ende wiederholt. Diese Multiple Choice Tests müssen für eine Auswertung miteinander verglichen werden. So kann ein Lernzuwachs in Form von einer Verbesserung der Punkte beim zweiten Test ermittelt werden. Weiter wurde in jeder Klasse eine Bewertung der App durchgeführt. So kann festgehalten werden, ob den Schüler*innen das Experimentieren in AR gefallen und geholfen hat. Die Auswertung der Bewertungen der Visualisierung wird in dieser Arbeit etwas kürzer ausfallen. Dies wird von den Programmierern übernommen. Die Ergebnisse werden in dieser Arbeit daher nur kurz benannt. Die vollständige Auswertung der Tests befindet sich in Abschnitt 7.1. Die Auswertung der Evaluationsbögen befindet sich in Abschnitt 7.2.

7.1 Auswertung der Multiple Choice Tests

Das Auswerten der Tests wird zuerst unterteilt nach Klassen vorgenommen. So können klassenspezifische Trends festgestellt und einzeln begründet werden. Am Ende wird ein übergeordnetes Fazit verfasst. Bewertet wird nach dem folgenden Maßstab: Für die ersten drei Fragen gibt es maximal 4 Punkte. Also für jede richtig angekreuzte Möglichkeit und jede richtig nicht angekreuzte gibt es einen Punkt. Beispielweise müssen für Frage 1 A, B und C angekreuzt werden. Hat ein*e Schüler*in nur A und B angekreuzt, gibt es 3 Punkte, da A, B und D korrekt gewählt wurden. C ist falsch, da es nicht angekreuzt wurde. Die weiteren Zuordnungen von Fragen und Buchstaben sind in Kapitel 5.1 zu finden. Für die Fragen 4-7 gibt es jeweils einen Punkt, wenn die richtige Antwort gewählt wurde. Der Notenschlüssel befindet sich im Anhang A.7.1. Ebenfalls befinden sich die Notenspiegel der Klassen von vor und nach den Stunden im Anhang in Abschnitt A.7. Hier finden sich auch die entsprechenden Fragenstatistiken, die im Folgenden diskutiert werden.

Werden die Tests der Klasse 11a vom Stundenanfang mit denen am Stundenende verglichen, so können die folgenden Trends festgehalten werden: Bei Frage 1 bezüglich der Aussagen über Alphastrahlung hat sich die Mehrheit für die richtigen Antworten A: Der zerfallende Atomkern sendet Helium-Kerne aus; und C: Alphastrahlung wird durch dünne Schichten der meisten Materialien abgeschirmt; entschieden. Die Reichweite von Alphastrahlung von wenigen Zentimetern hat die Mehrheit nach der Stunde ebenfalls richtig mit B beantwortet. Der Abstieg von 25% auf 13% bei der falschen Antwort D: Die Reichweite in Luft beträgt wenige Meter; ist erfreulich. Bei Frage 2, die sich

auf Aussagen zur Betastrahlung bezieht, hat sich vor der Stunde die Hälfte der Klasse für die richtige Antwort A: Die Reichweite in Luft beträgt wenige Meter; entschieden. Nach der Stunde waren es nur noch 44%. Dieser Rückgang kann durch die Versuchsergebnisse erklärt werden, denn das Strontium-90 Präparat hatte nach den Messwerten nur eine Reichweite von etwas weniger als einem Meter. Die Verallgemeinerung auf andere Präparate muss daher in zukünftigen Stunden besser mit den Schüler*innen ausgearbeitet werden. Der Anstieg von 44% auf 94% der richtigen Wahl von Antwort B: Der zerfallende Atomkern sendet Elektronen aus; korreliert mit dem Abstieg von 50% auf 6% der Wahl von Antwort C, dass Protonen ausgesendet werden. Die Besprechung der Visualisierung und der Zusammensetzung von Betastrahlung war somit hilfreich für die Schüler*innen. Bei Frage 3 zu Aussagen zur Gammastrahlung haben sich vor der Stunde bereits über die Hälfte für Antwort A: Gammastrahlung wird durch dicke Schichten von z.B. Beton abgeschwächt; entschieden. Die Wahl von C: Gammastrahlung ist eine Teilchenstrahlung; ist von 25% auf 50% gestiegen. Nur 44% haben sich vor und nach der Stunde für D: Gammastrahlung ist eine elektromagnetische Strahlung, wie sichtbares Licht; entschieden. Dies kann daran liegen, dass in der Schule Gammastrahlung analog zu Alpha- und Betastrahlung, als aus Teilchen bestehender Strahlung eingeführt wird [Bader und Oberholz, 2001]. Trotz der Besprechung im Unterricht, dass Gammastrahlung aus Photonen besteht, und damit elektromagnetische Strahlung ist, ist der Welle-Teilchen Dualismus noch nicht behandelt worden. Dieser wird erst im Rahmen des Themas „Schwingungen und Wellen“ in der Oberstufe besprochen [Niedersächsisches Kultusministerium, 2017].

Bei den Fragen 4 und 5 zu den Materialien, die am besten Beta- oder Gammastrahlung abschirmen beziehungsweise abschwächen, haben sich jeweils mehr als die Hälfte für die richtigen Antworten entschieden. Der Anstieg an Antworten A: Beton und B: Eisen bei Frage 5 geht zurück auf Unsicherheiten mit der Halbwertsschichtdicke. Eine Fehlvorstellung ist, dass je größer die Halbwertsschichtdicke, desto besser das Abschwächungsverhalten. Der richtige Zusammenhang muss von der Lehrkraft mit viel Zeit besprochen werden. Frage 6 zur Strahlung mit dem größten Durchdringungsvermögen und Frage 7 zur Halbwertsschichtdicke hat die Mehrheit der Schüler*innen schon vor der Stunde richtig beantwortet. Trotzdem ist nochmal ein Anstieg richtiger Antworten zum Stundenende zu verzeichnen.

Insgesamt haben sich 63% verbessert, plus 6%, die bereits am Anfang der Stunde die Note 1 hatten, sich aber nicht verbessert haben. Die Schüler*innen scheinen über den Verlauf der Stunde Inhalte gefestigt und erarbeitet zu haben. Dieser Trend ist ebenfalls am Notendurchschnitt zu sehen, dieser hat sich von 2,4 auf 2,1 verbessert.

Als nächstes werden die Tests der Klasse 10a miteinander verglichen. Die Schüler*innen haben sich bei Frage 1 zur Alphastrahlung für die richtigen Antworten B: Die Reichweite in Luft beträgt wenige Zentimeter; und C: Wird durch dünne Schichten der meisten Materialien abgeschirmt; entschieden. Die ebenfalls korrekte Antwortmöglichkeit A: Der zerfallende Atomkern sendet Helium-Kerne aus; wurde vor der Stunde nur von 16% und auch nach der Stunde nur von 28% ausgewählt. Dies kann daran liegen, dass vielen Schüler*innen der Begriff Helium-Kern unbekannt war und im vorangegangenen Unterricht nur von Alphateilchen geredet wurde. Solche Begriffe müssen regelmäßig genutzt werden, um sie zu festigen. Der Anstieg an Antworten D: Die Reichweite in Luft beträgt wenige Meter; bei Frage 1 hängt vermutlich direkt mit dem Anstieg an Antworten D: Die Reichweite in Luft beträgt wenige Zentimeter; bei Frage 2 zusammen und lässt sich durch eine Verwechslung der Reichweiten von Alpha- und Betastrahlung erklären. Ansonsten wurde Frage 2 zur Betastrahlung von über 70% nach der Stunde richtig beantwortet. Das bedeutet einen Anstieg bei der Wahl von Antwort B: Der zerfallende Atomkern sendet Elektronen aus. Der Abfall bei Option A, dass die Reichweite in Luft wenige Meter beträgt, korreliert vermutlich mit dem Anstieg von Option D, dass Betastrahlung wenige Zentimeter reicht. Frage 3 zur Gammastrahlung haben über 75% am Ende richtig beantwortet. Hier ist ebenfalls eine Verbesserung zum Anfang zu verzeichnen. Der Anstieg um 8% bei der Wahl von Möglichkeit C: dass Gammastrahlung eine Teilchenstrahlung ist, könnte wie bei der Klasse 11a mit der Visualisierung zusammenhängen, die bei der Gammastrahlung ebenfalls mit Teilchen dargestellt ist. Die Fragen 4 und 5 zu den Materialien für Abschirmung und Abschwächung der Strahlung, sowie Frage 6 zum größten Durchdringungsvermögen haben mehr als Dreiviertel der Klasse richtig beantwortet. Erfreulicherweise hat die Zahl der Schüler*innen abgenommen, die die Fragen am Stundenanfang gar nicht beantwortet haben. Daraus lässt sich schließen, dass sie aus der Stunde Wissen mitgenommen haben, selbst wenn dieses noch nicht sehr gefestigt ist. Dies ist ebenfalls bei Frage 7 zur Halbwertsschichtdicke zu vermerken. In der Klasse 10a bestand die kürzeste Zeit für die Auswertung der Versuche zum Durchdringungsvermögen. Dadurch wurde die Bestimmung der Halbwertsschichtdicke leider nur im Plenum besprochen. Trotzdem haben sich weitere 36% der Schüler*innen sicher gefühlt, eine Antwort von Frage 7 zu versuchen.

Insgesamt haben sich 44% der Schüler*innen verbessert. Zusätzlich hatten 20% bereits am Stundenanfang eine 1. Auch am Notendurchschnitt ist eine leichte Steigerung von 2,0 auf 1,9 zu sehen. Die geringe Verbesserung des Notenspiegels, trotz der 44%, die sich verbessert haben, lässt sich darauf zurückführen, dass nicht die Verbesserung der Note, sondern die Differenz der erreichten Punkte betrachtet wurde. Eine höhere Punktzahl

hat allerdings nicht immer eine bessere Note zur Folge. Nichtsdestotrotz kann für die Schüler*innen der 10a gefolgert werden, dass durch die Stunde ihr vorhandenes Wissen gefestigt oder erweitert wurde.

Im Folgenden werden die Tests der Klasse 10b miteinander verglichen. Sowohl vor als auch nach der Stunde hat sich die Mehrheit bei Frage 1 zu den Aussagen zur Alphastrahlung für die drei richtigen Antwortmöglichkeiten A, B und C entschieden, die die Zusammensetzung, Reichweite und Abschirmung von Alphastrahlung umfassen. Erfreulich ist, dass es trotzdem zu einem Anstieg richtiger Antworten nach der Stunde gekommen ist. Frage 2 bezüglich Betastrahlung haben ebenfalls die meisten richtig beantwortet. Ein Anstieg von 48% auf 55% für Antwort A: Die Reichweite in Luft beträgt wenige Meter; ist auf die Versuche zur Reichweite zurückzuführen. Leider ist auch ein Anstieg der falschen Antwort D: Die Reichweite in Luft beträgt wenige Zentimeter; zu sehen. Dies wird wahrscheinlich auf die selben Gründe, wie bei Klasse 10a zurückzuführen sein, also eine Verwechslung der Reichweiten von Alpha- und Betastrahlung. Bei Frage 3 zu Aussagen zur Gammastrahlung haben sich 86% nach der Stunde korrekterweise für Antwort A: Gammastrahlung wird durch dicke Schichten von z.B. Beton abgeschwächt; entschieden. Für Antwort C: Gammastrahlung ist eine Teilchenstrahlung; haben sich mehr als für Antwort D, dass Gammastrahlung eine elektromagnetische Strahlung ist, entschieden. Die Visualisierung wird auch hier die Vorstellung von Gamma-Teilchen unterstützt haben. Frage 4 zu den Materialien, um Betastrahlung am besten abzuschirmen, und Frage 6 zum größten Durchdringungsvermögen von Alpha-, Beta- und Gammastrahlung, wurden mit teilweise über 90% fast einstimmig richtig beantwortet. Bei Frage 5 zum besten Material für die Abschwächung von Gammastrahlung haben viele Schüler*innen die Vorstellung vertreten, dass Beton Gammastrahlung besser abschirmt als Blei. Bei 10% konnte diese Annahme widerlegt werden. Für die übrigen 24% müssten weitere Versuche oder Beispiele angeschlossen werden. Positiv ist der Anstieg von 80% auf 97% an richtigen Antworten für Frage 7 zur Halbwertsschichtdicke.

Insgesamt haben sich 48% verbessert. Dazu kommen 10% der Schüler*innen, die bereits am Stundenanfang eine 1 hatten. Der Notendurchschnitt hat sich in dieser Klasse von 2,1 auf 1,8 verbessert.

Als letztes werden die Tests der Klasse 10c vom Stundenanfang mit denen am Stundenende verglichen. Bei Frage 1 zu den Aussagen zur Alphastrahlung ist eine klare Verbesserung am Stundenende zum Stundenanfang bei B: Die Reichweite in Luft beträgt wenige Zentimeter; und C: Wird durch dünne Schichten der meisten Materialien

abgeschirmt; zu sehen. Die Schüler*innen scheinen ebenfalls wie einige aus den anderen Klassen Probleme mit der Zusammensetzung der Alphastrahlung aus Helium-Kernen gehabt zu haben, wodurch nur 36% am Stundenanfang A gewählt haben. Zum Stundende waren es immerhin 46%. Ab Frage 2 zu den Aussagen über Betastrahlung startet ein negativ Trend. 17% mehr sind nach der Stunde der Meinung, dass der zerfallende Atomkern Protonen aussendet. Auch bei Frage 3 zu den Aussagen über Gammastrahlung verschieben sich die Kreuze zu der falschen Antwort C: Gammastrahlung ist eine Teilchenstrahlung. Die Wahl von Antwort A: Gammastrahlung wird durch dicke Schichten von z.B. Beton abgeschwächt; hat sich um 22% verringert. Positiv ist der Anstieg von 18% bei Antwort D, dass Gammastrahlung eine elektromagnetische Strahlung ist. Die Fragen 4 und 5 zu den Materialien, welche Beta- oder Gammastrahlung am besten abschirmen beziehungsweise abschwächen, sowie die Frage 6 zum größten Durchdringungsvermögen und Frage 7 zur Halbwertsschichtdicke hat die Mehrheit richtig beantwortet. Der Abfall bei den richtigen Antworten zum Stundende ist trotzdem zu sehen.

Insgesamt haben sich nur 32% verbessert und 39% verschlechtert. Der Notendurchschnitt hat sich nicht verändert und liegt sowohl am Anfang als auch am Ende bei 2,1. Dies kann daran liegen, dass es Freitag die letzten zwei Stunden der Schüler*innen gewesen sind und sie schnell ins Wochenende wollten. Eine weitere Erklärung ist das Durcheinander durch verschiedene Aufgaben in der zweiten Stunde, da aufgrund des Corona bedingten Szenarios zwei verschiedene Gruppen parallel betreut werden mussten.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich in drei von vier Klassen die Stunde mit den AR Experimenten positiv auf die Leistung ausgewirkt haben. Es kann definitiv ein Lernzuwachs festgestellt werden. Erhöhte Aufmerksamkeit brauchen die Reichweiten von Alpha- und Betastrahlung, die häufig verwechselt wurden. Hier muss im Unterricht klarer besprochen werden, dass die Messwerte für das Strontium-90 Präparat nur ein Beispiel für die Reichweite von Betastrahlung darstellt und die Reichweite anderer Betastrahler durchaus von diesen Messwerten abweichen. Es wäre daher sinnvoll weitere Präparate in die App zu integrieren, um hier einen Vergleich möglich zu machen. Dies ist aufgrund der Programmierung der App relativ einfach möglich. Weiter scheint auch die Reichweite der Alphastrahlung ausführlicher besprochen werden zu müssen. Ebenso muss die Visualisierung der Gammastrahlung umfassend diskutiert werden. Für die Anwendung der App in den Klassenstufen 9 oder 10, kann überlegt werden, die Visualisierung beizubehalten. Hier könnte die Darstellung unterstützend wirken, da Gammastrahlung in der Schule analog zur Alpha- und Betastrahlung als aus Teilchen bestehend eingeführt wird. Wie bereits angemerkt ist den Schüler*innen hier der Welle-

Teilchen Dualismus noch nicht bekannt [Bader und Oberholz, 2001]. Dadurch sehen sie Photonen genauso wie Elektronen als einfache Teilchen an. Für eine Verwendung in der Oberstufe oder im Bereich der Hochschulbildung sollte die Visualisierung gegebenenfalls angepasst werden. Hier ist den Nutzern der App der Dualismus zwar bekannt [Niedersächsisches Kultusministerium, 2017], trotzdem könnte die Visualisierung verwirrend wirken.

Als letztes sollte ausreichend Zeit für die Besprechung der Halbwertsschichtdicke eingeplant werden. Obwohl die Auswertungen immer sehr schnell gingen, haben viele Schüler*innen eine falsche Vorstellung davon, was diese Schichtdicke aussagt. Die Definition, die in Frage 7 abgefragt wurde, ist dem Großteil am Ende der Stunde bekannt gewesen. Allerdings haben viele nicht verstanden, dass das Material mit der kleinsten Halbwertsschichtdicke Gammastrahlung am besten abschwächt und daher fälschlicherweise Beton oder Eisen bei Frage 5 ausgewählt, wo die Frage war, ob Blei, Eisen oder Beton Gammastrahlung am besten abschwächt. Eisen wurde gewählt, da aus Zeitgründen nicht immer Messreihen zu Beton aufgenommen werden konnten und so nur Messreihen von Eisen und Blei zur Auswertung zur Verfügung standen.

Ein weiterer Punkt, der aufgefallen ist, ist dass vielen Schüler*innen nicht bewusst war, dass Alphastrahlung aus Helium-Kernen besteht. Dies könnte in den jeweiligen Stunden detaillierter besprochen werden.

Werden die angesprochenen Punkte weiter überarbeitet oder bei der nächsten Nutzung der App berücksichtigt, hat die App durchaus gutes Potential, Schüler*innen Wissen zu vermitteln. In weiteren Untersuchungen der Anwendung der App in der Schule müsste die Nachhaltigkeit dieses erlangten Wissens untersucht werden.

7.2 Auswertung der Evaluation der App

Für die Auswertung der Evaluationsbögen wurden die Bewertungen der einzelnen Aussagen am Anfang des Bogens zuerst betrachtet. Die Tabelle mit den entsprechenden Zahlen, auf die sich im Folgenden bezogen wird, befindet sich im Anhang A.7.2.

Die Auswertung der Evaluationsbögen zeigt, dass es dem Großteil der Schüler*innen Spaß gemacht hat, mit der App zu arbeiten. 55% stimmen dieser Aussage zu. Nur 22% hat das Experimentieren keinen Spaß gemacht. Abwechslungsreich fanden die App 77%. Nur 3% stimmten dem nicht zu. Auch fanden 50% die Arbeit mit der App spannend. 69% würden die App als einfach verständlich beschreiben. Nur 11% scheinen Probleme damit gehabt zu haben. 17% gaben in den freien Antwortfeldern an, dass ihnen der Einstieg mit der App etwas schwer gefallen ist. Sie hätten sich weitere Erklärungen zum Umgang mit der App gewünscht. Diese können für weitere Anwendungen in der Schule an die jeweiligen Klassen angepasst werden.

Das Aufnehmen der Messwerte fanden nur 14% einfach. 30% stehen der Aussage neutral gegenüber. 45% fanden das Messen mit der App schwierig. Viele haben ihre Probleme in den Kommentarfeldern erläutert. Im nächsten Abschnitt werden diese vorgestellt und mögliche Verbesserungsvorschläge diskutiert. Der Aussage, ob die Experimente in AR reale Experimente ersetzen können, würden 39% zustimmen. 22% stehen der Aussage neutral gegenüber. Weitere 35% denken nicht, dass die Experimente reale Experimente ersetzen können. Der Mehrheit von ihnen hat die Idee der App, die Darstellung der Geräte oder die Visualisierung der Strahlung an sich gut gefallen. Sie sehen aber alle noch einige Probleme in der Umsetzung.

Neben den Bewertungen der vorgegebenen Aussagen sollen auch kurz die Einträge der Kommentarfelder diskutiert werden. 38% haben angemerkt, dass die Geräte sehr sprunghaft in der App versetzt werden, ohne dass die QR-Codes bewegt wurden. Weiter ist es zu Problemen beim Verschieben oder Drehen der Marker gekommen. Hier wurden die Geräte nicht an die richtige Stelle in der App verschoben, obwohl die QR-Codes richtig positioniert wurden. Dies führte dazu, dass Experimente abgebrochen werden mussten, weil sich die Abstände der Geräte verändert haben. An manchen Stellen konnten Messungen gar nicht erst gestartet werden, da sich die Geräte auf keiner Position fixieren ließen. Dadurch dass die QR-Codes gerade bei der Untersuchung der Reichweite der verschiedenen Strahlungsarten ständig verschoben werden müssen, handelt es sich hierbei um ein wiederholt auftretendes Problem, welches kaum umgangen werden kann. In der App müsste es möglich sein, die Geräte an einer Stelle zu fixieren, sodass das Aufnehmen von Messwerten vereinfacht wird.

Zusätzlich kam es bei 16% zu Schwierigkeiten beim Einscannen der QR-Codes. Ein Schüler schiebt dies auf die schlechten Kameras der Tablets. Die gleichen Probleme, dass das Gerät zum Einscannen nah an die QR-Codes geführt werden muss, ist auch bei anderen Geräten mit besseren Kameras aufgetreten. Schätzungsweise wäre das einzelne Scannen jedes Markers ein geringeres Hindernis, wenn die Geräte anschließend an Ort und Stelle fixiert blieben und sich nicht unvorhersehbar verschieben würden. Das würde voraussichtlich zu einer Halbierung der Einscannvorgänge führen.

Bei 27% ist die App leider abgestürzt oder sie ist nicht flüssig gelaufen. Hier wurde ein Zusammenhang mit der Visualisierung festgestellt. Die App hat vor allem dann gehakt, wenn Gammastrahlung mit voller Visualisierung ausgewählt wurde. Ein Ausschalten der Ausbreitung hat zu einem flüssigeren Ablauf geführt. Besonders schade ist es, da 30% diese Visualisierung besonders anschaulich und unterstützend für ihr Verständnis fanden. Auch bei den restlichen 70% sind die Visualisierungen überwiegend gut angekommen. Dies zeigt der Bewertungsteil der Visualisierungen auf den Evaluationsbögen. Die

Visualisierungen müssten gegebenenfalls vereinfacht werden, um ein flüssiges Arbeiten mit der App zu garantieren.

Ein weiteres Problem sind die Messungenauigkeiten. Erstens können die Abstände nicht exakt eingestellt werden und zweitens garantiert die richtige Ausrichtung der Marker leider noch keine korrekte Messung. Durch den ersten Punkt erhalten die Schüler*innen für dieselben Abstände sehr unterschiedliche Werte, die zwar grob in der gleichen Größenordnung liegen, allerdings nicht direkt vergleichbar sind. Zum Beispiel wurde im Abstand von 10 cm eine Zählrate des Cobalt-60 Präparats von 21 400 Imp/30s gemessen, sowie 10 300 Imp/30s. Die Tatsache, dass die Werte weit auseinander liegen, kann durch die Schwankungen der Abstände und die Differenz zwischen der Position der QR-Codes und der Position der Geräte auf dem Display begründet werden. Der zweite Punkt führt allerdings dazu, dass teilweise gar keine Messwerte für die Auswertung vorhanden waren. Besonders schwierig ist dies, wenn nicht mal der Versuchsaufbau verschoben aussieht. Beispielsweise sind in Abbildung 7 zwei Bilder zu sehen, die den Versuch zur Abschirmung von Betastrahlung zeigen. Im linken Bild konnten korrekte Messwerte aufgenommen werden, die eine Abschirmung durch Aluminium widerspiegeln. Im rechten Bild wurden die QR-Codes nicht verändert und der Aufbau sieht nahezu identisch aus, allerdings läuft der Strahl ganz knapp an der Abschirmung vorbei. Im Bild ist eine klare Farbänderung zu sehen, die darauf zurückzuführen ist, dass für das Bild nicht die dünnst mögliche Abschirmung gewählt wurde. Vor der Messung mit einer Abschirmung von 0,6 cm Dicke ist die Farbänderung für geringere Dicken weniger offensichtlich. Daher hat der Hinweis, dass die Schüler*innen bei der Ausrichtung der QR-Codes auf die Visualisierung achten können, nicht immer ausgereicht, damit die Messungen einwandfrei aufgenommen werden konnten. Eine Ausrichtung mit einer dickeren Abschirmung, um dann die Dicke vor der Messung zu verringern, war aufgrund der Sprunghaftigkeit der Geräte ebenfalls nur vereinzelt möglich. So konnten nur wenige Schüler*innen Messwerte durch die Abschirmung aufnehmen. Die meisten Messreihen haben jedes Mal den gleichen Wert ergeben. Diese Probleme in der App müssen in der nächsten Version behoben werden.

Trotz der Kritikpunkte hat den meisten Schüler*innen, wie bereits erwähnt, die Idee der App gefallen. Sie haben die App als „moderne Alternative zum trockenen Unterricht“ beschrieben. Weiter wurde festgehalten, dass „man versteht, wie das mit der Strahlung funktioniert, also wie und wohin sie sich ausbreitet“. Außerdem fanden sie gut, dass die Geräte realistisch aussahen und so die Experimente anschaulich waren. Zu guter Letzt haben einige der Schüler*innen angemerkt, dass sie die Betrachtung eines solchen Vorgehens aus dieser „anderen Perspektive“ gut fanden.



Abbildung 7: Identische Versuchsaufbauten für die Abschirmung von Betastrahlung zur Veranschaulichung der aufgetretenen Probleme. Links hat eine korrekte Messung stattfinden können. Rechts läuft der Strahl an der Abschirmung vorbei, wodurch die Messreihen unbrauchbar sind.

Die Schüler*innen haben die folgenden Verbesserungsvorschläge für die Umsetzung der App geäußert. Erstens ist ein besserer Überblick gewünscht, gerade das Überlappen der Drop Down Menüs macht die Experimente unübersichtlich. Zweitens ist der Vorschlag gefallen, dass es bereits helfen könnte, die Geräte in der App zu drehen. Dadurch könnte die Ausrichtung des Aufbaus vereinfacht werden. Drittens wurde sich ein integriertes Lineal in der App gewünscht, um die Abstände genauer messen zu können. Dies hätte den Vorteil, dass nicht mehr der Abstand der QR-Codes, sondern der tatsächliche Abstand zwischen Detektor und Strahlungsquelle gemessen werden könnte. Da die Geräte über die Kanten der QR-Codes hinaus reichen, würde dies einen Unterschied machen. Weiter kam auch die Anmerkung, dass eine AR Anwendung nicht notwendig sei, sondern eine Simulation ohne Kamera ausreichen würde. Im direkten Bezug dazu hat ein*e Schüler*in ausgeführt, dass die Umsetzung mit AR einfach noch nicht ausgereift genug sei.

Zusammenfassend sehen viele Schüler*innen die Experimente mit der App als abwechslungsreiche Alternative an. In den Kommentarfeldern werden einige Probleme der App angesprochen, die mit den nächsten Updates der AR App behoben werden müssen, so dass das Experimentieren reibungsloser verlaufen kann. Die Verbesserungsvorschläge der Schüler*innen müssen eingehend mit den Programmierern diskutiert werden und die Umsetzungsmöglichkeiten besprochen werden.

8 Fazit

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine App konzipiert, um Versuche mittels Augmented Reality (AR) durchzuführen. Für die Untersuchung von Eigenschaften ionisierender Strahlung wurden Versuchsumgebungen entwickelt. Für die Programmierung, die der AR App zugrunde liegt, wurden im Rahmen dieser Arbeit die physikalischen Formeln und Parameter für die Beschreibung der unterschiedlichen Eigenschaften von Alpha-, Beta- und Gammastrahlung zusammengestellt. Der Prototyp der App wurde im Anschluss im Physikunterricht an verschiedenen Schulen in vier Klassen getestet. Hierzu wurde im Rahmen der Arbeit ein Unterrichtskonzept für die Nutzung der AR App im Physikunterricht entwickelt. Mit zwei Multiple Choice Test konnte der Lernzuwachs durch die Stunden untersucht werden. Mit einer Evaluation der App wurden die Meinungen der Schüler*innen in Bezug zur App festgehalten.

Die App hat zum Zeitpunkt der Unterrichtsbesuche schon sehr gut funktioniert. Die zur Verfügung gestellten Formeln konnten gut umgesetzt werden und die Daten der ersten Messreihen waren vielversprechend. Darüber hinaus waren die Darstellungen der Geräte realitätsnah und die Visualisierungen der Alpha-, Beta- und Gammastrahlung ansprechend. Obwohl der Prototyp noch ein paar Schwächen zeigte, ließ sich bereits sehr gut mit der App experimentieren.

Die Umsetzung der Unterrichtsplanung in den Klassen hat meist reibungslos funktioniert. Die Schüler*innen hatten überwiegend Spaß an der Arbeit mit der App und konnten einige Erkenntnisse aus den Versuchen mitnehmen. Die Auswertung der Multiple Choice Tests ergab, dass über die Hälfte der Schüler*innen einen Lernzuwachs am Ende der Stunde verzeichnen konnte. Die Bewertungen der App von den Schüler*innen war ebenfalls zum Großteil positiv.

Wie in der Arbeit näher ausgeführt wurde, müssen an einigen Stellen das Unterrichtskonzept und die App überarbeitet werden. Es müssen mehr Erklärungen zur Arbeit mit der App gegeben werden. Darüber hinaus sollten weitere Untersuchungen zur App in Schulen mit mehr Zeit eingeplant werden. Das Pensum, alle Versuche in einer Doppelstunde durchzuführen, war machbar, ist allerdings nicht ideal gewesen. Mit mehr Zeit für die einzelnen Versuche und deren Auswertung würde vermutlich der Lernzuwachs nachhaltig gesteigert werden. Eine andere Möglichkeit, die sich definitiv für eine Integration der App in den Unterricht anbietet, besteht darin, die Versuche unterrichtsbegleitend einzusetzen. So kann die App immer wieder eingesetzt werden, wenn etwas veranschaulicht werden soll, wie zum Beispiel das Abstands-Quadrat-Gesetz. Hier hat die App einen großen Vorteil gegenüber Realexperimenten. Die Zeit, die App zu öffnen und die Marker auszulegen, ist deutlich kürzer, als wenn Experimentierkästen verteilt werden müssen. Darüber hinaus ist auch der Abbau der Versuche schnell ge-

macht. Es handelt sich lediglich um ein Weglegen des Smartgerätes, wie zum Beispiel eines Tablets, und der Marker.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die App eine Bereicherung des Unterrichts und einen sinnvollen Einsatz neuer Medien darstellt. Die Evaluation bestätigt, dass dies auch von den meisten Schüler*innen so wahrgenommen wurde. Sobald die App das Prototypenstadium verlassen hat, kann sie nicht nur genutzt werden, um den Physikunterricht methodisch zu bereichern. Sie kann den Schüler*innen auch einen AR gestützten Lernzuwachs hinsichtlich des Wissens über ionisierende Strahlung ermöglichen.

9 Ausblick: Erweiterungsmöglichkeiten der App

Wie schon erwähnt war die App zum Start der Untersuchung voll einsatzbereit. Die Mehrheit der Schüler*innen hat die App schnell verstanden und konnte die meisten Experimente durchführen. Da es sich um einen Prototyp handelt, ist es wünschenswert, mit den Rückmeldungen der Schüler*innen die App weiter zu verbessern. Dadurch kann erreicht werden, dass zukünftig alle Schüler*innen Spaß an den Experimenten in AR haben und ihnen die Bedienung der App leicht fällt.

In der App könnte die Aufteilung der Menüs verbessert werden, damit die Experimente übersichtlicher werden. Weiter sollte das Ausrichten der Geräte vereinfacht werden. Welche Möglichkeiten sich hier am besten anbieten, muss zusammen mit den Software Entwicklern ausprobiert werden. Weiter wird es nötig sein, über die Visualisierung zu diskutieren, um diese gegebenenfalls anzupassen.

Mit der App können derzeit zwei Eigenschaften von Strahlung radioaktiver Stoffe untersucht werden. Die Versuche zur Reichweite und zum Durchdringungsvermögen sind überwiegend gut angekommen. Das Hinzufügen weiterer Präparate würde das Vergleichen von verschiedenen Strahlungsquellen ermöglichen und so andere Einsatzmöglichkeiten der App im Unterricht bieten.

Eine dritte Eigenschaft, die Ablenkung im Magnetfeld, kann bisher noch nicht mit der App untersucht werden. Dies könnte in einer Erweiterung der App ergänzt werden. Es müsste ein weiterer Marker erstellt werden, der in der App einen Hufeisenmagneten darstellt und Alpha- und Betastrahlung entsprechend seiner Ausrichtung ablenkt.

Weitere Studien sollten unter anderem darauf abzielen, den nachhaltigen Lernzuwachs durch die Experimente mit der App zu untersuchen. Ferner steht auch eine Untersuchung aus, die einen direkten Vergleich zwischen Realexperimenten und den Experimenten in Augmented Reality herstellt. Hierbei könnte beispielsweise konkreter betrachtet werden, ob AR Umgebungen, wie die hier konzipierte und genutzte App, Realexperimente nur unterstützen sollten oder sie sogar ersetzen können.

10 Literaturverzeichnis

- [Bader und Oberholz, 2001] Bader, F. und Oberholz, H.-W., Herausgeber (2001). *Physik — Gymnasium Sek 1*. Schroedel, Hannover [u.a.].
- [Bell, 2007] Bell, T. (2007). *Entdeckendes und forschendes Lernen*, Seiten 70–81. Cornelsen Verlag Scriptor.
- [Das Bildungsportal Schule.at, 2021] Das Bildungsportal Schule.at (2021). Tablets als Werkzeug im Unterricht.
- [Dolch, 2012] Dolch, B. (2012). Umgang mit Heterogenität — Teil 3: Kooperative Lernformen.
- [Duden.de, 2021] Duden.de (2021). Experiment, das.
- [Duit, 1993] Duit, R. (1993). Schülervorstellungen - von Lerndefiziten zu neuen Unterrichtsansätzen. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, (16).
- [Duit, 2020] Duit, R. (2020). *Alltagsvorstellungen und Physik lernen*. Springer Spektrum, 4. Auflage.
- [e-teaching.org, 2016] e-teaching.org (2016). Was ist ein Experiment?
- [Fischer und Krabbe, 2020] Fischer, H. und Krabbe, H. (2020). *Empirische Forschung in der Physikdidaktik*. Springer Spektrum, 4. Auflage.
- [Funke Digital GmbH, 2021] Funke Digital GmbH (2021). Ionisierende Strahlung: Reichweite: Reichweite von Elektronen, Alphateilchen Neutronen.
- [Girwidz, 2020a] Girwidz, R. (2020a). *Experimente im Physikunterricht*. Springer Spektrum, 4. Auflage.
- [Girwidz, 2020b] Girwidz, R. (2020b). *Medien im Physikunterricht*. Springer Spektrum, 4. Auflage.
- [Girwidz, 2020c] Girwidz, R. (2020c). *Multimedia und digitale Medien im Physikunterricht*. Springer Spektrum, 4. Auflage.
- [Höhne, 2015] Höhne, S. (Letzte Änderung: 2015). Was bedeutet Lernpsychologie?
- [Höttecke, 2010] Höttecke, D. (2010). Forschend-entdeckender Physikunterricht. *Unterricht Physik*, (119):4–12.

- [Höttecke und Barth, 2011] Höttecke, D. und Barth, M. (2011). Geschichte im Physikunterricht. *Unterricht Physik*, (126).
- [Kircher, 2013a] Kircher, E. (2013a). *Planung und Analyse von Physikunterricht*.
- [Kircher, 2013b] Kircher, E. (2013b). *Ziele und Kompetenzen im Physikunterricht*.
- [Kircher und Girwidz, 2020] Kircher, E. und Girwidz, R. (2020). *Ziele und Kompetenzen im Physikunterricht*. Springer Spektrum, 4. Auflage.
- [Krabbe und Fischer, 2020] Krabbe, H. und Fischer, H. (2020). *Gestaltung von Unterricht*. Springer Spektrum, 4. Auflage.
- [Kultusminister Konferenz, 2017] Kultusminister Konferenz (2017). Strategie „Bildung in der digitalen Welt“.
- [Mayer, 2014] Mayer, R. (2014). *Cognitive Theory of Multimedia Learning*. Cambridge Handbooks in Psychology. Cambridge University Press, 2. Auflage.
- [Mie, 2002] Mie, K. (2002). Multiple Choice Aufgaben. *Unterrichtphysik*, (67):8–11.
- [Nawrath und Peters, 2014] Nawrath, D. und Peters, S. (2014). Experimente für das Lernen nutzen. *Unterrichtphysik*, (114).
- [Niedersächsisches Kultusministerium, 2015] Niedersächsisches Kultusministerium (2015). Kerncurriculum für das Gymnasium Schuljahrgänge 5-10.
- [Niedersächsisches Kultusministerium, 2017] Niedersächsisches Kultusministerium (2017). Kerncurriculum für das Gymnasium – gymnasiale Oberstufe, die Gesamtschule – gymnasiale Oberstufe, das Berufliche Gymnasium, das Abendgymnasium, das Kolleg.
- [Plotz, 2016] Plotz, T. (2016). Basisideen zum Strahlungsunterricht. *Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.
- [Studienseminar Koblenz, 2017] Studienseminar Koblenz (Letzte Änderung: 2017). Steckbrief Methoden-Werkzeuge.
- [Vogt und Schultz, 2011] Vogt, H.-G. und Schultz, H. (2011). *Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes*. Carl Hanser Verlag, München, 6. Auflage.
- [Vogt und Vahlbruch, 2019] Vogt, H.-G. und Vahlbruch, J.-W. (2019). *Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes*. Carl Hanser Verlag, München, 7. Auflage.

[von Aufschnaiter et al., 2020] von Aufschnaiter, C., Theyßen, H., und Krabbe, H. (2020). *Diagnostik und Leistungsbeurteilung im Unterricht*. Springer Spektrum, 4. Auflage.

A Anhang

A.1 Exkurs: Lernpsychologische Grundlagen

Unter Lernpsychologie werden allgemeine Theorien verstanden, die sich damit befassen, was Lernen eigentlich bedeutet [Höhne, 2015]. Es gibt drei wichtige Aspekte, die zu einem erfolgreichen Lernprozess beitragen. Erstens muss das Wissen von jede*r Schüler*in selber konstruiert werden [Duit, 2020]. Das heißt, der Lehrer kann nur beim Lernen unterstützen und Anstöße zur aktiven Auseinandersetzung mit dem Thema geben, das Aneignen von Wissen muss jede*r Schüler*in eigenständig bewältigen. Zweitens ist Lernen abhängig von der Umgebung [Duit, 2020]. Sowohl die Gruppe, in der Wissen angeeignet wird als auch das Material, mit dem Wissen angeeignet wird, bestimmen das Lernen der Inhalte. In der Physikdidaktik ist als Drittes von Bedeutung, dass Theorien und Hypothesen in den Naturwissenschaften von Menschen geschaffen werden und so jederzeit widerlegt oder erweitert werden können [Duit, 2020]. Für Schüler*innen bedeutet dies, dass sie Wissen aufbauen, welches gegebenenfalls in der Zukunft widerlegt oder erweitert wird. Zusammen mit der Theorie von Mayer zum Multimedialernen ergeben sich dann Anforderungen an den Unterricht, die die Lehrkraft umsetzen kann. Die Theorie basiert auf der Annahme, dass es zwei Kanäle gibt, auf denen Informationen vermittelt werden können [Mayer, 2014]. Ein Kanal basiert auf Bildern, der andere auf Sprache [Mayer, 2014]. Da das menschliche Gehirn nur begrenzte Verarbeitungskapazitäten hat, sollten beim Lernen beide Kanäle angesprochen werden [Girwidz, 2020c]. Von Informationen, die nur auditiv vermittelt werden, können weniger Inhalte gespeichert werden, als wenn die gleiche Menge an Informationen visuell und auditiv zur Verfügung stehen. Darüber hinaus ist die Erinnerung von Bildern besser als von Gehörtem oder rein Gelesenem, so können die Inhalte besser miteinander verknüpft werden [Girwidz, 2020b]. Zu beachten ist allerdings, dass bildhafte Darstellungen im Unterricht nur vorteilhaft sind, wenn die Schüler*innen den Bildern alle wichtigen Informationen entnehmen können [Girwidz, 2020b].

Aus den oben beschriebenen Erkenntnissen ergeben sich also folgende Anforderungen: Erstens muss die Lehrkraft sicherstellen, dass sich die Schüler*innen Inhalte eigenständig erarbeiten und aktiv mit ihrem Vorwissen verknüpfen können. Zweitens muss die Lehrkraft ein produktives Lernklima schaffen. Dazu gehört eine entspannte Arbeitsatmosphäre in der Klasse, sowie die Auswahl der richtigen Materialien [Mayer, 2014]. Drittens sollte die Geschichte und die Entwicklung der Naturwissenschaft thematisiert werden [Höttecke und Barth, 2011]. Und viertens sollten Informationen sowohl visuell als auch auditiv bereitgestellt werden [Mayer, 2014]. Dabei sind gut verständliche Bilder besonders einprägsam [Girwidz, 2020b].

A.2 Bilder der App



Abbildung 8: Foto der beschrifteten QR-Codes, die für die Experimente mit der App eingescannt werden können

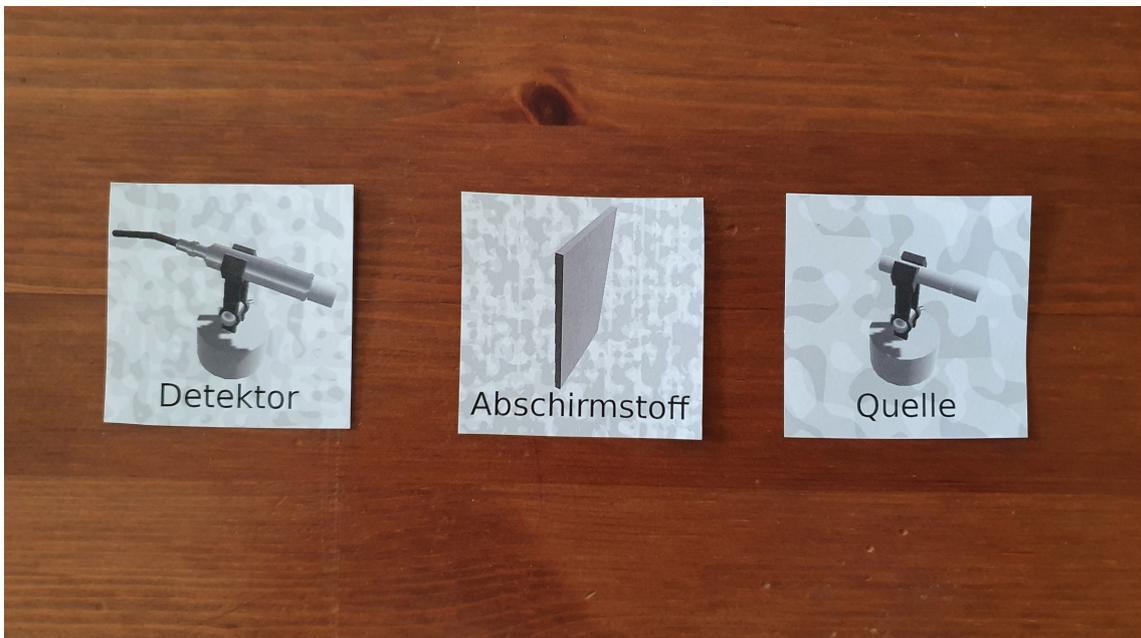


Abbildung 9: Foto der bildlichen Marker, die für die Experimente mit der App eingescannt werden können

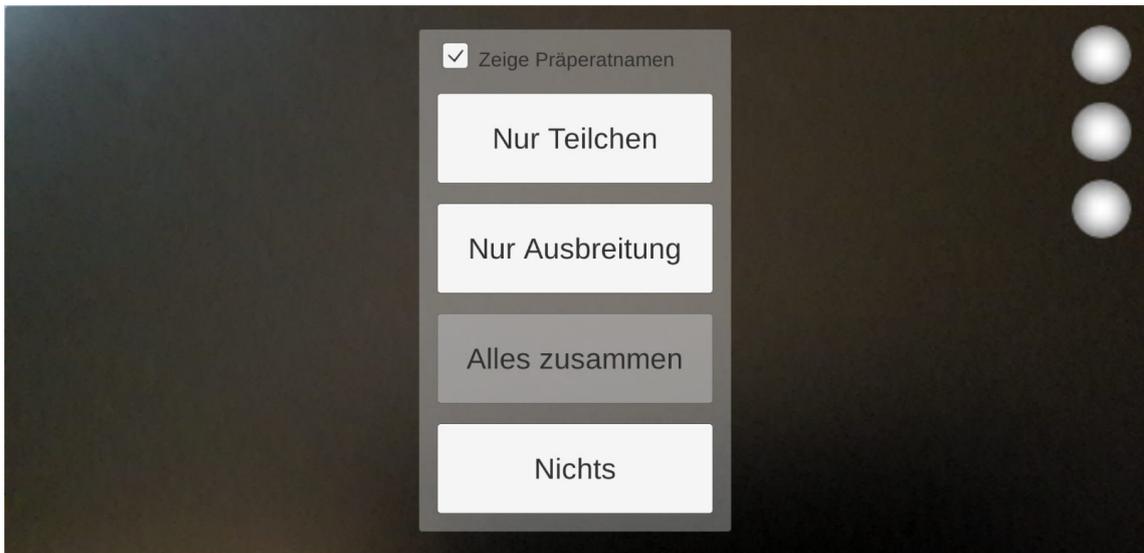


Abbildung 10: Screenshot des App Menüs mit den verschiedenen Einstellungen für die Visualisierung und der Möglichkeit, die Namen der Präparate auszuschalten



Abbildung 11: Screenshot der Quelle mit einem Präparat ausgewählt

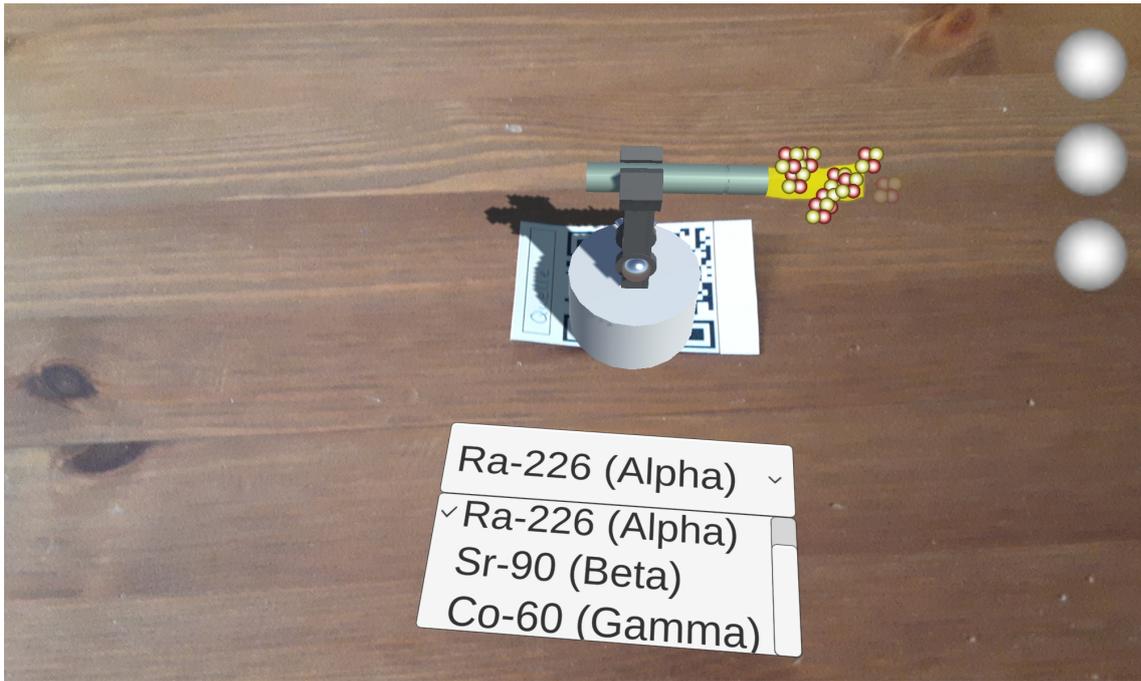


Abbildung 12: Screenshot der Quelle mit dem Drop Down Menü und den verschiedenen Möglichkeiten

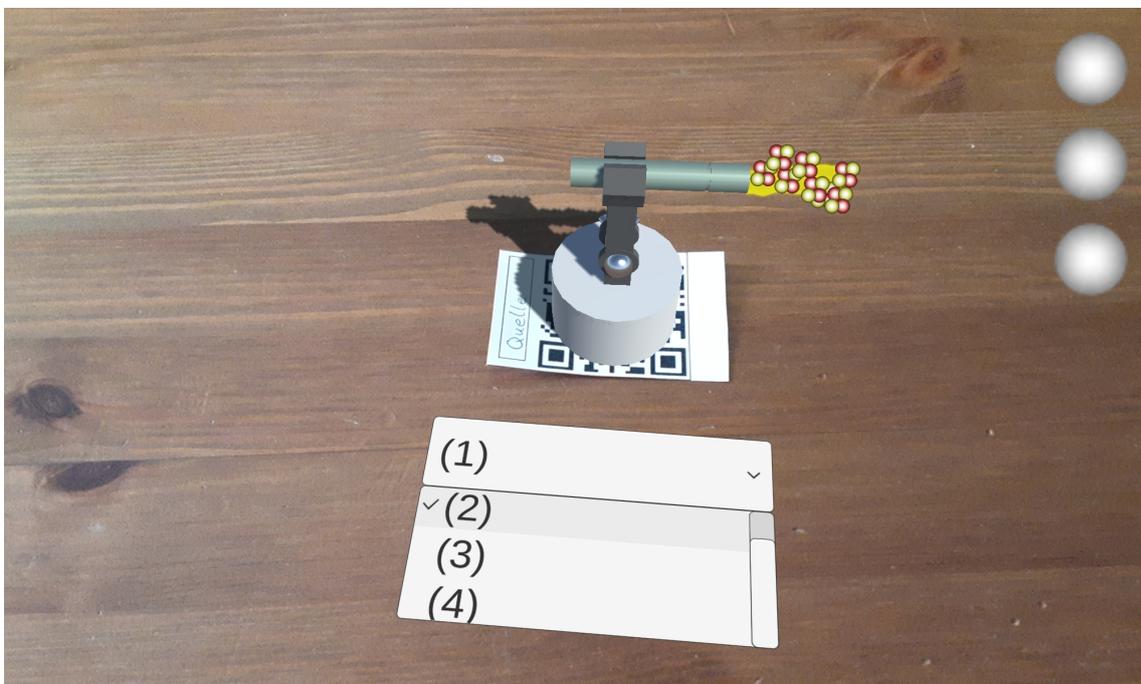


Abbildung 13: Screenshot des Auswahlmenüs der Quelle mit ausgeschalteten Namen der Präparate

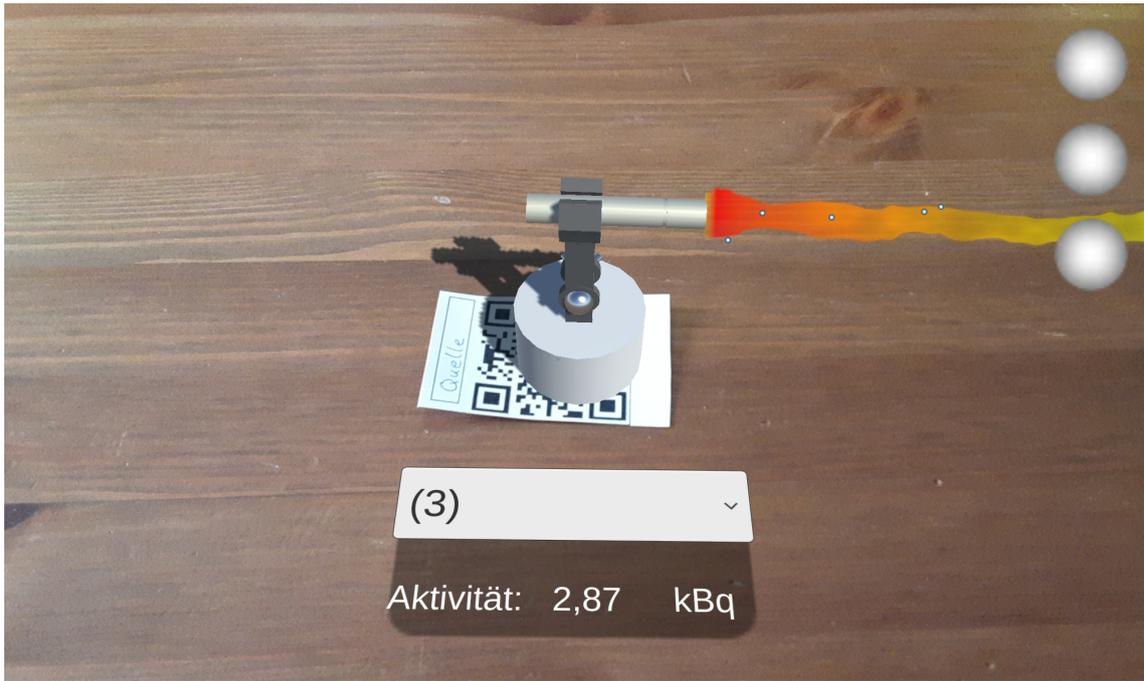


Abbildung 14: Screenshot der Quelle mit einem ausgewählten Präparat. Der Name wird nicht angezeigt nur die Aktivität

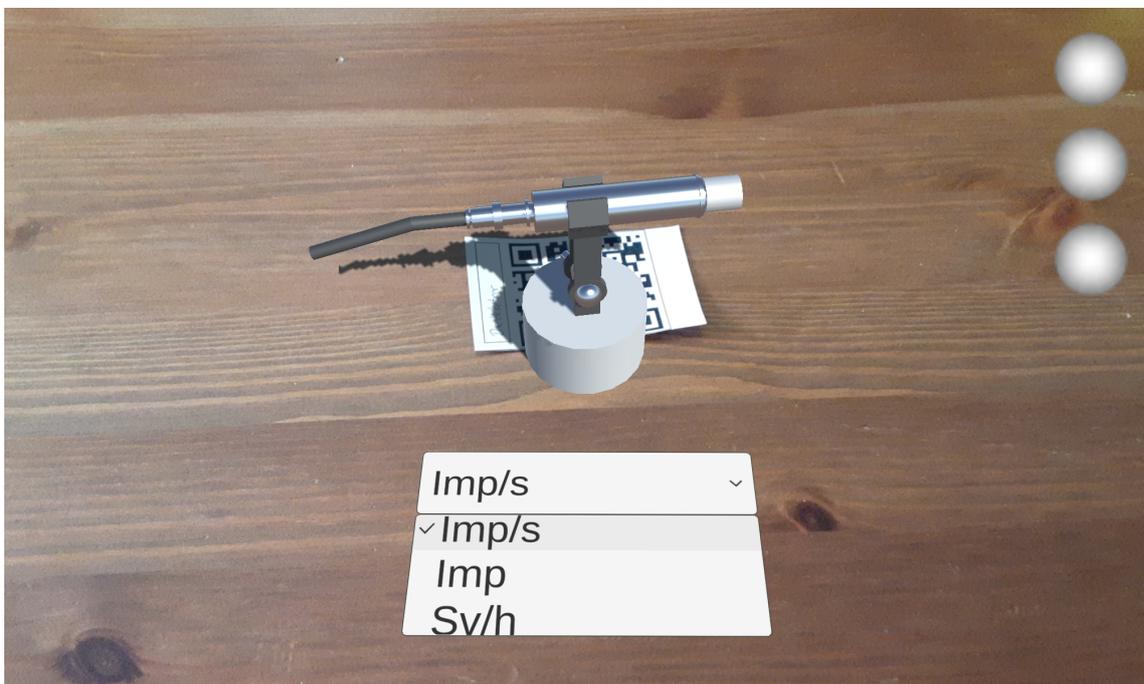


Abbildung 15: Screenshot des Detektormenüs mit den verschiedenen Auswahlmöglichkeiten

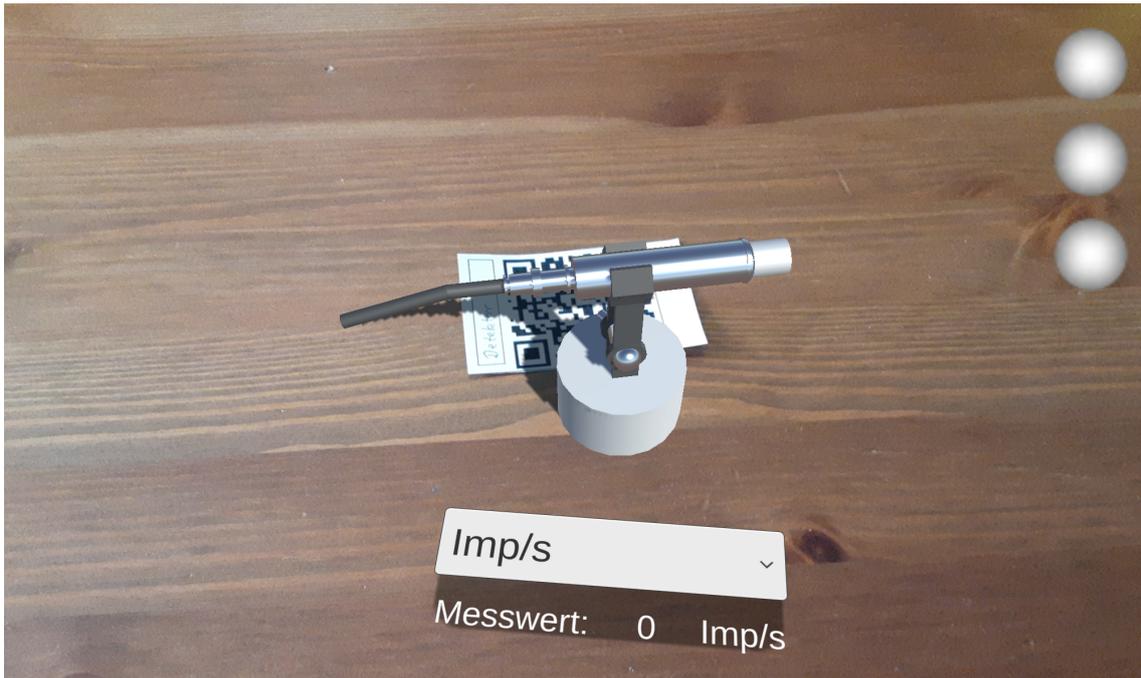


Abbildung 16: Screenshot des Detektors, der die Zählrate in Impulsen pro Sekunde anzeigt

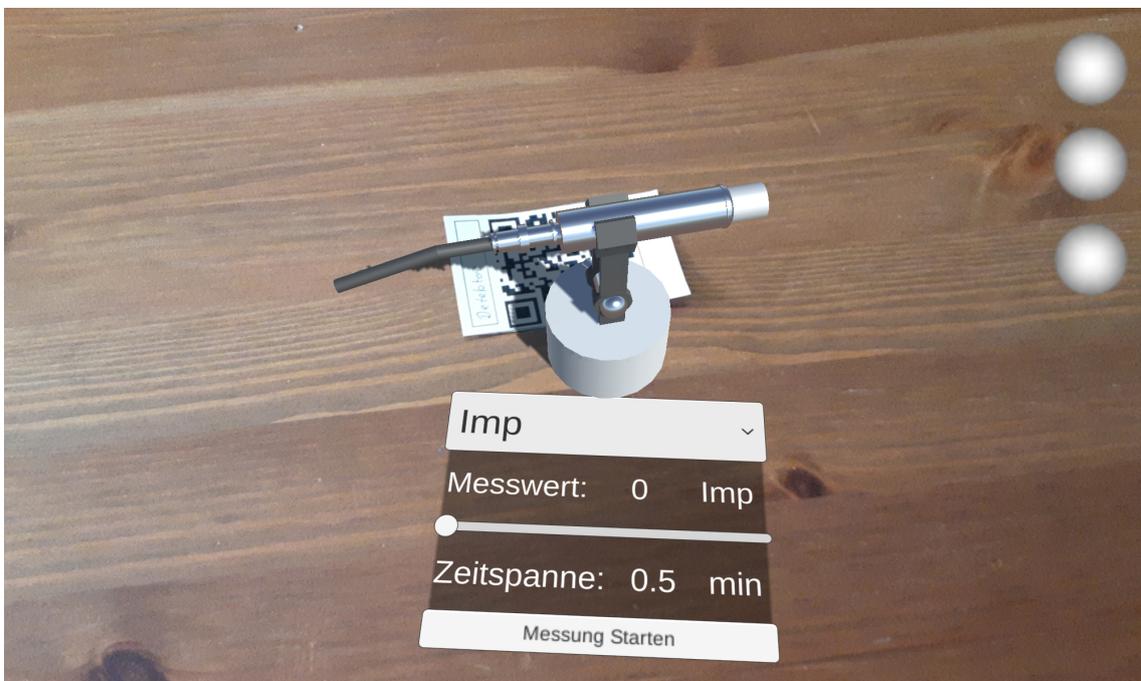


Abbildung 17: Screenshot des Detektors, der die Zählrate in Impulsen pro eingestelltem Zeitintervall misst

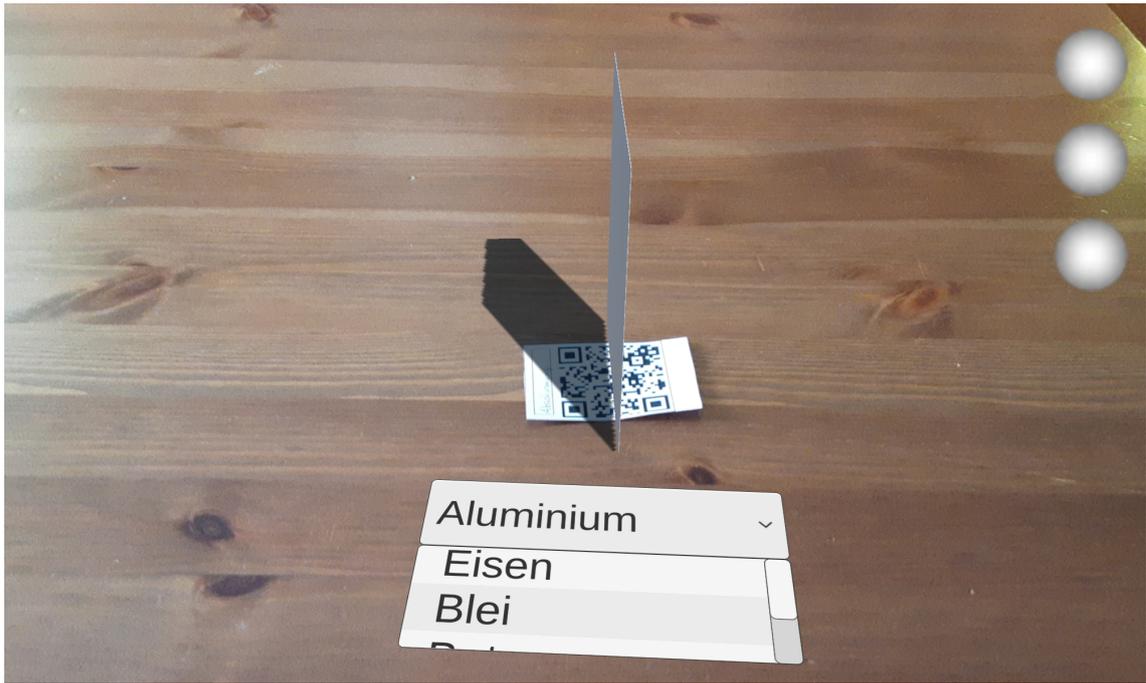


Abbildung 18: Screenshot der Abschirmung mit einigen der verschiedenen Möglichkeiten

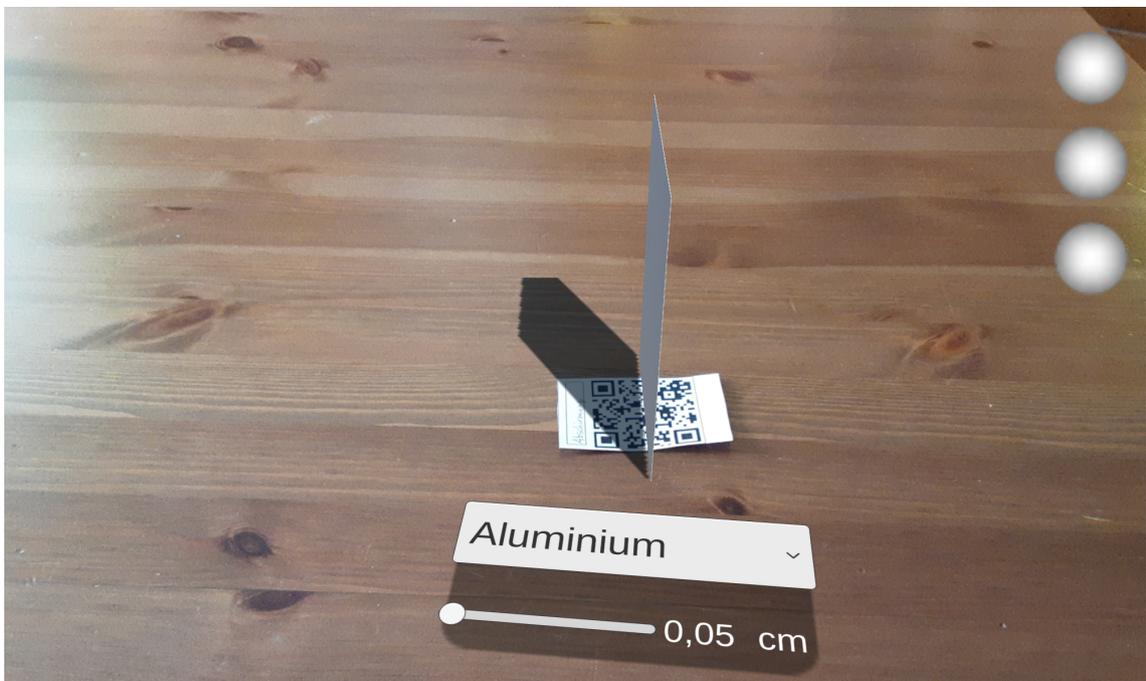


Abbildung 19: Screenshot der Abschirmung, wenn ein Material ausgewählt ist. Mit dem Schiebezeiger kann die Dicke erhöht werden

A.3 Analyse mit dem Modell von Nawrath et al.

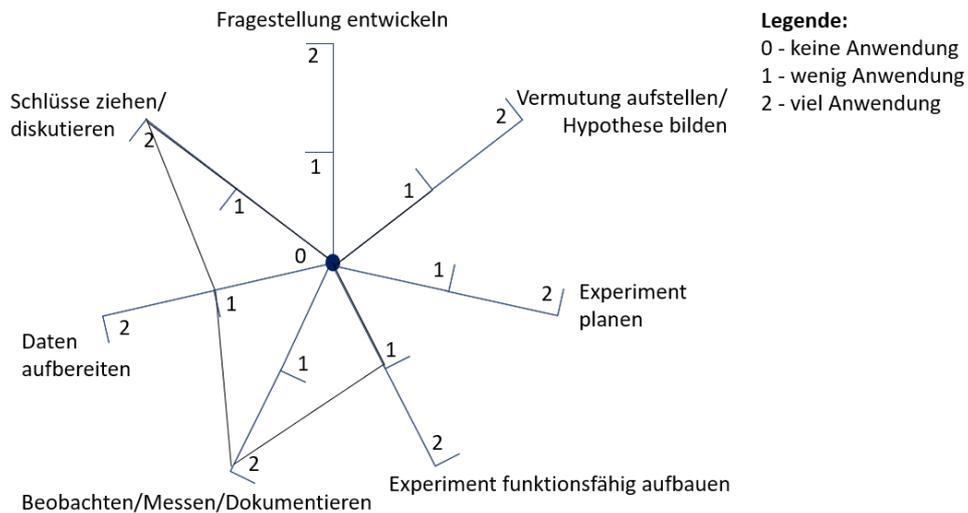


Abbildung 20: Analyse der Schwerpunkte zur experimentellen Kompetenzentwicklung für die Versuche in einer AR Umgebung aus Kapitel 3.1 nach Nawrath et al. (2011)

A.4 Druckvorlagen

A.4.1 Verhaltensregeln für den Umgang mit Tablets

Verhaltensregeln für die Nutzung der Tablets

1. Ich desinfiziere meine Hände vor der Nutzung der Tablets.
2. Ich halte das Tablet immer mit beiden Händen.
3. Ich verwende das Tablet nur zum Experimentieren.
4. Ich benutze keine Flüssigkeiten in der Nähe des Tablets.

Versuchsprotokoll 2

Versuchsprotokoll: β -Strahlung

Datum:

Forschungsziel: Wir untersuchen β -Strahlung auf ihre Reichweite.

Material: Detektor, Sr-90-Präparat

Durchführung: Bring den β -Strahler an das Glimmfenster des Detektors. Miss die Zählrate über 30 sec. Starte die Messreihe im Abstand von 5 cm. Erhöhe den Abstand immer um 5 cm. Die Messreihe endet bei 55 cm. Stelle die Impulse pro 30 sec. in einer Tabelle in Abhängigkeit vom Abstand dar und rechne diese in Impulse pro Sekunde um.

Skizze:

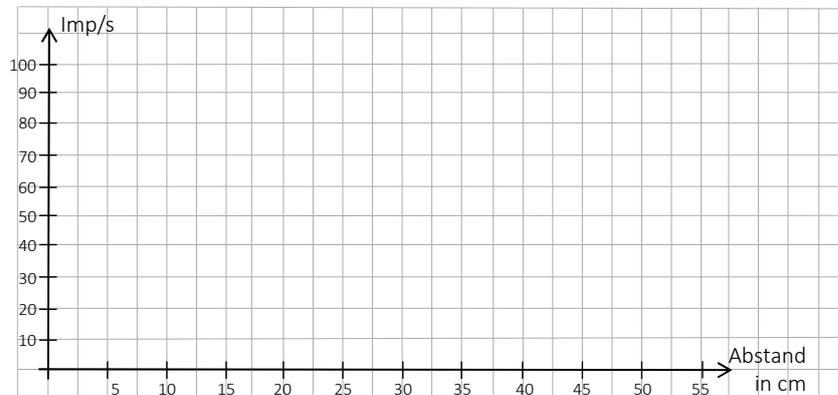
Hypothese:

Messwerte:

Abstand in cm	5	10	15	20	25	30
Zählrate in Imp/30s						
Zählrate in Imp/s						
Abstand in cm	35	40	45	50	55	
Zählrate in Imp/30s						
Zählrate in Imp/s						

Auswertung:

Für die Bestimmung der Reichweite trage die Messwerte in Impulsen pro Sekunde gegen den Abstand in ein Koordinatensystem ein. Zeichne die Nullrate als konstante Gerade ein. Zeichne eine Ausgleichsfunktion.



Deutung:

Beschreibe den Verlauf der Punkte. Der Schnittpunkt mit der Nullrate ist die maximale Reichweite der β -Strahlung. Halte die maximale Reichweite in Luft fest.

Versuchsprotokoll 3

Versuchsprotokoll: β -Strahlung

Datum:

Forschungsziel: Wir untersuchen β -Strahlung auf ihr Durchdringungsvermögen.

Material: Detektor, Sr-90-Präparat, Aluminium- und Polyethylen-Scheiben

Durchführung: Stelle den β -Strahler in einem Abstand von 20 cm an den Detektor. Stelle das Abschirmungsmaterial dazwischen. Nimm für jede Dicke des Abschirmungsmaterials die Zählrate über 30 sec. auf. Stelle die Impulse pro 30 sec. in einer Tabelle in Abhängigkeit vom Abstand dar und rechne diese in Impulse pro Sekunde um.

Skizze:



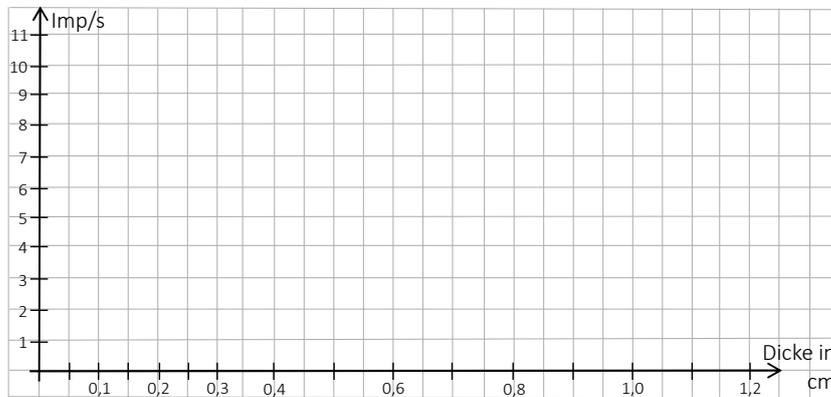
Hypothese:

Messwerte:

Polyethylen						
Dicke in cm	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
Zählrate in Imp/30s						
Zählrate in Imp/s						
Aluminium						
Dicke in cm	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
Zählrate in Imp/30s						
Zählrate in Imp/s						

Auswertung:

Trage die Pulsrate als Funktion der Absorbierschichtdicke auf. Achte darauf, dass alle Messwerte in Impulse pro Sekunde umgerechnet wurden. Zeichne die Nullrate als konstante Gerade ein. Zeichne eine Ausgleichsfunktion.



Deutung:

Beschreibe den Verlauf der Punkte. Welches Material ist besser zur Abschirmung geeignet? Begründe deine Antwort.

Versuchsprotokoll 4

Versuchsprotokoll: γ -Strahlung

Datum:

Forschungsziel: Wir untersuchen γ -Strahlung auf ihre Reichweite.

Material: Detektor, Co-60-Präparat

Durchführung: Stelle den γ -Strahler an das Glimmfenster des Detektors. Miss die Zählrate über 30 sec. Starte die Messreihe im Abstand von 10 cm. Erhöhe den Abstand immer um 10 cm. Die Messreihe endet bei 1 m. Trage die Impulse pro 30 sec. in einer Tabelle in Abhängigkeit vom Abstand ein und rechne diese in Impulse pro Sekunde um.

Skizze:

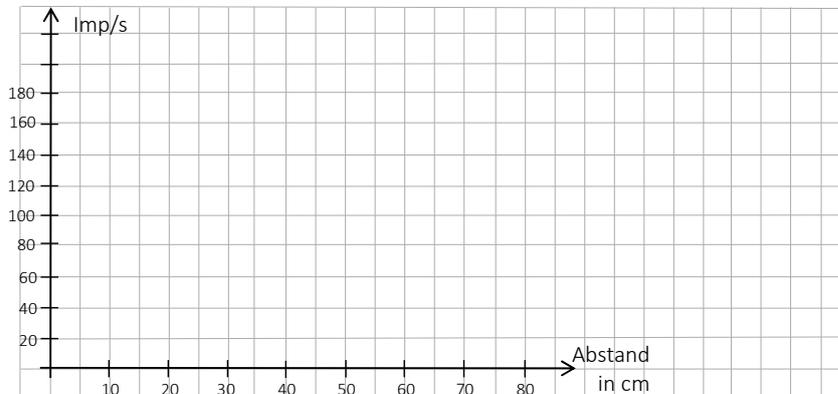


Hypothese:

Messwerte:

Abstand in cm	10	20	30	40	50	60
Zählrate in Imp/30s						
Zählrate in Imp/s						
Abstand in cm	70	80				
Zählrate in Imp/30s						
Zählrate in Imp/s						

Auswertung: Stelle die Messwerte in Impulsen pro Sekunde abzüglich der Nullrate gegen den Abstand in einem Koordinatensystem dar. Zeichne eine Ausgleichsfunktion.



Deutung:

Beschreibe den Verlauf der Punkte. Was kann über die Reichweite von γ -Strahlung mithilfe des Graphen festgehalten werden?

Versuchsprotokoll 5

Versuchsprotokoll: γ -Strahlung

Datum:

Forschungsziel: Wir untersuchen γ -Strahlung auf ihr Durchdringungsvermögen.

Material: Detektor, Co-60-Präparat, Blei-, Beton- und Eisen-Scheiben

Durchführung: Bringe den γ -Strahler in einem Abstand von 30 cm an den Detektor. Bringe das Abschirmungsmaterial dazwischen. Miss für jede Dicke des Abschirmungsmaterials die Zählrate über 30 sec. Stelle die Impulse pro 30 sec. in einer Tabelle in Abhängigkeit vom Abstand dar und rechne diese in Impulse pro Sekunde um.

Skizze:



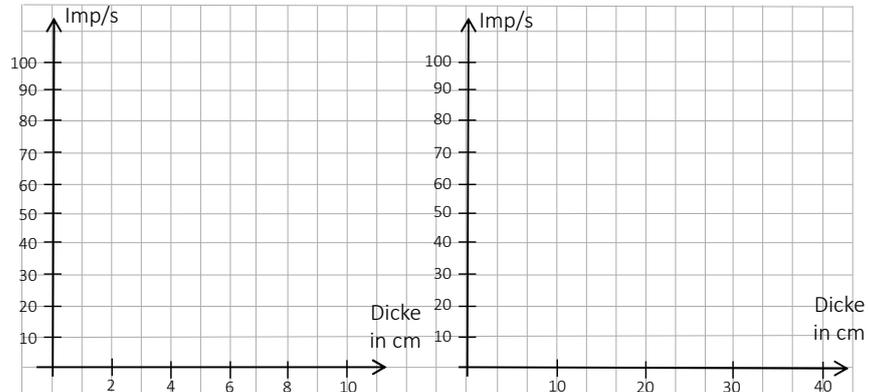
Hypothese:

Messwerte:

	Dicke in cm		5	15	20	25	30	35	40
Beton	Zählrate in Imp/30s								
	Zählrate in Imp/s								
Blei	Dicke in cm		1	2	3	4	5	6	
	Zählrate in Imp/30s								
Eisen	Dicke in cm		1	2	3	5	7	8	10
	Zählrate in Imp/30s								
	Zählrate in Imp/s								

Auswertung:

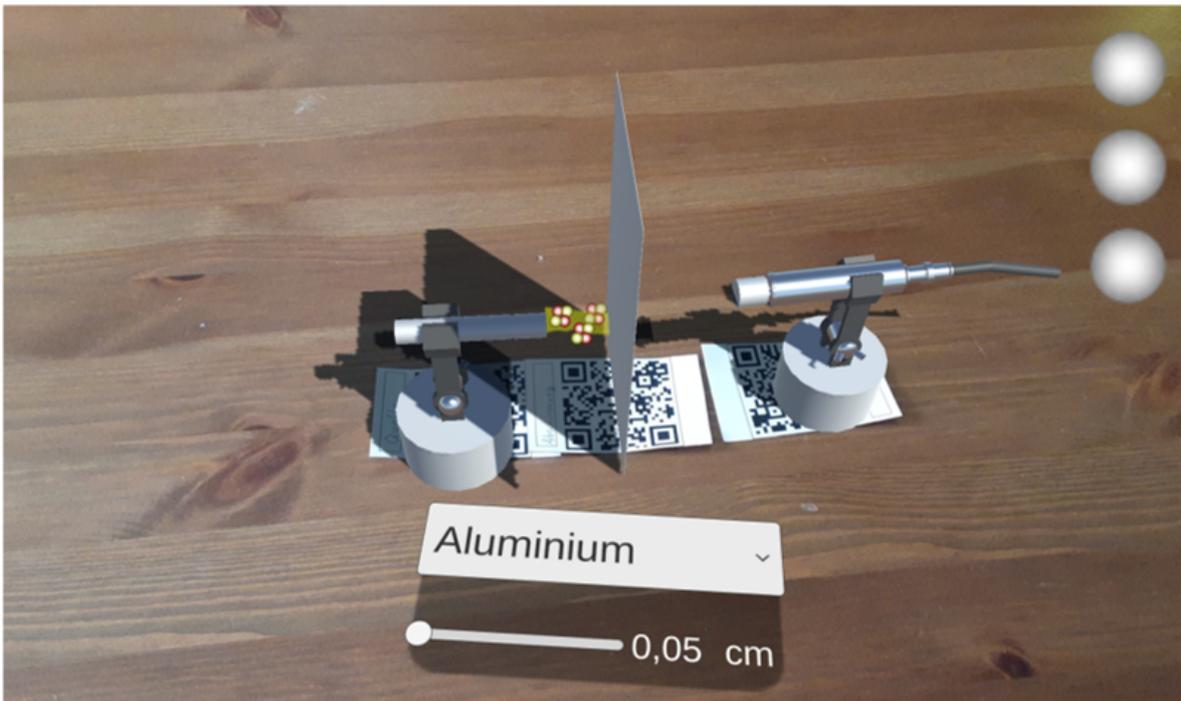
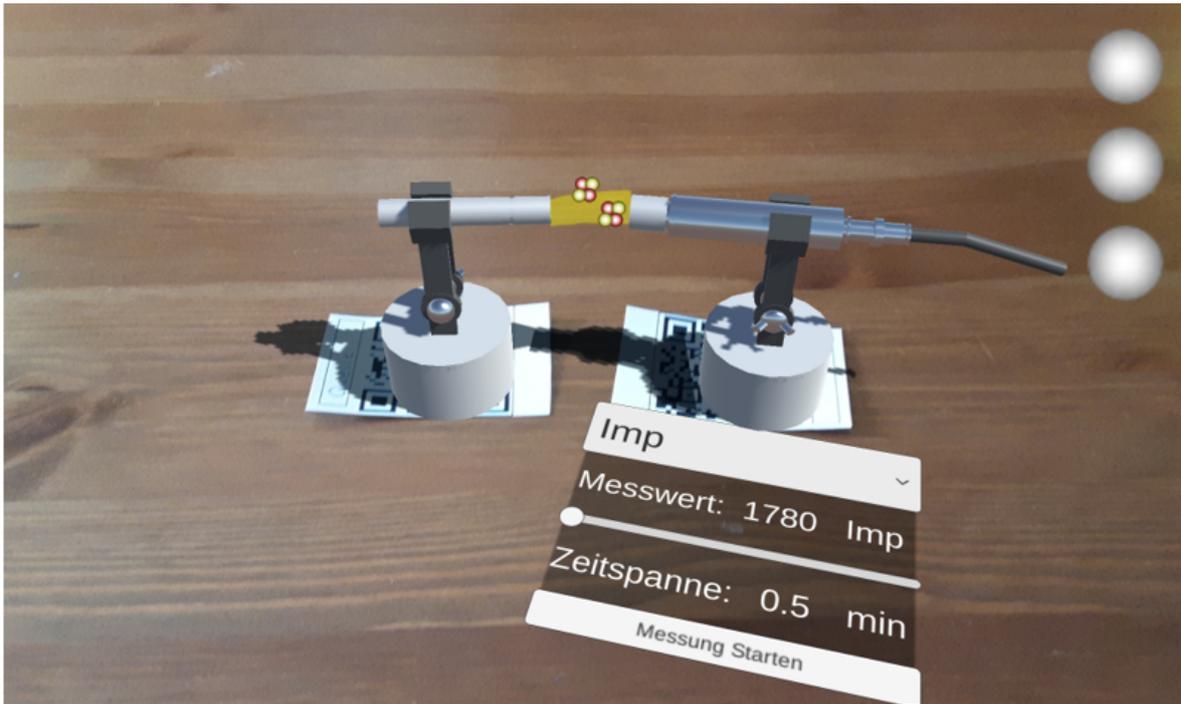
- 1) Stelle die Impulsrate abzüglich der Nullrate als Funktion der Dicke des Schwächungsmaterials dar. Achte darauf, dass alle Messwerte in Impulse pro Sekunde umgerechnet wurden. Zeichne eine Ausgleichsfunktion.
- 2) Bestimme die Halbwertsschichtdicke.



Deutung:

Welches Material ist besser zur Abschirmung geeignet? Begründe deine Antwort mit der Halbwertsschichtdicke.

Skizze des Versuchsaufbaus für Protokoll 1:



Musterlösung von Versuchsprotokoll 2

Versuchsprotokoll: β -Strahlung

Datum:

Forschungsziel: Wir untersuchen β -Strahlung auf ihre Reichweite.

Material: Detektor, Sr-90-Präparat

Durchführung: Bring den β -Strahler an das Glimmfenster des Detektors. Miss die Zählrate über 30 sec. Starte die Messreihe im Abstand von 5 cm. Erhöhe den Abstand immer um 5 cm. Die Messreihe endet bei 55 cm. Stelle die Impulse pro 30 sec. in einer Tabelle in Abhängigkeit vom Abstand dar und rechne diese in Impulse pro Sekunde um.

Skizze:



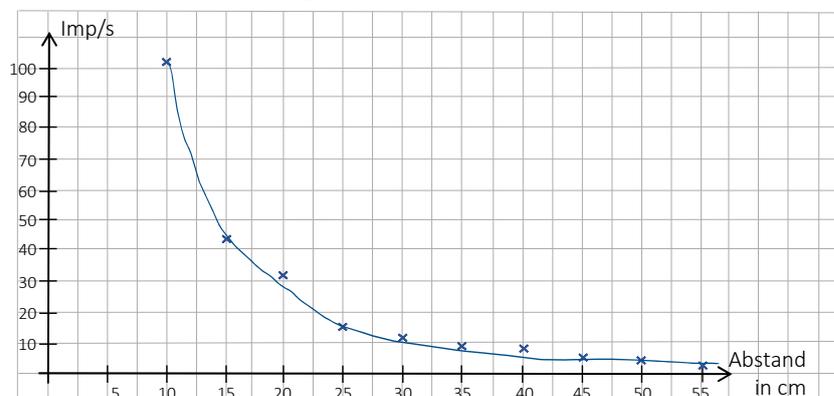
Hypothese: Betastrahlung hat eine längere Reichweite als Alphastrahlung.

Die Zählrate der Betastrahlung bleibt wie bei der Alphastrahlung konstant/ nimmt ab.

Messwerte:

Abstand in cm	5	10	15	20	25	30
Zählrate in Imp/30s	13700	3079	1307	686	470	330
Zählrate in Imp/s	456,7	102,6	43,6	22,9	15,6	11,0
Abstand in cm	35	40	45	50	55	
Zählrate in Imp/30s	274	244	151	134	116	
Zählrate in Imp/s	9,1	8,1	5,0	4,5	3,9	

Auswertung: Für die Bestimmung der Reichweite trage die Messwerte in Impulsen pro Sekunde gegen den Abstand in ein Koordinatensystem ein. Zeichne die Nullrate als konstante Gerade ein. Zeichne eine Ausgleichsfunktion.



Deutung: Beschreibe den Verlauf der Punkte. Was kann über die maximale Reichweite von β -Strahlung in Luft festgehalten?

Die Zählrate nimmt mit zunehmendem Abstand ab. Der Graph fällt mit

$1/\text{Abstand}^2$. Die Zählrate nähert sich immer weiter der Nullrate. Die Reichweite

beträgt daher ungefähr 1m.

Skizze des Versuchsaufbaus für Protokoll 2:



Musterlösung von Versuchsprotokoll 3

Versuchsprotokoll: β -Strahlung

Datum:

Forschungsziel: Wir untersuchen β -Strahlung auf ihr Durchdringungsvermögen.

Material: Detektor, Sr-90-Präparat, Aluminium- und Polyethylen-Scheiben

Durchführung: Stelle den β -Strahler in einem Abstand von 20 cm an den Detektor. Stelle das Abschirmungsmaterial dazwischen. Nimm für jede Dicke des Abschirmungsmaterials die Zählrate über 30 sec. auf. Stelle die Impulse pro 30 sec. in einer Tabelle in Abhängigkeit vom Abstand dar und rechne diese in Impulse pro Sekunde um.

Skizze:



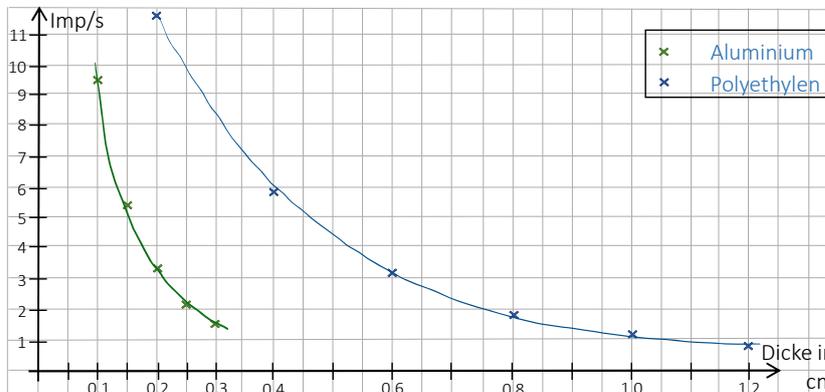
Hypothese: Aluminium schirmt Betastrahlung besser oder schlechter ab als Polyethylen.

Messwerte:

Polyethylen							
Dicke in cm		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
Zählrate in Imp/30s		355	177	94	55	36	25
Zählrate in Imp/s		11,8	5,9	3,1	1,8	1,2	0,8

Aluminium							
Dicke in cm		0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
Zählrate in Imp/30s		412	284	161	100	64	46
Zählrate in Imp/s		13,7	9,5	5,4	3,3	2,1	1,5

Auswertung: Trage die Pulsrate als Funktion der Absorberschichtdicke auf. Achte darauf, dass alle Messwerte in Impulse pro Sekunde umgerechnet wurden. Zeichne die Nullrate als konstante Gerade ein. Zeichne eine Ausgleichsfunktion.

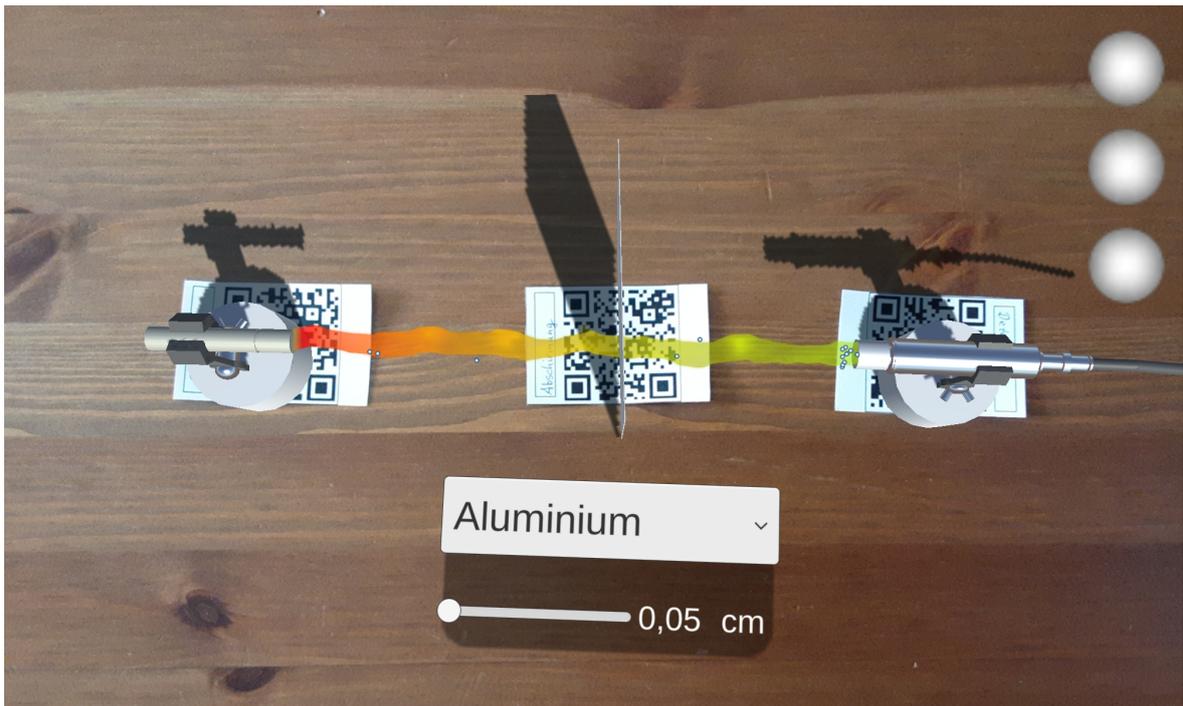


Deutung:

Beschreibe den Verlauf der Punkte. Welches Material ist besser zur Abschirmung geeignet? Begründe deine Antwort.

Die Zählrate nimmt mit zunehmender Dicke ab. Eine ungefähr 0,4 cm dicke Schicht aus Aluminium schirmt β -Strahlung ab. Eine Schicht aus Polyethylen muss mindestens 1,2 cm dick sein, um β -Strahlung abzuschirmen. Aluminium schirmt also β -Strahlung besser ab.

Skizze des Versuchsaufbaus für Protokoll 3:



Musterlösung von Versuchsprotokoll 4

Versuchsprotokoll: γ -Strahlung

Datum:

Forschungsziel: Wir untersuchen γ -Strahlung auf ihre Reichweite.

Material: Detektor, Co-60-Präparat

Durchführung: Stelle den γ -Strahler an das Glimmfenster des Detektors. Miss die Zählrate über 30 sec. Starte die Messreihe im Abstand von 10 cm. Erhöhe den Abstand immer um 10 cm. Die Messreihe endet bei 80 cm. Trage die Impulse pro 30 sec. in einer Tabelle in Abhängigkeit vom Abstand ein und rechne diese in Impulse pro Sekunde um.

Skizze:

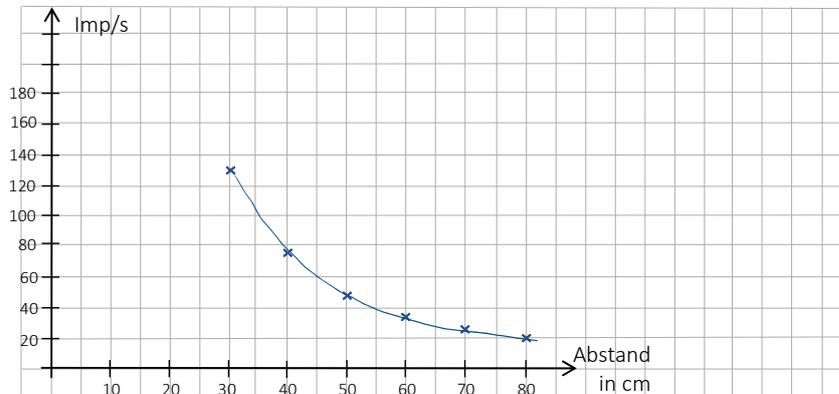


Hypothese: Gammastrahlung hat eine längere Reichweite als Alphastrahlung und Betastrahlung.

Messwerte:

Abstand in cm	10	20	30	40	50	60
Zählrate in Imp/30s	21400	7477	3911	2287	1492	1096
Zählrate in Imp/s	713,3	249,2	130,4	76,2	49,7	36,5
Abstand in cm	70	80				
Zählrate in Imp/30s	775	617				
Zählrate in Imp/s	25,8	20,6				

Auswertung: Stelle die Messwerte in Impulsen pro Sekunde abzüglich der Nullrate gegen den Abstand in einem Koordinatensystem dar. Zeichne eine Ausgleichsfunktion.

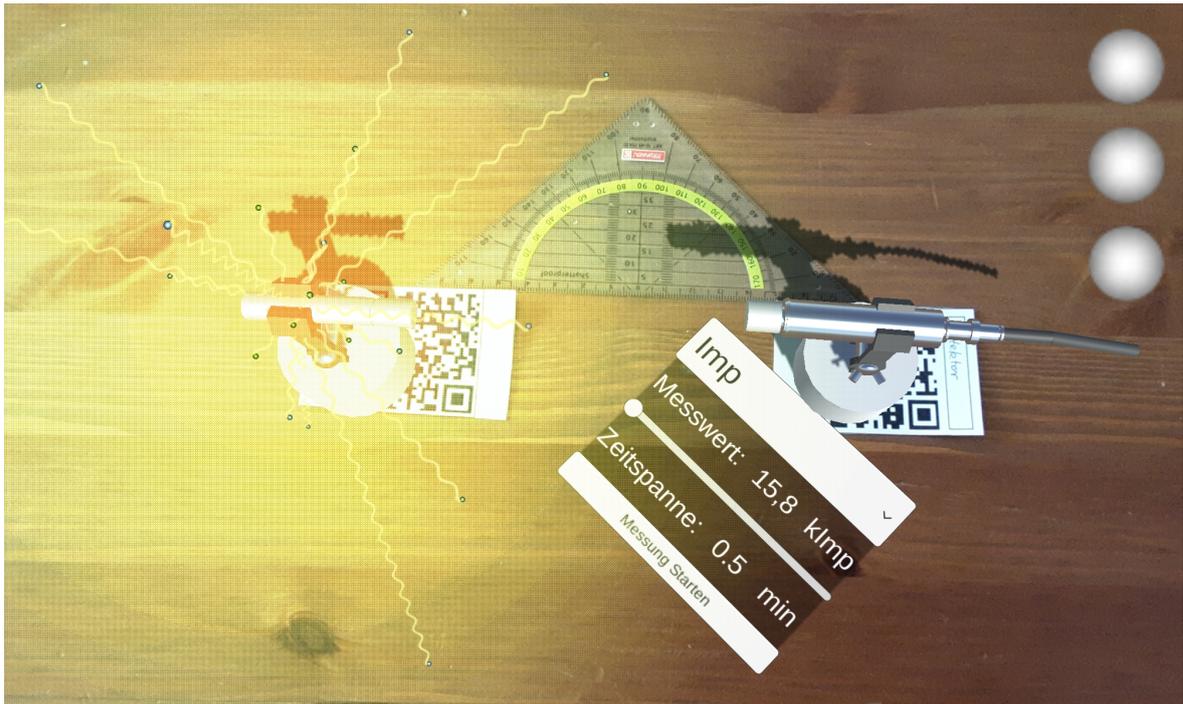


Deutung:

Beschreibe den Verlauf der Punkte. Was kann über die Reichweite von γ -Strahlung mithilfe des Graphen festgehalten werden?

Die Zählrate nimmt mit zunehmendem Abstand ab. Die Zählrate nähert sich immer weiter der Nullrate. Der Graph fällt mit $1/\text{Abstand}^2$. Die Reichweite von γ -Strahlung beträgt mehr als die Reichweite von β -Strahlung.

Skizze des Versuchsaufbaus für Protokoll 4:



Musterlösung von Versuchsprotokoll 5

Versuchsprotokoll: γ -Strahlung

Datum:

Forschungsziel: Wir untersuchen γ -Strahlung auf ihr Durchdringungsvermögen.

Material: Detektor, Co-60-Präparat, Blei-, Beton- und Eisen-Scheiben

Durchführung: Bringe den γ -Strahler in einem Abstand von 30 cm an den Detektor. Bringe das Abschirmungsmaterial dazwischen. Miss für jede Dicke des Abschirmungsmaterials die Zählrate über 30 sec. Stelle die Impulse pro 30 sec. in einer Tabelle in Abhängigkeit vom Abstand dar und rechne diese in Impulse pro Sekunde um.

Skizze:

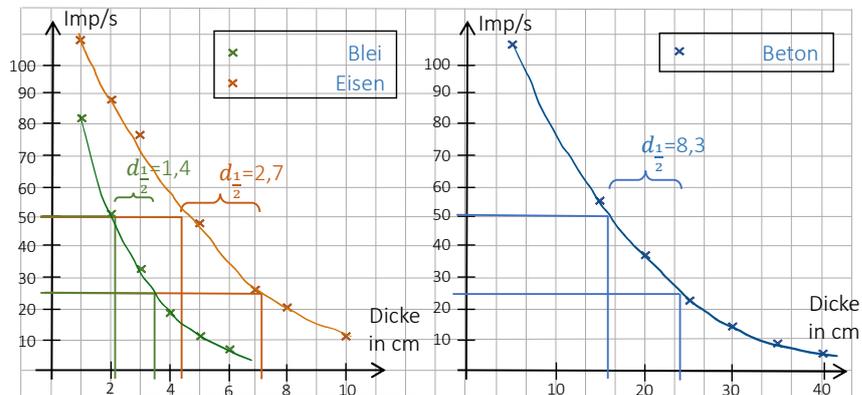


Hypothese: Gammastrahlung wird durch dicke Schichten abgeschirmt/ nicht abgeschirmt.

Messwerte:

	Dicke in cm		5	15	20	25	30	35	40
Beton	Zählrate in Imp/30s		3235	1720	1149	735	470	298	185
	Zählrate in Imp/s		107,8	57,3	38,3	24,5	15,6	9,9	6,1
Blei	Dicke in cm		1	2	3	4	5	6	
	Zählrate in Imp/30s		2475	1532	997	584	356	212	
	Zählrate in Imp/s		82,5	51,1	33,2	19,5	11,9	7,1	
Eisen	Dicke in cm		1	2	3	5	7	8	10
	Zählrate in Imp/30s		3255	2650	2279	1446	802	618	336
	Zählrate in Imp/s		108,5	88,3	76,0	48,2	26,7	20,6	11,2

- Auswertung:**
- 1) Stelle die Impulsrate abzüglich der Nullrate als Funktion der Dicke des Schwächungsmaterials dar. Achte darauf, dass alle Messwerte in Impulse pro Sekunde umgerechnet wurden. Zeichne eine Ausgleichsfunktion.
 - 2) Bestimme die Halbwertsdicke.



Deutung: Welches Material ist besser zur Abschirmung geeignet? Begründe deine Antwort mit der Halbwertsdicke.

Die Zählrate nimmt mit zunehmender Dicke ab. Blei schwächt γ -Strahlung am besten ab, da die Halbwertschichtdicke am kleinsten ist.

Skizze des Versuchsaufbaus für Protokoll 5:



A.5 Tafelbilder

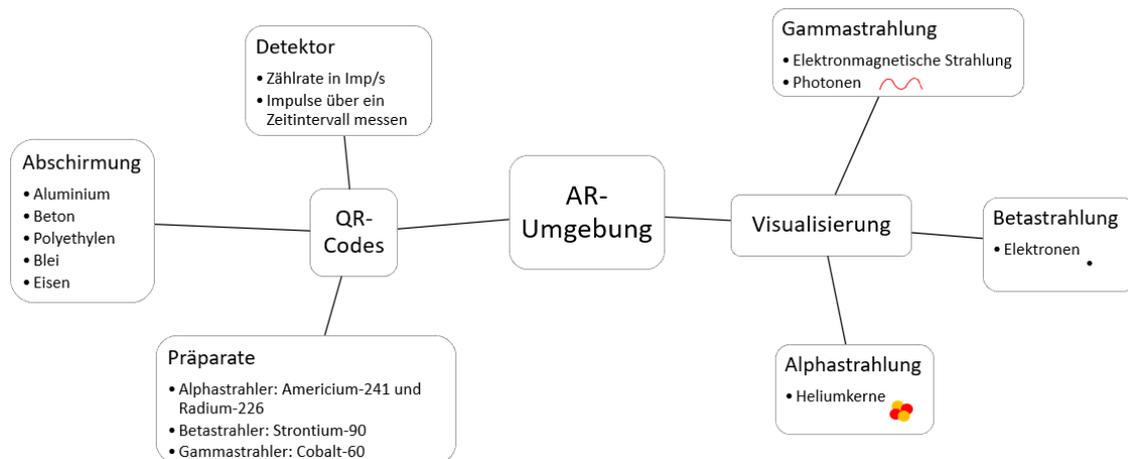


Abbildung 21: Tafelbild: Festhalten wichtiger Eigenschaften der AR Umgebung und Wiederholung der Zusammensetzung der Strahlungsarten

Reichweite von α -, β - und γ -Strahlung

Messwerte

Nulleffekt: 58 Imp/2min = 0,4 Imp/s

Am-241: Reichweite: ~ 5 cm

Ra-226: Reichweite: < 5 cm

Sr-90

Abstand in cm	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
Zählrate in Imp/30s	13700	3079	1307	686	470	330	274	244	151	134	116
Zählrate in Imp/s	456,7	102,6	43,6	22,9	15,6	11,0	9,1	8,1	5,0	4,5	3,9

Co-60

Abstand in cm	10	20	30	40	50	60	70	80
Zählrate in Imp/30s	21400	7477	3911	2287	1492	1096	775	617
Zählrate in Imp/s	713,3	249,2	130,4	76,2	49,7	36,5	25,8	20,6

Ergebnisse

- Die Reichweite der Alphastrahlung von Americium 241 liegt bei etwa 5 cm. Die Strahlung des Radium Präparats trifft diese Reichweite nicht und hat daher eine geringere Reichweite.
- Die Reichweite der Betastrahlung des Strontium Präparats beträgt etwa einen Meter. Die Zählrate sinkt mit zunehmendem Abstand und beträgt bei einem halben Meter nur noch 4,5 Imp/s.
- Die Reichweite der Gammastrahlung von Cobalt 60 liegt bei weit über 80 cm. Die Zählrate von 20,6 Imp/s bei 80 cm ist deutlich verschieden vom Nulleffekt. Gammastrahlung hat also die weiteste Reichweite.

Abbildung 22: Tafelbild: Tabelle zur Untersuchung der Reichweite von der Strahlung von Alpha-, Beta- und Gammastrahlung. In blau: Messwerte der Versuchsreihen

Durchdringung von β - und γ -Strahlung

Messwerte: β -Strahlung

Polyethylen

Dicke in cm	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
Zählrate in Imp/30s	251	188	103	71	36	20
Zählrate in Imp/s	8,4	6,3	3,4	2,4	1,2	0,6

Aluminium

Dicke in cm	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
Zählrate in Imp/30s	412	284	161	100	64	46
Zählrate in Imp/s	13,7	9,5	5,4	3,3	2,1	1,5

Ergebnisse

- Die Zählrate nimmt mit zunehmender Dicke ab.
- Eine 0,2 dicke Aluminiumschicht schirmt β -Strahlung besser ab, als eine gleich dicke Schicht aus Polyethylen
- Aluminium schirmt also β -Strahlung besser ab.

Messwerte: γ -Strahlung

	Dicke in cm	5	15	20	25	30	35	40
Beton	Zählrate in Imp/30s	2980	1447	969	621	398	277	176
	Zählrate in Imp/s	99,3	48,2	32,3	20,7	13,3	9,2	5,9
	Dicke in cm	1	2	3	4	5	6	
Blei	Zählrate in Imp/30s	2482	1531	1004	583	356	211	
	Zählrate in Imp/s	82,7	51,0	33,5	19,4	11,9	7,0	
	Dicke in cm	1	2	3	5	7	8	10
Eisen	Zählrate in Imp/30s	2654	2168	1855	1333	743	575	312
	Zählrate in Imp/s	88,5	72,3	61,8	44,4	24,8	19,2	10,4

Ergebnisse

- Die Zählrate nimmt mit zunehmender Dicke ab.
- Halbwertsschichtdicke von Blei: 1,4 cm
- Halbwertsschichtdicke von Eisen: 3 cm
- Halbwertsschichtdicke von Beton: 8,6 cm
- Die Halbwertsschichtdicke von Blei ist am kleinsten. Blei schwächt γ -Strahlung am besten ab.

Abbildung 23: Tafelbild: Tabellen zur Untersuchung des Durchdringungsvermögens. In blau: Messwerte der Versuchsreihen aus Klasse 10b¹

¹Eine 10. Klasse der Bismarckschule

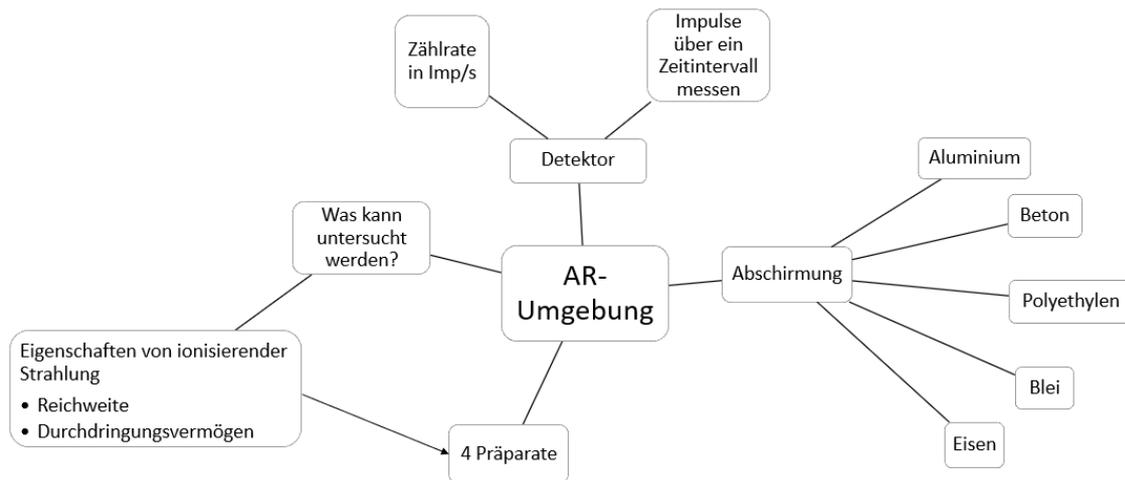


Abbildung 24: Tafelbild: Festhalten wichtiger Eigenschaften der AR Umgebung und Besprechung der möglichen Versuche zur Untersuchung der 4 Präparate

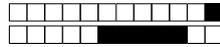
Abstand in cm	Zählrate in Imp/s Präparat 1	Zählrate im Imp/s Präparat 2	Zählrate in Imp/s Präparat 3	Zählrate in Imp/s Präparat 4
3	59	7200	1300	6000
10	0,6	0,5	90	650
30			10	140
50			5	51
70			3	30
Strahlungsart	Alphastrahlung	Alphastrahlung	Betastrahlung	Gammastrahlung

Abbildung 25: Tafelbild: Tabelle zur Untersuchung der Reichweite von der Strahlung emittiert von den Präparaten 1-4. In blau: Messwerte der Versuchsreihen aus der Klasse 10b²

²Eine 10. Klasse der Bismarckschule

A.5.1 Analyse vom Unterricht

Multiple Choice Test



+1/1/60+

Lernzielkontrolle - Experimente mit AR Methoden

- 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

← Bitte kreuzt hier die euch zugeordnete Nummer an. Die mit ♣ markierten Fragen können keine, eine oder mehrere richtige Antworten enthalten.

Vorname und Name

.....
.....

Frage 1 ♣ Welche der folgenden Aussagen treffen auf α -Strahlung zu?

- Die Reichweite in Luft beträgt wenige Meter. Die Reichweite in Luft beträgt wenige Zentimeter.
 Der zerfallende Atomkern sendet Helium-Kerne aus. Wird durch dünne Schichten der meisten Materialien abgeschirmt.

Frage 2 ♣ Welche der folgenden Aussagen treffen auf β -Strahlung zu?

- Die Reichweite in Luft beträgt wenige Zentimeter. Der zerfallende Atomkern sendet Elektronen aus.
 Der zerfallende Atomkern sendet Protonen aus. Die Reichweite in Luft beträgt wenige Meter.

Frage 3 ♣ Welche der folgenden Aussagen treffen auf γ -Strahlung zu?

- Gammastrahlung hat eine endliche Reichweite. z.B. Beton abgeschwächt.
 Gammastrahlung ist eine Teilchenstrahlung. Gammastrahlung ist eine elektromagnetische Strahlung, wie sichtbares Licht.
 Gammastrahlung wird durch dicke Schichten von

Frage 4 Welche der folgenden Materialien schirmt β -Strahlung am besten ab?

- Polyethylen Aluminium

Frage 5 Welche der folgenden Materialien schirmt γ -Strahlung am besten ab?

- Beton Eisen Blei

Frage 6 Welche der Strahlungsarten hat das größte Durchdringungsvermögen?

- α -Strahlung γ -Strahlung
 β -Strahlung Alle Strahlungsarten haben das gleiche Durchdringungsvermögen.

Frage 7 Was versteht man unter der Halbwertschichtdicke?

- Eine Schichtdicke von 0,5 cm. Ein Material, welches doppelt so viel schwächt wie Blei.
 Eine Schichtdicke, die die Zählrate auf die Hälfte schwächt. Nichts davon ist richtig.

Abbildung 26: Multiple Choice Tests für den Stundenanfang als Abfrage des Vorwissens und am Stundenende als Lernzielkontrolle

Evaluationsbögen

Evaluation der Augmented Reality App

Nummer:

Alter:

Geschlecht:

Liegt eine Sehschwäche vor?

Hast du schon mal mit AR gearbeitet, wenn ja wo?

Bewerte die folgenden Aussagen:	Trifft voll zu					Trifft nicht zu
Die Arbeit mit der App...						
... hat Spaß gemacht.	<input type="checkbox"/>					
... war abwechslungsreich.	<input type="checkbox"/>					
... war spannend.	<input type="checkbox"/>					
Die App ist einfach verständlich.	<input type="checkbox"/>					
Das Aufnehmen der Messwerte war einfach.	<input type="checkbox"/>					
Die Experimente in AR können reale Experimente ersetzen.	<input type="checkbox"/>					
War die App einfach zu bedienen? Wenn nein, warum nicht?						
Beantworte die folgenden Fragen auf einer Skala von 1 – 5, wobei 5 am besten ist:						
Nur die Teilchen						
<ul style="list-style-type: none"> Wie visuell ansprechend war die Visualisierung? Haben die Visualisierungen geholfen, dein Verständnis von Strahlung zu verbessern? 						
Nur Ausbreitung						
<ul style="list-style-type: none"> Wie visuell ansprechend war die Visualisierung? Haben die Visualisierungen geholfen, dein Verständnis von Strahlung zu verbessern? 						
Alles zusammen						
<ul style="list-style-type: none"> Wie visuell ansprechend war die Visualisierung? Haben die Visualisierungen geholfen, dein Verständnis von Strahlung zu verbessern? 						
Das fand ich gut:						
Das könnte man besser machen:						

Abbildung 27: Evaluation für die Bewertung der AR App

A.6 Unterrichtsskizze zur Untersuchung des Durchdringungsvermögens an der Helene-Lange-Schule

Tabelle 10: Unterrichtsskizze zur Untersuchung des Durchdringungsvermögens in der 10a an der Helene-Lange-Schule

Zeit in min.	Phase/ Sozialform	Verhalten der Lehrkraft	Erwartetes Verhalten der Schüler*innen	Medien
5	Begrüßung/ Vorstellung Frontalunterricht	<ul style="list-style-type: none"> • begrüßt die Klasse • stellt sich vor • ordnet das Stundenthema in die Unterrichtseinheit Radioaktivität ein • stellt die Verhaltensregeln für den Umgang mit Tablets vor • informiert über das Stundenthema: Eigenschaften von Strahlung radioaktiver Stoffe 	<ul style="list-style-type: none"> • stellen gegebenenfalls Rückfragen 	<ul style="list-style-type: none"> • Plakat: Verhaltensregeln (siehe Anhang A.4.1)
10	Abfrage des Vorwissens Multiple Choice Test	<ul style="list-style-type: none"> • verteilt die Fragebögen 	<ul style="list-style-type: none"> • beantworten die Fragen 	<ul style="list-style-type: none"> • Fragebögen (siehe 26)
5	Orientieren Einzelarbeit	<ul style="list-style-type: none"> • verteilt das Material • stellt Aufgabe Wir wollen mit der App die Reichweite und das Durchdringungsvermögen von der Strahlung radioaktiver Stoffe untersuchen. Dazu werden Messgeräte benötigt. Diese sind durch QR-Codes gegeben. Scannt diese ein und findet heraus, welcher QR-Code welches Gerät darstellt. Beschriftet dann die QR-Codes. 	<ul style="list-style-type: none"> • erkunden die AR Umgebung • beschriften die QR-Codes 	<ul style="list-style-type: none"> • QR-Codes • Tablets
10	Erkenntnisse zusammentragen Klassengespräch	<ul style="list-style-type: none"> • hält Stichpunkte an der Tafel fest • weist auf wichtige Aspekte der App hin, siehe Abschnitt 3.3 • lässt die Visualisierungen erklären 	<ul style="list-style-type: none"> • sammeln Eigenschaften der App • geben die Zusammensetzung und die Reichweite der Strahlungsarten wieder und erklären damit die Visualisierungen • erklären den Begriff Zählrate 	<ul style="list-style-type: none"> • Tafelbild (siehe Abb. 21)
3	Durchführung besprechen Frontalunterricht	<ul style="list-style-type: none"> • erklärt, dass das Durchdringungsvermögen untersucht werden soll • stellt die Arbeitsblätter vor • stellt die Durchführung vor 	<ul style="list-style-type: none"> • stellen Rückfragen 	<ul style="list-style-type: none"> • Versuchsprotokoll 3 und 5 (siehe Anhang A.4.2)

Fortsetzung von Tabelle 10: Unterrichtsskizze zur Untersuchung des Durchdringungsvermögens in der 10a an der Helene-Lange-Schule

Zeit in min.	Phase/ Sozialform	Verhalten der Lehrkraft	Erwartetes Verhalten der Schüler*innen	Medien
35	Experimente (Ablauf nach Tabelle 6: Durchdringungsvermögen) Gruppenarbeit	<ul style="list-style-type: none"> • gibt Hilfestellung • weist auf abgestufte Lernhilfen hin 	<ul style="list-style-type: none"> • stellen Hypothesen zum Versuchsausgang auf • führen die Versuche mit der App durch und dokumentieren ihre Ergebnisse • werten die Messdaten aus 	<ul style="list-style-type: none"> • Tablets • QR-Codes • Versuchsprotokoll 3 und 5 (siehe Anhang A.4.2) • abgestufte Lernhilfen (siehe Abschnitt 4.3.3)
20	Ergebnisse zusammentragen Schüler*innen-Kette	<ul style="list-style-type: none"> • fordert die Klasse auf, die Ergebnisse vorzustellen • notiert die genannten Punkte an der Tafel 	<ul style="list-style-type: none"> • stellen die Ergebnisse der Versuche vor • vergleichen die Ergebnisse der einzelnen Versuche • formulieren qualitative Aussagen zu den Versuchsergebnissen • nutzen die kleine Halbwertsschichtdicke von Blei als Argument für Blei als beste Abschwächung von Gammastrahlung 	<ul style="list-style-type: none"> • Tafelbild (siehe Abb. 23)
15	Arbeit mit der AR Umgebung evaluieren Einzel- oder Partnerarbeit	<ul style="list-style-type: none"> • verteilt die Evaluationsbögen • verteilt die Lernzielkontrollen 	<ul style="list-style-type: none"> • beantworten die Fragen • besprechen sich gegebenenfalls mit ihrem Sitznachbarn 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluationsbogen (siehe Anhang Abb. 27) • Lernzielkontrolle (siehe Anhang Abb. 26)
5	Verabschiedung Frontalunterricht	<ul style="list-style-type: none"> • verabschiedet sich • bedankt sich für die Mitarbeit 		

A.7 Statistiken der Multiple Choice Tests

A.7.1 Notenschlüssel

Punkte	Note
0-1	6
2-4	5
5-7	4
8-10	3
11-13	2
14-16	1

Statistik Klasse 10a

Notenspiegel

Noten	1	2	3	4	5	6	\emptyset
Vorher	8	9	7	1	0	0	2,0
Nachher	12	7	4	1	1	0	1,9

Fragenstatistik³

Frage 1	A	B	C	D	nicht geantwortet
Anzahl vorher	4	18	21	1	2
Anzahl nachher	7	21	20	5	0
in Prozent vorher	16	72	84	4	8
in Prozent nachher	28	84	80	20	0

Frage 2	A	B	C	D	nicht geantwortet
Anzahl vorher	20	15	4	0	2
Anzahl nachher	18	18	2	4	2
in Prozent vorher	80	60	16	0	8
in Prozent nachher	72	72	8	16	8

³Die richtigen Antworten sind fett gedruckt.

Frage 3	A	B	C	D	nicht geantwortet
Anzahl vorher	16	2	2	15	6
Anzahl nachher	21	3	4	19	1
in Prozent vorher	64	8	8	60	24
in Prozent nachher	84	12	16	76	4

Frage 4	A	B	nicht geantwortet
Anzahl vorher	20	2	3
Anzahl nachher	22	2	1
in Prozent vorher	80	8	12
in Prozent nachher	88	8	4

Frage 5	A	B	C	nicht geantwortet
Anzahl vorher	3	0	19	5
Anzahl nachher	0	1	24	0
in Prozent vorher	12	0	76	20
in Prozent nachher	0	4	96	0

Frage 6	A	B	C	D	nicht geantwortet
Anzahl vorher	0	0	21	0	4
Anzahl nachher	1	0	22	2	0
in Prozent vorher	0	0	84	0	16
in Prozent nachher	4	0	88	8	0

Frage 7	A	B	C	D	nicht geantwortet
Anzahl vorher	4	0	0	2	19
Anzahl nachher	6	6	1	2	10
in Prozent vorher	16	0	0	8	76
in Prozent nachher	24	24	4	8	40

Statistik Klasse 10b

Notenspiegel

Noten	1	2	3	4	5	6	\emptyset
Vorher	9	10	7	3	0	0	2,1
Nachher	11	12	6	0	0	0	1,8

Fragenstatistik

Frage 1	A	B	C	D	nicht geantwortet
Anzahl vorher	23	21	20	0	0
Anzahl nachher	25	25	23	2	0
in Prozent vorher	79	72	69	0	0
in Prozent nachher	86	86	79	7	0

Frage 2	A	B	C	D	nicht geantwortet
Anzahl vorher	14	20	5	3	1
Anzahl nachher	16	24	2	8	0
in Prozent vorher	48	69	17	10	3
in Prozent nachher	55	83	7	28	0

Frage 3	A	B	C	D	nicht geantwortet
Anzahl vorher	19	8	13	10	1
Anzahl nachher	25	8	15	11	0
in Prozent vorher	66	28	45	34	3
in Prozent nachher	86	28	51	38	0

Frage 4	A	B	nicht geantwortet
Anzahl vorher	27	2	0
Anzahl nachher	26	3	0
in Prozent vorher	93	7	0
in Prozent nachher	90	10	0

Frage 5	A	B	C	nicht geantwortet
Anzahl vorher	10	3	15	1
Anzahl nachher	7	0	22	0
in Prozent vorher	34	10	52	3
in Prozent nachher	24	0	76	0

Frage 6	A	B	C	D	nicht geantwortet
Anzahl vorher	2	0	26	0	0
Anzahl nachher	0	0	29	0	0
in Prozent vorher	7	0	90	0	0
in Prozent nachher	0	0	100	0	0

Frage 7	A	B	C	D	nicht geantwortet
Anzahl vorher	23	0	2	3	1
Anzahl nachher	28	0	0	1	0
in Prozent vorher	80	0	7	10	3
in Prozent nachher	97	0	0	3	0

Statistik Klasse 10c

Notenspiegel

Noten	1	2	3	4	5	6	\emptyset
Vorher	1	20	7	0	0	0	2,2
Nachher	1	21	6	0	0	0	2,2

Fragenstatistik

Frage 1	A	B	C	D	nicht geantwortet
Anzahl vorher	10	25	21	0	0
Anzahl nachher	13	26	23	1	0
in Prozent vorher	36	89	75	0	0
in Prozent nachher	46	93	82	4	0

Frage 2	A	B	C	D	nicht geantwortet
Anzahl vorher	19	10	8	2	0
Anzahl nachher	19	9	13	4	0
in Prozent vorher	68	36	29	7	0
in Prozent nachher	68	32	46	14	0

Frage 3	A	B	C	D	nicht geantwortet
Anzahl vorher	22	12	7	0	2
Anzahl nachher	16	11	11	5	2
in Prozent vorher	79	43	25	0	7
in Prozent nachher	57	39	39	18	7

Frage 4	A	B	nicht geantwortet
Anzahl vorher	28	0	0
Anzahl nachher	27	0	1
in Prozent vorher	100	0	0
in Prozent nachher	96	0	3

Frage 5	A	B	C	nicht geantwortet
Anzahl vorher	4	1	23	0
Anzahl nachher	4	4	19	1
in Prozent vorher	14	4	82	0
in Prozent nachher	14	14	68	3

Frage 6	A	B	C	D	nicht geantwortet
Anzahl vorher	0	1	27	0	0
Anzahl nachher	1	2	25	0	0
in Prozent vorher	0	4	96	0	0
in Prozent nachher	4	7	89	0	0

Frage 7	A	B	C	D	nicht geantwortet
Anzahl vorher	21	1	2	4	0
Anzahl nachher	18	1	3	6	0
in Prozent vorher	75	4	7	14	0
in Prozent nachher	64	4	11	21	0

Statistik Klasse 11a

Notenspiegel

Noten	1	2	3	4	5	6	\emptyset
Vorher	3	6	4	3	0	0	2,4
Nachher	5	4	7	0	0	0	2,1

Fragenstatistik

Frage 1	A	B	C	D	nicht geantwortet
Anzahl vorher	9	7	12	4	0
Anzahl nachher	11	8	10	2	0
in Prozent vorher	56	44	75	25	0
in Prozent nachher	69	50	63	13	0

Frage 2	A	B	C	D	nicht geantwortet
Anzahl vorher	8	7	8	2	0
Anzahl nachher	7	15	1	3	0
in Prozent vorher	50	44	50	13	0
in Prozent nachher	44	94	6	19	0

Frage 3	A	B	C	D	nicht geantwortet
Anzahl vorher	11	1	4	7	0
Anzahl nachher	15	2	8	7	0
in Prozent vorher	69	6	25	44	0
in Prozent nachher	94	13	50	44	0

Frage 4	A	B	nicht geantwortet
Anzahl vorher	14	1	1
Anzahl nachher	12	2	2
in Prozent vorher	88	6	6
in Prozent nachher	75	13	12

Frage 5	A	B	C	nicht geantwortet
Anzahl vorher	3	2	11	0
Anzahl nachher	4	3	9	0
in Prozent vorher	19	13	69	0
in Prozent nachher	25	19	56	0

Frage 6	A	B	C	D	nicht geantwortet
Anzahl vorher	2	1	13	0	0
Anzahl nachher	0	1	15	0	0
in Prozent vorher	13	6	81	0	0
in Prozent nachher	0	6	94	0	0

Frage 7	A	B	C	D	nicht geantwortet
Anzahl vorher	9	2	1	4	0
Anzahl nachher	12	4	0	0	0
in Prozent vorher	56	13	6	25	0
in Prozent nachher	75	25	0	0	0

A.7.2 Statistik für die Evaluationsbögen

	Die Arbeit mit der App hat Spaß gemacht.	Die Arbeit mit der App war abwechslungsreich.	Die Arbeit mit der App war spannend.	Die App ist einfach verständlich.	Das Aufnehmen der Messwerte war einfach.	Die Experimente in AR können reale Experimente ersetzen.
Bejahende Stimmen in %	56	78	51	70	24	39
Neutrale Stimmen in %	18	19	27	18	30	22
Ablehnende Stimmen in %	22	3	17	11	45	35
Enthaltungen in %	4	0	5	1	0	3

B Eigenständigkeitserklärung

„Ich versichere, dass ich die Arbeit selbständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen oder anderen Quellen entnommen sind, sind als solche kenntlich gemacht. Die schriftliche und die elektronische Form der Arbeit stimmen überein. Ich stimme der Überprüfung der Arbeit durch eine Plagiatssoftware zu.“

Ort, Datum

Unterschrift