

---

Otto-von-Guericke Universität Magdeburg



Fakultät für Informatik  
Lehrstuhl für Visualisierung

## Masterarbeit

### **Entwicklung und Evaluation einer interaktiven Nuklidkarte in virtueller Realität als ergänzende Lernanwendung für den Schulunterricht**

Autor:

Janine Zöllner

18. Mai 2022

Prüfer:

Erstprüfer

Prof. Dr. Bernhard Preim

Fakultät für Informatik  
Otto-von-Guericke Universität  
Universitätsplatz 2  
39106 Magdeburg, Germany

Zweitprüfer

Prof. Dr. Christian Hansen

Fakultät für Informatik  
Otto-von-Guericke Universität  
Universitätsplatz 2  
39106 Magdeburg, Germany

Betreuer:

Dr. Patrick Saalfeld

Fakultät für Informatik  
Otto-von-Guericke Universität  
Universitätsplatz 2  
39106 Magdeburg, Germany

---

**Zöllner, Janine:**

*Entwicklung und Evaluation einer interaktiven Nuklidkarte in virtueller Realität als ergänzende Lernanwendung für den Schulunterricht*

Masterarbeit, Otto-von-Guericke Universität

Magdeburg, 2022.

# Inhaltsverzeichnis

## Kurzfassung

### 1 Einleitung

1.1 Motivation . . . . .	1
1.2 Ziel der Arbeit . . . . .	2
1.3 Aufbau der Arbeit . . . . .	2

### 2 Grundlagen und Verwandte Arbeiten

2.1 Grundlagen . . . . .	5
2.2 Verwandte Arbeiten . . . . .	15
2.3 Zusammenfassung . . . . .	19

### 3 Anforderungsanalyse

3.1 Ausgangssituation . . . . .	21
3.2 Erhebung und Analyse der Anforderungen . . . . .	22
3.3 Anforderungsdefinition . . . . .	31
3.4 Zusammenfassung . . . . .	36

### 4 Konzeption

4.1 Visualisierungskonzept virtuelle Nuklidkarte . . . . .	37
4.2 Navigationskonzept . . . . .	48
4.3 Interaktionskonzept . . . . .	50
4.4 Gamificationkonzept . . . . .	55
4.5 Zusammenfassung . . . . .	56

### 5 Realisierung

5.1 Technische Voraussetzungen . . . . .	59
5.2 Gestaltung der Nuklidkarte . . . . .	60
5.3 Navigationstechniken . . . . .	61
5.4 Selektionstechniken . . . . .	61
5.5 Feedbackelemente . . . . .	67
5.6 Virtueller Raum . . . . .	68
5.7 Zusammenfassung . . . . .	69

### 6 Evaluation

6.1 Versuchsaufbau . . . . .	71
------------------------------	----

6.2	Beschreibung der Probanden . . . . .	72
6.3	Studiendesign . . . . .	73
6.4	Versuchsablauf . . . . .	74
6.5	Ergebnisse . . . . .	76
6.6	Diskussion . . . . .	81
6.7	Zusammenfassung . . . . .	86
<b>7</b>	<b>Abschluss</b>	
7.1	Zusammenfassung . . . . .	87
7.2	Fazit und Ausblick . . . . .	89
<b>A</b>	<b>Übersicht Lehrpläne mit Nuklidkarte</b>	
<b>B</b>	<b>Interviewfragen für Lehrende</b>	
<b>C</b>	<b>Transkripte der Interviews mit Lehrenden</b>	
<b>D</b>	<b>UEQ-Fragebogen zur User Experience</b>	
<b>E</b>	<b>IPQ-Fragebogen zum Präsenzgefühl in virtueller Realität</b>	
<b>F</b>	<b>Instruktion Studie</b>	
<b>G</b>	<b>Interaktion Studie</b>	
<b>H</b>	<b>Abschlussfragebogen Studie</b>	
<b>I</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	
<b>J</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	
<b>K</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	

## **Kurzfassung**

---

In den Schulen werden immer differenzierte Ansätze zur Vermittlung von Unterrichtsinhalten verfolgt, unter anderem mithilfe von medialer Unterstützung. Massentaugliche Ansätze sind schwer zu finden, da jeder Schüler ein individueller Lerntyp ist, den es gilt zu unterstützen. Zu diesem Zweck wurde in dieser Arbeit eine interaktive Nuklidkarte in virtueller Realität entwickelt und evaluiert, um herauszufinden, welche Interaktionstechniken für ergänzende Lernanwendungen für den Unterricht favorisiert werden. Dazu wurden vier Varianten der Nuklidkarte zur Nachvollziehbarkeit von Zerfallsreihen entwickelt.

Die Fußboden-Freihand Variante bietet die Möglichkeit sich frei auf der Karte zu bewegen, die Fußboden-Controller Variante ermöglicht eine Teleportation auf einzelne Nuklide durch den Controller, die Wand-Freihand Variante nutzt Handgesten zur Auswahl von Nukliden und die Wand-Controller Variante nutzt ebenfalls die Controller, um Nuklide an der Wand auszuwählen. Es erfolgte ein Vergleich der Varianten innerhalb einer Nutzerstudie. Dabei wurde herausgefunden, dass die Wand-Controller Variante favorisiert wurde. Ebenfalls im Hinblick auf Usability und User Experience. Für eine weitere Optimierung der ergänzenden Lernanwendung müssten zukünftig weitere Interaktionstechniken im Rahmen des Schulunterrichts untersucht werden.



# 1

## Einleitung

Zur Vermittlung von Lernstoff werden heutzutage unterschiedlichste Ansätze in Schulen gewählt. Das ist sinnvoll, um Abwechslung und Motivation in die Unterrichtsthemen zu bringen. Aus diesem Grund gibt es schon längere Zeit die Forschung an Lernanwendungen, um Themen des Bildungskontextes Nutzerfreundlich aufzuarbeiten und den Spaß beim Lernen zu wecken. Der Spaß beim Lernen verbessert nicht nur das erworbene Wissen besser zu verstehen und zu behalten, sondern motiviert die Nutzer und erregt ihre Aufmerksamkeit [15]. Beim Lernen und vor allem bei Lernanwendungen ist es wichtig möglichst viele Sinne und unterschiedliche Lernstile anzusprechen, damit nicht nur einzelne Nutzer einen Mehrwert davon tragen [38]. In Verbindung mit immersiver virtueller Realität können stereoskopische 3D-Darstellungen projiziert werden. Dadurch können Lernphänomene in Echtzeit erlebt und mit ihnen interagiert werden. Besonders bei Themen, die im Bildungskontext nicht diese Möglichkeit bieten können, steigern die Lernmotivation im Gegensatz zu traditionellen Lehrmethoden [58].

### 1.1 Motivation

---

Im Rahmen des Projektes „Augmented cooperation in education and training in nuclear and radiochemistry“ wird ebenfalls daran gearbeitet mithilfe von ansprechenden Lernanwendungen gegen den Rückgang von Studierendenzahlen und Auszubildenden im Bereich der Radiochemieausbildung anzukämpfen. Dabei gilt es mit unterschiedlichen Kooperationspartnern und Anwendungen das Interesse der Personen in Ausbildung zu wecken [68]. In Verbindung der Entwicklung von Lernanwendungen in virtueller Realität, um den Wissenszuwachs und die Lernmotivation von

Schülern zu steigern, gekoppelt mit der Zielstellung des Projektes wurde die Idee zur vorliegenden Masterarbeit entwickelt.

Das Gebiet der virtuellen Realität mit der Vielzahl an verschiedensten Interaktionsmöglichkeiten wurde bereits in der Wissenschaft intensiv analysiert. Dieses Wissen wie von Dörner et al. [11] oder Preim et al. [46] kann dazu genutzt werden, um Lernanwendungen noch gezielter für den Unterricht auszurichten oder noch fehlende Aspekte aufzudecken. Daraus ergibt sich als Untersuchungsziel eine Anwendung für den Physikunterricht zu entwickeln, welche ausgestattet mit passenden Interaktionstechniken, bei der Vermittlung von Bildungskontexten unterstützt.

## 1.2 Ziel der Arbeit

---

Das Ziel der Arbeit ist es eine interaktive Nuklidkarte in virtueller Realität zu entwickeln und zu evaluieren. Dabei gilt es herauszufinden, welche notwendigen Anforderungen und Konzepte für den Einsatz als ergänzendes Lehrmittel im Unterricht beachtet werden müssen. Dazu soll diese Anwendung die Aspekte der Usability und User Experience fokussieren, weshalb unterschiedliche Interaktionstechniken diskutiert und evaluiert werden sollen. Für die Evaluation sollen Schüler herangezogen werden, welche einen Vergleich zu herkömmlichen Lehrmethoden im Umgang mit der Nuklidkarte haben. Dabei soll mit der Anwendung erfolgreich die Durchführung von Zerfallsreihen erprobt werden. Anhand dieser Evaluation sollen die Ergebnisse diskutiert und interpretiert werden, um schlussendlich eine favorisierte Umsetzungsmöglichkeit einer interaktiven Nuklidkarte als ergänzende Lernanwendung im Unterricht zu präsentieren.

## 1.3 Aufbau der Arbeit

---

Die vorliegende Arbeit wurde folgendermaßen strukturiert:

### **Kapitel 2:** *Grundlagen und verwandte Arbeiten*

Dieses Kapitel definiert die notwendigen Grundlagen zum Verständnis dieser Arbeit. Dazu gehören die Klärung von Begriffen und das Aufzeigen von aktuellen und verwandten Forschungsergebnissen.

### **Kapitel 3:** *Anforderungsanalyse*

Dieses Kapitel zeigt die Analyse und Erarbeitung der Anforderungen, die anhand von Literatur und Experteninterviews erhoben wurden.

**Kapitel 4:** *Konzeption*

Dieses Kapitel beschreibt und diskutiert mögliche Konzepte zur Umsetzung der Anwendung auf Basis der erhobenen Anforderungen.

**Kapitel 5:** *Realisierung*

In diesem Kapitel wird der Entwicklungsprozess von den zuvor erstellten Konzepten und des Prototypen vorgestellt.

**Kapitel 6:** *Evaluation*

Im Rahmen dieses Kapitels wird der umgesetzte Prototyp mithilfe einer Nutzerstudie evaluiert. Anschließend wird eine Auswertung der Ergebnisse präsentiert und anhand der erhobenen Anforderungen überprüft.

**Kapitel 7:** *Abschluss*

Im abschließenden Kapitel werden alle in dieser Arbeit dargestellten Aspekte zusammengefasst und ein Ausblick in mögliche zukünftige Arbeiten dargestellt.



# 2

## Grundlagen und Verwandte Arbeiten

In diesem Kapitel werden die Grundlagen definiert, die zur Beantwortung der wissenschaftlichen Fragestellung notwendig sind. Danach wird auf verwandte Arbeiten eingegangen, um daraus für die Anforderungsanalyse weitere Anforderungen ableiten zu können und für die Konzeption vorhandene Ansätze zu nutzen.

### 2.1 Grundlagen

---

Zunächst wird die Nuklidkarte betrachtet, um ein grundlegendes Verständnis für diese aufzubauen. Danach wird auf die virtuelle Realität eingegangen. Es werden im Anschluss Navigations- und Selektionsarten in virtueller Realität beleuchtet. Schlussendlich wird noch der Begriff der Gamification definiert.

#### 2.1.1 Nuklidkarte

Nuklidkarten stellen laut Schmiermund eine Übersicht mit allen Nukliden und deren Zerfallsarten dar [53]. Dabei geht die häufigste Art der Visualisierung, wie in Abbildung 2.1 dargestellt, auf Segré zurück, bei der die Ordnungsanzahlen auf der Ordinate und die Neutronenanzahlen auf der Abzisse dargestellt sind [24]. Dadurch bestimmt sich die Position eines Nuklides auf der Nuklidkarte. Grundlegend gilt, dass farbig gekennzeichnete Nuklide instabil und noch nicht vollständig zerfallen sind und schwarze Nuklide als stabil gelten. Laut Magill und Galy sind heutzutage die meistgenutzten Formate orientiert an der Nuklidkarte nach Segré [33]. Die weltweit meistgenutzten Formate der Nuklidkarte sind die Karlsruher, Straßburger, KAPL aus den USA oder JAERI aus Japan [33].

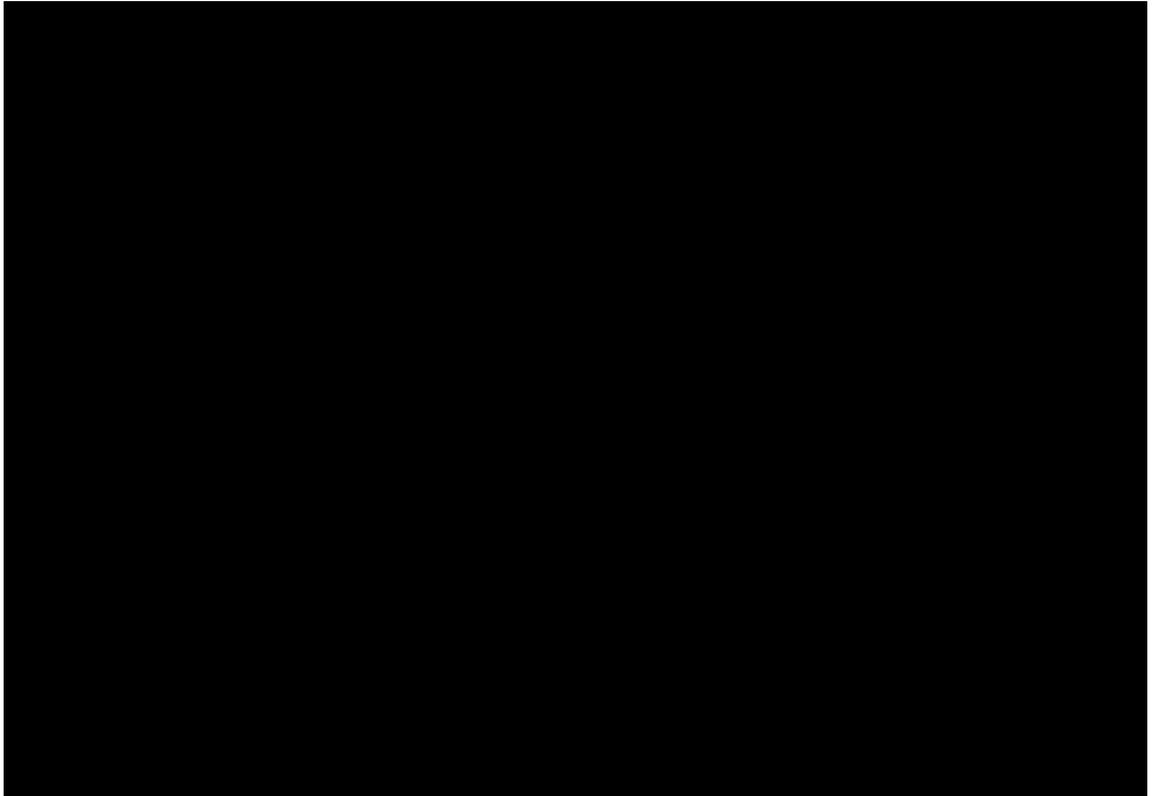


Abbildung 2.1: Nuklidkarte nach Segré [24]

Auf den einzelnen Nukliden werden laut Sóti et al. Informationen zur Elementbezeichnung, der Massezahl, die natürliche Abundanz der stabilen Nuklide, Halbwertszeit, Zerfallsart und Zerfallsenergie dargestellt [59]. Die Massezahl stellt dabei die Gesamtzahl der Protonen und Neutronen des jeweiligen Nuklids dar. Als natürliche Abundanz wird laut Midani et al. die Häufigkeit des Vorkommens des stabilen Nuklids auf der Erde bezeichnet [35]. Das gilt nur für stabile Nuklide, da sich die instabilen Nuklide noch im Zerfallprozess befinden und die Bestimmung der natürlichen Abundanz sehr ungenau würde. Die Karlsruher Nuklidkarte und weitere Darstellungen bieten ebenfalls eine Farbskala nach den Halbwertszeiten an. Die Halbwertszeiten werden dabei bei den instabilen Nukliden an der Position der natürlichen Abundanz der stabilen Nuklide dargestellt. Die Halbwertszeit beschreibt die Zeitspanne, die vergehen muss, bis die Hälfte, der noch vorhandenen Exemplare des Nuklids zerfallen sind [54].

In der Segré-Darstellung werden fünf Arten des Nuklidzerfalls betrachtet:

- Alpha-Zerfall ( $\alpha$ ),
- Beta-Minus-Zerfall ( $\beta^-$ ),
- Beta-Plus-Zerfall ( $\beta^+$ ),
- Neutronen-Aussendung (n) und
- Protonen-Aussendung (p).

Die Segré-Darstellung mit den unterschiedlichen farblichen Darstellungen der Zerfallsarten wird in der Abbildung 2.1 erkenntlich. Wenn das Ausgangsnuklid einen Alpha-Zerfall durchführt, wird auf der Nuklidkarte zwei Nuklide nach unten und zwei Nuklide nach links gewandert. Dann wird das Tochternuklid erreicht, welches wieder eine eigene Zerfallsart durchführt oder sich im stabilen Zustand befindet. Bei dem Beta-Plus-Zerfall wird sich auf der Nuklidkarte ein Nuklid nach rechts und eins nach unten bewegt. Für den Beta-Minus-Zerfall führt der Weg ein Nuklid nach oben und eins nach links. Wenn die Neutronen-Aussendung durchgeführt wird, befindet sich das Tochternuklid ein Nuklid nach links. Im Fall der Protonen-Aussendung wird ein Nuklid nach unten gegangen [53]. Die Schrittfolge beim Zerfall wird in der Abbildung 2.2 dargestellt.

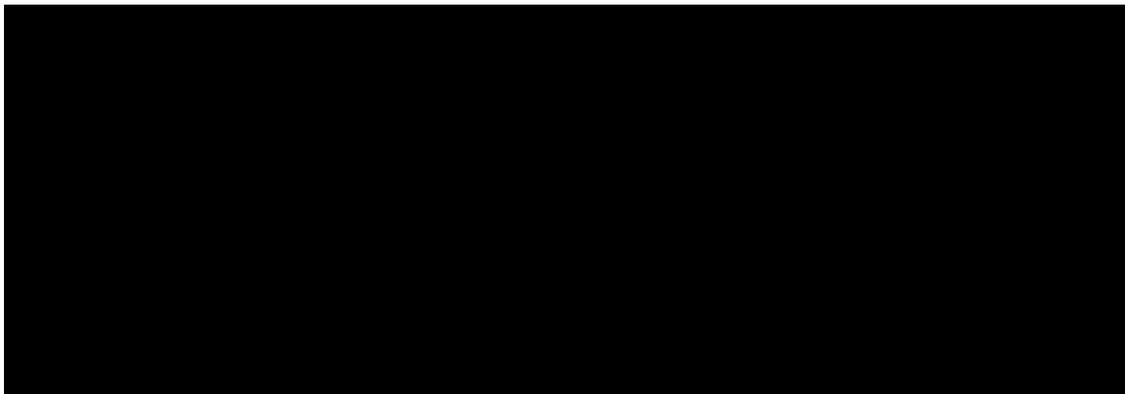


Abbildung 2.2: Zerfallsschritte auf der Nuklidkarte [25]

Die Zerfallsenergie beschreibt hierbei die freiwerdende Energie nach dem Energieerhaltungssatz, welche durch den Zerfall eines Ausgangsnuklids in ein Tochternuklid freigesetzt wird. Dabei tritt die Energie in Form von kinetischer Energie der Strahlungsteilchen, als Rückstoßenergie des Ausgangs-

nuklids, in Form von Gammastrahlung und zum Teil als Anregungsenergie auf [31].

### **2.1.2 Virtuelle Realität**

Als Virtuelle Realität (kurz: VR) wird laut Dörner et al. ein relativ junges Wissenschaftsgebiet bezeichnet, welches sich in den letzten Jahren stark entwickelt hat. Das Gebiet der VR bedient ein breites Spektrum wie beispielsweise von Filmen der Popkultur als umfassende Simulation, welche von den Menschen nicht mehr von der echten Realität unterscheidbar ist, bis hin zu einem Werkzeug der Industrie, um die Produktentwicklung voranzutreiben. Durch den schnellen und stetigen Fortschritt der VR, welche auch durch die Entwicklung der VR-Hardware vorangetrieben wird, existiert keine einheitliche Definition zu VR [11].

Laut Dörner et al. ist die allgemeine Umschreibung von VR von Bryson aus dem Jahr 1993 noch allgegenwärtig [6]. Dieser beschreibt VR als die Verwendung von dreidimensionalen Bildschirmen und Interaktionsgeräten zur Erkundung computergenerierter Umgebungen in Echtzeit. Neben der Beschreibung von Bryson sehen Dörner et al. auch die Definition der VR von Cruz-Neira weiterhin als zutreffend [10]. Laut Cruz-Neira beinhaltet VR immersive, interaktive, multisensorische, auf den Betrachter ausgerichtete, dreidimensionale computergenerierte Umgebungen und die Kombination von Technologien, die zum Aufbau dieser Umgebungen erforderlich sind [11]. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird untersucht, inwieweit die Nutzer mit der geplanten Anwendung ein Gefühl der Präsenz in virtueller Realität entwickeln können. Aus diesem Grund wird sich im Bereich der VR nur auf die Definition von Präsenz beschränkt und danach auf die VR-Brillen als Ausgabegeräte eingegangen. Da im Kontext der Arbeit ebenfalls nur mit einer VR-Brille gearbeitet wird.

#### **Präsenz in virtueller Realität**

Die Präsenz in virtueller Realität bildet das zentrale Konzept zur Beschreibung der mentalen Aspekte der VR-Erfahrung ab [11]. Es handelt sich dabei um das Gefühl vor Ort zu sein, obwohl sich der Nutzer an einem anderen Ort befindet. Präsenz wird oft mit der englischen Bezeichnung "being there" beschrieben. Die Nutzer agieren im Zuge dessen als würden sie sich real an diesem Ort befinden [49]. Das Gefühl der Präsenz setzt sich aus

drei Teilaspekten zusammen: Ortsillusion, Plausibilitätsillusion und Involviertheit [11].

Die *Ortsillusion* beschreibt das genannte Gefühl sich an dem vom VR-System simulierten Ort zu befinden. Dazu gehört unter anderem, dass sich die Umgebung entsprechend der Kopfbewegung des Nutzers anpasst und die entsprechende Perspektive darstellt. Dafür ist es notwendig immersive VR-Systeme zu verwenden, aber auch immersive Displays ermöglichen die Ortsillusion.

Die *Plausibilitätsillusion* entsteht, wenn die Ereignisse der simulierten Umgebung als real vom Nutzer wahrgenommen werden. Das bezieht sich hierbei nicht auf die Umgebung, sondern auf Ereignisse wie ein Gespräch mit einem simulierten Menschen oder simulierten Objekten, die mit dem Nutzer in Aktion treten. Dazu ist neben dem Gefühl des Realismus ebenfalls die Glaubwürdigkeit für das Ereignis entscheidend.

Bei der *Involviertheit* handelt es sich um das Interesse des Nutzers an der simulierten Welt, wodurch ein Präsenzgefühl entstehen kann. Zur Erhebung des Präsenzgefühls können Experimente, Beobachtungen und Fragebogen an Nutzer derselben Anwendung ausgegeben werden. Nutzer derselben VR-Anwendung können einen unterschiedlichen Grad des Präsenzgefühls erreichen [11, 49].

### **Ausgabegeräte in VR**

Zum Eintauchen in die virtuelle Welt werden Ausgabegeräte speziell für VR verwendet. Das VR-System muss auf die Nutzeraktionen, die durch Verwendung geeigneter Eingabegeräte erkannt werden, reagieren und eine entsprechende Darstellung erzeugen. Diese sollen die Sinne des Nutzers ansprechen. Dabei werden hauptsächlich der visuelle, akustische und haptische Sinn angesprochen. Es gibt eine Vielzahl von Ausgabegeräten [20]. In dieser Arbeit werden die VR-Brille und der Controller als Ausgabegeräte betrachtet.

#### **visuelles und auditives Ausgabegerät: VR-Brille**

VR-Brillen als Ausgabegerät besitzen wie in Abbildung 2.3 ein geschlossenes Gehäuse, in dem sich ein Bildschirm direkt vor den Augen des Nutzers befindet, vor welchen Linsen gesetzt sind [47]. Dadurch wird der Nutzer von der Außenwelt abgeschirmt und hat keine störenden Lichteffekte. Durch die Linsen wird ein Lupeneffekt erzielt, um Kurz- und Weitsichtig-

keit des Nutzers auszugleichen und dem Nutzer ein großes Sichtfeld bereitzustellen. Außerdem werden die Bilder separat pro Auge projiziert und versetzt dargestellt, um einen stereoskopischen Effekt zu erhalten [11, 72]. Eine Vielzahl von VR-Brillen, wie unter anderem die Oculus Quest, besitzen bereits ein integriertes Audiosystem, um die akustische Ausgabe zu ermöglichen [22].

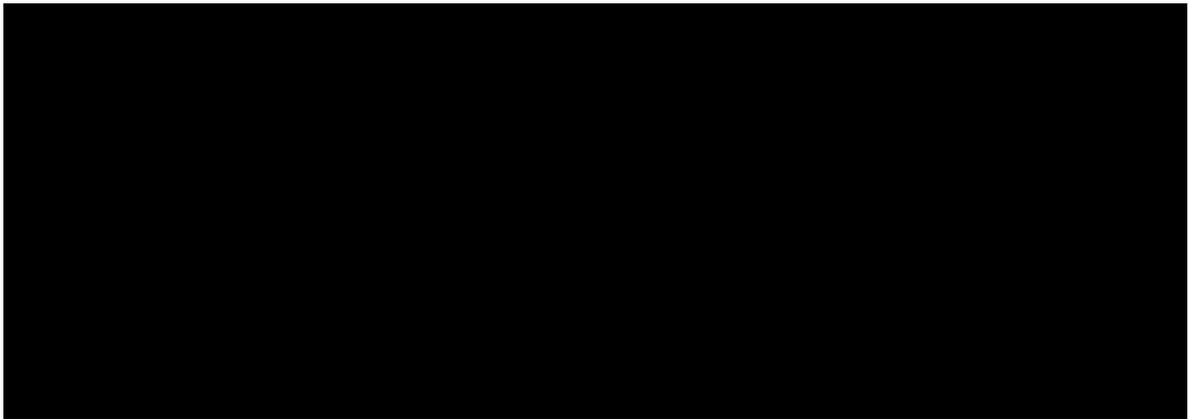


Abbildung 2.3: Oculus Quest von Meta [47]

### **Haptische Ein- und Ausgabegeräte: Controller**

Mithilfe von mechanischen, pneumatischen oder elektrischen Reizen, Vibration oder Aufwendung von Kraft werden virtuelle Objekte für den Nutzer fühlbar. Haptische Ausgabegeräte werden zumeist in Eingabegeräte integriert wie unter anderem Controllern [20]. In dieser Arbeit werden hauptsächlich die Controller betrachtet, da die Anwendung für Schulen erschwinglich sein soll und damit als Hilfsmittel nur die Oculus Quest als VR-System zur Verfügung stehen soll.

### **Eingabegeräte in VR**

Laut Grimm et al. dienen Eingabegeräte der sensorischen Erfassung von Nutzerinteraktionen ebenso wie der Erfassung weiterer Objekte und der umgebenden Welt [20]. Die Nutzerinteraktion kann hierbei vielfältig sein - vom Knopfdruck als einmaliges Ereignis mit Reaktion vom VR-System bis hin zu komplexeren Interaktionen wie Handbewegungen. Zur Eingabe können Interaktionsgeräte wie beispielsweise VR-Controller verwendet werden, aber auch eigene Körperbereiche können vom Headset verfolgt und als Interaktion Beachtung finden.

Die kontinuierliche Verfolgung der Position und Orientierung des Eingabegeräts wird als Tracking bezeichnet. Beim Tracking wird jegliche Bewegung eines Objektes zerlegt. Dabei wird eine Verschiebung (auch Translation genannt) und Drehung (auch Rotation genannt) des Objektes im dreidimensionalen Raum betrachtet. Diese Bewegungen im Raum werden mit einzelnen Werten pro Zeitschritt bestimmt und als Freiheitsgrade bezeichnet [20]. In dieser Arbeit werden als Eingabegeräte der VR-Controller, das Handtracking und das Headset zur Bewegung im Raum fokussiert.

### **2.1.3 Navigationstechniken in virtueller Realität**

Bei der Navigation im virtuellen Raum handelt es sich um eine universelle Interaktionsaufgabe laut Dörner et al., bei der sich der Nutzer möglichst einfach in der Welt bewegen soll [11]. Dabei wird zwischen der Wegfindung und der Bewegungskontrolle unterschieden. Die Wegfindung beinhaltet die Analyse, Planung und Entscheidung über Wege in der virtuellen Umgebung. Dazu wird räumliches Wissen benötigt, welches durch Hilfsmittel wie Landmarken, Hinweisschilder oder Karten erlangt werden kann. Somit ist es Ziel, von der virtuellen Umgebung eine kognitive Karte zu generieren, also eine vereinfachte mentale Repräsentation. Die Fähigkeiten des Nutzers werden dabei durch den Sichtbereich, Tiefen- und Bewegungshinweise und unterschiedliche Ein- und Ausgabetechniken unterstützt, um mehrere Sinne des Nutzers anzusprechen.

Die Bewegungskontrolle bezeichnet laut Dörner et al. die motorische Komponente der Navigation. Das bedeutet, dass nur die grundlegenden Aktionen betrachtet werden, die benötigt werden, damit die Position und Orientierung des virtuellen Kameraausschnittes passend verändert werden [11]. Wenn der Nutzer dabei ohne konkretes Ziel in der virtuellen Umgebung unterwegs ist, wird diese Art der Bewegung als Exploration bezeichnet. Hingegen als naive Suche wird die Bewegung des Nutzers im virtuellen Raum bezeichnet, wenn dieser eine Position gegeben bekommt, welche ohne zusätzliche Informationen gefunden werden soll. Wenn dafür Informationen zur Verfügung stehen, wird diese zielgerichtete Suche als vorbereitete Suche bezeichnet. Als letzte Form der Bewegung wird das Manövrieren bezeichnet, wobei der Nutzer eine exakte Position in direk-

ter Nähe einnehmen soll. Dabei werden Hinweisschilder zur Orientierung bereit gestellt [11].

Im Literaturüberblick von Cherni et al. wurden von 2012 bis 2019 unterschiedliche Artikel hinsichtlich der genutzten Navigationstechniken in VR analysiert und miteinander verglichen [9]. Der Vergleich diente zur Auswahl relevanter Navigationstechniken für die vorliegende Arbeit. Ein wichtiges Vergleichskriterium ist die Bewertung der Adaption auf VR-Interaktionen. Da der Fokus der Arbeit neben der erfolgreichen Interaktion mit einer Nuklidkarte in VR ebenfalls ein positives Nutzererlebnis und gute Gebrauchstauglichkeit für den Nutzer aufweisen soll, wurden alle Navigationsarten ausgeschlossen, welche keine positive Bewertung in der Adaption auf VR-Interaktionen besitzen. Des Weiteren soll die Anwendung ein Präsenzgefühl bei den Nutzern auslösen und somit auch die Navigationstechniken ausgeschlossen werden, die das Präsenzgefühl nicht fördern.

Um das Wohlbefinden der Nutzer nicht zu gefährden, wurden dazu noch die Navigationstechniken ausgeschlossen, die Motion Sickness<sup>1</sup> fördern. Damit verbleiben folgende Navigationstechniken: physikalisches Laufen, Virtusphere, Omnidirektionales Laufband, Teleportation (mit den gegebenen VR-Controllern) und World-in-Miniature (deutsch: Miniaturwelt). Für die Virtusphere wird eine Hohlkugel benötigt, welche sich bei Bewegung des Nutzer mitbewegt. Da diese Hardware nicht zur Verfügung steht, wird diese Technik nicht weiter betrachtet. Bei dem Omnidirektionalen Laufband wird ein spezielles Laufband benötigt, welches die Bewegung des Nutzers über Sensoren wahrnimmt und auf die VR-Anwendung überträgt. Die benötigte Hardware steht ebenfalls nicht zur Verfügung und wird entsprechend nicht weiter betrachtet [9].

### **physikalisches Laufen in VR**

Eine natürliche Navigationstechnik in VR ist das physikalische Laufen. Dabei wird die Position des Headsets verfolgt, um die Bewegung im virtuellen Raum umzusetzen. Diese Form der Fortbewegung benötigt jedoch viel

---

<sup>1</sup> „Motion Sickness ist ein Zustand, in dem eine Unstimmigkeit zwischen visuell wahrgenommener Bewegung und dem Bewegungssinn des Gleichgewichtssystems besteht. Je nach Ursache kann sie auch als Seekrankheit, Reiseübelkeit, Simulationsübelkeit, Cyberübelkeit oder Flugübelkeit bezeichnet werden.“ [1]

Platz [9]. Dadurch, dass es sich um die natürliche Technik des menschlichen Fortbewegens handelt, wird kein Motion Sickness ausgelöst [11].

### **Teleportation mit Controllern in VR**

Eine weitere Form der Navigation ist die Teleportation mit den Controllern. Dazu steuert der Nutzer auf ein Ziel, auf welches dieser versetzt werden möchte und landet dann auf diesem. Damit keine Motion Sickness entsteht, wird ein Schnitt erzeugt und der Nutzer findet sich in der neuen Umgebung wieder. Dadurch kann die Orientierung des Nutzers, aufgrund des abrupten Positionswechsels, eingeschränkt werden [9, 11].

### **World-in-Miniature in VR**

Der Nutzer hält, wie der Name schon sagt, die virtuelle Umgebung als Miniaturkopie, in welcher er sich befindet, in seinen Händen und kann damit interagieren. Der Nutzer kann mit den Objekten in der Miniaturumgebung aber auch in der virtuellen Umgebung in Originalgröße interagieren und diese im jeweils anderen Modell widerspiegeln [40]. Dazu kann der Nutzer sein Symbol in der Miniaturübersicht verschieben und wird damit auch in der originalen virtuellen Umgebung neu platziert. Dadurch ist eine schnelle Fortbewegung zwischen unterschiedlichen Orten möglich [9].

## **2.1.4 Selektionsarten in virtueller Realität**

Laut Dörner et al. bedeutet Selektion, dass der Nutzer einen Punkt, eine Fläche oder ein Volumen im Umfeld bestimmt oder eine für ihn semantisch bedeutsame Teilmenge der umgebenden Welt auswählt [11]. Es gibt eine Vielzahl an Möglichkeiten, um ein Objekt in einer virtuellen Umgebung zu selektieren. Dazu können externe Eingabegeräte verwendet werden wie Controller, weitere externe Geräte, Verfolgen der Kopfposition unter Nutzung eines Headsets oder Verfolgen der Bewegung von ausgewählten Körperregionen wie Handgesten [27]. Im weiteren Verlauf werden nur Selektionstechniken betrachtet, welche eine Eingabe über das Headset, Controller oder Handgesten betrachten, da keine weiteren externen Eingabegeräte zur Verfügung stehen. Nachfolgend werden die laut Dörner et al. gängigsten Selektionstechniken vorgestellt [11].

### **Ray-Casting-Technik**

Das Ray-Casting gilt als eine der wichtigsten und effektivsten Selektionstechniken. Hierbei werden Objekte mithilfe eines Strahls ausgewählt. Der Strahl wird durch den Nutzer kontrolliert und jegliche Objekte, die einen Schnittpunkt mit dem Strahl besitzen, können ausgewählt werden. Mit zunehmender Distanz nimmt die Genauigkeit vom Ray-Casting ab, dadurch ist diese Technik für größere Entfernungen weniger geeignet [11].

### **Flashlight-Technik**

Die Flashlight-Technik ist eine Abwandlung des Ray-Castings bei der kein Strahl sondern ein Kegel projiziert wird. Ebenfalls werden die Objekte selektiert, die vom Lichtkegel geschnitten werden. Hier gilt jedoch, die Entfernung vom Zentrum des Kegels als Entscheidung welches Objekt ausgewählt wird [11].

### **Go-Go-Technik**

Bei der Go-Go-Technik handelt es sich um eine Verlängerung eines virtuellen Arms. Damit kann die virtuelle Hand über eine größere Distanz an ein Objekt bewegt werden. Aufgrund der Winkelabhängigkeit wie beim Ray-Casting ist die Nutzung der Go-Go-Technik bei großen Entfernungen nur bedingt sinnvoll [11].

### **HOMER-Technik**

Die Homer-Technik zeigt ebenfalls einen Strahl, der aus der aktuellen Handposition schießt. Demzufolge bedeutet HOMER *Hand-centered Object Manipulation Extending Ray-Casting*. Wenn der Strahl auf ein Objekt trifft, wird die virtuelle Hand an diese Position versetzt, um feinere Manipulationen am Zielobjekt vornehmen zu können [11].

### **Bildebenen-Technik**

Bei der Bildebenen-Technik steuert der Nutzer mit seinem Zeigegerät einen 2D-Cursor in unmittelbarer Reichweite. Dazu werden die Objekte auf virtuelle Bildebenen für eine einfachere Kontrolle bei der Selektion projiziert [11].

### **World-In-Miniature-Technik**

Wie aus der Navigation bereits bekannt ist, kann die World-In-Miniature-Technik auch zur Selektion von Objekten verwendet werden. Dabei wird die virtuelle Umgebung als Miniaturmodell in das Sichtfeld des Nutzers

skaliert. Dadurch kann der Nutzer die gewünschten Objekte im Miniaturmodell selektieren [11].

### **2.1.5 Gamification**

Unter Gamification (deutsch: Gamifizierung) wird von Blohm und Leimeister die Nutzung von Spiel-Design-Elementen verstanden, um die Nutzer eines Produktes, einer Dienstleistung oder eines Informationssystems zu motivieren, deren Produktivität zu steigern oder die Verhaltensweisen des Nutzers positiv zu beeinflussen [5]. Es handelt sich dabei entsprechend um Anreizkonzepte, die die Nutzer durch Stimulation emotionaler Bedürfnisse dazu bewegen sollen die Produkte, Dienstleistungen oder Informationssysteme kontinuierlich zu nutzen. Laut Sailer existieren viele unterschiedliche Definitionen von Gamification, wobei sich bei den meisten Definitionen allerdings durchsetzt, dass Elemente aus dem Spielbereich in bereits bestehende Umgebungen übertragen werden [51].

## **2.2 Verwandte Arbeiten**

---

In den verwandten Arbeiten wird die Umsetzung der Nuklidkarte im dreidimensionalen Raum, generell Karten und das Periodensystem in virtueller Realität betrachtet. Außerdem wird auf den Einsatz von Navigationstechniken, Selektionstechniken und Gamification-Elementen speziell in VR-Lernanwendungen eingegangen. Die Betrachtung der verwandten Arbeiten dient zum eigenen Verständnis des aktuellen Stands bei der Bearbeitung der wissenschaftlichen Fragestellung und zur Orientierung an bereits vorhandenen Umsetzungen. Eine kritische Betrachtung, inwieweit diese Ergebnisse relevant zur eigenen Bearbeitung der Aufgabenstellung sind, erfolgt in der Anforderungsanalyse 3 und in der Konzeption 4.

### **2.2.1 Nuklidkarten in 3D**

Recherchen haben ergeben, dass es keine verwandten Arbeiten zu Nuklidkarten in virtueller Realität gibt. Zur Betrachtung von unterschiedlichen Umsetzungsmöglichkeiten, gibt es dreidimensionale Ausführungen der Nuklidkarte. Zunächst wird die Umsetzung von Koura betrachtet [29].

Koura hat zwei dreidimensionale Nuklidkarten aus Spielzeugblöcken konstruiert. Eine Variante ist an den Atommassen orientiert aufgebaut und die andere Version anhand der Gesamthalbwertszeiten. Dabei wurde die Nuklidkarte nach Segré mit den entsprechenden Informationen erstellt.

Zielstellung war es eine Nuklidkarte in 3D zu erstellen, um diese Schülern in der Oberstufe zur Verfügung zu stellen. Als Besonderheit der Variante gilt, welche orientiert an der Atommasse aufgebaut ist, dass die Höhe der Nuklid-Blöcke anhand der Kernmasse bestimmt wurde. Die Farbskala wurde entsprechend der Atommassen definiert, wobei sich im unteren linken Bereich des Diagramms hellere Blöcke befinden und im oberen rechten Bereich die schweren Kerne, gehalten in dunkleren Farben. In der zweiten Variante stellen die Höhen der Blöcke die Halbwertszeiten der Kerne dar. Die stabilen Kerne sind als schwarze Säulen dargestellt. Weiterhin wurden alle Zerfallsarten farblich kenntlich gemacht in den Blöcken [29].

Eine weitere Umsetzung einer dreidimensionalen Nuklidkarte hat Simpson erstellt [56]. Zielstellung war auch in diesem Fall, dass die Nuklidkarte als dreidimensionale Darstellungsform leichter im Unterricht zu vermitteln und für Schüler zu verstehen ist. Simpson hat ein Online-3D-Nukliddiagramm erstellt, welches über den Webbrowser zugänglich ist. Beim Laden der Webseite erhält der Nutzer eine Ansicht der kompletten Nuklidkarte mit den farblich gekennzeichneten Zerfallsarten. Dabei kann mit der Maus im Diagramm navigiert werden, weiterhin ist es möglich die Nuklidkarte zu schwenken und zu drehen oder per Scrollrad zu zoomen.

Die einzelnen Nuklide können mit einem Doppelklick ausgewählt werden, um ein gesondertes Fenster mit weiteren Informationen anzuzeigen. Das Erscheinungsbild der Nuklidkarte kann im Menü konfiguriert werden. Die persönliche Konfiguration wird in einem Cookie gespeichert, um beim erneuten Besuch der Webseite, die Darstellung in der vorherigen Konfiguration vorzuweisen. Ebenfalls wird die Position und der Grad des Zooms als Information gespeichert [56].

### **2.2.2 Kartendarstellungen in virtueller Realität**

Zur Orientierung in der virtuellen Welt, werden insbesondere auf Karten Hinweisschilder genutzt. Im Gegensatz zur realen Welt können diese Hinweisschilder kontextabhängig ein- und ausgeblendet werden. Dadurch

können dem Nutzer zu jeder Zeit auch Orientierungs- und Navigationshinweise eingeblendet werden. In der realen Welt sind Hinweisschilder nur in größeren Abständen zu finden. Da Hinweisschilder vergleichsweise klein zur Umgebung sind, müssen diese eher auffällig gestaltet werden mithilfe von grellen Farben und starken Kontrasten zur Umgebung [46]. Für den Nutzer bieten sich mehrere Möglichkeiten, um sich auf Karten fortzubewegen. Dabei kann eine 2D-Karte eingeblendet werden bei der der Nutzer die Wegpunkte festlegt und diese vom System durchgeführt werden. Ebenfalls ist es möglich Ziele darüber zu definieren. Bei großen virtuellen Welten bietet sich zur Orientierung auf einer Karte die Möglichkeit der Darstellung als World-In-Miniature [11].

Als Beispiel kann die Umsetzung vom Periodensystem der Elemente in virtueller Realität betrachtet werden. Das Periodensystem wird in der Umsetzung von Park et al. mit allen Elementen dargestellt [39]. Neben weitergehenden Informationen zu den einzelnen Elementen werden diese auch in ihrer Elementform gezeigt, wenn sie vom Nutzer ausgewählt werden. Ali et al. haben sich mit einem virtuellen Periodensystem im dreidimensionalen Raum auseinandergesetzt. Dabei wurden zweidimensionale Interaktionsschnittstellen wie Menüs, Schaltflächen oder Icons verwendet [3]. In dieser Darstellung des Periodensystems werden die Informationen zum chemischen Element geliefert wie chemische Eigenschaften, physikalische Eigenschaften, elektronische Konfiguration, Verwendung eines Elements im täglichen Leben und chemische Bindungen. Die Elemente selbst sind in einer computergenerierten tabellarischen Darstellung wie ein echtes Periodensystem aus dem Lehrbuch gestaltet.

### **2.2.3 Lernanwendungen in virtueller Realität**

Lernanwendungen in virtueller Realität werden von Oyelere et al. als Anwendungen definiert, welche mit dem Ziel entwickelt wurden das Erlernen einer bestimmten Fähigkeit in einer formellen oder informellen Umgebung zu unterstützen [38]. Dabei werden stereoskopische 3D-Darstellungen genutzt wie beispielsweise das Tragen eines Headsets oder Nutzung eines CAVE-Systems, um ein Thema zu lehren oder den Unterricht zu unterstützen. Diese Anwendungen bieten die Möglichkeit die Lernphänomene in Echtzeit zu erleben und mit ihnen zu interagieren, was

in der physischen Welt nicht immer möglich ist. Durch das VR-System wird die Nutzung mehrerer Sinne ermöglicht, welche die Aktivität und geistige Aufmerksamkeit von den Nutzern steigert.

Ein weiterer Effekt ist, dass unterschiedliche Lernstile angesprochen werden und eine Verbesserung des räumlichen Denkens ermöglicht wird [38]. Neben den genannten Punkten ergänzen Smutny et al., dass die Einbindung von virtueller Realität im Lehrplan das Engagement und die Lernmotivation steigert [58]. Smutny et al. erwarten eine Entwicklung in der Art der Wissensvermittlung, welche die traditionellen Lehrmethoden durch Spaß und immersive Erfahrung durch VR ergänzt. Der Vorteil von einem VR-System ist es Simulationen als Ausbildungsinstrument zu nutzen, welche vollständig kontrollierbar und gefahrlos eingesetzt werden können.

#### **2.2.4 Gamification in VR-Lernanwendungen**

Laut Falah et al. haben Studien gezeigt, dass die Gamification von Schul- und Lehrmaterial die Fähigkeiten des Lernen verbessert, um das erworbene Wissen zu verstehen und zu behalten [15]. Dazu haben Falah et al. in ihrer Lernanwendung neben farbigen Visualisierungen des Bildungskontextes auch Klänge an Icons oder bei Bewegungen genutzt, um den Spieler zu motivieren und seine Aufmerksamkeit zu erregen. Die Interaktion mit dem Spiel und dessen Leistung wurden bei der Durchführung aufgezeichnet, um ein maßgeschneidertes Feedback zu geben. Anhand dieser Ergebnisse konnte der Schwierigkeitsgrad individuell für die Nutzer angepasst werden, um die Nutzer besser zu unterstützen ein erfolgreiches Ergebnis zu erhalten [15].

Hingegen Nah et al. haben sich mit der Gamification generell in der Bildung auseinandergesetzt und haben in diesem Kontext Spiel-Design-Elemente erarbeitet, welche erfolgreich im Bildungskontext eingesetzt werden [37]:

- Nutzung eines Punktesystems als Maßstab für die eigene Leistung und als Belohnung,
- Einsatz eines Levelsystems zur Steigerung von Aufwand und Fähigkeiten und als Belohnung,

- Erhalt von Abzeichen bei Erfüllung einer Aufgabe oder während des Prozesses der Zielerreichung,
- Anzeige einer Bestenliste auf einem Leaderboard zur Motivation und Steigerung des Wettbewerbsgefühls,
- Preise und Belohnungen einführen wie Charakterupgrades,
- Anzeige eines Fortschrittbalkens,
- Verwendung eines spannenden Handlungsstranges, um das Interesse aufrecht zu erhalten und
- die unmittelbare Rückmeldung von Feedback.

### **2.3 Zusammenfassung**

---

In diesem Kapitel wurden die Grundlagen und verwandten Arbeiten zur Nuklidkarte, virtueller Realität und Gamification in Lernanwendungen betrachtet. Dies diente um einen Einblick in die Grundlagen der Zielstellung der Arbeit zu geben. Außerdem wurde die Umsetzung von Karten in virtueller Realität, sowie Navigations- und Selektionsarten in virtueller Realität herausgearbeitet, um diese nach Erhebung der Anforderung in der Konzeptionsphase der Anwendung mit ihren Vor- und Nachteilen zu diskutieren. Die Untersuchung der Themen erfolgte in Bezug auf die Zielsetzung und Aufgabenstellung der vorliegenden Arbeit.



# 3

## Anforderungsanalyse

In dieser Arbeit soll untersucht werden, welche Navigations- und Darstellungsform einer Nuklidkarte in virtueller Realität von Schülern und Lehrenden als am Besten empfunden wird in den Kategorien Usability und User Experience. Dazu wurden im vorherigen Kapitel die Grundlagen zu virtueller Realität, verschiedenen Navigationsarten und Selektionsarten in VR, der Nuklidkarte und Lernanwendungen im Unterricht erläutert sowie verwandte Arbeiten betrachtet.

In diesem Kapitel werden die Anforderungen als Grundlage zur Konzeption und Entwicklung der Anwendung definiert. Zunächst wird die Ausgangssituation mit der Problemstellung, den Projektpartnern und den dadurch gegebenen Rahmenbedingungen dargestellt. Im nächsten Schritt werden erste Anforderungen anhand von Interviews mit Lehrpersonen extrahiert. Im letzten Schritt folgt dann die Definition der Anforderungen mit Aufteilung in funktionale und nicht-funktionale Anforderungen.

### **3.1 Ausgangssituation**

---

Warum soll die Gebrauchstauglichkeit unterschiedlicher Navigations- und Darstellungsformen einer Nuklidkarte untersucht werden? Die Idee ist im Rahmen des Projektes „Augmented cooperation in education and training in nuclear and radiochemistry“, kurz A-CINCH, entstanden. Die Bearbeitung des A-CINCH-Projektes in Deutschland erfolgt in Kooperation zwischen der Leibniz Universität Hannover und der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg am Lehrstuhl für Visualisierung unter der Leitung von Prof. Dr. Preim. Ziel des Projektes ist es eine breite Mischung aus E-Learning und Präsenzunterricht in der Nuklear- und Radiochemieausbil-

dung bereitzustellen, um gegen die Reduktion der Zahl der Studierenden und Auszubildenden in diesem Bereich anzukämpfen [68].

In Deutschland wird die Nuklidkarte im Rahmen der Vermittlung der Atom- und Kernphysik mittlerweile nur noch in acht von 16 Bundesländern in der Sekundarstufe II vom Gymnasium vermittelt (siehe Tabelle in Anhang A). Um die Aufmerksamkeit von Schülern zu wecken, wird im A-CINCH-Projekt das Konzept „Lernen durch Spielen“ genutzt. Das wird erreicht durch Nutzung fortschrittlicher Bildungstechniken wie 3D-Labore in virtueller und augmentierter Realität, ferngesteuerte Roboterexperimente oder auch interaktive Bildschirmexperimente, die in den Unterricht integriert werden sollen [68].

Für die Umsetzung der Nuklidkarte in virtueller Realität soll eine interaktive VR-Anwendung entstehen, die auf der Oculus Quest Verwendung finden soll. Die Oculus Quest hat in mehreren Online-Vergleichen mit unterschiedlichen VR-Brillen am besten abgeschnitten, da sie sehr einsteigerfreundlich, preislich angemessen und mit gutem Tracking ausgestattet ist [71]. Die umgesetzte VR-Anwendung soll mithilfe einer Nutzerstudie evaluiert werden, um eine Aussage über die Usability und User Experience der Nutzer zu treffen. Dazu ist es notwendig die Navigations- und Darstellungsformen vergleichbar zu gestalten. Die Evaluation erfolgt in Zusammenarbeit mit einer Lehrerin des Gymnasiums „Kleine Burg“ in Braunschweig, welche die Thematik der Nuklidkarte in ihren Physikklassen bereits vermittelt hat.

## **3.2 Erhebung und Analyse der Anforderungen**

---

Zur Erhebung der Anforderungen wurde zunächst ermittelt wie Lehrende die Nuklidkarte im Unterricht einbinden und vermitteln. Dazu wurden Experteninterviews mit zwei Lehrenden an unterschiedlichen Schulen in Niedersachsen geführt. Diese haben im Interview konkrete Anforderungen formuliert, die bei der Konzeption und Umsetzung beachtet werden sollen. Für die Interviews war es notwendig Experten für die Vermittlung der Nuklidkarte im Unterricht zu finden. Dazu wurden die Lehrpläne der Bundesländer, wie in Anhang A dargestellt, gesichtet. Dadurch kam es zu Eingrenzungen, in welchen Regionen die Nuklidkarte Verwendung findet.

Aufgrund der Nähe und dem Sitz der Projektpartner in Niedersachsen wurde sich darauf beschränkt in Niedersachsen Experten zu akquirieren. Es wurden insgesamt 14 Schulen und durch den Projektpartner sechs Lehrende angefragt. Daraufhin meldeten sich zwei Physiklehrende unterschiedlicher Schulen aus Braunschweig und erklärten sich zum Interview bereit. Mithilfe der Interviews konnte eine Benutzeranalyse der Nutzer des Prototyps durchgeführt werden. Im Anschluss wurden Konkurrenzprodukte analysiert, um weitere Anforderungen zu definieren und eine Abgrenzung zu schaffen.

### 3.2.1 Experteninterviews

Der Fokus des Interviews lag in der Exploration der Nuklidkarte im Kontext des Physikunterrichts. Vor dem Interview wurde eine Voruntersuchung zur Nuklidkarte vorgenommen, um im Interview gezieltere Fragen stellen zu können. Im Rahmen der Befragung hat es sich angeboten, ebenfalls die Verbesserungspotenziale zur Darstellung der Nuklidkarte und dabei den Einsatz der virtuellen Realität im Unterricht zu ergründen. Die Notwendigkeit des Interviews als Erhebungsverfahren der qualitativen Forschung lag darin die Bedürfnisse der Nutzer zu eruieren. Die Erkenntnisse aus dem Interview dienten nicht nur zur Erhebung genannter Anforderungen, sondern auch um die eigene Untersuchung der Nuklidkarte weiter zu modifizieren. Das Experteninterview wird meistens als Leitfadeninterview mit offenen Fragestellungen geführt. Demzufolge wurde auf Basis der eigenen Voruntersuchung, wie von Kozlova beschrieben, ein Leitfaden entwickelt [30].

In der Voruntersuchung wurde eine Einarbeitung in die Thematik Nuklidkarten und mögliche Aufgabenstellungen im Unterricht vorgenommen, damit das Interview auf einer fachlichen Ebene durchgeführt werden konnte. Der Interviewleitfaden sollte laut Baur und Blasius eine starke Ausgangsfrage und mehrere optionale Erzählaufforderungen wie beispielsweise Fragen enthalten [4]. Er sollte jedoch die größtmögliche Offenheit für den Interviewenden bieten, um keinen Einfluss auf die Antworten zu nehmen. Wie in Anhang B zu sehen ist, wurde im Leitfaden zunächst ein ausführlicher Einstieg in die Thematik unter der Vorstellung der Masterarbeit und der Zielstellung formuliert. Danach wurde eine starke Aus-

gangsfrage, wie die Nuklidkarte im Unterricht eingesetzt würde, festgelegt. Darauf aufbauend wurden bereits optionale Elemente entworfen für gezieltere Nachfragen und um schlussendlich noch Ideen zur Umsetzung einer Nuklidkarte in virtueller Realität abzufragen. Im Gespräch selbst wurden auch spontane Rückfragen gestellt, die vorher nicht im Leitfaden geplant werden konnten [4].

### 3.2.2 Kontextanalyse

In beiden Interviews, verschriftlicht in Tabelle C.1 und Tabelle C.2, wurde deutlich, dass die Nuklidkarte nur in Papierform im Unterricht Verwendung findet. Dabei wird die Gesamtheit der Nuklidkarte anhand einer sehr großen Karte vorgestellt und danach nur noch mit Ausschnitten in Lehrbüchern oder auf Ausdrucken gearbeitet, da es bei dem großen Format nicht anders umsetzbar ist. Es muss sich daher auf einzelne Zerfallsreihen der Nuklide bei der Betrachtung im Unterricht beschränkt werden. Im Unterricht wird die Nuklidkarte dafür genutzt, um Zerfallsreihen abbilden und nachvollziehen zu können und um Informationen von einzelnen Nukliden für weitere Berechnungen abzulesen. Es werden keine weiteren Medienformate der Nuklidkarte verwendet und den Schülern lediglich für die Hausaufgaben der Hinweis gegeben, dass die Nuklidkarte auch als Web-Applikation auffindbar ist.

Gründe, warum keine anderen medialen Formate der Nuklidkarte genutzt wurden, sind, dass erst kürzlich WLAN in einer der Schulen etabliert wurde sowie die Unwissenheit über mögliche lizenzfreie Angebote der Nuklidkarte. Es hat sich gezeigt, dass beide Lehrenden offen gegenüber digitalen Lösungen zur Vermittlung der Nuklidkarte im Unterricht eingestellt sind. Dabei stellt sich die Frage, was sich bei der Darstellung der Nuklidkarte auf Papier als bewährt herausgestellt hat, um diese Punkte als Anforderungen an eine Nuklidkarte in virtueller Realität zu übernehmen und somit eine Verschlechterung des aktuellen Prozesses zu vermeiden, wovon Preim und Dachsel bei der Anpassung von Prozessen gewarnt wird [46]. Laut der Lehrenden im Interview sind folgende Punkte elementar:

- farbliche Differenzierungen der Zerfallsarten,
- Darstellung der Halbwertszeiten mit Einheiten,

- Legende für die Halbwertszeiten und Zerfallsarten,
- Bezeichnung des Nuklids,
- Darstellung der Wahrscheinlichkeiten der Zerfallsarten,
- Massezahlen der Nuklide,
- Anzahl der Protonen und Neutronen des Nuklids,
- Beibehaltung der grundlegenden Struktur und Ordnung der Nuklidkarte.

Im nächsten Schritt ist es notwendig herauszufinden, welche Aspekte bei der Umsetzung der Nuklidkarte in virtueller Realität gewünscht sind, um die Vermittlung der Nuklidkarte im Unterricht zu verbessern. Für die Lehrenden aus dem Interview sind folgende Punkte wünschenswert:

- Unterscheidbarkeit der farblichen Abstufungen an den Nukliden,
- bessere Erkennbarkeit von Informationen wie Halbwertszeiten auf den Nukliden,
- Erweiterung der Legende durch Erklärungen, um nicht nur Abkürzungen anzuzeigen,
- Sichtbarkeit der Achsen der Nuklidkarte, auch beim Zoom in die Karte, zur besseren Orientierung,
- Unterteilung der Nuklidkarte zur besseren Übersicht,
- Einbindung von Gamification-Faktoren,
- Visualisierung der einzelnen chemischen Elemente auf der Nuklidkarte.

Diese Anforderungen betreffen zunächst den Prozess der Vermittlung der Nuklidkarte im Unterricht. Im nächsten Schritt wird auf die Benutzergruppen eingegangen, um zudem deren konkrete Bedürfnisse zu eruieren.

### 3.2.3 Benutzeranalyse

In der Benutzeranalyse werden die Anwender in der Lernumgebung charakterisiert, welches in diesem Fall die Physik-Lehrenden und die Schüler der Sekundarstufe II sind. Die Charakterisierung erfolgt auf Basis von Beobachtung und den Informationen aus dem Interview der Tabelle C.1. In der Gruppe der Lehrenden kann noch eine Differenzierung zwischen technikaffinen und technikaversen Lehrenden vorgenommen werden. Die Gruppe der Schüler braucht nicht unterteilt werden, da aufgrund des gleichen Bildungswegs von einem ähnlichen Wissensstand und einem ähnlichen Alter ausgegangen werden kann. Jedoch unterscheiden sie sich in ihrem Lernstil und ihren kognitiven Fähigkeiten.

Es wird in der Literatur der Didaktik von drei grundlegenden Lernstilen ausgegangen, dem Visuellem, Auditivem und Kinästhetischem. Die visuellen Lerner benötigen Grafiken, Bildmaterial oder auch Notizen als Lernstoff. Der auditive Lerner nimmt die wichtigsten Inhalte bereits im Unterricht auf und lässt sich Informationen auf der verbalen Ebene vermitteln. Hingegen kinästhetische Lerner verarbeiten die Informationen am besten durch Bewegung beim Lernen, oder durch Berührung mit den Händen. Laut Slabá haben Schüler nicht nur einen dominanten Lernstil, sondern mehrere oder Lernen sogar am besten in Mischformen [57]. Die Wissensverarbeitung ist somit sehr individuell. In der VR-Anwendung sollten sich deshalb möglichst alle Lernstile wiederfinden.

Die Schüler nutzen auch in ihrer Freizeit technische Geräte und sind demnach den Umgang mit Software gewohnt [61]. Somit würde die Anwendung sowohl von Anfängern als auch von Experten genutzt sowie von Nutzern unterschiedlichster Altersgruppen (von ca. 15 Jahren bis ca. 67 Jahren). Eine Anforderung, die damit einhergeht ist, dass die Software demzufolge ähnlich zu dem gewohnten Aufbau der Nuklidkarte dargestellt wird, damit sich alle Nutzergruppen direkt zurecht finden. Ebenfalls ist es notwendig eine sehr einfache Struktur und Funktionalitäten zu verwenden, die in der Bewegung des Nutzers einfach auszuführen sind.

Ziel ist es eine Anwendung für alle Nutzergruppen zu schaffen, die möglichst viele Voraussetzungen erfüllt. Die Nuklidkarte kommt nur im Bereich der Atom- und Kernphysik zum Einsatz und da eine regelmäßige Einarbeitung in die Software aufwendig und somit unattraktiv für die Nut-

zergruppen wirken kann, ist es gleichermaßen sinnvoll auf komplexe oder komplizierte Funktionen zu verzichten. Die Lehrsprache in der Schule ist Deutsch, daher ist es ebenso notwendig die Sprache der Software in Deutsch zu wählen.

In den Interviews mit den Lehrenden, Tabellen C.1 und C.2, wird ebenfalls deutlich, dass bei der Anwendung auf spielerisches Lernen durch Gamification-Elemente gesetzt werden soll. Es darf dabei nicht vernachlässigt werden, dass die Anwendung im Unterricht zum Einsatz kommen soll und somit den didaktischen Ansprüchen der Schullehre gerecht werden muss und Barrierefreiheit bietet. Als Barrierefreiheit wird in diesem Fall betrachtet, dass die Anwendung so konstruiert ist, dass Motion Sickness vermieden und Personen mit Einschränkungen ebenfalls alle Details und Kontraste wahrnehmen und Funktionen nutzen können. Die charakteristischen Eigenschaften der drei Benutzergruppen sind in folgender Tabelle anhand des Vorgehens von Preim und Dachselz zusammengefasst [46]:

Tabelle 3.1: Abgrenzung Charakteristika der Benutzergruppen

<b>Eigenschaften</b>	<b>Technik-affine Physiklehrende</b>	<b>Technik-averse Physiklehrende</b>	<b>Schüler</b>
<b>Alter</b>	20 - 50 Jahre [52]	über 50 Jahre [52]	15 - 19 Jahre
<b>Ausbildung</b>	Universitätsabschluss	Universitätsabschluss	Ausbildung auf dem Gymnasium
<b>Computer-vertrautheit</b>	wenige Gelegenheitsbenutzer und mehrere routinierte Benutzer [52]	viele Anfänger und Gelegenheitsbenutzer [52]	Routinierte Benutzer und Experten [52]
<b>Vertrautheit mit dem Problem bzw. Anwendungsgebiet</b>	Experten auf dem Anwendungsgebiet der Nuklidkarte	Experten auf dem Anwendungsgebiet der Nuklidkarte	Anfänger auf dem Anwendungsgebiet, dem die Thematik vermittelt werden soll
<b>Intensität der Anwendung</b>	jährliche Vermittlung des Anwendungsgebietes	jährliche Vermittlung des Anwendungsgebietes	Vermittlung in der Sekundarstufe II ca. 9./10. Klasse und 12./13. Klasse zur Wiederholung [Tabelle C.1]
<b>Kulturkreis</b>	westlich	westlich	westlich

### 3.2.4 Analyse von Konkurrenzprodukten

Durch die Analyse von Konkurrenzprodukten können laut Rieser Stärken und Schwächen aufgedeckt werden, welche für die Entwicklung der Anwendung beachtet werden sollten. Ebenso wird deutlich wie viele Anwendungen bereits auf dem Markt vertreten sind [50]. Dazu wurde eine Online-Recherche zu Angeboten der Nuklidkarte durchgeführt. Nuklidkarten werden als VR-Anwendung, mobile Anwendungen, Web-Anwendungen, Printmedien wie im Lehrbuch oder als gedruckte Karte angeboten. In folgender Tabelle 3.2 sind die Konkurrenzprodukte mit den gewünschten Anforderungen der Lehrenden (siehe Tabelle C.1 und C.2) gegenübergestellt, um zu ermitteln, inwieweit die vorhandenen Produkte bereits die Bedürfnisse abdecken.

Tabelle 3.2: Übersicht Konkurrenzprodukte zum eigenen VR-Prototypen

Eigenschaften \ Medien	VR-Anwendung	mobile Apps	Web-Apps	Print: Bücher	Print: Karten
Darstellung gesamte Nuklidkarte	✓	✓	✓	X	✓
Darstellung einer Legende zur Nuklidkarte	✓	✓	✓	✓	✓
Darstellung der Zerfallsreihen auf der Nuklidkarte	✓	✓	X	X	X
Darstellung von Farbskalen zur Abbildung von Zerfallsarten	✓	✓	✓	✓	✓
Darstellung von Farbskalen zur Abbildung von Halbwertszeiten	✓	✓	✓	X	X
Suche nach Nuklidnamen, Protonenanzahl und Neutronenanzahl	X	✓	✓	X	X
Auswahl eines Nuklid zur gesonderten Anzeige der detaillierteren Informationen	X	✓	✓	X	X
Darstellung detaillierter Informationen auf jeweiligem Nuklid in der Nuklidkarte	X	✓	✓	✓	✓
Anwendung enthält Gamification-Elemente	X	X	X	X	X
Anwendung ist kostenfrei nutzbar	✓	✓	✓	X	X
Anwendung ist deutschsprachig	X	X	✓	✓	✓

In der Tabelle 3.3 ist dargestellt, welche Anbieter die genannten Produkte offerieren.

Tabelle 3.3: Übersicht Produktanbieter

VR-Anwendung	mobile Apps	Web-Apps	Print: Bücher	Print: Karten
Table of Nuclides VR [69]	Isotope Browser [43], NuklidCalc [45], Nucleus amdc [44], Chart of the Nuclides [41], Chart of the Nuclides++ [42], NuclideChart [62]	Nucleonica [18], NuDat 2.8 [55], Das Periodensystem der Elemente online [48]	Universum [7], Dorn-Bader [36]	WKS Fulfillment [19], Leybold [17], Blume [13], ChemoLine [16]

Wie in der aufgeführten Tabelle 3.2 ersichtlich wird, erfüllt kein Produkt vollständig die genannten Anforderungen der Lehrenden. Alle Produkte zeigen eine Legende zur Nuklidkarte und stellen die Zerfallsarten farblich dar. Bei den Halbwertszeiten wird diese Anforderung nur von den digitalen Lösungen erfüllt, da dafür die Farbgebung der Karte zwischen Zerfallsarten und Halbwertszeiten geändert wird. Das ist in Papierform nicht möglich. Bei der Darstellung der gesamten Karte ist es ein ähnlicher Grund, denn diese Anforderung wird von allen digitalen Lösungen und den gedruckten Karten erfüllt, welche dadurch ein sehr großes Format einnehmen. In Büchern ist die Darstellung der gesamten Nuklidkarte dadurch nicht möglich. Eine Suchfunktion nach Eigenschaften wie dem Nuklidnamen, der Protonenzahl oder Neutronenzahl ist nur bei den mobilen Apps und den Web-Apps möglich.

Ebenso wie die Auswahl eines einzelnen Nuklids, um eine gesonderte Anzeige mit den detaillierten Informationen zum Nuklid zu erhalten. Dafür soll aber auch die Möglichkeit bestehen, dass bereits viele detaillierte Informationen auf dem Nuklid selbst dargestellt werden, welches von allen Produkten außer der VR-Anwendung umgesetzt wird. Zur Begeisterung von Schülern wurde die Nutzung von Gamification-Elementen genannt. Diese Anforderung wird von keinem Produkt erfüllt. Die Print-Lösungen müssen kostenpflichtig erworben werden. Bei den digitalen Lösungen

gibt es die Möglichkeit die Anwendung teilweise kostenfrei zu nutzen. Die deutsch-sprachigen Nutzer müssen sich bisher auf Web-Apps und Print-Lösungen beschränken.

Die nicht-deutschsprachigen Lösungen, wie die VR-Anwendung und die Mobil-Anwendungen sind für den Schulunterricht aufgrund der Sprache nicht einsetzbar. Die Mobil-Anwendungen bieten aber generell eine gute Basis für eine deutschsprachige Lösung, da auch die genannten Ideen und Wünsche, außer den Gamification-Elementen, der Lehrenden enthalten sind (siehe Tabelle C.1 und C.2). Bei der VR-Anwendung springt der Avatar von Erhöhungen herab, wodurch bei Nutzern Motion Sickness oder auch Höhenangst ausgelöst werden könnte [70, 34]. Dadurch, dass viele Anforderungen in den Produkten bereits erfolgreich umgesetzt wurden, kann sich daran in der Konzeption gut orientiert werden.

### **3.3 Anforderungsdefinition**

---

Nachdem eruiert wurde, welche Funktionen in der Anwendung umgesetzt werden sollen, werden in diesem Abschnitt funktionale und nicht-funktionale Anforderungen definiert. Funktionale Anforderungen stellen laut Preim und Dachselt Funktionen dar, die die zu entwickelnde Anwendung besitzen soll. Die nicht-funktionalen Anforderungen sind Qualitätsanforderungen oder Randbedingungen, die einschränken, wie eine Funktion umgesetzt werden kann. Die Anforderungen sollen dabei möglichst messbar, eindeutig und vollständig sein [46].

### 3.3.1 Funktionale Anforderungen

Tabelle 3.4: Funktionale Anforderungen, die die VR-Anwendung erfüllen soll

Nr.	Funktionale Anforderung	Beschreibung
1	Immersive virtuelle Realität	Die Anwendung soll für ein VR-Headset entwickelt werden.
2	Visualisierung der Nuklidkarte	Es soll eine Nuklidkarte aus einer Datenbank in der VR-Anwendung visualisiert werden.
3	Navigation	Die VR-Inhalte sollen zur Navigation mit den Controllern oder dem Körper korrekt berechnet und ausgegeben werden.
4	Tracking	Das VR-Headset und die Controller sollen im Raum verfolgt werden, um die Positions- und Rotationsdaten in der VR-Anwendung nutzen zu können.
5	Selektion	Zur Interaktion des Anwenders mit der Nuklidkarte soll das VR-Headset eine Eingabe über einen Controller oder mit einer Handgeste als Auswahl erkennen.

In der Tabelle 6.4 sind die funktionalen Anforderungen auf Basis der vorher durchgeführten Analysen festgelegt. Um in die **immersive virtuelle Realität** eintauchen zu können, ist ein VR-Headset notwendig. Die Kernaufgabe der zu entwickelnden Anwendung wird es sein, die **Nuklidkarte visuell abzubilden**. Dafür wird eine Datenbank notwendig sein, die die gewünschten Informationen enthält. Da die Nutzer sich über die Nuklidkarte bewegen sollen, mithilfe ihres Körpers oder den Controllern, ist eine weitere funktionale Anforderung die **Navigation**. Zur Navigation ist es notwendig, dass das VR-Headset und die Controller im Raum verfolgt werden, damit die Positions- und Rotationsdaten korrekt umgesetzt werden.

Diese korrekte Umsetzung ist notwendig, damit die VR-Umgebung korrekt dargestellt wird und die Position des Nutzers im Raum bestimmt werden kann. Somit ist auch das **Tracking** eine funktionale Anforderung zur Umsetzung der Anwendung. Die Nutzer sollen am Ende eine Zerfallsreihe durchlaufen, dafür ist es notwendig, dass einzelne Nuklide auf der Karte

ausgewählt werden können. Dazu ist es erforderlich, dass das VR-Headset eine Eingabe über den Controller oder mit einer Handgeste erkennt. Daraus wird ersichtlich, dass **Selektion** ebenfalls als funktionale Anforderung essentiell ist.

### 3.3.2 Nicht-funktionale Anforderungen

In der folgenden Tabelle 6.5 sind die nicht-funktionalen Anforderungen auf Basis der vorher durchgeführten Analysen festgelegt. Diese Anforderungen sollen möglichst messbar sein, um eine Aussage über die Qualität und Leistungsfähigkeit dieser Funktionen treffen zu können [46]. Die nicht-funktionalen Anforderungen konnten in die drei Kategorien **Gebrauchstauglichkeit**, **technische Aspekte** und **Visualisierung** unterteilt werden. Diese Kategorien enthalten einzelne Anforderungen. In der Kategorie **Gebrauchstauglichkeit** können die acht nicht-funktionalen Anforderungen *Zufriedenheit*, *Einfachheit*, *Effektivität*, *Effizienz*, *Anstrengung*, *Intuitivität*, *Feedback* und *Nutzbarkeit* definiert werden.

Durch die Zufriedenheit wird laut Heinecke eine hohe Akzeptanz sichergestellt [21]. Die Nutzer sollten für die VR-Anwendung mehrheitlich positives Feedback über die Anwendung angeben, um eine überdurchschnittliche Zufriedenheit zu erlangen. Die VR-Anwendung soll ebenfalls die Anforderungen der Effektivität und Effizienz erfüllen. Im Kontext der Effektivität bekommen die Nutzer eine Zerfallsaufgabe gestellt, die sie mit den gegebenen Navigations- und Selektionselementen erfolgreich durchführen sollen. Zur Erfüllung der Effizienz sollen die Nutzer der VR-Anwendung die vorgegebene Zerfallsaufgabe in unter einer Minute pro Variante durchführen.

Eine weitere Anforderung ist die Einfachheit der Anwendung, welche sich dadurch zeigt, dass die Nutzer bereits nach maximal zwei Minuten für ein Training pro Variante die Funktionsweise verstanden haben, um die Zerfallsaufgaben durchzuführen. Die Einfachheit ist eine wichtige Anforderung, da laut Hitzges eine einfache Navigation und Bedienung einer Anwendung in höherer Nutzerakzeptanz resultiert [23]. In der Benutzung soll die Anwendung ebenfalls nicht als anstrengend, stattdessen als intuitiv in den zur Verfügung stehenden Navigations- und Selektionselementen empfunden werden. Weiterhin soll der Nutzer, durch visuelle und auditi-

ve Hinweise, Feedback in der Durchführung der Zerfallsaufgaben bekommen. Schlussendlich soll die Anwendung auf Nutzbarkeit geprüft werden, um eine Aussage über die Gebrauchstauglichkeit treffen zu können.

Einen weiteren Teil der nicht-funktionalen Anforderungen bilden die **technischen Aspekte** der Anwendung. Diese beinhalten die Punkte *Performance*, *Zuverlässigkeit* und *Auflösung*. Die Anwendung soll in der Performance mit Frameraten von mindestens 72 frames per second laufen, da von Oculus empfohlen wird, dass interaktive Anwendungen diese Framerate als Minimum nutzen sollen [67]. Das ist notwendig, damit der Nutzer die VR-Umgebung als flüssig wahrnimmt, beispielsweise auch bei der Bewegung des Kopfes, wodurch die Darstellung der virtuellen Elemente angepasst werden. Zudem soll die Anwendung zuverlässig sein, dass wird erreicht durch stabiles laufen der Anwendung und das keine Programmabstürze verursacht werden. Außerdem soll die Bild- und Farbauflösung hoch sein, um ein möglichst realitätsnahes Erlebnis für den Nutzer zu schaffen.

Die dritte Kategorie der nicht-funktionalen Anforderungen bildet die **Visualisierung** mit den Punkten *Darstellung* und *Farbkodierung*. In der Anwendung sollen Informationen und Objekte nicht durch andere Objekte verdeckt und in ihren Verhältnissen und Distanzen stimmen, damit der Nutzer ein möglichst realitätsnahes Empfinden hat und alle Informationen sichtbar sind. Die Farbkodierung der Anwendung soll zur besseren Nachvollziehbarkeit des Nutzers verständlich, einheitlich und kontrastreich gestaltet sein.

Tabelle 3.5: Nicht-funktionale Anforderungen, die die VR-Anwendung erfüllen soll

Nr.	Nicht-funktionale Anforderung	Beschreibung
1	<b>Gebrauchstauglichkeit</b>	
1.1	Zufriedenheit	Die Anwender sollen eine überdurchschnittliche Zufriedenheit in der User Experience aufweisen
1.2	Einfachheit	Die Bedienung der Anwendung soll bereits nach einem zwei-minütigen Training zu verstehen sein.
1.3	Effektivität	Die Navigations- und Selektionselemente der Anwendung ermöglichen es dem Nutzer die vorgegebenen Aufgaben zu Zerfallsreihen erfolgreich zu erfüllen.
1.4	Effizienz	Die Navigations- und Selektionselemente der Anwendung ermöglichen es dem Nutzer die vorgegebenen Aufgaben zu Zerfallsreihen in unter einer Minute pro Variante zu erfüllen.
1.5	Anstrengung	Die Anwendung soll in der Nutzerbefragung möglichst nicht als anstrengend empfunden werden.
1.6	Intuitivität	Die Anwendung soll von den Navigations- und Selektionselementen einfach begreifbar gewählt sein, dass nur das kurze Training zur Eingewöhnung benötigt wird.
1.7	Feedback	Der Nutzer soll durch audiovisuelles Feedback bei den Aufgaben unterstützt werden.
1.8	Nutzbarkeit	Die Anwendung soll nach Maßgabe der Usability als gebrauchstauglich eingestuft werden.
2	<b>technische Aspekte</b>	
2.1	Performance	Die Anwendung soll in interaktiven Frameraten mit mindestens 72 frames per second laufen.
2.2	Zuverlässigkeit	Die Anwendung soll stabil laufen und keine Programmabstürze verursachen.
2.3	Auflösung	Die Bild- und Farbauflösung sollen möglichst hoch sein, um das Erlebnis sehr realitätsnah für den Nutzer zu gestalten.
3	<b>Visualisierung</b>	
3.1	Darstellung	Informationen und Objekte sollen nicht durch andere Objekte verdeckt werden und sollen in Verhältnissen und Distanzen stimmen.
3.2	Farbkodierung	Die Farbkodierung soll verständlich, einheitlich und kontrastreich gestaltet sein.

### **3.4 Zusammenfassung**

---

In diesem Kapitel wurde eine Anforderungsanalyse durchgeführt, welche sich mit der Anwendung auseinandersetzt, die innerhalb dieser Arbeit umgesetzt werden soll. Es soll eine prototypische Anwendung zur Darstellung einer Nuklidkarte in virtueller Realität umgesetzt werden, um Zerfallsreihen einzelner Nuklide darzustellen. Dafür wurde zunächst die Ausgangssituation mit den Randbedingungen ausgearbeitet. Daraufhin wurden Anforderungen mithilfe von Experteninterviews bei Physiklehrenden erhoben, eine Kontextanalyse, Benutzeranalyse und Analyse von Konkurrenzprodukten durchgeführt. Schlussendlich wurden die funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen definiert und beschrieben. Mit Hilfe der Anforderungsanalyse wurde eine Basis geschaffen mit der ein Prototyp mit verschiedenen Navigations- und Selektionskonzepten entwickelt werden kann. Die Tabellen 6.4 und 6.5 fassen die definierten Anforderungen zusammen. Im Kapitel 6 Evaluation wird im späteren Verlauf der Arbeit untersucht, inwieweit die definierten Anforderungen erfüllt worden sind.

# 4

## Konzeption

In diesem Kapitel werden die erhobenen Anforderungen für eine virtuelle Nuklidkarte genutzt, um mögliche Herangehensweisen und Lösungsansätze zu konzipieren. Dafür werden die in den Grundlagen definierten Navigations- und Selektionsarten, sowie verwandte Arbeiten betrachtet und diskutiert. Es wird zunächst das Visualisierungskonzept einer virtuellen Nuklidkarte analysiert, indem zunächst die Darstellung der Nuklide, dann der gesamten Nuklidkarte mit einem Farbkonzept und die Darstellung der Karte in einem Raum betrachtet wird. Im nächsten Schritt erfolgt die Konzeptionierung der Navigationsarten für die VR-Anwendung, sowie das Interaktionskonzept mit Feedbackelementen. Schlussendlich wird ein Gamificationkonzept für die virtuelle Nuklidkarte diskutiert.

### **4.1 Visualisierungskonzept virtuelle Nuklidkarte**

---

Nachfolgend werden die Visualisierungskonzepte vorgestellt, welche eine Darstellung einer virtuellen Nuklidkarte auf der VR-Brille ermöglichen. Die in der Anforderungsanalyse festgelegten Kriterien finden dabei Beachtung. Die Visualisierungskonzepte sollen den Nutzer dabei unterstützen, die vorgegebene Zerfallsaufgabe zu lösen, ohne davon abzulenken.

#### **4.1.1 Darstellung virtuelle Nuklide**

In den Interviews mit den Lehrenden im Anhang C.1 und C.2 hat sich ergeben, dass als Informationen auf den Nukliden und für Darstellung folgende Punkte gewünscht sind:

- die farbliche Differenzierungen der Zerfallsarten,

- die Darstellung der Halbwertszeiten mit Einheiten,
- die Bezeichnung des Nuklids,
- die Darstellung der Wahrscheinlichkeiten der Zerfallsarten,
- die Massezahlen der Nuklide,
- die Anzahl der Protonen und Neutronen des Nuklids.

Zur Umsetzung eines Entwurfs des virtuellen Nuklids wurden die Konkurrenzprodukte aus dem Abschnitt Konkurrenzanalyse 3.2.4 studiert. Es wurde dabei betrachtet, ob alle Darstellungspunkte erfüllt sind und wie diese umgesetzt wurden. Davon ausgehend wurde in Abbildung 4.1 ein Entwurf gestaltet. Es wurden die unterschiedlichen Fälle der Zerfallsarten in der Abbildung dargestellt. Es gibt wie in den Grundlagen 2 beschrieben primordiale Nuklide, stabile Nuklide oder mit nur einer Zerfallsart, Nuklide mit zwei Zerfallsarten, Nuklide mit drei Zerfallsarten und Nuklide unbekannter Zerfallsart. Auf das Farbkonzept wird gesondert im Abschnitt Farbkonzept Nuklidkarte 4.1.3 eingegangen.



Abbildung 4.1: Designentwurf für ein einzelnes Nuklid nach Zerfallsart

Angelehnt an der Darstellung in den Konkurrenzprodukten, insbesondere der Karlsruher Nuklidkarte, welche laut der Lehrenden im Unterricht zum Einsatz kommt, wurden die primordialen Nuklide gesondert skizziert. Die Teilung zwischen stabil und Zerfallsarten erfolgt auf horizontaler Ebene. Wenn ein Nuklid stabil oder nur eine Zerfallsart durchführt, ist es vollständig einfarbig gestaltet. Bei zwei Zerfallsarten wird eine Teilung nach Eintrittswahrscheinlichkeit auf vertikaler Ebene vollzogen und in diesem Maße farblich dargestellt. Dazu äquivalent erfolgt die Ausbreitung für drei Zerfallsarten auf einem Nuklid. Wenn die Zerfallsart unbekannt ist, erfolgt ebenfalls eine einfarbige Darstellung.

Die Gestaltung der Informationen auf dem Nuklid erfolgt in allen Ausführungen gleichermaßen. Es wird angelehnt an die Achsen-Darstellung eines Diagramms unten rechts auf dem Nuklid, gemäß der X-Achse, die Neutronenzahl abgebildet. Auf der linken oberen Ecke des Nuklids wird hingegen, gemäß der Y-Achse, die Protonenzahl gezeigt. Wie bei den Konkurrenzprodukten wird die Bezeichnung des Nuklids als Kurzform dargestellt. Daneben befindet sich die Massezahl des Nuklids. Ebenfalls orientiert an den Konkurrenzprodukten werden Bezeichnung des Nuklids und Massezahl etwas größer als die weiteren Informationen dargestellt. Darunter befindet sich die Halbwertszeit des Nuklids mit zugehöriger Einheit.

Zur Visualisierung in virtueller Realität können die Nuklide als Würfel oder Ebenen dargestellt werden. Die Darstellung als Würfel nutzt die mögliche Sicht auf drei-dimensionale Objekte, welches mehr der Realität entspricht als Ebenen, die nur eine zwei-dimensionale Sicht erlauben. In der vorhandenen VR-Anwendung Table of Nuclides VR werden Würfel in unterschiedlichen Höhen dargestellt auf die der Nutzer hinab oder rauf springen muss, um sich fortzubewegen [69]. Das kann, wie in der Anforderungsanalyse bereits benannt, Motion sickness bei dem Nutzer auslösen und wird deshalb in dieser Konzeption abgelehnt. Bei der Darstellung von Würfeln, sollen in der konzipierten Anwendung, aus diesem Grund nur geringe Höhen verwendet werden. Um ein realistischeres Gefühl für den Nutzer zu erzeugen, sollen Würfel anstatt Ebenen zur Darstellung der Nuklide verwendet werden.

#### 4.1.2 Darstellung virtuelle Nuklidkarte

Für die Veranschaulichung der Nuklide auf der gesamten virtuellen Nuklidkarte können noch folgende weitere Anforderungen durch die Lehrenden benannt werden:

- Legende für die Halbwertszeiten und Zerfallsarten,
- Beibehaltung der grundlegenden Struktur und Ordnung der Nuklidkarte,
- Erweiterung der Legende durch Erklärungen, um nicht nur Abkürzungen anzuzeigen,

- Sichtbarkeit der Achsen der Nuklidkarte, auch beim Zoom in die Karte, zur besseren Orientierung,
- Unterteilung der Nuklidkarte zur besseren Übersicht,
- Visualisierung der einzelnen chemischen Elemente auf der Nuklidkarte.

Zur Umsetzung der Vorschläge als Entwurf wurden wieder die Produkte aus der Konkurrenzanalyse, vorrangig die Karlsruher Nuklidkarte, betrachtet. Zur Beibehaltung der grundlegenden Struktur und Ordnung der Nuklidkarte wurde zunächst in Abbildung 4.2 ein Entwurf der gesamten Nuklidkarte erstellt mit farblicher Darstellung der Zerfallsarten. Hierbei wurden nur die Zerfallsarten Alpha-Zerfall, Beta-Minus-Zerfall und Beta-Plus-Zerfall nach farblicher Orientierung an der Karlsruher Nuklidkarte dargestellt, da nur diese relevant für den Physikunterricht sind, laut dem Kapitel Anforderungsanalyse 3. In den Entwürfen wurden zunächst Varianten in der Gesamtübersicht der Nuklidkarte erstellt und im späteren Verlauf der Detailgrad einzelner Nuklide betrachtet.

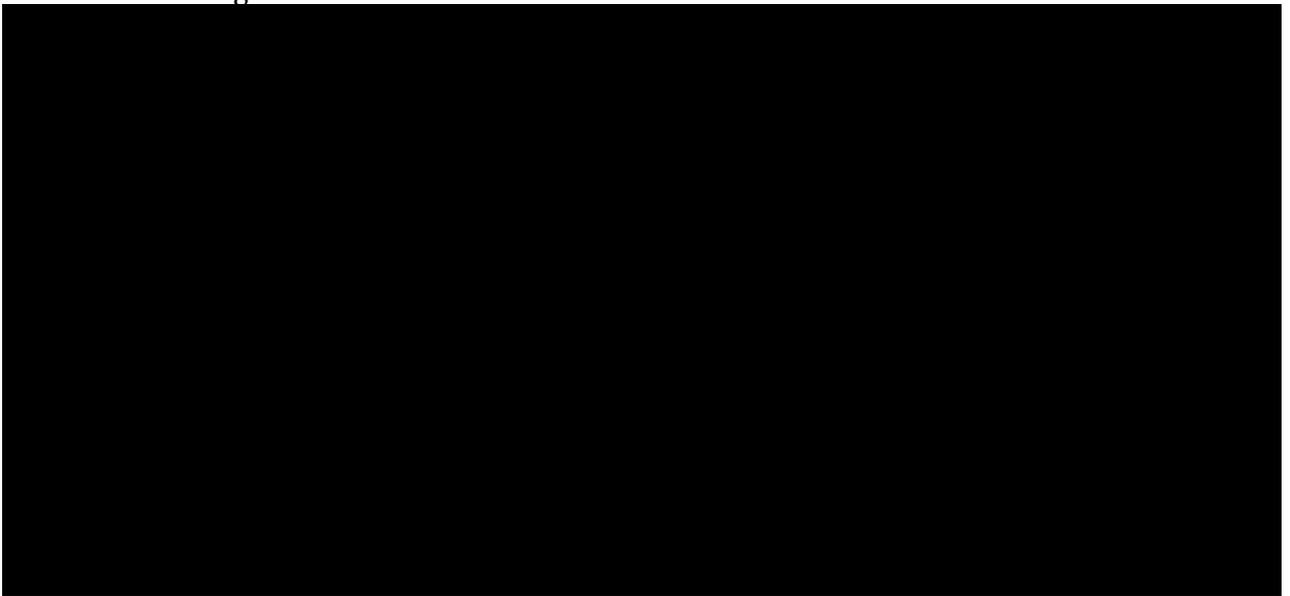


Abbildung 4.2: Designentwurf der gesamten virtuellen Nuklidkarte

In der Abbildung 4.3 wurde die Anforderung der Unterteilung der Nuklidkarte umgesetzt. Dabei wurde die Darstellung in drei Teile aufgegliedert. Für die Umsetzung gibt es mehrere Möglichkeiten diese Unterteilung in

virtueller Umgebung zu visualisieren. Zum Einen kann ein Menü eingeblendet werden bei dem der Nutzer bewusst zwischen den Kartenbereichen wechseln kann. Zum Anderen besteht die Möglichkeit die gesamte Nuklidkarte mit Unterbrechungen darzustellen wie in Abbildung 4.3. Wenn sich der Nutzer auf in der Detailansicht befindet und sich direkt auf den Nukliden bewegt, um deren Informationen ablesen zu können, gibt es keinerlei Vorteil in der Darstellung von Unterbrechungen in der Nuklidkarte. Bei der Darstellung eines kleineren relevanten Ausschnitts besteht der Vorteil für den Nutzer, dass dieser den Bereich besser überblicken und sich orientieren kann.

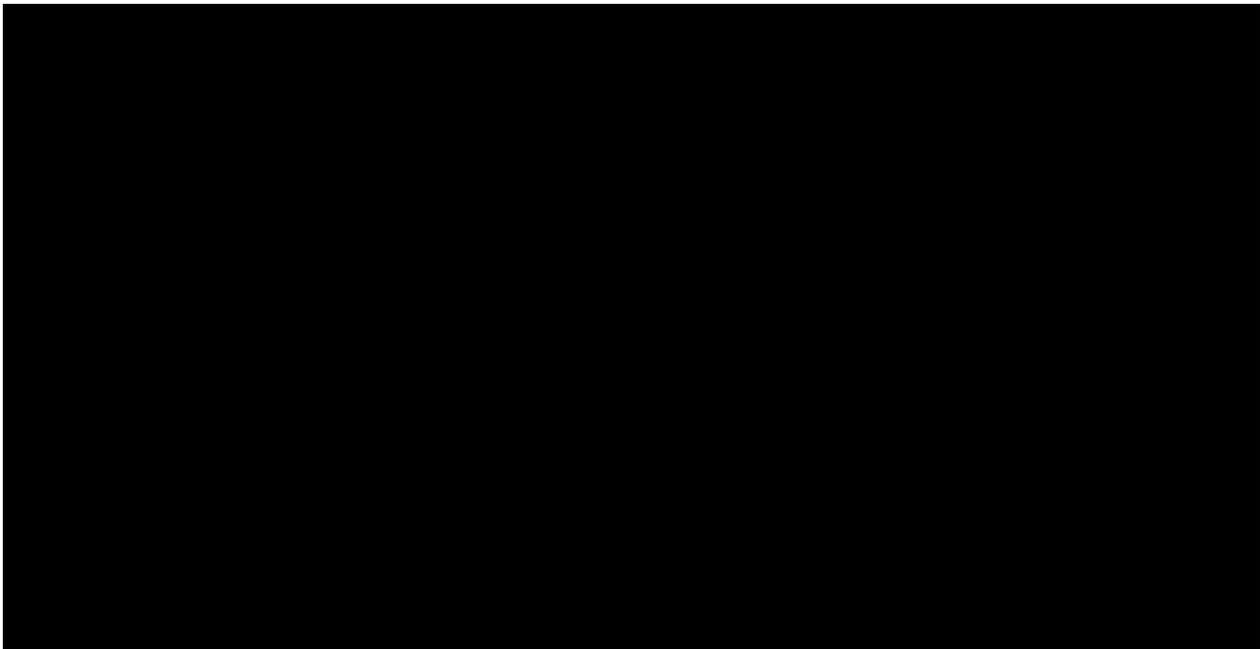


Abbildung 4.3: Designentwurf einer unterteilten virtuellen Nuklidkarte

Die Darstellung nur eines Teilausschnitts der Nuklidkarte könnte wie in Abbildung 4.4 umgesetzt werden. In dieser Darstellung ist es für den Nutzer schwierig sich anhand der Achsen zu Orientieren, da diese in der Distanz nicht gut sichtbar sein werden, auch wenn es sich nur um einen Teilausschnitt handelt.

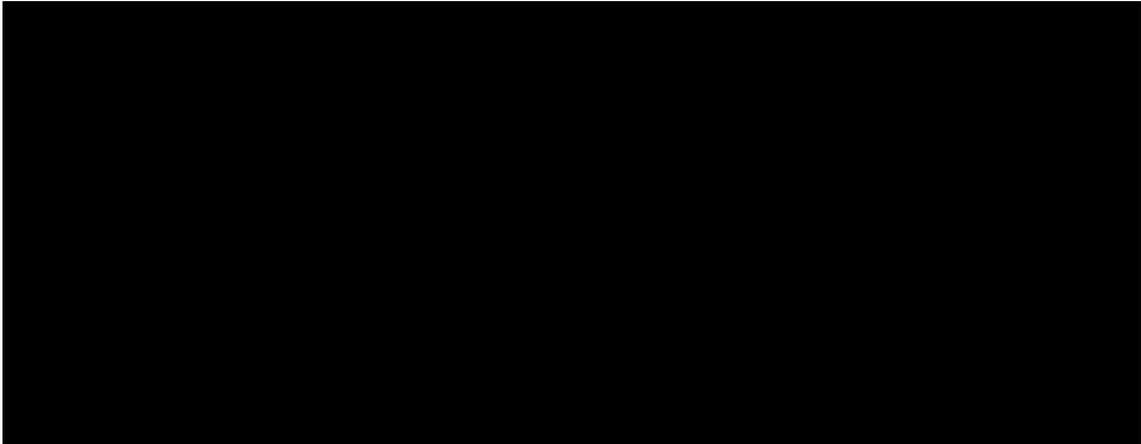


Abbildung 4.4: Designentwurf eines Ausschnitts einer virtuellen Nuklidkarte

In der Darstellung wie in Abbildung 4.5 bei der die detaillierten Informationen auf den Nukliden erkennbar sind, zeigt nur eine beispielhafte Gruppierung von vier Nukliden an welcher die Achsen dargestellt wurden. Bei größeren Ausschnitten wie zuvor in Abbildung 4.4 würden sie keinen großen Orientierungsnutzen bringen. Da solche kleinen Gruppierungen von Nukliden im Schulunterricht keinen Anwendungsfall finden würden, stellt sich die Frage, ob es sinnvoll ist generell Achsen darzustellen. Die Informationen, die sich an den Achsen befinden, können auch wie in Abbildung 4.5 gezeigt in den Ecken der Nukliden erfolgen.

Damit stehen diese Informationen zur Verfügung ohne gesonderte Achsen abbilden zu müssen, die dem Nutzer nicht weiterhelfen können. In den Konkurrenzprodukten aus Abschnitt 3.2.4 wird nur die Massezahl des Nuklids abgebildet und keine gesonderte Aufführung der Protonen- und Neutronenanzahl des Nuklids. Für die Realisation kann somit nach Aufwand und Übersichtlichkeit auf dem Nuklid ermittelt werden, ob diese Angaben umgesetzt oder weggelassen werden.

Es wird deutlich, dass die gewünschten Informationen, die sich auf dem einzelnen Nuklid befinden sollen, umgesetzt wurden. Die Bezeichnung des Nuklids wurde als Abkürzung mit Massezahl dargestellt, darunter befindet sich die Halbwertszeit des Nuklids und als farbliche Darstellung wurde die Zerfallsart dargestellt. Die Zerfallsarten werden anhand ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit im Nuklid als Bereiche abgebildet. Wenn mehrere Zerfallsarten eintreten kann entsprechend das Nuklidfeld farblich ausgefüllt werden.

Diese Darstellung kann sowohl als vertikale Balken erfolgen, die horizontal zueinander angeordnet werden, welches auch bei Konkurrenzprodukten oft genutzt wurde. Ebenfalls ist es möglich die farbliche Darstellung in anderen geometrischen Formen umzusetzen beispielsweise, wenn die Eintrittswahrscheinlichkeit sehr gering ist, könnte die Darstellung in einer Ecke dargestellt werden. Für die Umsetzung wird sich auf die Darstellung der vertikalen Balken beschränkt, welche horizontal nebeneinander angeordnet werden, da diese Variante den geringsten Aufwand in der Umsetzung des Prototypen bedeuten.

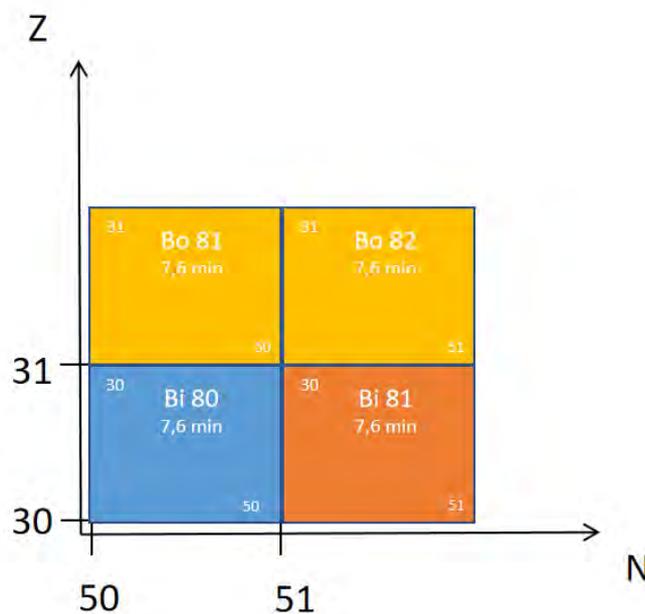


Abbildung 4.5: Designentwurf eines kleinen Ausschnitts einer virtuellen Nuklidkarte mit hoher Zoomstufe

Eine weitere Anforderung der Lehrkräfte war die Darstellung der chemischen Elemente auf dem Nuklid. Entsprechend der Nukliddarstellung in der Umsetzung könnte diese Visualisierung sehr viel Platz einnehmen und somit die Sicht auf die Informationen versperren. Als Entwurf könnte die Visualisierung der Nuklide mit entsprechendem chemischen Element wie in Abbildung 4.6 aussehen. Das Element könnte dabei über dem Würfel des Nuklids schweben und als dreidimensionale Darstellung modelliert werden. Die Umsetzung wird voraussichtlich sehr aufwendig und ist nicht

für die Durchführung der Zerfallsaufgaben notwendig. Deshalb wird die Visualisierung der chemischen Elemente in der Realisation außen vor gelassen.

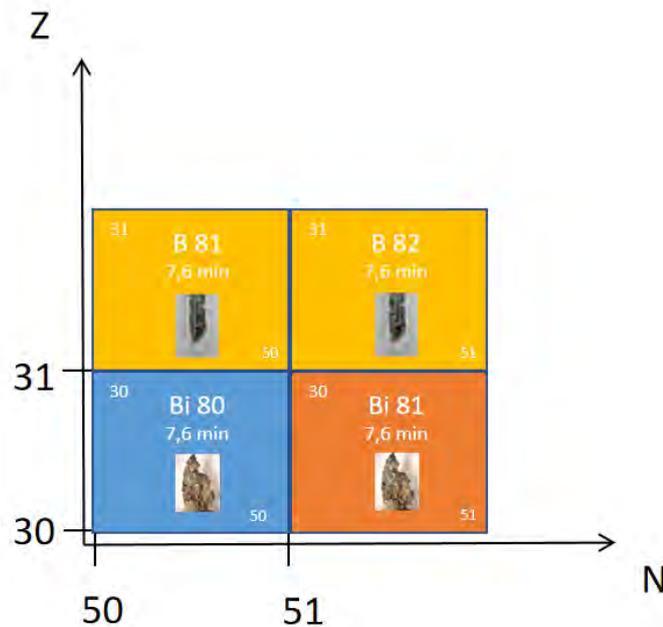


Abbildung 4.6: Designentwurf eines kleinen Ausschnitts einer virtuellen Nuklidkarte mit hoher Zoomstufe und chemischen Elementen

Im Folgenden werden die Legenden für die Zerfallsarten in Abbildung 4.7 und für die Halbwertszeiten in Abbildung 4.8 dargestellt. In beiden Legenden wurden die Informationen ausgeschrieben dargestellt. Bei den Zerfallsarten wurde ebenfalls der Weg des Zerfalls beschrieben zur besseren Orientierung und Erinnerung für die Nutzer. Die Farben der Legende wurden sehr kontrastreich gewählt, damit diese Hinweisschilder nicht untergehen wie im Abschnitt 2.2.2 Kartendarstellungen in VR des 2. Grundlagen und Verwandte Arbeiten Kapitels beschrieben wurde. Weiterhin wurde sich an den Farbgebungen der Karlsruher Nuklidkarte orientiert. Für die Durchführung der Zerfallsaufgabe wird es nicht notwendig sein eine Darstellung der Nuklidkarte anhand der Halbwertszeiten abzubilden, dadurch wird in der Realisation der Fokus auf die Umsetzung der Nuklidkarte anhand der Zerfallsarten liegen.

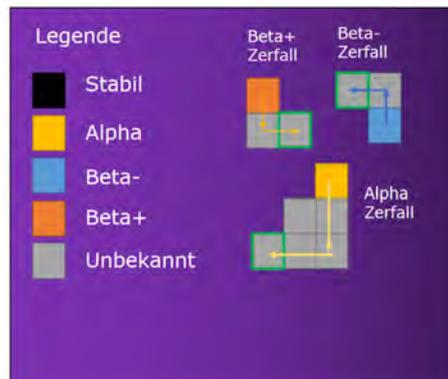


Abbildung 4.7: Designentwurf der Legende für die Zerfallsarten



Abbildung 4.8: Designentwurf der Legende für die Halbwertszeiten

### 4.1.3 Farbkonzept Nuklidkarte

In den Interviews mit den Lehrenden im Anhang C.1 und C.2 hat sich ergeben, dass in den Lehrbüchern und als gedruckte Karte die Version der Karlsruher Nuklidkarte verwendet wird, dadurch wurde sich auch im Farbkonzept an den verwendeten Farben orientiert. In der Karlsruher Nuklidkarte wurden Gelbtöne verwendet für den Alpha-Zerfall, Blautöne für den Beta-Minus-Zerfall, Rottöne für den Beta-Plus-Zerfall, Schwarz für stabile Nuklide und Grau für unbekannte Zerfallsarten. Da im Kapitel Anforderungsanalyse 3 festgelegt wurde, dass die Anwendung möglichst Barrierefrei sein soll, damit beispielsweise auch Personen mit einer Farbsehschwäche die Differenzierung zwischen den Zerfallsarten wahrnehmen können, wurden die Farben im Color Palette Helper definiert [2].

Da Schwarz und Grau immer gesehen wahrgenommen werden, wurden diese in der Farbskala nicht weiter betrachtet. Neben den Farbgebunden der Zerfallsarten, wurde auch eine Farbgebung für Feedbackelemente bei der Zerfallsaufgabe mit eingeplant. In diesem Fall sollte ebenfalls ein Rotton als negatives Signal und Grünton als positives Signal ersichtlich sein. Diese werden bei einer Farbsehschwäche wie in den Abbildungen 4.10, 4.11 und 4.12 in anderen Farben wahrgenommen, können jedoch über Helligkeit der Farben differenziert werden. Als weitere Farbe sollte noch ein weiterer Blauton zur Verfügung stehen, damit die Interaktionselemente auch farblich unterschieden werden können. In der Abbildung 4.9 sind die Farbtöne in der Darstellung ohne Farbsehschwäche dargestellt.



Abbildung 4.9: Farbskala, der zu verwendenden Farben ohne Farbsehschwäche [2]



Abbildung 4.10: Farbskala, wie sie von Personen mit Deuteranopie wahrgenommen wird [2]



Abbildung 4.11: Farbskala, wie sie von Personen mit Protanopie wahrgenommen wird [2]



Abbildung 4.12: Farbskala, wie sie von Personen mit Tritanopie wahrgenommen wird [2]

#### 4.1.4 Darstellung Raum

Die Nuklidkarte soll zur Steigerung des Präsenzgefühls nicht nur in der VR-Umgebung schweben, sondern am besten einen Raum um sich herum haben. Dafür wurden folgende Optionen identifiziert:

##### **Skybox**

Die Skybox ist ein mögliches Asset aus dem Unity-Asset-Store. Hierbei wird ein gewähltes Objekt, in diesem Fall die Nuklidkarte, ein Würfel zusammengesetzt, der die Umgebung mit einem Himmel und Wolken ausstattet. Dabei bekommt der Nutzer das Gefühl in den Horizont zu schauen. Dabei würde es sich allerdings nicht um eine realistische Umgebung für die Nutzer handeln, da sie im Unterricht mit der Nuklidkarte vertraut gemacht werden und sich dabei in einem Klassenraum befinden. Es könnte dadurch zu Irritation der Nutzer kommen.

##### **Echter Klassenraum**

Der Klassenraum der Schüler könnte vor Nutzung der Anwendung in virtueller Realität modelliert werden. Dadurch können die Nutzer ein stärkeres Präsenzgefühl entwickeln, da diese Umsetzung sehr realitätsgetreu wäre. Die Modellierung des echten Klassenraums überschreitet den zeitlichen Aufwand der Realisation des Prototypen.

##### **360 Grad Bild vom echten Klassenraum**

Als Alternative zum Modellieren des echten Klassenraums ist die Nutzung eines 360 Grad Bildes vom echten Klassenraum, da sich der Aufwand zur

Umsetzung in Grenzen hält. Dafür muss sicher gestellt werden, dass es vorher möglich ist diese Aufnahme von dem Klassenraum zu tätigen.

### **Generischer Klassenraum**

Im Asset-Store von Unity gibt es die Möglichkeit bereits modellierte Objekte zum erstellen eines generischen Klassenraums zu nutzen. Dieser Klassenraum würde dann nicht dem Original-Klassenraum der Probanden entsprechen, würde allerdings für Nutzer aus unterschiedlichen Klassen und Schulen passend sein und würde damit gleiche Bedingungen für alle Nutzer schaffen.

### **Labor**

Eine weitere Option ist die Modellierung eines Labors oder Nutzung bereits vorhandener Assets im Asset-Store von Unity. Da die Nutzer bei dem Arbeiten mit der Nuklidkarte in einem Klassenraum sind, würde sich diese Option wieder ein Stück von der Realität entfernen.

Das Ziel der Umgebung, um die Nuklidkarte, ist es dem Nutzer ein Präsenzgefühl zu vermitteln und ein realistisches Ambiente in der Anwendung zu vermitteln. Dadurch ist es sinnvoll sich auf die Optionen des 360 Grad Bildes vom Klassenraum zu beschränken oder auf den generischen Klassenraum als Asset aus dem Asset-Store von Unity. In der Realisation muss der Aufwand abgewogen werden, welche Umsetzung genutzt wird und ob es möglich ist vorher eine Aufnahme von dem Klassenraum zu erhalten.

## **4.2 Navigationskonzept**

---

Im Kapitel Grundlagen wurden bereits die Navigationstechniken vorgestellt. Im Rahmen der Arbeit ist es wichtig sich auf der Nuklidkarte zu bewegen beispielsweise an der Wand oder auf dem Fußboden. Dabei scheinen zunächst nicht alle Methoden gleich gut geeignet zu sein. In folgender Tabelle 4.1 werden die in den Grundlagen vorgestellten Navigationstechniken mit ihren Vor- und Nachteilen in Bezug auf die zu realisierende Anwendung aufgezeigt.

Tabelle 4.1: Vor- und Nachteile der Navigationstechniken in Bezug auf die Zerfallsaufgabe

<b>Navigationstechnik</b>	<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
<b>physikalisches Laufen in VR</b>	natürliche Fortbewegung, Verfolgung des Headsets im Raum bereits durch die VR-Brille hinterlegt, keine Hilfsmittel notwendig, Präsenzgefühl wird erzeugt, einfach zu benutzen, präzises Tracking, gute räumliche Orientierung, Erzeugung eines Gefühls der Eigenbewegung, kein Ermüden, kein Motion Sickness und gute Umsetzung für virtuelle Interaktionen [9, 11]	schlechte Umsetzung für große VR-Umgebungen [9, 11]
<b>Teleportation mit Controllern</b>	Präsenzgefühl wird erzeugt, einfache Benutzbarkeit, präzise, kein Ermüden, kein Motion Sickness, sehr gut für große VR-Umgebungen und gute Umsetzung für virtuelle Interaktionen [9, 11]	nicht natürliche Bewegung, wodurch die Bewegung erlernt werden muss, keine gute räumliche Orientierung, keine Erzeugung eines Gefühls der Eigenbewegung [9, 11]
<b>World-In-Miniature</b>	Präsenzgefühl wird nur teilweise erzeugt, gute räumliche Orientierung, nur bedingtes Ermüden, kein Motion Sickness, sehr gut für große VR-Umgebungen und gute Umsetzung für virtuelle Interaktionen [9, 11]	nicht natürliche Bewegung, wodurch die Bewegung erlernt werden muss, keine einfache Benutzbarkeit, Präzision ist nur bedingt möglich, keine Erzeugung eines Gefühls der Eigenbewegung [9, 11]

Es wird ersichtlich, dass das physikalische Laufen die meisten Vorteile aufweist. In der Umsetzung würde die Navigation bei einer Darstellung auf dem Fußboden einsetzbar sein. Eine Herausforderung wird dabei sein, dass entweder der Ausschnitt der Nuklidkarte entsprechend der Raumgröße skaliert wird oder die einzelnen Nuklide in der Karte entsprechend skaliert werden. Die Teleportation mit Controllern und mit der World-In-Miniature Technik bieten hierbei den Vorteil, dass die Größe der VR-Umgebung keine Einschränkung bietet. Demzufolge kann die gesamte

Nuklidkarte dargestellt werden und der Nutzer kann sich problemlos darauf fortbewegen. Ein großer Nachteil von der World-In-Miniature Technik ist, dass der Ausschnitt der Nuklidkarte für den Nutzer in einer kleinen Form dargestellt werden muss.

Da sich viele Nuklide in einem Ausschnitt oder der gesamten Karte befinden, würde diese Technik keinen Mehrwert in der Fortbewegung bringen, da es schwierig wird in diesem Detailgrad die Positionen abzubilden und präzise durch den Nutzer auswählen zu lassen. Der Aufwand in der Modellierung dieser Darstellung steht ebenfalls nicht in der Relation zur Unterstützung bei der Zerfallsaufgabe. Die Nutzung der Controller zur Teleportation auf eine andere Position bedeutet weniger Aufwand in der Umsetzung und wird einen größeren Nutzen für die Probanden bringen, insbesondere, da in Klassenräumen mit wenig Platz zu rechnen ist. Aufgrund der Argumentation bietet es sich an die Navigationstechniken physikalisches Laufen und Teleportation mit Controllern umzusetzen. Beide Techniken zeugen unterschiedliches Potenzial auf und könnten demnach miteinander verglichen werden.

### **4.3 Interaktionskonzept**

---

Zur Umsetzung der Zerfallsaufgabe wird es notwendig sein, dass die Nutzer ausgehend von einem festgelegten Ausgangsnuklid die jeweiligen Tochternuklide bis zum stabilen Zustand auswählen. Dabei kann sich mithilfe von Navigationstechniken bewegt werden. Es ist aber auch möglich die Nuklidkarte an einer Wand darzustellen, da diese klassischerweise an einer großen Wandkarte für die Schüler im Unterricht präsentiert wird. Demzufolge müssen für die Interaktion noch die entsprechenden Selektionstechniken festgelegt werden. In den Grundlagen wurden bereits Selektionstechniken vorgestellt, diese werden in diesem Abschnitt konzeptionell diskutiert. Aus Sicht der notwendigen Hardware wurde bereits festgelegt, dass nur das Oculus Quest Headset mit den Motion-Controllern zur Verfügung stehen wird, demzufolge wird keine weitere externe Hardware zur Interaktion betrachtet. In der folgenden Tabelle 4.2 werden die bereits vorgestellten Selektionstechniken nach Dörner et al. in Bezug auf die umzusetzende Anwendung beleuchtet [11].

Tabelle 4.2: Vor- und Nachteile der Selektionstechniken in Bezug auf die Zerfallsaufgabe

<b>Selektionstechnik</b>	<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
<b>Ray-Casting-Technik</b>	wichtigste und effektivste Selektionstechnik in VR, Auswahl mithilfe eines Strahls, eindeutiger Schnittpunkt bei kleinen Nukliden möglich	Genauigkeit nimmt bei zunehmender Distanz ab, keine native Technik
<b>Flashlight-Technik</b>	Erzeugung eines Kegels	Mehrere Nuklide könnten selektiert werden und könnten zur Irritation beim Nutzer führen bei der Auswahl des Nuklids, keine native Technik
<b>Go-Go-Technik</b>	Verlängerung eines virtuellen Arms	Genauigkeit nimmt bei zunehmender Distanz ab
<b>HOMER-Technik</b>	Strahl, der aus der aktuellen Handposition schießt und die virtuelle Hand an diese Position versetzt, Nutzung der virtuellen Hand als native Technik, detaillierte Auswahl von kleinen Nukliden in der Distanz	
<b>Bildebenen-Technik</b>	Objekte auf virtuelle Bildebenen für eine einfachere Kontrolle	Umsetzungsaufwand virtuelle Bildebenen zu erzeugen, keine native Technik
<b>World-In-Miniature-Technik</b>	Übersicht über gesamte Nuklidkarte	virtuelle Umgebung als Miniaturmodell mit vielen Nukliden, wenig Präzision, zu kleiner Detailgrad, hoher Umsetzungsaufwand

Bei der Durchführung der Zerfallsaufgabe wird der Nutzer in der Nähe der Nuklide sein, um die Informationen auf den Nukliden lesen zu können. Aufgrund des Umsetzungsaufwands zur Relation des Nutzens wird die Selektionstechnik World-In-Miniature keine Beachtung finden können. Ebenso wie die Bildebenen-Technik. Da die Nuklide direkt nebeneinander angegliedert sind, muss eine präzise Selektion vorgenommen werden, damit der Nutzer sich einfach in der Selektion zurecht findet, wird auf die Flashlight-Technik verzichtet, um versehentliche Selektionen

zu vermeiden. Da die Controller des Headsets bei der Navigation bereits eingebunden werden, ist es in diesem Setting sinnvoll auch hier eine Selektionstechnik zu finden bei der eine Selektion mithilfe von Controllern erfolgt.

Da die Ray-Casting-Technik als effektivste Selektionstechnik angepriesen wird, ist es sinnvoll eine Teleportation auf einer Nuklidkarte mit einem Ray-Cast zu koppeln. Dabei kann sowohl eine Navigation und eine Teleportation erfolgen, wenn sich die Nuklidkarte auf dem Fußboden befindet. Bei einer Darstellung an einer Wand kann die Ray-Casting-Technik ebenfalls zum Einsatz kommen und zum Auswählen der Tochternuklide oder auch zum Verschieben des Kartenausschnitts genutzt werden. Die HOMER-Technik ist durch die virtuelle Hand eine native Technik. Da in der Navigation zwei Varianten als Vergleich gewählt wurden und die zweite Technik ebenfalls eine native Technik ist, ist es sinnvoll auch in der Selektion einen Vergleich zwischen einer nativen Technik und einer Controller-Technik durchzuführen.

Bei der Darstellung der Nuklidkarte an der Wand wird die Distanz zwischen Nutzer und einzelner Nuklide des Ausschnitts nicht sehr hoch sein. Demzufolge ist die HOMER-Technik nicht zwangsläufig notwendig und es könnte sich auf die virtuelle Hand beschränkt werden. Dabei kann der Nutzer beispielsweise ganz nativ wie bei einem Touch-Display die gewünschten Nuklide per Zeigefinger anwählen. Da es sein kann, dass der Ausschnitt nicht vollständig an der Wand sichtbar ist, könnte dazu noch eine weitere native Handbewegung eingeführt werden, um den Ausschnitt zu verschieben. Hierbei könnte wie bei einem Touch-Display mit einem Wischen mit offener Handfläche oder Zeigefinger gearbeitet werden. Damit beim Auswählen die Karte nicht versehentlich verrutscht, sollte keine weitere Zeigefinger Bewegung genutzt werden.

Eine weitere native Handbewegung wäre ein Ziehen der Karte mit der Faust, dadurch kann eine offene oder halb-offene Hand nicht versehentlich für ein Verschieben der Nuklidkarte sorgen. Bei der Bewegung auf der Nuklidkarte auf dem Fußboden ohne Controller sollte keine gesonderte Handbewegung oder Interaktion notwendig sein, um ein Nuklid zu selektieren. Hierbei kann wie bei der Teleportation eine Kopplung des Laufens mit der Selektion erfolgen. Damit die Nutzer nicht zu lange warten müs-

sen, ist es sinnvoll einen Timer zu visualisieren, um das Bestätigen der Auswahl anzuzeigen.

#### 4.3.1 Feedbackelemente

Zur Steigerung der Motivation des Nutzers ist es sinnvoll Feedbackelemente in der Anwendung einzusetzen. Da die Aufgabenstellung für den Nutzer in der Anwendung die Durchführung einer Zerfallsreihe ist, ist es sinnvoll den Nutzer bei der Absolvierung dieser Aufgabe mit Feedbackelementen zu unterstützen. Dabei kann auditives Feedback, visuelles Feedback und haptisches Feedback zum Einsatz kommen.

##### **auditives Feedback**

Für den Prototypen könnte die korrekte und inkorrekte Identifizierung eines Tochternuklids auditiv untermalt werden. Dabei können öffentlich zugängliche Musikausschnitte mit hohem Klang zur Bestätigung der Auswahl als korrekt genutzt werden. Für den falsche Identifizierung des Tochternuklids können tiefere Klänge gewählt werden. Außerdem könnte für den Start der Aufgabe ein Signal ertönen und auch beim Abschluss der Zerfallsreihe. Als weitere Option könnte eine schnellere Musik im Hintergrund oder ein Zeitticken, um den Nutzer zeitlich anzutreiben. Damit sich die vielen Töne nicht gegenseitig überlagern ist es sinnvoll nicht alle Möglichkeiten des auditiven Feedbacks umzusetzen.

In diesem Fall sollte in der Umsetzung die korrekte und inkorrekte Identifizierung des Tochternuklids auditiv unterstützt werden, damit der Nutzer diese Information schnellstmöglich mit einem anderen Sinn aufnehmen kann und darauf reagieren kann.

##### **visuelles Feedback**

Das visuelle Feedback sollte sich in Grenzen, da die Nuklidkarte an sich bereits sehr farbig ist und weitere Farben sonst irritierend für den Nutzer sein können oder gar nicht mehr wahrgenommen werden können. Es besteht die Möglichkeit als visuelles Feedback wie beim auditiven Feedback eine Rückmeldung zu geben, ob ein Tochternuklid korrekt oder nicht-korrekt identifiziert wurde. Dazu könnte das Nuklid einen grünen Rahmen für die korrekte Auswahl und für die falsche Auswahl eine rote Umrandung erhalten wie in Abbildung 4.13 ersichtlich wird. Das Startelement könnte vor

dem Beginn der Zerfallsreihe gesondert farblich hervorgehoben werden für eine bessere Identifizierung beispielsweise direkt mit einem grünen Rahmen, damit eine Kontinuität im visuellen Feedback aufkommt.

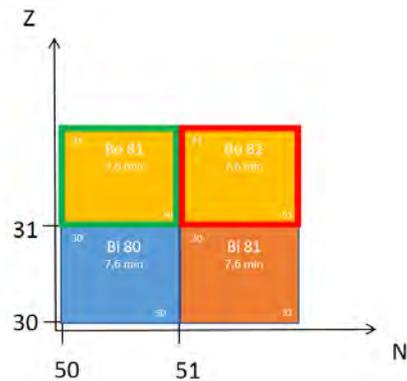


Abbildung 4.13: Designentwurf visuelles Feedback der Zerfallsreihe

Wenn das letzte Nuklid ausgewählt wurde, könnte anstatt eines grünen Rahmens zur Bestätigung eine gesonderte Rahmenfarbe gewählt werden, um zu signalisieren, dass das Ende der Zerfallsreihe erreicht wurde. Dadurch könnte der Nutzer jedoch irritiert werden, da diese neue Rahmenfarbe noch nicht bekannt ist. Weiterhin landet der Nutzer am Ende einer Zerfallsreihe immer bei einem Nuklid im stabilen Zustand, welches bereits eine schwarze farbliche Hervorhebung durch die Zerfallsart besitzt, dadurch würde eine Bestätigung die korrekte Auswahl getroffen haben ausreichen. Neben einer farblichen Visualisierung könnten sich die korrekten Nuklide nach der direkten Auswahl erheben, damit sich der Nutzer neu orientieren kann bei einer falschen Auswahl und die vergangenen Nuklide besser ersichtlich sind aus der Distanz.

Des Weiteren ist es möglich, dass sich nicht nur die Nuklide erheben, sondern auch das chemische Element über die korrekte Auswahl des Nuklids schwebt. In der Umsetzung müssten diese chemischen Elemente gesondert erstellt werden, welches die zeitliche Komponente für die Realisation des Prototyps überschreiten würde.

### **haptisches Feedback**

Für das haptische Feedback könnte mit der Vibration des Controllers gearbeitet werden. Dazu könnten die wieder die Hauptaufgabe mit Feedback unterstützt werden, damit der Nutzer weiß sobald dieser ein korrek-

tes oder nicht-korrektes Tochternuklid identifiziert hat. Dabei könnte der Controller einmal etwas länger vibrieren für die Auswahl des korrekten Nuklids und zweimal kurz vibrieren, wenn ein falsches Nuklid selektiert wurde. Eine weitere Option wäre, dass der Controller sekundlich wie bei dem Ticken einer Uhr im Takt vibriert, um einen zeitlichen Anreiz zu schaffen. Dadurch könnte es allerdings zu einer Überlagerung der Vibrationen kommen, wodurch auch für den Nutzer die unterschiedlichen Zustände nicht mehr differenzierbar wären.

Der Controller könnte ebenfalls beim Streifen eines Nuklids mit dem Strahl des Raycast eine kurze Vibration auslösen, damit das Gefühl ausgelöst wird, dass der Nutzer über ein Raster streift mit der Hand. Dabei würden aber auch wieder sehr oft Vibrationen ausgelöst, welches auch als störend wahrgenommen werden kann. Es sollte sich entsprechend auf das Feedback während der Zerfallsaufgabe beschränkt werden.

#### **4.4 Gamifikationkonzept**

---

In den verwandten Arbeiten in Abschnitt 2.2.4 wurden bereits Gamification-Elemente zur Nutzung in Lernanwendungen aufgedeckt. Es wurden folgende Aspekte von Nah et al. als gängig benannt [37]:

- Nutzung eines Punktesystems als Maßstab für die eigene Leistung und als Belohnung,
- Einsatz eines Levelsystems zur Steigerung von Aufwand und Fähigkeiten und als Belohnung,
- Erhalt von Abzeichen bei Erfüllung einer Aufgabe oder während des Prozesses der Zielerreichung,
- Anzeige einer Bestenliste auf einem Leaderboard zur Motivation und Steigerung des Wettbewerbsgefühls,
- Preise und Belohnungen einführen wie Charakterupgrades,
- Anzeige eines Fortschrittbalkens,
- Verwendung eines spannenden Handlungsstranges, um das Interesse aufrecht zu erhalten und

- die unmittelbare Rückmeldung von Feedback.

In Bezug auf die Umsetzung des Prototypen muss abgewogen werden welche Gamification-Elemente passend für die Durchführung einer Zerfallsaufgabe sind, dadurch kommen nicht alle Möglichkeiten in Frage. Da es bei dem Prototypen nur eine einzelne Zerfallsaufgabe für die Nutzer geben soll pro Variante wird es kein Punktesystem und kein Levelsystem geben. Eine Art Abzeichen, um ein Zeichen für das erfolgreiche Lösen der Aufgabe zu vergeben, kann es einen Abschlussbildschirm geben, der den erfolgreichen Abschluss der Aufgabe abbildet mit einer Übersicht zu den eigenen Leistungen. Damit das Ergebnis nicht verfälscht wird und die ersten Nutzer noch keine Bestenliste sehen können, um sich zu vergleichen, sollte es in der Anwendung keine Bestenliste geben.

Da es auch nicht die Möglichkeit geben wird sich zu verbessern. Demzufolge sind Preise und Belohnungen ebenfalls nicht abbildbar in der Anwendung. Um den Nutzern ein unmittelbares Feedback zu geben, kann dauerhaft ein Fortschrittsbalken angezeigt werden. Weitere Möglichkeiten sind eine Zeitanzeige, um die Zeit zu messen und die Fehler zu zählen als dauerhafte Einblendung für den Nutzer. Im Rahmen der Arbeit liegt der Fokus auf die erfolgreiche Durchführung der Zerfallsaufgabe. In Anbetracht dessen sollte sich in der Realisierung auf folgende benannten Punkte beschränkt werden:

- Einen Start- und Abschlussbildschirm, um den Anfang und das erfolgreiche Ende der Aufgabe zu definieren,
- Anzeige eines Fortschrittsbalkens, anhand der bereits erfolgreich identifizierten Nuklide im Zerfall,
- eine Zeitanzeige und
- eine Anzeige für eigene Fehler, anhand der falsch als Tochternuklid identifizierten Nuklide.

## **4.5 Zusammenfassung**

---

Dieses Kapitel hat sich mit der Konzeption der geplanten Anwendung auseinander gesetzt. Dazu wurden erste Visualisierungskonzepte anhand der

---

Anforderungsvorgaben erstellt und diskutiert. Der Fokus wurde dabei auf die Darstellung der Nuklide mit ihren notwendigen Informationen gelegt. Weiterhin wurde die Darstellung der gesamten Karte konzipiert, um Limitationen aus Konkurrenzprodukten möglichst zu vermeiden. Daraufhin wurde ein Farbkonzept entwickelt, um auch für Personen mit Farbsehschwäche ein positives Nutzererlebnis erzeugen zu können. Danach wurde die Entwicklung eines Raums um die Nuklidkarte diskutiert. Nach den visuellen Aspekten wurden dann die Vor- und Nachteile der gesammelten Navigations- und Selektionstechniken abgewogen und diskutiert. Schlussendlich wurden noch Feedback- und Gamificationelemente konzipiert, um alle Aspekte einer Lernanwendung zu bedienen.



# 5

## Realisierung

In diesem Kapitel wird die Umsetzung des Prototypen beschrieben. Die Umsetzung erfolgt anhand der Konzeption in Kapitel 4. Zunächst wird ein Einblick in die genutzte Entwicklungsumgebung und Hardware gegeben. Weiterhin wird der technische Aufbau beschrieben und Limitierungen in der Umsetzung aufgezeigt. Des Weiteren werden die Komponenten des Prototyps vorgestellt und ein Überblick über den Programmablauf gegeben.

### 5.1 Technische Voraussetzungen

---

Als Entwicklungsumgebung für die Anwendungen wurde die Spiel-Engine Unity in der Version 2020.3.30f1 in Kombination mit Visual Studio 2019 verwendet. Unity ist eine Laufzeit- und Entwicklungsumgebung, welche die Möglichkeit zur Entwicklung von Computerspielen und interaktiver 3D-Grafik-Anwendungen bietet [26]. Als Skriptsprache wurde C# genutzt. Zur Umsetzung wurde ein Windows-Laptop mit einem AMD Ryzen 7 5800H Prozessor mit acht CPU-Kernen und einer Grundtaktzahl von 3.20 GHz genutzt. Es handelt sich dabei um ein 64-Bit Betriebssystem mit 32 GB Arbeitsspeicher und Windows 10 Home. Als Grafikkarte wurde eine NVIDIA GeForce RTX 3070 verwendet.

Zur Umsetzung wurde die Oculus Quest 1 mit 128 GB Speicher verwendet, welche durch die Arbeitsgruppe zur Verfügung gestellt wurde. Für die Nutzung der Anwendung auf der Brille soll diese als Android-APK exportiert werden. Ebenfalls soll die Nutzung der Anwendung auf der Quest per Linkkabel über die Steuerung mit Unity, sowie per Air-Link als Übertragung per lokalem Netzwerk gegeben sein. Die Oculus Quest bietet ein hochleis-

tungsfähiges, kabelloses VR-Erlebnis in Raumgröße mit folgenden technischen Eigenschaften [22]:

- Headset mit sechs Freiheitsgraden,
- Motion Controller mit sechs Freiheitsgraden,
- 2880×1600 Doppel-OLED-Display und 72Hz Bildwiederholrate,
- vollständig integriertes Audiosystem mit räumlichem Audio mit verstärktem Bass und
- ein Sichtfeld von 110 Grad.

## 5.2 Gestaltung der Nuklidkarte

---

Für die Gestaltung der Nuklidkarte wurde zunächst in Unity ein Prefab angelegt. Dieses Prefab besteht aus einem 3D-Würfel (Cube) als Grundkörper als äußeres Gehäuse des Nuklids. Dieser wurde mit einem BoxCollider zur Kollisionserkennung versehen. Direkt auf dem Cube wurde eine weiße Plane angelegt als Rahmen. Über dieser Plane wurden mehrere Planes versehen mit unterschiedlichem Material zur Visualisierung der Zerfallsarten erstellt. Darüber wurden drei TextMeshPro Textfelder erstellt, um die notwendigen Nuklidinformationen wie Bezeichnung, Massezahl und die Halbwertszeit wieder zu geben. Als Datenquelle wurden die Daten der Textdatei von Kondev et al. über den StreamReader zeilenweise ausgelesen [28]. Die Datei hat einen festen Aufbau. Jede Zeile steht für ein Nuklid. Des Weiteren gibt es eine vorgegebene feste Zeichenreihenfolge für die Inhalte der Zeilen.

Nachdem Auslesen wurden die Daten in ein Dictionary als Datenstruktur abgelegt. Das Dictionary besteht aus den Schlüsselwert-Paaren. Die Schlüsselwerte sind hierbei eine eigene Tupelklasse bestehen aus der Protonenzahl und der Neutronenzahl. Des Weiteren bilden die Werte eine eigene Nuklid-Klasse mit Attributen für die genannten jeweiligen Nuklidinformationen (Bezeichnung, Massezahl, Halbwertszeit, Zerfallsart mit Eintrittswahrscheinlichkeit). Im nächsten Schritt wurde der Nuklidgenerator erstellt. In diesem Skript wird über das gesamte Dictionary iteriert. Dabei wurde pro Eintrag eine neue Instanz vom Prefab erzeugt. Dabei wurden

die Textinhalte, Planegrößen und Positionen anhand der entsprechenden Zerfallswahrscheinlichkeiten und Texte angepasst.

Für einen Ausschnitt der Nuklidkarte wird nur über eine festgelegte Auswahl der Einträge iteriert. Die Schlüsselwerte wurden dabei zur Platzierung der erstellten Nuklid-Prefabs verwendet. Hierbei haben die Protonen- und Neutronenzahlen deren Koordinatenposition bestimmt. Die jeweiligen Nuklid-Prefab-Instanzen wurden an ein gemeinsames Parent-Game-Object gebunden. Die lokalen Koordinaten der Prefab-Instanzen entsprechen dadurch jeweils den Schlüsselwerten. Für die Skalierung, Rotation und Verschiebung der Nuklid-Prefabs im Raum wurde nur das Parent-Game-Object verschoben. Für die Zerfallsaufgabe wurden die Zerfallsreihen als Liste mit Schlüsselwerten des Dictionary abgelegt. Damit eine Überprüfung stattfinden kann, ob ein Nuklid Bestandteil der gewählten Zerfallsreihe ist, wurde überprüft, ob sich der Schlüssel in der angelegten Liste befindet. Daraufhin hat sich das Material für die Plane, welche als Rahmen dient, aktualisiert, um visuelles Feedback anhand der Rahmenfarbe anzuzeigen.

### 5.3 Navigationstechniken

---

Die konzipierten Navigationstechniken wurden mit dem *Locomotion-Controller*-Prefab aus dem *Unity Oculus Integration Package* umgesetzt [64]. Dabei wurde das *LocomotionTeleport*-Skript angepasst. Mithilfe des Skripts wurde Zugriff auf die einzelnen Nuklide der Nuklidkarte gegeben, damit sich der Nutzer bei der Teleportation mit dem Controller immer auf das Zentrum eines Nuklids positioniert. Außerdem enthält es eine Kollisionserkennung mit dem entsprechend gewählten Nuklid, um zu testen, ob dieses angewählte Nuklid Bestandteil der aktuellen Zerfallsreihe ist. Weiterhin wurde das *TeleportDestinationPrefab* vom Standard Oculus Prefab auf das Prefab *TeleportPoint* aus dem *SteamVR Unity Plugin* geändert [66].

### 5.4 Selektionstechniken

---

Die konzipierten Selektionstechniken gliedern sich in Kombination mit den vorhergehenden Navigationstechniken in vier unterschiedlichen Varianten.

### Fußboden-Controller-Variante

In dieser Variante werden die Nuklide auf den virtuellen Fußboden projiziert dargestellt wie in den Abbildungen 5.1 und 5.2 deutlich wird. Die Fortbewegung mithilfe des mithilfe des *LocomotionTeleport*-Skripts wurde im Abschnitt 5.3 beschrieben. Zur Selektion wird der Ray-Cast verwendet. Dabei wird von der Controllerposition ein gerader Strahl verfolgt. Dieser wird zwischen Controller und Nuklidkarte mithilfe vom Unity *LineRenderer* gezeichnet. An der getroffenen Position wird das Prefab *TeleportPoint* aus dem *SteamVR Unity Plugin* platziert [66]. Auf dem Controller muss der Nutzer den Joystick zur Seite drücken, um einen roten Strahl zu erzeugen. Über die Bewegung des Controllers im Raum kann dieser Strahl über die Nuklide bewegt werden, sobald der Joystick losgelassen wird, wird Positionsauswahl bestätigt und der Transport zur gewählten Position mit gleichzeitiger Auswahl des Nuklids durchgeführt. Danach wird geprüft, ob sich das Nuklid in der Zerfallsreihe befindet.



Abbildung 5.1: Variante Fußboden mit Controller

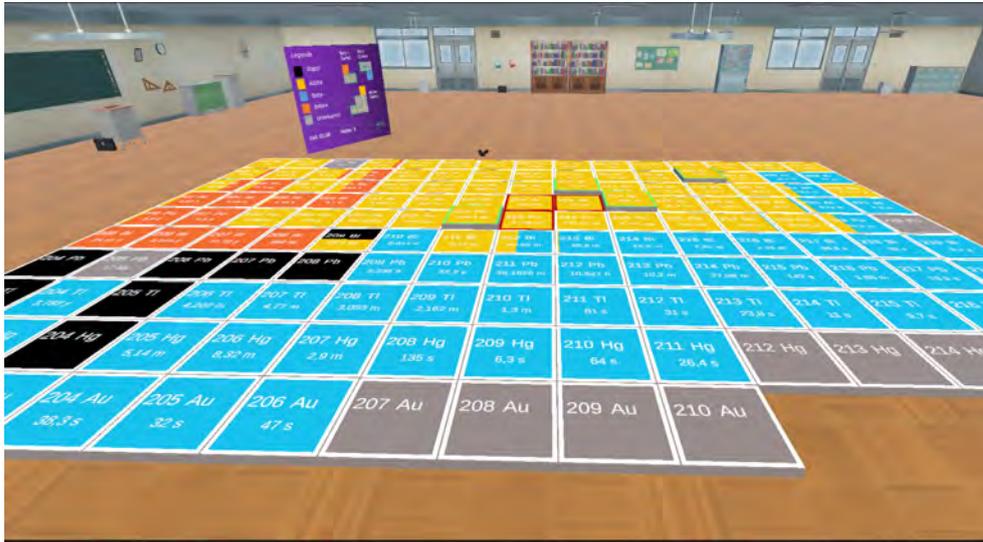


Abbildung 5.2: Variante Fußboden mit Controller und Sicht in den Raum

### Fußboden-Freihand-Variante

Bei dieser Variante werden die Nuklide ebenfalls auf den virtuellen Fußboden projiziert wie in Abbildung 5.3. Die Selektion der einzelnen Tochternuklide erfolgt über die Fortbewegung. Dabei wird in jedem Update ein Raycast von der Kopfposition des Nutzers direkt nach unten durchgeführt. Ein semi-transparenter zylindrischer Marker kennzeichnet den Schnittpunkt aus Strahl und Nuklidkarte. Wird ein neues Nuklid betreten wird die kreisförmige Statusanzeige um den Marker gerendert. Diese Fortschrittsanzeige *Procedural Circular Health Bar* wurde aus dem Unity-Asset-Store entnommen [65]. Zur Bestätigung der Auswahl muss der Nutzer zwei Sekunden auf dem Nuklid seiner Wahl ausharren. Danach wird Nuklid ausgewählt und geprüft, ob es sich in der Zerfallsreihe befindet.

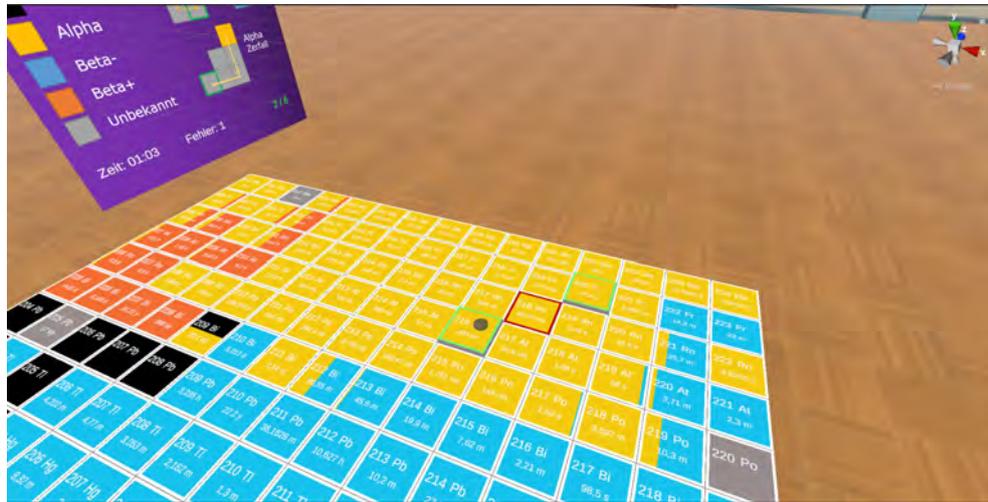


Abbildung 5.3: Variante Fußboden-Laufen

### Wand-Controller-Variante

Für diese Variante werden die Nuklide auf eine virtuelle Wand projiziert wie in den Abbildungen 5.4 und 5.5 dargestellt wird. Zur Selektion der Tochternuklide wird erneut die Ray-Cast-Interaktionsmetapher wie bei der Fußboden-Controller-Variante verwendet. Zur Steuerung wird der untere Trigger-Button auf dem Controller gedrückt, um den roten Strahl zu erzeugen. Wenn dieser Button losgelassen wird, wird die Auswahl des Nuklids auf welches der Strahl zeigt, ausgewählt. Dabei wird ein semitransparenter Marker auf dem zuletzt ausgewählten Nuklid platziert. Hierbei wird wieder geprüft, ob sich das Nuklid in der Zerfallsreihe befindet. Für das Verschieben der Karte an der Wand wird ebenfalls ein Ray-Cast verwendet und analog mit dem *LineRenderer* gezeichnet aber zur Unterscheidung in blauer Farbe.

Am Controller muss neben dem unteren Trigger-Button noch der seitliche Trigger-Button gedrückt werden. Wenn das Verschieben ausgewählt wurde, wird eine temporär selektierte Prefab-Instanz als globales Parent aller Nuklid-Prefabs festgesetzt und entlang der Wand-Ebene verschoben, wenn der Controller bewegt wird. Beim Loslassen wird das alte Prefab-Parent zurückgesetzt.



Abbildung 5.4: Variante Wand mit Controller - Auswahl Nuklid

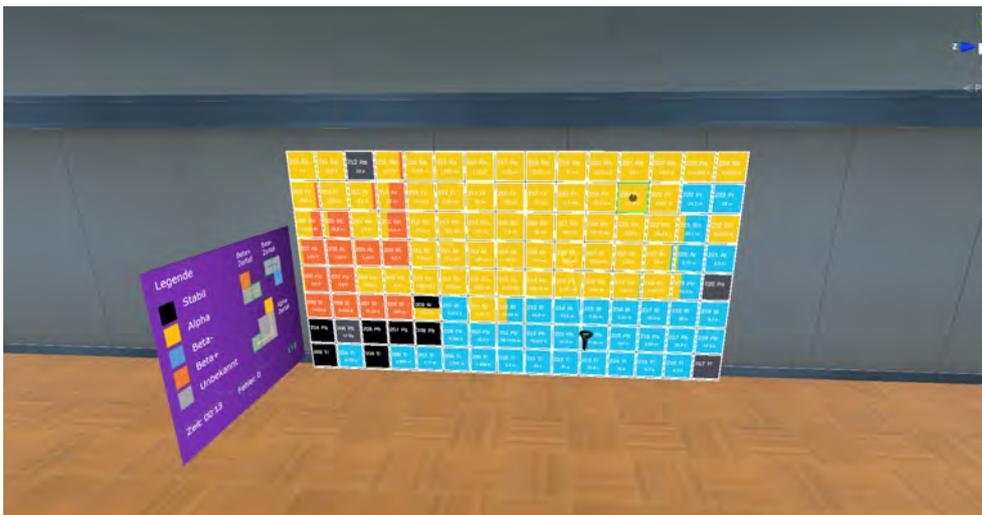


Abbildung 5.5: Variante Wand mit Controller - Verschieben der Karte

### Wand-Freihand-Variante

Bei dieser Variante werden die Nuklide erneut auf eine virtuelle Wand projiziert wie in den Abbildungen 5.6 und 5.7 dargestellt. Dafür wurde das *Oculus Interaction SDK* für die Handinteraktion, dessen Tracking und Darstellung genutzt [14]. Für die Darstellung wurde das Nuklid-Prefab um das *PokeInteractable* aus dem *Interaction SDK* ergänzt. Dieses Skript er-

kennt Berührungen mit einem *PokeInteractor*, der sich an der virtuellen Hand befindet und löst Events beim Betreten und Verlassen eines *Hover*-Bereichs vor dem Nuklid aus. Sobald der Nutzer mit dem Zeigefinger die Prefab-Instanz berührt, wird dieses ausgewählt. Außerdem wird eine Kugel vor Nuklid gerendert sobald der Zeigefinger den *Hover*-Bereich betritt. Die Kugel zeigt an, dass die Karte nun an diesem Nuklid verschoben werden kann.

Dazu muss eine Faust gemacht werden und die Kugel verfärbt sich blau. Die Erkennung der Faust erfolgt über das *Oculus Interaction SDK - Hand Pose Detection* Prefab. Dabei entspricht die Erkennung der Geste *RockPose*, welche der Faust entspricht. Sobald die Hand geöffnet wird, kann die Interaktion unterbrochen werden und bei der Verschiebung die Karte final platziert werden.



Abbildung 5.6: Variante Wand mit virtueller Hand zum Tippen

210 Ra 5.4	211 Ra 15.0 d	212 Ra 38.4 s	213 Ra 5.75 m	214 Ra 3.811 s	215 Ra 1.5207 m	216 Ra 1.5207 m	217 Ra 1.5207 m	218 Ra 98.55 m	219 Ra 1.9 m	220 Ra 55.3 s	221 Ra 79.4 s	222 Ra 38.0 d	223 Ra 11.43 d	224 Ra 3.807 s
209 Fr 98.3 s	210 Fr 9.19 m	211 Fr 3.17 m	212 Fr 37 m	213 Fr 36.44 s	214 Fr 3.55 m	215 Fr 90 m	216 Fr 707 m	217 Fr 33 m	218 Fr 2.67 m	219 Fr 30.5 m	220 Fr 17.4 s	221 Fr 3.583 s	222 Fr 1423 m	223 Fr 32 s
208 Rn 36.8 m	209 Rn 26.8 m	210 Rn 5.43 s	211 Rn 3.8 s	212 Rn 21.8 m	213 Rn 10.3 m	214 Rn 368 m	215 Rn 3.3 m	216 Rn 59 m	217 Rn 301 m	218 Rn 33.75 m	219 Rn 10.8 s	220 Rn 36.3 s	221 Rn 46.1 m	222 Rn 3.823 m
207 At 1.63 s	208 At 1.63 s	209 At 3.42 s	210 At 3.1 s	211 At 1.11 s	212 At 21.7 m	213 At 10.3 m	214 At 367 m	215 At 32 m	216 At 300 m	217 At 30.3 m	218 At 1.47 s	219 At 36.2 s	220 At 3.75 m	221 At 3.2 m
206 Po 3.8 d	207 Po 3.8 s	208 Po 3.98 s	209 Po 37 s	210 Po 30.87 s	211 Po 21.7 m	212 Po 204.2 m	213 Po 2.30 m	214 Po 30.87 m	215 Po 1.23 m	216 Po 1.4 m	217 Po 1.42 s	218 Po 107 m	219 Po 1.2 m	220 Po 14.4 m
205 Bi 14.91 d	206 Bi 5.343 d	207 Bi 61.23 s	208 Bi 98.9 s	209 Bi 70.2 s	210 Bi 9.67 d	211 Bi 1.58 m	212 Bi 30.56 m	213 Bi 46.8 m	214 Bi 14.4 s	215 Bi 1.42 m	216 Bi 3.51 m	217 Bi 86.8 s	218 Bi 83 s	219 Bi 9.7 s
204 Pb 17 My	205 Pb	206 Pb	207 Pb	208 Pb	209 Pb 3.288 s	210 Pb 35.3 s	211 Pb 38.1808 m	212 Pb 10.677 h	213 Pb 16.3 m	214 Pb 27.08 m	215 Pb 142 s	216 Pb 5.86 m	217 Pb 19.8 s	218 Pb 14.8 s
203 Tl	204 Tl 3.794 s	205 Tl 4.201 s	206 Tl 4.17 m	207 Tl 3.053 m	208 Tl 2.142 m	209 Tl 1.3 m	210 Tl 41 s	211 Tl 31 s	212 Tl 23.8 s	213 Tl 11 s	214 Tl 9.7 s	215 Tl 5.9 s	216 Tl	217 Tl
202 Hg	203 Hg 40.61 d	204 Hg 5.34 m	205 Hg 9.33 m	206 Hg 2.3 m	207 Hg 139 s	208 Hg 3.8 s	209 Hg 94 s	210 Hg 38.6 s	211 Hg	212 Hg	213 Hg	214 Hg	215 Hg	216 Hg
201 Au 26 m	202 Au 86.4 s	203 Au 61 s	204 Au 86.3 s	205 Au 31 s	206 Au 37 s	207 Au	208 Au	209 Au	210 Au					

Abbildung 5.7: Variante Wand mit virtueller Hand zum Schieben

## 5.5 Feedbackelemente

Die konzipierten Feedbackelemente gliedern sich im folgenden in visuelles Feedback, auditives Feedback und haptisches Feedback auf.

### visuelles Feedback

Zum Hinterlegen der Feedbackelemente wurde der Plane, welche den weißen Rahmen bildet noch weiteres Material zugewiesen. Sobald eine Prüfung des ausgewählten Nuklids mit der hinterlegten Zerfallsreihe durchläuft, wird dem Rahmen ein neues Material zugeordnet. Hierbei erhält der Rahmen grünes Material hinterlegt, wenn sich das Nuklid in der Zerfallsreihe befindet und rotes Material zugeordnet, wenn sich dieses Nuklid nicht in der Zerfallsreihe befindet. Wenn sich das Nuklid in der Zerfallsreihe befindet, erhebt sich das Nuklid-Prefab in seiner Position. Dadurch wird eine Erhöhung des Nuklids dargestellt.

### auditives Feedback

Bei der Prüfung, ob sich ein Nuklid in der Zerfallsreihe befindet, wird auditives Feedback abgespielt. Dabei wurden zwei Tonspuren hinterlegt. Sobald sich ein ausgewähltes Nuklid in der Zerfallsreihe befindet, wird ein heller Ton von einer Sekunde abgespielt. Wenn sich das ausgewählte Nuk-

lid nicht in der Zerfallsreihe befindet werden zwei tiefe kurze Töne, ebenfalls in der Dauer von einer Sekunde, abgespielt.

### **haptisches Feedback**

Für das haptische Feedback wurde bei der Prüfung der Nuklidauswahl eine Vibrationssteuerung für den Controller hinterlegt. Sobald ein Nuklid Bestandteil der Zerfallsreihe ist, wird eine lange Vibration von zwei Sekunden Dauer, erzeugt. Wenn sich ein Nuklid nicht in der Zerfallsreihe befindet, werden zwei kurze Vibrationsstöße durch den Controller erzeugt, welche jeweils eine Dauer von einer Sekunde einnehmen.

## **5.6 Virtueller Raum**

---

Für die Realisierung des Prototypen war es nicht möglich vorher eine Bildaufnahme des Klassenraums zu erhalten. Deshalb wurde ein generischer virtueller Klassenraum unter Nutzung des Unity Assets *Assets classroom* erstellt [63]. In Abbildung 5.8 ist der leere Klassenraum ohne erzeugte Nuklidkarte zu sehen. In diesem Asset sind einzelne Objekte zur Erstellung eines individuellen Klassenraums enthalten. Der Klassenraum wurde in der Größe konzipiert, dass dieser einen Ausschnitt der Nuklidkarte für die natürlichen Zerfallsreihen Uran-238, Uran-235, Thorium-232 und Neptunium-237 darstellen kann.

Für den Klassenraum konnten vorhandene Objekte wie ein virtueller Fußboden, virtuelle Wände, virtuelle Decke frei platziert werden. Dabei wurde sich an der Position der Schlüsselwerte des Nuklidkarten-Ausschnitts orientiert. Im Raum konnten weiterhin Objekte wie virtuelle Lampen mit gesonderten Lichtquellen, virtuelle Fenster mit projizierter Lichteinstrahlung und Ausstattungselemente wie Tafeln, Poster, Schränke, Taschen, Stühle und Tische frei platziert werden.



Abbildung 5.8: Klassenraum ohne Karte

## 5.7 Zusammenfassung

---

In diesem Kapitel wurde die Konzeption umgesetzt. Für die Umsetzung wurden zunächst die technischen Voraussetzungen für die Entwicklung beleuchtet. Danach wurde auf die Gestaltung der Nuklidkarte in der Unity-Game-Engine eingegangen. Diese wurde daraufhin mit den festgelegten Navigations- und Selektionstechniken ausgestattet, wodurch die vier Varianten Fußboden-Controller, Fußboden-Freihand, Wand-Controller und Wand-Freihand entstanden sind. Diese wurden einheitlich mit den konzipierten Feedbackelementen und dem virtuellen Raum ausgestattet, um eine vergleichbare Umgebung zu schaffen.



# 6

## Evaluation

In diesem Kapitel wird die Durchführung der Studie beschrieben, die Ergebnisse präsentiert und abschließend diskutiert. Dazu wird es zunächst einen Einblick in den Versuchsaufbau geben, um die technischen Gegebenheiten zu umschreiben. Daraufhin werden die Probanden, das Studiendesign und der Versuchsablauf beschrieben. Schlussendlich werden dann die Ergebnisse der Studie präsentiert und in einem gesonderten Abschnitt diskutiert und interpretiert.

### 6.1 Versuchsaufbau

---

Die Studie wurde mithilfe der Oculus Quest 1 mit 128 GB Speicher durchgeführt mit welcher bereits die Entwicklung der Anwendung durchgeführt wurde. Ebenfalls wurde der zu Entwicklungszwecken genutzte Windows-Laptop mit einem AMD Ryzen 7 5800H Prozessor mit acht CPU-Kernen und einer Grundtaktung von 3.20 GHz verwendet. Es handelt sich dabei um ein 64-Bit Betriebssystem mit 32 GB Arbeitsspeicher und Windows 10 Home. Als Grafikkarte wurde eine NVIDIA GeForce RTX 3070 genutzt. Die Durchführung erfolgte mithilfe des Air-Link Modus als Übertragung der Anwendung von Unity auf die VR-Brille per lokalem Netzwerk. Dafür wurde der TP-Link TL-WR841N N300 WLAN Router verwendet. Dieser hat eine Downloadrate von 300 Mbit/s und 2,4 GHz. Als Kooperationspartner diente das Gymnasium Kleine Burg in Braunschweig. Diese haben für die Durchführung der Studie neben den Probanden auch einen Klassenraum zur Verfügung gestellt, welcher für die Dauer der Studie durchgehend genutzt werden konnte.

## 6.2 Beschreibung der Probanden

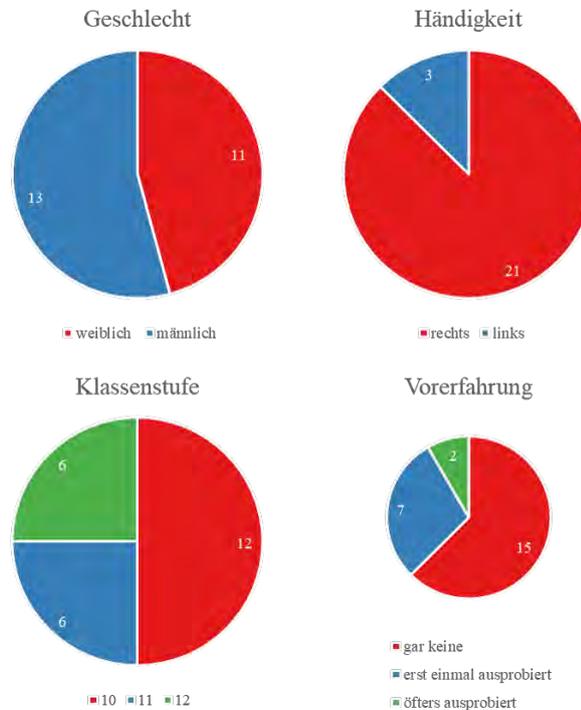


Abbildung 6.1: Verteilung der Angaben der Probandendaten

Als Probanden standen 24 Schüler des Gymnasiums Kleine Burg in Braunschweig zur Verfügung. Die Physiklehrerin, Frau Schilde, ermöglichte die Teilnahme an der Studie für interessierte Schüler der Klassenstufen 10, 11 und 12. Wie in Abbildung 6.1 ersichtlich wird, existiert eine nahezu gleichmäßige Verteilung der Geschlechter, da 13 männliche und 11 weibliche Probanden teilgenommen haben. Es wurde deutlich, dass die Mehrheit der Probanden die rechte Hand als dominante Hand definieren würden. Denn es haben nur 3 Probanden die linke Hand als dominant angegeben und 21 Probanden die Rechte.

Da vier Unterrichtsstunden für die Klassenstufe 10 genutzt werden durften und jeweils zwei Unterrichtsstunden für die Klassenstufen 11 und 12, haben 12 Probanden der Klassenstufe 10, 6 Probanden der Klassenstufe 11 und 6 Probanden der Klassenstufe 12 teilgenommen. Dadurch hat sich eine Altersspanne von 15 bis 18 Jahren ergeben, wobei der Median bei 16

Jahren liegt. Weiterhin wird ersichtlich, dass die Probanden bisher nur wenig Kontakt zu virtueller Realität bekommen haben. Auf die Rückfrage, ob bei den Probanden eine Farbsehschwäche vorliegt, gab nur ein Proband an unter einer Farbsehschwäche zu leiden.

### 6.3 Studiendesign

---

Bei dem Studiendesign handelt es sich um eine within-subject-design Studie mit einem Faktor [8]. In der Studie gilt es alle Bedingungen des Faktors zu testen. Der Faktor ist hierbei jeweils eine Variante, wobei es vier Varianten gibt und der Faktor somit vier Level besitzt. Die vier verschiedenen Varianten gelten als unabhängige Variable. Die abhängigen Variablen sind die Messungen der Dauer für die Zerfallsaufgabe, die Interaktionsanzahl, Anzahl der gemachten Fehler und die Fragebögen zur User Experience (UEQ-Fragebogen) und zum Präsenzgefühl in virtueller Realität (IPQ-Fragebogen).

Der wissenschaftliche UEQ-Fragebogen zur User Experience der Anwendung besteht aus einer acht-gliedrigen Skala bei der in den ersten vier Fragen die Pragmatische Qualität und in den letzten vier Fragen die Hedonische Qualität erhoben wird [32]. Bei dem Fragebogen gibt es eine kurze Variante mit 8 Items im Fragebogen wie im Anhang D, welcher hier Verwendung findet und eine lange Variante mit 26 Items. Die kurze Variante darf hier Verwendung finden, da es sich um einen Vergleich von unterschiedlichen Varianten eines Produktes handelt und der Nutzer nach der ersten Nutzung der jeweilig vorgestellten Variante eine Empfindung zur User Experience abgeben soll. Da in dieser Studie vier Varianten der Nuklidkarte miteinander verglichen werden, wurde die Verwendung der Kurzversion empfohlen.

Der wissenschaftliche IPQ-Fragebogen zum Erlebnis in virtueller Realität, um das Präsenzgefühl in der VR-Umgebung zu erheben, wurde zunächst aus dem Englischen übersetzt wie in Anhang E ersichtlich wird. Dieser Fragebogen erhebt das generell Präsenz-Empfinden, die räumliche Präsenz, die Involviertheit und den erlebten Realismus [49]. Neben den wissenschaftlichen Fragebögen wurden die demografischen Daten der Probanden in einem Abschlussfragebogen erhoben, sowie die favorisierte und am wenigsten favorisierte Variante. Ein weiter Bestandteil war die Mes-

sung der Bildrate auf der VR-Brille während der laufenden Anwendung. Hierbei wurde eine Coroutine gestartet, welche durch einen Tastendruck auf dem Controller ausgelöst wurde. Dabei wurde für fünf Sekunden Sequenz die Framerate berechnet.

In der Studie war es Aufgabe eine Zerfallsreihe durchzuführen. Dafür wurden die vier natürlichen Zerfallsreihen Uran-238, Uran-235, Thorium-232 und Neptunium-237 ausgewählt. Da diese untereinander vergleichbar sein sollen und die Probanden ein Gefühl für die Interaktion bekommen sollen, wurden die Zerfallsreihen auf 6 Nuklide angeglichen. Dadurch wurden ausgehend von einem Startnuklid fünf Zerfälle durchgeführt bis die Probanden schlussendlich in einem stabilen Nuklid enden. Weiterhin wurde eine zufällige Zerfallsreihe für die Übungsphase mit fünf Nukliden festgelegt, welche bei Frankium-220 startet und auch in einem stabilen Nuklid endet. Für den Prototypen als Größe der Nuklide bei der Variante Wand-Freihand 15cm als Länge und Breite festgelegt, bei der Variante Wand-Controller 30cm für die Länge und Breite, aufgrund der Distanz, für die Variante Boden-Freihand 33cm in der Länge und Breite, da die zunächst angedachte Länge und Breite von 75cm wie bei der Variante Boden-Controller, aufgrund der kleinen Raumgröße angepasst werden musste.

## 6.4 Versuchsablauf

---

Für die Durchführung der Studie wurden zunächst die Reihenfolgen der Varianten der Nuklidkarte und der Zerfallsreihen randomisiert, damit jeder Proband in zufälliger Reihenfolge die Varianten testet. Bei einer Anzahl von vier Varianten mit vier Zerfallsreihen, ergibt sich eine vollständige Randomisierung bei 24 Umsetzungen. Außerdem war es sinnvoll eine Randomisierung einzuführen, damit die Messwerte nicht durch Lerneffekte in der Nutzung der Anwendung beeinflusst werden. Bei der Randomisierung wurde darauf geachtet, dass jedem Probanden jeweils einmal eine der vier Varianten und jeweils eine der vier Zerfallsreihen zugeordnet wurden, Dopplungen wurden vermieden.

Die Probanden waren immer zu zweit bei der Studienablauf. Zunächst wurden beide Probanden mit dem Ablauf der Studie vertraut gemacht und haben die Instruktionen aus Anhang F vorgelesen bekommen. Dabei wur-

den sie darüber informiert, dass sie vier Varianten der Nuklidkarte mit unterschiedlichen Interaktionstechniken ausführen werden und dabei immer eine Zerfallsreihe nach dem für die bereits bekannten Schema durchlaufen sollen. Im nächsten Schritt wurde ein Proband ausgewählt, der eine zufällige Variante anhand der Interaktionserklärung G vorgestellt bekam.

Es wurde nur diese einzelne Variante betrachtet und nach der Erklärung wurde diese Variante mit der Test-Zerfallsreihe im VR-System gezeigt. Hierfür wurde über Unity mithilfe von Air-Link die Anwendung auf der Brille gestartet. Außerdem wurde der Proband gefragt, welches seine dominante Hand ist, damit das Handtracking und die Controller-Interaktion für die dominante Hand freigeschalten werden konnten. Nachdem Absolvieren der Testsequenz wurde die Variante erneut gestartet mit einer der vier natürlichen Zerfallsreihen. Nach Durchführung der Zerfallsaufgabe bekam der Proband den User Experience Fragebogen zu der vollzogenen Variante vorgelegt, sowie den Fragebogen zum Erlebnis in virtueller Realität bezogen auf die durchgeführte Variante.

Während dieser Proband die beiden Fragebögen ausfüllte, wurde der zweite Proband mit einer anderen Variante dran genommen. Dieser hat ebenfalls zunächst die Variante anhand der Interaktionserklärung erläutert bekommen. Danach ist dieser ebenfalls in die Testsequenz im VR-System eingetaucht, um danach die Variante mit einer natürlichen Zerfallsreihe durchzuführen. Nach Durchführung der Variante wurden diesem Probanden ebenfalls die beiden Fragebögen gereicht. Dadurch war es möglich die Zeiten für das Ausfüllen der Fragebögen wieder mit dem ersten Probanden für die nächste Variante zu nutzen. Es wurde der vorherige Verlauf weitere dreimal vollzogen. Nach der letzten Variante und dem erfolgreichen Ausfüllen der Fragebögen wurde den Probanden der Abschlussfragebogen, wie in Anhang H dargestellt, vorgelegt.

Im Abschlussfragebogen wurde erhoben welche Variante die Probanden als Favoriten und als Außenseiter sehen würden. Dazu wurden noch demografische Daten wie Alter, Klasse, Geschlecht und dazu Vorerfahrung mit virtueller Realität, Vorhandensein einer Farbsehschwäche und die dominante Hand abgefragt. Sobald das Probanden-Paar die Studie erfolgreich durchlaufen haben, wurden die nächsten Probanden in den Klassenraum gebracht. Für ein Probanden-Paar hat die Durchführung der Studie ungefähr 30 Minuten gedauert.

## 6.5 Ergebnisse

Zunächst wurden die Mittelwerte und Standardabweichung für jede Variable pro Variante berechnet und in der Tabelle 6.1 dargestellt. Für die Fragebögen wurden dabei pro Proband Mittelwerte der zusammenhängenden Fragen gebildet. Die Daten sind in den Säulendiagrammen 6.2, 6.3 und 6.4 mit den berechneten Mittelwerten und der Standardabweichung, als Maß für die Streuung grafisch aufbereitet. Die schwarze Markierung oberhalb der Säulen zeigen hierbei den Standardfehler an.

Tabelle 6.1: Studienergebnisse mit Mittelwerten  $\pm$  Standardabweichung

<b>Variable</b>	<b>Boden- Controller</b>	<b>Boden- Freihand</b>	<b>Wand- Controller</b>	<b>Wand- Freihand</b>
Gesamtzeit [s]	26.07 $\pm$ 19.79	30.54 $\pm$ 9.33	18.98 $\pm$ 7.33	23.96 $\pm$ 12.80
Anzahl Fehler	0.28 $\pm$ 0.74	0.28 $\pm$ 0.68	0.16 $\pm$ 0.47	0.36 $\pm$ 0.64
Anzahl Interaktionen	5.56 $\pm$ 1.33	6.36 $\pm$ 0.86	6.36 $\pm$ 1.25	7.72 $\pm$ 2.64
Pragmatische Qualität	1.56 $\pm$ 1.34	1.57 $\pm$ 1.15	2.33 $\pm$ 0.62	1.58 $\pm$ 1.08
Hedonische Qualität	2.25 $\pm$ 0.71	2.20 $\pm$ 0.74	2.10 $\pm$ 0.84	2.34 $\pm$ 0.64
UEQ Gesamt	1.91 $\pm$ 0.93	1.89 $\pm$ 0.84	2.22 $\pm$ 0.58	1.96 $\pm$ 0.78
Generelle Präsenz	1.84 $\pm$ 1.21	1.72 $\pm$ 1.24	1.44 $\pm$ 1.19	1.60 $\pm$ 1.38
Räumliche Präsenz	1.19 $\pm$ 0.74	1.22 $\pm$ 0.58	1.03 $\pm$ 0.63	1.14 $\pm$ 0.57
Involviertheit	0.85 $\pm$ 0.85	0.62 $\pm$ 0.91	0.51 $\pm$ 0.83	0.48 $\pm$ 0.77
Erlebter Realismus	-0.29 $\pm$ 0.99	-0.20 $\pm$ 0.83	-0.43 $\pm$ 0.91	-0.39 $\pm$ 0.86

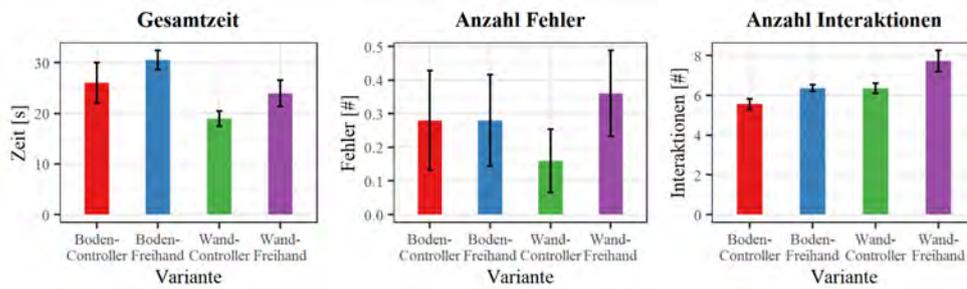


Abbildung 6.2: Ergebnisse der objektiven Variablen

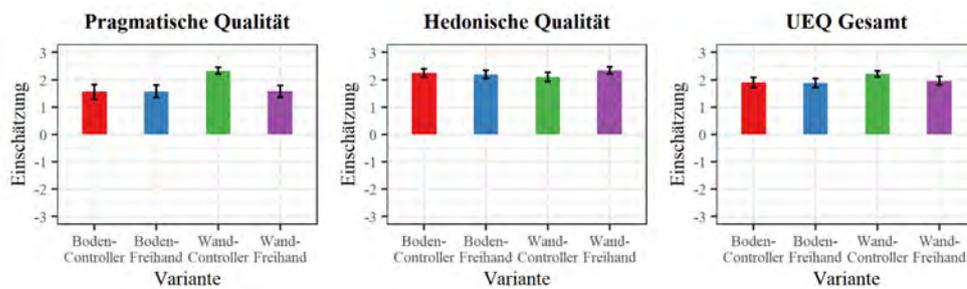


Abbildung 6.3: Ergebnisse des User Experience Questionnaires

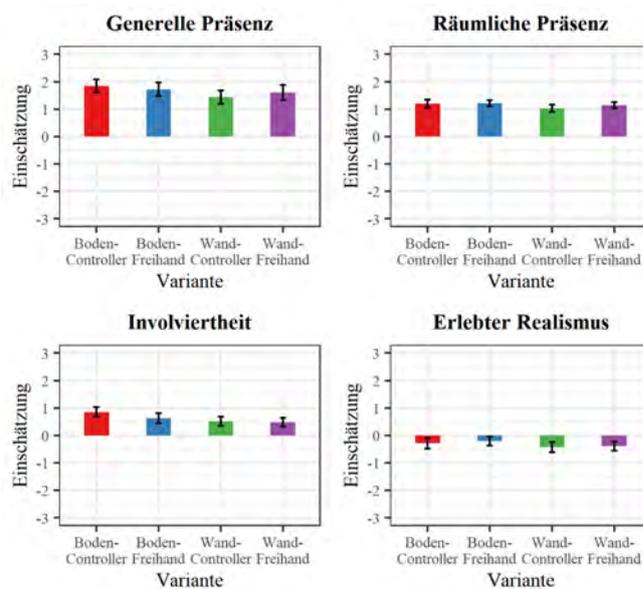


Abbildung 6.4: Ergebnisse des iGroup Presence Questionnaires

Daraufhin wurde die Varianzanalyse durchgeführt. Es handelt sich hierbei um eine einfaktorielle Varianzanalyse für jede abhängige Variable. In der Tabelle 6.2 werden die Freiheitsgrade, F-Werte und p-Werte aufgelistet. Hierbei gilt für die p-Werte, wenn  $p < 0.05$ , dann sind die Unterschiede als signifikant zu betrachten.

Tabelle 6.2: Ergebnisse der Varianzanalyse

Variable	Freiheitsgrade	F-Wert	p-Wert	Signifikanz
Gesamtzeit	3	3.57	0.018	*
Anzahl Fehler	3	0.41	0.745	
Anzahl Interaktionen	3	7.81	<0.001	*
Pragmatische Qualität	3	4.94	0.003	*
Hedonische Qualität	3	1.51	0.219	
UEQ Gesamt	3	2.28	0.087	
Generelle Präsenz	3	1.38	0.256	
Räumliche Präsenz	3	0.94	0.424	
Involviertheit	3	2.21	0.094	
Erlebter Realismus	3	1.06	0.371	

### *Gesamtzeit*

Die Gesamtzeit der einzelnen Varianten, wobei das Training hier nicht einberechnet wurde, zeigt statistisch signifikante Unterschiede. Für das Vollziehen der Zerfallsreihe mit der Wand-Controller Variante zeigt sich signifikant am schnellsten. Im Gegensatz dazu benötigten die Probanden bei der Boden-Freihand Variante die meiste Zeit. In der Tabelle 6.3 wird die Dauer der Trainingszeiten pro Variante ersichtlich. Die Gesamtzeit betrug im Mittelwert fast eine Minute. Außerdem wird ersichtlich, dass die Boden-Freihand Variante die geringste Trainingszeit benötigt hat und die Wand-Freihand Variante die längste Trainingszeit.

Tabelle 6.3: Trainingszeiten mit Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung

Variante	Mittelwert $\pm$ Standardabweichung
Boden-Controller	50.50s $\pm$ 40.50s
Boden-Freihand	43.13s $\pm$ 22.05s
Wand-Controller	49.82s $\pm$ 23.06s
Wand-Freihand	83.95s $\pm$ 51.73s
Gesamtzeit	57.15s $\pm$ 39.56s

*Anzahl Fehler*

Bei der Anzahl an gemachten Fehlern wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Es ist generell ersichtlich, dass die Fehlerquote gering ausgefallen ist. Ein leichter Trend deutet an, dass bei der Wand-Controller Variante weniger Fehler aufgetreten sind als bei den anderen Varianten. Aufgrund der wenigen Datenmengen kann darüber keine genaue Aussage getroffen werden.

*Anzahl Interaktionen*

Die Anzahl an Interaktionen zeigt statistisch signifikante Unterschiede. Bei der Wand-Freihand Variante wurden signifikant am meisten Interaktionen benötigt und bei der Boden-Controller Variante am Wenigsten.

*Pragmatische Qualität*

Bei der pragmatischen Qualität wurden ebenfalls statistisch signifikante Unterschiede deutlich. Die Wand-Controller Variante weist eine höhere pragmatische Qualität auf, wobei die restlichen Varianten in etwa gleich auf sind.

*Hedonische Qualität*

Es wurden keine signifikanten Unterschiede gefunden. Die Ergebnisse zur hedonischen Qualität sind in allen Varianten sehr ähnlich positiv bewertet.

*UEQ Gesamt*

Insgesamt hat die User Experience eine sehr positive Bewertung von den Probanden erhalten. Hier werden ebenfalls keine signifikanten Unterschiede deutlich. Die Ergebnisse für alle Varianten befinden sich wieder in einem sehr ähnlichen Bereich.

*Generelle Präsenz*

Hier wurden ebenfalls keine signifikanten Unterschiede deutlich. Die Ergebnisse zur generellen Präsenz sind sehr ähnlich positiv ausgefallen.

*Räumliche Präsenz*

Die Räumliche Präsenz wurde nicht ganz so positiv bewertet wie die generelle Präsenz, besitzt insgesamt ebenfalls eine positive Bewertung. Hier wurden ebenfalls keine signifikanten Unterschiede ersichtlich.

### *Involviertheit*

Bei der Involviertheit wurden keine signifikanten Unterschiede gefunden. Die Aussagen wurden in diesem Bereich ebenfalls eher positiv bewertet.

### *Erlebter Realismus*

Die Bewertung des erlebten Realismus fiel neutral bis leicht negativ aus. Ebenfalls wurden in dieser Variable keine signifikanten Unterschiede festgestellt.

### *Messung der Bildrate*

Ein weiterer Aspekt war die Messung der Frames per Second. Diese Messung wurde exemplarisch an der Variante Fußboden-Freihand für die APK auf der VR-Brille und die Anwendung bei der Verbindung im Air-Link Modus. Dabei hat sich für die APK auf der Brille ein Wert von 72,05713 Frames per Second ergeben und im Air-Link Modus ein Wert von 72,03233 Frames per Second.

### *Varianten-Favorit und Außenseiter-Favorit*

Wie aus den Kreisdiagrammen der Abbildung 6.5 ersichtlich wird, hat die Wand-Controller Variante mit Abstand die meisten positiven Stimmen erhalten. Hingegen als Außenseiter stellt sich die Wand-Freihand Variante dar und wurde am häufigsten als unbeliebteste Variante genannt.

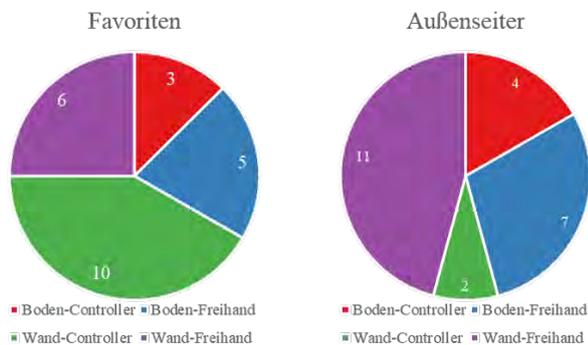


Abbildung 6.5: Verteilung der Wahl der Favoriten und Außenseiter

---

## 6.6 Diskussion

---

Im vorherigen Abschnitt wurden die Ergebnisse der durchgeführten Nutzerstudie vorgestellt. Im Folgenden werden diese interpretiert und diskutiert, um schlussendlich eine Gegenüberstellung zu den gestellten Anforderungen zu geben.

### Vergleich der Varianten

Die Probanden haben Die Variante Wand-Controller am meisten als favorisierte Variante genannt. Aufgrund des benannten Feedback durch die Probanden war diese Variante am angenehmsten von der Distanz zu überblicken. Das deckt sich auch mit den Ergebnissen der Pragmatischen Qualität. Die Pragmatische Qualität war bei der Wand-Controller Variante am höchsten und deutet auf Usability hin, welches sich auch mit dem Ergebnis der geringeren Gesamtzeit bei dieser Variante deckt. Die Darstellung an einer Wand wurde generell sehr stark befürwortet, da die VR-Brille als schwer bei der Nutzung auf dem Fußboden empfunden wurde. Dennoch wurde als positiv angemerkt, dass die nativen Interaktionstechniken als am spannendsten und spaßigsten empfunden wurden.

Beim Laufen wurde angemerkt, dass diese Variante für den Einsatz im Unterricht als ungeeignet eingestuft wird. Des Weiteren wurden die Informationen als zu klein wahrgenommen, da aufgrund der Raumgröße die Nuklide viel kleiner dargestellt werden mussten. Dadurch wurden die Nuklide als Felder, um darüber zu Laufen, als zu klein empfunden. Bei der Wand-Freihand Variante wurde oft als Problem angemerkt, dass es schwierig war die Handposen umzusetzen. Teilweise wurde die Handpose durch die Brille falsch erkannt und dadurch die Karte fälschlicherweise verschoben oder auch beim Verschieben der Karte einzelne Nuklide angewählt. Bei einem besseren Tracking der Handposen könnte demzufolge die Problematik gelöst werden.

Ebenso könnte ein größerer Raum dafür sorgen, dass die Nuklide bei der Boden-Freihand Variante in originaler Größe dargestellt werden. Alternativ könnten andere Techniken zum Einsatz kommen wie beispielweise Redirected Walking oder Walk-in-Place, welche bisher für diese Arbeit ausgeschlossen wurden. Weiterhin könnten noch andere Merkmale in der Umsetzung verändert werden wie eine alternative Darstellungsform der Nuk-

lide als im Kartenformat. Das würde in der Umsetzung einen erheblichen Aufwand bedeuten, könnte somit allerdings die User Experience erhöhen. Generell, wurden alle Varianten positiv bewertet. Für die Evaluation wurde auch ein Auswertungsgespräch mit der Lehrerin, Frau Schilde, durchgeführt. Diese hatte bereits eigene Anforderungen im Experteninterview definiert, die für den Unterricht notwendig sind.

Für die Lehrerin war die Wand-Freihand Variante favorisiert wurden und für den Einsatz im Unterricht am liebsten die Wand-Controller-Variante, damit die Schüler nicht durch den Raum laufen müssen oder ein extra Klassenraum für die Unterrichtseinheit gebucht werden muss. Von der Lehrerin wurden die nativen Bewegungen als sehr alltäglich und angenehm empfunden. Zudem war sie mit der Aufbereitung und Darstellung der Informationen sehr zufrieden. Sie befürwortet eine Darstellung eines Ausschnitts der Nuklidkarte sehr für einen besseren Überblick, da auch im Unterricht der Fokus auf Ausschnitte gesetzt wird. Die Schüler und die Lehrerin fanden die Variante Boden-Teleport nicht am besten, da die Teleportation als störend empfunden wurde und mehrere Probanden die Orientierung verloren haben. Das kann darauf zurückzuführen sein, dass die Probanden keine bis wenig Erfahrung im Umgang mit VR gesammelt haben.

### **Auswertung der Anforderungen**

Im Kapitel der Anforderungsanalyse 3 wurden die funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen anhand vorheriger Analysen und Experteninterviews erhoben. Dabei hat sich folgende Tabelle 6.4 an funktionalen Anforderungen ergeben:

Tabelle 6.4: Funktionale Anforderungen, die die VR-Anwendung erfüllen soll

Nr.	Funktionale Anforderung	Beschreibung	Erfüllt
1	Immersive virtuelle Realität	Die Anwendung soll für ein VR-Headset entwickelt werden.	✓
2	Visualisierung der Nuklidkarte	Es soll eine Nuklidkarte aus einer Datenbank in der VR-Anwendung visualisiert werden.	✓
3	Navigation	Die VR-Inhalte sollen zur Navigation mit den Controllern oder dem Körper korrekt berechnet und ausgegeben werden.	✓
4	Tracking	Das VR-Headset und die Controller sollen im Raum verfolgt werden, um die Positions- und Rotationsdaten in der VR-Anwendung nutzen zu können.	✓
5	Selektion	Zur Interaktion des Anwenders mit der Nuklidkarte soll das VR-Headset eine Eingabe über einen Controller oder mit einer Handgeste als Auswahl erkennen.	✓

Die Umsetzung der funktionalen Anforderungen wurden bereits im Kapitel Realisation 5 deutlich. Wie in der Tabelle aufgeführt wurde die Anwendung für das VR-Headset der Oculus Quest 1 entwickelt. Dazu wurde eine Textdatei mit allen Dateninhalten zu den Nukliden für die Visualisierung der Nuklidkarte genutzt. Bei der Navigation gab es keinerlei Einschränkungen, sowohl bei der Bewegung frei im Raum, als auch mit den Controllern. Ebenso das Tracking der Position im Raum war damit erfolgreich umgesetzt. Die Selektion wird als bedingt erfüllt angesehen, da es besonders bei der Erkennung der Handgesten zu Schwierigkeiten kam. Teilweise wurden Gesten falsch vom VR-System identifiziert. Die Interaktion über den Controllern oder die Bewegung im Raum hat problemlos funktioniert. Im folgenden wird die Tabelle 6.5 der nicht-funktionalen Anforderungen dargestellt:

Tabelle 6.5: Nicht-funktionale Anforderungen, die die VR-Anwendung erfüllen soll

Nr.	Nicht-funktionale Anforderung	Beschreibung	Erfüllt
1	<b>Gebrauchstauglichkeit</b>		
1.1	Zufriedenheit	Die Anwender sollen eine überdurchschnittliche Zufriedenheit in der User Experience aufweisen	✓
1.2	Einfachheit	Die Bedienung der Anwendung soll bereits nach einem zwei-minütigen Training zu verstehen sein.	✓
1.3	Effektivität	Die Navigations- und Selektionselemente der Anwendung ermöglichen es dem Nutzer die vorgegebenen Aufgaben zu Zerfallsreihen erfolgreich zu erfüllen.	✓
1.4	Effizienz	Die Navigations- und Selektionselemente der Anwendung ermöglichen es dem Nutzer die vorgegebenen Aufgaben zu Zerfallsreihen in unter einer Minute pro Variante zu erfüllen.	✓
1.5	Anstrengung	Die Anwendung soll in der Nutzerbefragung möglichst nicht als anstrengend empfunden werden.	✓
1.6	Intuitivität	Die Anwendung soll von den Navigations- und Selektionselementen einfach begreifbar gewählt sein, dass nur das kurze Training zur Eingewöhnung benötigt wird.	✓
1.7	Feedback	Der Nutzer soll durch audiovisuelles Feedback bei den Aufgaben unterstützt werden.	✓
1.8	Nutzbarkeit	Die Anwendung soll nach Maßgabe der Usability als gebrauchstauglich eingestuft werden.	✓
2	<b>technische Aspekte</b>		
2.1	Performance	Die Anwendung soll in interaktiven Frameraten mit mindestens 72 frames per second laufen.	✓
2.2	Zuverlässigkeit	Die Anwendung soll stabil laufen und keine Programmabstürze verursachen.	✓
2.3	Auflösung	Die Bild- und Farbauflösung sollen möglichst hoch sein, um das Erlebnis sehr realitätsnah für den Nutzer zu gestalten.	
3	<b>Visualisierung</b>		
3.1	Darstellung	Informationen und Objekte sollen nicht durch andere Objekte verdeckt werden und sollen in Verhältnissen und Distanzen stimmen.	✓
3.2	Farbkodierung	Die Farbkodierung soll verständlich, einheitlich und kontrastreich gestaltet sein.	✓

### *Gebrauchstauglichkeit*

Die Punkte der Kategorie Gebrauchstauglichkeit wurden bedingt erfüllt. Alle Varianten wurden nach Auswertung des User Experience Fragebogens sehr positiv bewertet. Die Bewertungen liegen bei mindestens 1,91 bei der Boden-Controller Variante bis maximal 2,22 bei der Wand-Controller Variante. Die maximale Bestbewertung auf der Skala liegt bei einer 3, das zeigt, dass eine übermäßig positive Bewertung durch die Probanden vorliegt. Die Trainingszeiten der einzelnen Varianten lagen im Durchschnitt unter einer Minute und erfüllen somit die Anforderung der Einfachheit. Die Effektivität gilt als erfüllt, da die Probanden die Zerfallsaufgaben alle erfolgreich absolviert haben. Es kam zu keinerlei Abbrüchen.

Die Varianten gelten alle als effizient, da sie das Ziel unter einer Minute für die Zerfallsaufgabe zu benötigen, unterboten haben und die schlechteste Gesamtzeit bei 30 Sekunden liegen. Durch die Probanden kam keinerlei Feedback, dass die Anwendung als anstrengend empfunden wurde, dadurch wird diese Anforderung ans bedingt erfüllt angesehen. Neben dem audio-visuellem Feedback wurde auch haptisches Feedback für die Anwendung genutzt. Die Pragmatische Qualität wurde von den Probanden als positiv eingeschätzt und bei der Wand-Controller Variante sogar als signifikant positiv, das auf Usability hin und wird damit als bedingt zutreffend angesehen, da aus zeitlichen Gründen keine gesonderte Evaluation möglich war.

### *technische Aspekte*

Die technischen Aspekte wurden ebenfalls bedingt erfüllt. Die Anwendung erfüllt die Framerate von mindestens 72 Frames per second. Da es keine Programmabstürze gab, wurde auch die Zuverlässigkeit als zutreffend erfüllt. Laut dem IPQ-Fragebogen zum Erlebnis in virtueller Realität wurde der erlebte Realismus als neutral bis leicht negativ eingeschätzt. Das kann aber auch durch unrealistisch gewählte Objekte in der Umgebung oder die Kartenlandschaft der Nuklidkarte ausgelöst wurden sein. Im offenen Feedback von den Probanden wurden die Bild- und Farbaufösungen nicht erwähnt, damit kann keine Aussage über die Erfüllung dieser Anforderung getroffen werden.

### *Visualisierung*

Die Visualisierung wurde ebenfalls bedingt erfüllt. In der Darstellung wurden in der Fußboden-Freihand Variante aufgrund der räumlich-bedingten kleineren Skalierung der Nuklide Informationen kleiner dargestellt. Das wurde von den Probanden als störend und weit entfernt wahrgenommen. Bei den anderen Varianten wurde positives Feedback zurück gegeben, damit wird diese Anforderung als bedingt erfüllt angesehen. Die Farbkodierung war orientiert an der Karlsruher Nuklidkarte und in den farblichen Aspekten für Personen mit Farbsehschwäche angepasst, damit jegliche Kontraste wahrgenommen werden können. Dieser Aspekt wird ebenfalls als erfüllt angesehen.

## **6.7 Zusammenfassung**

---

In diesem Kapitel wurde die im Rahmen der Arbeit durchgeführte Nutzerstudie zur Evaluierung der entwickelten VR-Umgebung beschrieben. Das Ziel der Studie war es, die vier Varianten der Nuklidkarte anhand ihrer Interaktionstechniken zu Vergleichen. Dafür haben die Nutzer eine Zerfallsreihe durchlaufen und zwischen den Varianten Fragebögen zum Präsenzgefühl in virtueller Realität und der User Experience ausgefüllt. Am Ende der Studie füllten diese noch einen Abschlussfragebogen aus, um ihre Lieblingsvariante und Außenseitervariante zu küren.

Zunächst wurde die Durchführung der Studie sowie die untersuchten Variablen erläutert. Im Anschluss erfolgte eine Darstellung der Ergebnisse der statistischen Auswertung der Messdaten. Diese wurden nachfolgend diskutiert und mögliche Ursachen und Alternativen betrachtet. Schlussendlich wurde die Anwendung mit den zuvor definierten Anforderungen verglichen. Dabei konnte herausgestellt werden, dass Alle relevanten Anforderungen zumindest bedingt erfüllt wurden.

# 7

## Abschluss

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die wissenschaftliche Zielstellung bearbeitet, eine interaktive Nuklidkarte zur Durchführung von Zerfallsreihen in virtueller Realität mithilfe sinnvoll verwendeter Interaktionstechniken zu entwickeln und zu evaluieren. In diesem Kapitel werden zunächst die wichtigsten Bestandteile der Arbeit zusammengefasst. Anschließend werden die relevanten Erkenntnisse, die aus den Ergebnissen der Nutzerstudie gewonnen werden konnten, in Bezug auf die Fragestellung betrachtet. Abschließend werden in einem kurzen Ausblick zukünftige Arbeitsschritte diskutiert.

### **7.1 Zusammenfassung**

---

Im ersten Kapitel wurden die Grundlagen und verwandten Arbeiten fokussiert. Hierbei wurde im Kontext der Zielstellung der Arbeit zunächst ein Einblick in die Grundlagen gegeben. Hierbei wurde die Nuklidkarte mit ihren Bestandteilen und Zerfallsarten erläutert. Dann wurde auf die Bestandteile der virtuellen Realität eingegangen wie Präsenzgefühl in VR, notwendige Ein- und Ausgabegeräte für die Arbeit, Navigationstechniken und Selektionstechniken in VR und der Begriff der Gamification wurde näher beleuchtet. Im weiteren Teil des Kapitels wurde auf verwandte Arbeiten wie Nuklidkarten in 3D, Kartendarstellungen und Lernanwendungen in VR und schlussendlich Gamification-Elemente in VR-Lernanwendungen eingegangen. Dadurch konnte ein Überblick über die Thematik gewonnen werden.

Im nächsten Kapitel wurde die Anforderungsanalyse umgesetzt. Hierbei wurde zunächst die Ausgangssituation betrachtet, um bereits erste Vor-

gaben zu erhalten. Dann wurden die ersten Anforderungen mithilfe von Experteninterviews mit zwei Physiklehrern definiert. Danach erfolgte eine Kontextanalyse, um herauszufinden wie die Nuklidkarte im Unterricht zum Einsatz kommt. Als nächsten Schritt wurde eine Benutzeranalyse durchgeführt, um auch die Bedürfnisse der Nutzergruppen zu kennen und in die Anwendung einfließen zu lassen. Weitere Anregungen für potenzielle Umsetzungsmöglichkeiten wurden sich dann bei der Analyse von Konkurrenzprodukten geholt. Nach dem Einholen der ganzen Informationen wurden dann die funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen festgelegt.

Im Kapitel Konzeption wurden erste Visualisierungskonzepte anhand der Anforderungsvorgaben erstellt und diskutiert. Der Fokus wurde dabei auf die Darstellung der Nuklide mit ihren notwendigen Informationen gelegt. Weiterhin wurde die Darstellung der gesamten Karte konzipiert, um Limitationen aus Konkurrenzprodukten möglichst zu vermeiden. Daraufhin wurde ein Farbkonzept entwickelt, um auch für Personen mit Farbsehschwäche ein positives Nutzererlebnis erzeugen zu können. Danach wurde die Entwicklung eines Raums um die Nuklidkarte diskutiert. Nach den visuellen Aspekten wurden dann die Vor- und Nachteile der gesammelten Navigations- und Selektionstechniken abgewogen und diskutiert. Schlussendlich wurden noch Feedback- und Gamificationelemente konzipiert, um alle Aspekte einer Lernanwendung zu bedienen.

Im weiteren Kapitel wurde die Konzeption umgesetzt. Für die Umsetzung wurden zunächst die technischen Voraussetzungen für die Entwicklung beleuchtet. Danach wurde auf die Gestaltung der Nuklidkarte in der Unity-Game-Engine eingegangen. Diese wurde daraufhin mit den festgelegten Navigations- und Selektionstechniken ausgestattet, wodurch die vier Varianten Fußboden-Controller, Fußboden-Freihand, Wand-Controller und Wand-Freihand entstanden sind. Diese wurden einheitlich mit den konzipierten Feedbackelementen und dem virtuellen Raum ausgestattet, um eine vergleichbare Umgebung zu schaffen.

Im letzten Schritt wurden die vier Varianten der Realisation in einer Nutzerstudie evaluiert. Hierbei wurden auf die technischen Voraussetzungen des Versuchsaufbaus eingegangen, welche mit denen Realisation übereinstimmen. Dann wurden die Probanden mit ihren Vorerfahrungen und demografischen Eigenschaften beschrieben. Darauffolgend wurden Studi-

endesign und Versuchsablauf erläutert. Schlussendlich wurden die Ergebnisse beschrieben und diskutiert. Für den runden Abschluss wurde dann ein Vergleich zu den festgelegten funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen erstellt, bei dem nahezu alle Anforderungen mindestens bedingt erfüllt wurden.

## **7.2 Fazit und Ausblick**

---

Als Fazit für die vorliegende Arbeit lässt sich der klare Favorit der Wand-Controller Variante nennen. Die Variante hat nicht nur nach persönlicher Beurteilung der Probanden am besten abgeschnitten, sondern auch bei den Erhebungen wie Gesamtzeit und Fehlerquote. Für die Zukunft sollte auch die Didaktik für die Konzeption und Entwicklung einer Lernanwendung für den Schulunterricht Beachtung finden, da dadurch noch weitere unentdeckte Aspekte für ein besseres Lernen einbezogen werden können. Da sich diese Anwendung nur mit dem Durchführen von Zerfallsreihen auseinandersetzt, ist der Anteil an Gamification-Aspekten gering ausgefallen. Es besteht für zukünftige Arbeiten entsprechend die Möglichkeit diesen Anteil zu erhöhen und generell mehr Inhalte oder sogar eine Geschichte bei der Lernanwendung zu hinterlegen.

Das Realitätsgefühl der Probanden war bei allen Varianten nicht sehr hoch eingestuft wurden, deshalb wäre es sinnvoll konkret an diesem Aspekt konzeptionell weiter zu arbeiten und die Problemstellungen herauszuarbeiten. Weiterhin haben sich Probleme in der Erkennung von Handgesten aufgezeigt in der Evaluation, hierbei könnten entweder andere Handgesten oder eine weiter Entwicklung zur besseren Erkennung von Gesten durch andere Hardware betrachtet werden. Neben der Nutzung von anderen Interaktionstechniken wie Gesten, können generell noch mehr Vergleiche durchgeführt werden. Für die Fußbodendarstellungen würden sich alternative Navigationsarten wie die Verwendung von Redirected Walking oder Walk-In-Place anbieten.

Die Nuklidkarte selbst, könnte in eine ganz andere Darstellungsform verändert werden, um sich von der Kartendarstellung zu entfernen und Alternativen aufzuzeigen. Des Weiteren wurde aufgrund der Zerfallsreihen keine Darstellung für die Halbwertszeiten umgesetzt. Für zukünftige Arbeiten könnte auch an einer Umsetzung für eine Darstellung aus der Perspek-

tive der Halbwertszeiten gearbeitet werden. Hierbei könnten dann auch Menüs oder andere Methoden Anwendung finden, um zwischen den Kartendarstellungen in virtueller Realität zu wechseln.



## Übersicht Lehrpläne mit Nuklidkarte

Tabelle A.1: Übersicht Bundesländer - Vermittlung der Nuklidkarte laut Lehrplan [60]

<b>Bundesland</b>	<b>Vermittlung Nuklidkarte</b>
Baden-Württemberg	nein
Bayern	ja
Berlin	nein
Brandenburg	nein
Bremen	nein
Hamburg	nein
Hessen	nein
Mecklenburg-Vorpommern	ja
Niedersachsen	ja
Nordrhein-Westfalen	ja
Rheinland-Pfalz	ja
Saarland	ja
Sachsen	ja
Sachsen-Anhalt	nein
Schleswig-Holstein	nein (Vermittlung bis 2020/21)
Thüringen	ja





## Interviewfragen für Lehrende

### **Einstiegserklärung:**

Hallo liebe Lehrperson,

ich möchte mich und mein Projekt noch einmal komplett vorstellen. Ich schreibe meine Masterarbeit an der Uni Magdeburg am Lehrstuhl für Visualisierung. Thema meiner Arbeit ist es einen Prototypen für eine Nuklidkarte in virtueller Realität zu entwickeln, um mithilfe dieses Prototypen unterschiedliche Navigationstechniken zu untersuchen. Dieser Prototyp soll so aufgebaut sein, dass er als Werkzeug im Unterricht zum Einsatz kommen kann, deshalb brauche ich die Unterstützung von Ihnen, um sicherzustellen, dass dieser Prototyp auch so gestaltet wird, dass dieser nach den Bedürfnissen von Lehrkräften einsetzbar ist. Deshalb möchte ich Ihnen nun ein paar Fragen zu dem Umgang mit der Nuklidkarte im Unterricht stellen, damit Sie ihre Erfahrungen mit mir teilen können.

### **Einleitung der Erzählphase des Lehrenden:**

Wie setzen Sie die Nuklidkarte im Unterricht ein?

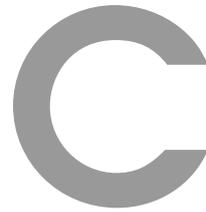
### **Nachfragen/Ad-Hoc Fragen:**

- Welches Medium nutzen Sie zur Vermittlung der Nuklidkarte? (Bei Bedarf Hinweis: Papier, App, WebApp, etc)
- Was sind Lehrinhalte, die Sie mithilfe der Nuklidkarte vermitteln?
- Wie gehen Sie bei der Vermittlung der Inhalte der Nuklidkarte vor?

- Welche Bedingungen muss eine Nuklidkarte erfüllen, um sie im Unterricht erfolgreich einsetzen zu können (z.B. welche Informationen pro Nuklid, welche Zerfallsarten, wie groß ist der Ausschnitt)?
- Wie stehen Sie zu der Idee eine Nuklidkarte mithilfe einer VR-Brille zum Einsatz zu bringen?
- Welche Anforderungen muss eine Nuklidkarte in virtueller Realität erfüllen, um Sie im Unterricht erfolgreich einsetzen zu können?

**Abschluss:**

Danke, dass Sie sich die Zeit für meine Fragen genommen haben. Haben Sie noch Anmerkungen oder Fragen?



# Transkripte der Interviews mit Lehrenden

Einfaches Transkript nach dem Regelsystem für einfache Transkriptionen  
von Dresing und Pehl [12]

Tabelle C.1: Interview 1 mit Frau Schilde von dem Gymnasium Kleine Burg in Braunschweig vom 11.11.2021 um 14:00 Uhr:

	<b>Person</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Zeitstempel</b>
#1	I	(...) Also ich möchte mich einfach nochmal komplett vorstellen. Ich bin Janine Zöllner, ich studiere an der Universität in Magdeburg Informatik (...) und schreibe jetzt meine Materarbeit. Und Thema der Masterarbeit ist quasi einen Prototypen zu erstellen, der eine Nuklidkarte in virtueller Realität abbildet. Und mit diesem Prototypen ist am Ende mein Forschungsschwerpunkt, dass ich unterschiedliche Navigationstechniken untersuche. Das heißt quasi wie der Nutzer auf dieser Nuklidkarte interagieren kann, wie er sich bewegt, also von Nuklid zu Nuklid, quasi sich fortbewegen kann. (...) Und (...) der Prototype soll aber sehr realistisch aufgebaut sein, also das man das wirklich als unterstützendes Werkzeug im Unterricht mit einsetzen kann. Deshalb ist es jetzt quasi mein Bedürfnis mal bei allen Lehrenden, die Interesse daran haben, nachzufragen wie wird die Nuklidkarte eigentlich so im Unterricht eingesetzt und welche Zielstellung hätte man denn quasi aus Lehrperspektive, wenn man so ein Hilfsmittel an die Seite gestellt bekommt, welche Anforderungen es quasi erfüllen soll. Genau, das wäre jetzt quasi der grobe Rahmen von meiner Masterarbeit (...) und dann würde ich quasi auch schon in die Fragen starten (...).	00:05h
#2	I	Und zwar meine erste große allgemeine Frage ist: Wie setzen Sie denn die Nuklidkarte im Unterricht ein?	01:32h

**Tabelle C.1 – Weiterführung der vorherigen Seite**

	<b>Person</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Zeitstempel</b>
#3	B	<p>Ja, also die Nuklidkarte kommt im Physikunterricht zum Einsatz und zwar in den Klassen 9 und 10 oder dann später nochmal im Jahrgang 13. Man kann es auch wieder mal in 11 machen. In Niedersachsen ist es so, dass man in Klasse 11 so Wahlelemente hat, die man am Ende sozusagen noch unterrichten kann und wenn man sich dann für das Wahlthema für Atom- und Kernphysik entscheidet kommt da auch nochmal die Nuklidkarte dran. So, das sind so die Jahrgänge in denen es drankommt. In Jahrgang 13 ganz zum Schluss (...) beim Thema (...) Atomphysik. In Jahrgang 9, 10, ich mach's gern in Klasse 10, einfach, weil man dann radioaktive Zerfälle dann auch mal mathematisch besser beschreiben kann, weil die Schüler dann was über Exponentialfunktionen im Mathematikunterricht lernen. Deswegen mach ich's erst in Jahrgang 10. Aber das ist unterschiedlich. Manche Kollegen machen das auch in Jahrgang 9. (...) Und dann fängt man eigentlich mit dem Thema Atom- und Kernphysik an, das man erstmal (...) Grundlegend über den Aufbau (...) von sonem Atom nochmal wiederholt, was weiß man eigentlich, wie hat sich die Atomvorstellung über die Zeit verändert? Und was hat eigentlich dazu geführt, dass wir heute die moderne Vorstellung haben von einem kleinen Kern mit großer Hülle? Rutherford kommt da zum Einsatz und der Beschuss von einer Goldfolie. Und, daraus entwickelt man dann die Vorstellung, okay, ich hab den Atomkern und ich hab die Atomhülle und wie ist eigentlich der Kern aufgebaut? Aus Neutronen und aus Protonen und dann schaut man das erste Mal wieder in das Periodensystem der Elemente. Das kennen sie aus dem Chemieunterricht.</p>	01:39h

**Tabelle C.1 – Weiterführung der vorherigen Seite**

	<b>Person</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Zeitstempel</b>
#4	B	<p>Und dann, wenn man sich zum Beispiel ein Mast-Spektroskop ansieht, kommt das Erste mal sozusagen raus, ich hab auch ein Element aber davon gibt es ganz verschiedene (...) Varianten. Und dann kommt sozusagen das erste Mal das Isotop raus. Und (...) da kommt sozusagen dann das erste Mal, dass man die Nuklidkarte zeigt. Wo eben, im Gegensatz zum Periodensystem der Elemente (...) die unterschiedlichen (...), ja, Isotope (...) aufgeführt werden. Da ist eigentlich die Nuklidkarte das erste Mal, dass man die mal so zeigt, was für große Dimensionen, die dann hat. Wir haben bei uns in der Physiksammlung, so ein wirklich uraltes (...) Pappplakat. Wo das einmal vollständig dann drauf ist. Die ist schon ziemlich vergilbt und man zeigt sie nur so von weiter weg und alle können vielleicht einmal kurz nach vorne kommen. Das ist so das erste Mal, dass man so die Dimensionen, die das Periodensystem der Elemente so gar nicht hat, den Schülern mal zeigt. Und dann kommt man auf die Strahlung, das es unterschiedliche gibt. Und über Alpha, Beta, Gamma, die unterschiedliche Abschirmung, kommt man dann eigentlich dazu, woraus besteht eigentlich diese Strahlung? Wo kommt die eigentlich her? Und dann fragt man sich, was passiert denn mit dem Element das strahlt? Das verändert sich eben. Und was wird dann aus dem strahlenden Element? Was kommt dabei raus? Und dann kommt eigentlich die Nuklidkarte (...) hauptsächlich zum Einsatz, weil man dann eben mithilfe der Nuklidkarte vorhersagen kann in was für einem Element mein strahlendes Element (...) zerfällt. Und, dann geht's um diese Orientierung auf der Nuklidkarte.</p>	03:24h

**Tabelle C.1 – Weiterführung der vorherigen Seite**

	<b>Person</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Zeitstempel</b>
#5	B	<p>Und, ich weiß nicht, ob Sie das kennen, aber da arbeite ich immer gern mit dem "Universum" (...) und da gibt's so eine Seite, wo das so ein bisschen erklärt wird. Auf LEIFI Physik wird das auch gemacht. Da gibt's dann einmal so für Alpha, Beta Minus und Beta Plus. Hier oben so diese Kästchen, zwei links, zwei nach oben oder einen nach links und einen nach unten und so weiter. Und dann hier nochmal so die Orientierung, was ist auf der X-Achse, was ist auf der Y-Achse (...) dargestellt. Und, diese Orientierung auf der Nuklidkarte, wie muss ich gehen und wie ist die Nuklidkarte überhaupt aufgebaut. Das man mit der Legende arbeitet und das man sich nur einen Ausschnitt von der Nuklidkarte anguckt. Und das fällt den Schülern zunächst einmal schwer, weil diese große Karte, wenn man sich die schon einmal angeguckt hat, die kriegen nicht hin, was auf der X-Achse, was auf der Y-Achse und was passiert eigentlich, wenn ich mich auf der horizontalen oder auf der vertikalen bewege? Und da sozusagen eine Navigationshilfe, also das würde ich mir sozusagen wünschen mit der Virtual Reality, wobei ich es mir noch nicht gut vorstellen kann, weil ich damit im Unterricht noch nicht gearbeitet habe.</p>	05:17h

**Tabelle C.1 – Weiterführung der vorherigen Seite**

	<b>Person</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Zeitstempel</b>
#6	B	<p>Aber Erfahrungsgemäß, wenn die Schüler einmal diese Struktur erkannt haben, dann ist es ein Selbstläufer. Dann hat man am Ende dieser Übung, wenn man dann die ganze Zerfallsreihen sich anguckt und sich dabei durch die Nuklidkarte bewegt, hat man, in der Regel, die ganze Klasse, dass die sich meldet. Auch diejenigen, die vorher super still waren und nicht so viel mit Physik am Hut haben. Aber es ist eine Hürde diese Struktur den Schülern deutlich zu machen. Da gibt's unterschiedliche Materialien, wie gesagt, das von Üniversumsetze ich gerne ein. Das ist auch etwas, was sich die Schülern selber gut erarbeiten können. Aber oft reicht das Material eben nicht aus, weil diese Orientierung einfach schwer fällt. Und, dadurch, dass die Schüler, dass dann in Klasse 9, 10 kennen, ist in Klasse 13 eigentlich wirklich nur nochmal, ihr wisst ja, da gibt es diese Nuklidkarte, so ist sie aufgebaut und da gibt's diese Abbildungen, wo mit Pfeilen dargestellt ist, so beweg ich mich durch die Nuklidkarte, wenn ich die unterschiedlichen Zerfälle habe. Später dann, wenn das Thema Halbwertszeit eine Rolle spielt, die C-14-Methode, dann kommt die Nuklidkarte auch nochmal zum Einsatz, um sozusagen nochmal zu schauen, welche Informationen hab ich noch in der Nuklidkarte, nämlich die unterschiedlichen Halbwertszeiten. Auch da muss ich nochmal gucken, wo finde ich die Informationen überhaupt. Die sind nämlich in manchen Nuklidkarten super winzig dargestellt und manche Schüler können das gar nicht lesen, das ist so super klein reingequetscht. Da kommt das auch nochmal dann, aber das ist dann eigentlich so eine Doppelstunde dann (...).</p>	06:21h

**Tabelle C.1 – Weiterführung der vorherigen Seite**

	<b>Person</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Zeitstempel</b>
#7	I	Das klingt auf jeden fall schon mal sehr sehr gut. Ich habe da gleich einmal ein paar Nachfragen. (...) Dieses Pappschild mit der Nuklidkarte drauf, ist das dieses riesige meterlange?	08:33h
#8	B	Ja, es ist schon dieses, ich würd mal sagen, armlang, ich bin ja recht groß, also schon so 2 Meter lange Ding.	08:51h
#9	I	Das heißt die Schüler können das auch gar nicht so richtig erkennen, auf der Distanz?	09:04
#10	B	Nein, die müssen dann einmal nach vorne kommen und gucken aber eigentlich (...) ist das eher ein das hier gibt es und alle sind so, boah krass, ne? Im Gegensatz dazu das Periodensystem der Elemente und davon haben wir auch nur eine (Nuklidkarte). In den Büchern ist dann immer nur der Ausschnitt und reicht vollkommen aus, also damit arbeitet man auch so zum zeigen, ich weiß nicht wie das in anderen Schulen ist, aber in der Regel hat man sowas nur ein mal. Und das war's.	09:07h
#11	I	Und, sie nannten das "Universum", was ist das?	09:40h
#12	B	Das ist die Buchreihe, die ich nutze. Also es gibt ja unterschiedliche Schulbücher, die eingeführt wurden und wir arbeiten da auch noch nicht mit dem "Universum" (als gegebenes Lehrbuch) aber jedes Buch stellt ja die Themen unterschiedlich dar und das "Universum" (...), die haben so Methoden und da ist so gutes Material drin, das kann man den Schülern geben und dann können die gut damit arbeiten. Das ist in anderen Physikbüchern, find ich, nicht so gut gelöst. Und, ja, das ist einfach die Schulbuchreihe und die nennt sich "Universum" und ist von Cornelsen.	09:50h

**Tabelle C.1 – Weiterführung der vorherigen Seite**

	<b>Person</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Zeitstempel</b>
#13	I	Okay, also nutzen Sie das alles nur per Papier oder zeigen Sie das alles auch mal per Webanwendung oder so (...). Im Browser kann man sich ja manchmal Nuklidkarten angucken oder als App fürs Smartphone. Ich weiß gar nicht, ob das überhaupt im Unterricht Verwendung findet?	10:23h
#14	B	Also unsere Schule ist erst seit diesem Sommer mit WLAN ausgestattet (...). Und die Handynutzung im Unterricht nimmt, bei uns, sozusagen erst noch zu. Deshalb habe ich erstmal nur das Bild von LEIFI Physik gezeigt und digital, wüsste ich jetzt auch nicht, das man da nochmal so eine App sozusagen hätte. Ich hab schon mal als Recherche aufgegeben zu unterschiedlichen Halbwertszeiten, was eben nicht auf diesem Ausschnitt drauf ist. Das haben sie schon einmal gemacht aber noch kein Programm oder eine Simulation, das die Schüler sich da selber durchklicken. Das habe ich so noch nicht angewendet.	10:45h
#15	I	(...) Ich habe hier noch ein paar Fragen. Ansonsten haben Sie ja gesagt, dass die Halbwertszeiten so klein dargestellt werden und das es dann immer ein bisschen schwierig ist für die Schüler. Was muss denn zum Beispiel Nuklidkarte am besten noch so erfüllen, ich sag mal so in der Darstellung oder in der Aufbereitung der Daten, also auch welche Daten da so dargestellt werden, die für den Unterricht quasi notwendig sind? Also wie jetzt die Halbwertszeit oder die Zerfallsart also pro Nuklid.	11:28h

**Tabelle C.1 – Weiterführung der vorherigen Seite**

	<b>Person</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Zeitstempel</b>
#16	B	Also, die Farbe muss gut zu erkennen sein, die die Zerfallsart dort markiert. Wenn wir zum Beispiel Kopien oder so geben, weil die Schüler das im Buch so nicht haben, dann haben wir immer das Problem mit der Farbe. Also über den Helligkeitsgrad der Graustufen. Also die Farben müssen auch gut z unterscheiden sein. Manche Bücher arbeiten auch mit Gelb oder Hellorange. Also da sind auch manche überfordert, das muss also klar zu erkennen sein. Dann muss wie gesagt die Halbwertszeit für uns gut zu erkennen sein und auch welche Einheit diese Halbwertszeit hat. Da muss auch die Legende gut aufgearbeitet sein und in der Regel fällt es den Schülern nochmal schwer, wofür steht zum Beispiel ein d oder ein a. Dass das vielleicht in der Legende nochmal aufgeführt wird. In der Regel steht das dann nicht mehr in der Legende, sondern nur das ist die Halbwertszeit und nicht, was die einzelnen Punkte nochmal bedeuten. Das sollten Schüler eigentlich wissen aber wie das immer so ist, wurde das dann natürlich vergessen. Klar kann man das dann natürlich noch mal sagen aber wenn man schon ein Angebot speziell für Schüler macht, dann kann man das schon mit in der Legende (...) notieren.	12:18h

**Tabelle C.1 – Weiterführung der vorherigen Seite**

	<b>Person</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Zeitstempel</b>
#17	B	Und ja, wenn die Nuklidkarte so groß ist, ist immer die Frage, wo sind dann die Achsen, sind die noch mal zwischen drin, damit ich noch mal markiere, wie beweg ich mich oder sind die quasi nur oben und unten und wenn ich dann reinzoome, dann weiß ich es gar nicht mehr so richtig. Also wenn man da sozusagen vielleicht noch mal unterteilt, das würde die Orientierung etwas erleichtern. Man braucht eine gute Orientierung und man braucht eine gute Darstellung der Inhalte in Bezug auf Farbe und Halbwertszeit und Name, weil bei anderen Nuklidkarten sind auch noch diese grünen, diese Spontanzerfälle, da redet man in der Schule meist nicht drüber.	13:02h
#18	I	Das heißt, welche Zerfallsarten wären da jetzt zum Beispiel wichtig? Weil, da sind ja immer sehr sehr viele aufgeführt in der Liste.	14:32h

**Tabelle C.1 – Weiterführung der vorherigen Seite**

	<b>Person</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Zeitstempel</b>
#19	B	Gamma, Alpha, Beta Minus und zur Vollständigkeit auch noch Beta Plus. (...) Das machen wir auch bei der Zerfallsreihe, einfach damit man sich vernünftig dadurch bewegen kann. Was auch noch mal eine Rolle spielt sind Nebenzersfallsreihen, also wenn Zerfälle mit einer geringeren Wahrscheinlichkeit passieren. In den Nuklidkarten ist das ja dann meist mit so einer kleinen Ecke (...) markiert. Das mach ich auch, einfach um den Schülern dann einfach die Komplexität zu erklären, warum das dann so ist. Das müssen die dann einfach so schlucken. Wenn man das aufschreibt, ist es einfach oft unübersichtlich. Da ist man erst da und dann ist man schon wieder oben auf der Nuklidkarte. Also wenn man so eine Nuklidkarte gegebenenfalls mit Arbeitsaufträgen anknüpfen könnte, um auch digital diese Zerfallsreihe darzustellen. Ich weiß ja nicht, ob man das kann oder ob das gut umzusetzen ist. Auf jeden fall könnte man mal darüber nachdenken, ob man eine Strukturierungshilfe vorgibt, wie eine Art Mindmap Programm. Das man Sachen so hinzieht und eintragen kann. Das man so eine Anwendung da hat. Ich weiß aber nicht, ob das schon zu weit über das Projekt hinaus geht.	14:44h
#20	I	Dazu würde ich gern am Ende erst etwas sagen wollen (...). Hatten Sie denn bereits eine VR-Brille auf? Und können sich das Ganze ein bisschen vorstellen oder wie ist da der Stand?	16:30h

**Tabelle C.1 – Weiterführung der vorherigen Seite**

	<b>Person</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Zeitstempel</b>
#21	B	Also das einzige Mal, dass ich damit in Kontakt gekommen bin, ist das unsere Schule ein Projekt hatte, das heißt Wasser für Kenia. Und in diesem Zusammenhang haben wir die Dinger angeschafft, dass die Kinder sehen können, wo wir die Wassertanks aufstellen wollen und sich dort bewegen können, um zu sehen was ist wo. Ich habe das selber nicht ausprobiert, ich war nur dabei und habe gehört, wie die Schüler darauf reagiert haben. (...) Ich bin also Virtual Reality Neuling. Also ich war wirklich gespannt, weil ich mir auch noch nicht richtig vorstellen konnte, wie das so umgesetzt wird. Also ich weiß was da passiert aber ich habe das im Unterricht so noch gar nicht eingesetzt und hatte so ein Ding noch gar nicht auf. Auch wenn ich gehört habe, wie das so sein soll und was man damit alles machen kann und wie es vom Prinzip her so ist. Also ich kann mir vorstellen wie es läuft.	16:57h
#22	I	Wie viele VR-Brillen hat denn Ihre Schule?	17:48h
#23	B	Im Rahmen dieses Projektes haben wir welche angeschafft (...), vielleicht sind es 12. Aber das man für alle Schüler so 30 Stück hat, das ist nicht der Fall. (...) Das Material ist immer ein Problem, das man vielleicht so 2-3 hat, um etwas auszuprobieren. In dem Fall haben wir es so gemacht, dass wir die Gruppe geteilt haben und in einem Raum bespaßt haben, während die andere Gruppe das gemacht hat. (...) Das ist natürlich schwierig, wenn man nur eine Lehrkraft ist.	17:51h
#24	I	Wissen Sie, was sie für VR-Brillen haben? Also welche Marke?	19:06h
#25	B	(...) Nein, das weiß ich jetzt nicht. Das kann ich noch mal für Sie nachgucken, wenn das wirklich interessant ist, aber das weiß ich jetzt nicht.	19:08h

**Tabelle C.1 – Weiterführung der vorherigen Seite**

	<b>Person</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Zeitstempel</b>
#26	I	Ja, das wäre sehr interessant. (...) Fallen Ihnen sonst noch irgendwelche Anforderungen ein, was Sie sich von so einem Programm in virtueller Realität wünschen würden, um das quasi im Unterricht einsetzen zu können?	19:26h
#27	B	Also in der Regel haben Lehrkräfte unterschiedlichen Alters immer unterschiedliche Hemmschwellen beim Arbeiten mit neuen Dingen. Das heißt man wünscht sich als Lehrkraft, dass es selbsterklärend ist, also sowohl für Schüler, als auch für die Lehrkräfte. Das man es vorher mal ausprobieren kann. Also sozusagen eine Vorstellung dessen (...) Die Frage ist immer wie komm ich da ran, muss ich das irgendwo herunterladen? Brauche ich dafür WLAN? Brauchen die Schüler Internetzugang? Muss ich mich irgendwo anmelden? Kostet das was? Gibt es dazu Materialien, also auch mit Lösungen dazu? Also am besten gibt es Material direkt mit Lösungen (...), damit man es direkt einsetzen kann. Und damit man es selber ändern kann. Anmelden ist immer eine schwierige Sache, weil es gibt Datenschutzbestimmungen in der Schule und auch bei den Lehrenden gibt es Kolleginnen und Kollegen, die damit ein Problem haben. Aber mit Lehrmaterialien setzen Sie das dann trotzdem gern ein, es muss aber wie gesagt auch editierbar sein. Am besten, dass es auch noch Open Source ist und es als Copyright für schulische Zwecke gekennzeichnet ist. Dann ist es eigentlich perfekt.	19:49h

**Tabelle C.1 – Weiterführung der vorherigen Seite**

	<b>Person</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Zeitstempel</b>
#28	I	<p>Danke, das waren erst einmal meine ganzen Fragen. Ich kann Ihnen jetzt noch etwas zu meiner Masterarbeit erzählen. (...) Ich möchte den Prototypen für die Oculus Quest umsetzen, da es eine der günstigeren und sehr leistungsstarken VR-Brillen ist und somit in Zukunft hoffentlich für die Schulen somit erwerbbar. (...) Außerdem werde ich mich bei dem Prototypen auf die Umsetzung der Zerfallsreihen, also das man die ablaufen kann, konzentrieren. Dabei möchte ich ja auch noch die unterschiedlichen Bewegungsaspekte auf der Nuklidkarte untersuchen und somit wär mein Ziel quasi das die Schüler unterschiedliche Zerfallsreihen ablaufen. Da gibt es unterschiedliche Möglichkeiten beispielsweise per Controller (...) wie in einem Computerspiel oder auch selber zu laufen im Raum. Das wird jetzt der Vergleich von den Bewegungsarten da drauf.</p>	22:01h

**Tabelle C.1 – Weiterführung der vorherigen Seite**

	<b>Person</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Zeitstempel</b>
#29	I	Deshalb war es mir auch wichtig die Lehrperspektive zu hören, damit ich die Nuklidkarte dann auch richtig umsetzen kann, so wie sie mir das jetzt alles als Informationen mitgegeben haben. Das heißt von der Lehrsicht müsste noch eine Einführung gegeben werden, was sind Zerfallsreihen, wie sind die Schritte, die gegangen werden müssen. Und dann sollen sie Feedback bekommen, ob sie richtig oder falsch gelaufen sind, um am Ende selber erfolgreich die Zerfallsreihe abgelaufen zu sein. Das heißt ich würde mich jetzt auch bei den Zerfällen auch nur auf Alpha, Beta plus und Beta Minus beschränken. Bei Gamma ist es ja eher der angeregte Zustand und strahlt quasi nur und das wird dann schwierig umzusetzen, deshalb würde ich mich darauf beschränken. Das müsste ja auch ganz gut passen, nach allem was Sie so gesagt haben auch. Also wenn Sie wollen, können wir das Ganze dann am Ende auch gern mit einer oder mehreren Klassen von Ihnen evaluieren.	25:10h
#30	B	Sehr gerne. Also dieses rumlaufen ist allerdings schwierig. So ein Physikraum ist mit festgesetzten Tischen, da können die Schüler nicht einfach um herlaufen. (...) Wenn ich jedes Mal umräumen muss für die Nutzung wäre das sehr aufwendig und die ganze Klasse könnte das gar nicht wirklich in einem Raum benutzen. Mein Vorschlag wäre für Schulen kein herumlaufen zu nutzen, denn es ist wirklich wenig Platz. (...) Das hätte natürlich zwar den Vorteil, das ich den Joystick dann nicht brauche für die Bewegung auf der Karte. Könnte man das sonst nicht auch so mit Augenbewegung machen?	26:51h

**Tabelle C.1 – Weiterführung der vorherigen Seite**

	<b>Person</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Zeitstempel</b>
#31	I	Ja, das gibt es auch. Man wird ja quasi im Raum von der Brille gefunden und der Kopf wird dabei dann verfolgt. Das könnte man quasi auch machen, um zu navigieren und dabei seinen Kopf entsprechend bewegt und so etwas auswählt und dann quasi dorthin springt.	28:53h
#32	B	Ja, weil so kenn ich das nur und habe das mitbekommen, dass die Schüler bei uns das so gemacht haben. Weil nur dafür einen Joystick anzuschaffen für alle Schüler, wäre auch ganz schön teuer und neues Material bekommt man als Schule nicht so wirklich ran. Außer es ist in 5 Jahren irgendwie Standard, dann vielleicht. Aber das sehe ich momentan noch nicht in der Schule und wenn ich dann immer einen Raumwechsel für die Benutzung haben muss, dann überlegt man sich das auch noch einmal wieder. Also das am Platz mit der Kopfbewegung stell ich mir am einfachsten umzusetzen vor aber wenn die Schüler noch einmal laufen müssen, dann ist das ja auch für die Schüler ganz nett nochmal so aus Lernperspektive, wenn Sie sich dabei auch richtig bewegen, um das zu machen.	29:23h

**Tabelle C.1 – Weiterführung der vorherigen Seite**

	<b>Person</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Zeitstempel</b>
#33	I	Ich würde mich da jetzt Ihnen auch nicht abschrecken lassen, wenn ich da jetzt so unterschiedliche Bewegungssteuerungen teste, weil da ich ja einen Vergleich machen möchte, ist es schon ganz gut sehr unterschiedliche Arten zu testen. Damit die Schüler daraufhin ihr Feedback geben können und vielleicht kommt dabei sogar raus, dass eine ganz andere Form der Bewegungssteuerung besser wäre, oder eine der Arten und so könnte ich quasi eine Art Rahmen schaffen für die unterschiedlichen Möglichkeiten. Es wird auch nur ein kleiner Ausschnitt der Nuklidkarte sein, also die Schüler laufen dann auch nicht quer durch den Klassenraum, um einmal bis ans Ende der Karte zu kommen, sondern das werden festgelegte Zerfälle sein und nur ein kleiner Ausschnitt passend dazu.	30:56h
#34	B	Also, das wäre kein Problem. Wenn Sie dann wirklich an unsere Schule dann kommen würden, worüber ich mich wirklich freuen würde, dann können wir ja die Aula oder den Schulhof buchen oder noch einmal einen extra Raum dafür umräumen, um einfach mal zu schauen was geht besser. Ich habe wie gesagt eine 10. Klasse, eine 13. Klasse und einen 12. Klasse Grundkurs. Da können wir auch sagen, auch wenn es gerade nicht Thema ist, die kennen das ja aus Klasse 9 und 10. Weil der 13. Jahrgang hört ja vor den Osterferien auf, weil sie dann ins Abi gehen. Bei der 10. Klasse liegt es auch so um die Osterferien, vielleicht kurz davor oder kurz danach. Also ist auch die Frage wann Sie das evaluieren wollen.	32:13h
#35	I	Also meine Masterarbeitszeit läuft tatsächlich schon, das heißt meine Planung wäre jetzt Anfang Februar ungefähr (...).	33:45h

**Tabelle C.1 – Weiterführung der vorherigen Seite**

	<b>Person</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Zeitstempel</b>
#36	B	Ja, also da muss ich dann mal schauen und noch einmal planen. Also bei der 13. Klasse muss ich mal schauen, weil bei denen ist das Thema glaube nicht mehr relevant für das Abi, denn es wurden einige Themen durch Corona gestrichen und brauchen von den Schülern nicht noch einmal erarbeitet werden(...). Aber man könnte es sonst für eine Doppelstunde auch einfach noch einmal machen. Mit der 10. Klasse muss ich einfach mal schauen. (...) Ich brauch dann einen konkreten Plan, wann Sie genau kommen wollen. Da müssen wir dann noch einmal schauen (...).	34:35h
#37	I	Genau, ich würde sagen da sprechen wir uns dann einfach noch einmal ab. Von meiner Seite aus wäre es das denn jetzt erst einmal. Ich danke Ihnen vielmals für den ganzen Input und für Ihre Zeit. Haben Sie jetzt noch irgendwelche offenen Fragen? Ansonsten können wir uns gern per E-Mail austauschen.	35:43h
#38	B	Das klingt super. Ich habe keine Fragen mehr und melde mich noch einmal bei Ihnen welche Brillen wir denn hier so haben.	36:12h

Tabelle C.2: Interview 2 mit Herrn Zelesnik von dem Gymnasium - Christophoruschule in Braunschweig vom 12.11.2021 um 15:00 Uhr:

	<b>Person</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Zeitstempel</b>
	Person	Inhalt	Zeitstempel
#1	I	ich möchte mich und mein Projekt noch einmal komplett vorstellen. Ich schreibe meine Masterarbeit an der Uni Magdeburg im Bereich Informatik am Lehrstuhl für Visualisierung. Thema meiner Arbeit ist es einen Prototypen für eine Nuklidkarte in virtueller Realität zu entwickeln, um mithilfe dieses Prototypen unterschiedliche Navigationstechniken zu untersuchen und evaluieren. Dieser Prototyp soll so aufgebaut sein, dass er als Werkzeug im Unterricht zum Einsatz kommen kann, deshalb brauche ich die Unterstützung von Lehrkräften wie Ihnen, um sicherzustellen, dass dieser Prototyp auch so gestaltet wird, dass dieser nach den Bedürfnissen von Lehrkräften einsetzbar ist. Deshalb möchte ich Ihnen nun ein paar Fragen zu dem Umgang mit der Nuklidkarte im Unterricht stellen, damit Sie ihre Erfahrungen mit mir teilen können. (...) Jetzt habe ich quasi so ein paar Fragen vorbereitet aber eigentlich sind die sehr offen, damit ich quasi erfahre wie das so abläuft, wenn Sie die Nuklidkarte im Unterricht vermitteln. Meine erste Frage wäre, wie setzen Sie die Nuklidkarte im Unterricht denn so ein?	00:00:01h

**Tabelle C.2 – Weiterführung der vorherigen Seite**

	<b>Person</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Zeitstempel</b>
#2	B	Also im wesentlichen haben wir im Lehrplan so die Atom- und Kernphysik so im Jahrgang 11 und so nochmal in der Oberstufe (...), quasi Eingangsphase und dann noch einmal in Jahrgang 13 verortet. Und wir haben eine Karlsruher Nuklidkarte an der Wand hängen mit der wir arbeiten. Zusätzlich haben wir noch in der Formelsammlung, die wir im Moment noch haben, auch eine Nuklidkarte hinten drin mit der gearbeitet werden kann. Gerade bei den radioaktiven Zerfällen ist es dann schon so, dass Zerfallsreihen aufgestellt werden können. Also kommt immer drauf an, ob wir in der 10. Klasse oder 11 unterwegs sind. Das ist gerade von Jahrgang 10 und 11 etwas hochgerutscht. Also von der Sek 1 zur Sek 2. Ich habe aktuell keine Klasse in der Stufe, um die Nuklidkarte zu vermitteln (...), also so mit der Papierkarte wird dann gearbeitet und ja (...) neben dem Aufstellen von Zerfallsreihen, was machen wir noch damit? (...) Also im generellen die Kernprozesse verstehen, würde ich sagen. So das Potenzialtopfmodell ist das was wir am Ende mit der Schule noch vermitteln und da soll dann schon geschaut werden, was passiert denn jetzt, wenn ich eines der Nukleonen umwandle, wie wirkt sich das auf das entsprechende Element aus. (...)	00:01:22h
#3	I	Okay, Sie hatten ja jetzt gesagt die Schüler haben eine Formelsammlung, wo das hinten mit drin ist. Wie kann ich mir das denn vorstellen, ist das quasi nur ein Ausschnitt, oder eine ganze Karte? Weil das wäre ja ein bisschen groß.	00:03:08h

**Tabelle C.2 – Weiterführung der vorherigen Seite**

	<b>Person</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Zeitstempel</b>
#4	B	Ja, das stimmt. Nein, die haben nur einen kleinen Ausschnitt und in groß haben wir die hier an der Wand. Es gibt natürlich noch die Webversion, die ist aber auch nicht wirklich übersichtlich, wenn man dann einen kleinen Ausschnitt hat. Und auch die Karlsruher Nuklidkarte, wenn man die sich jetzt ausdruckt oder bestellt und hingängt, das ist schon ein ganz schöner klopper.	00:03:22
#5	I	Und (...) mit der Webversion arbeiten Sie dann aktiv oder ist das eher etwas, was die Schüler dann von zuhause machen können?	00:03:41h
#6	B	Ja, genau das ist mehr für zuhause für die Schüler gedacht. Wir haben in der Formelsammlung, die wir nutzen, in den Ausschnitten eigentlich die wesentlichen Informationen drin, die wir nutzen. Also so Uranerfälle waren ja ganz prominent als noch die Kernenergie in Deutschland betrieben wurde. Da war das ja ein großes Thema. Ich weiß nicht inwieweit das in der Zukunft überhaupt noch relevant sein wird. Wir haben aktuell in der Physik sonst die Kernfusion als ein spannendes Thema. Und ich hab dann auch mal ein paar Reaktionsprozesse in der Sonne nachgespielt und wir haben zum einen den Ausschnitt oben beim Helium oben in der Nuklidkarte in der Formelsammlung und dann haben wir unten rum noch um das Uran herum den anderen wichtigen Ausschnitt. Also einmal, wenn es in die Fusion geht und einmal wenn es in die Kernspaltung geht, wo es technisch relevant ist. Und so sind die Abituraufgaben auch in der Regel gestrickt wurden, dass sie damit zu erschlagen waren.	00:03:50h
#8	I	Und, wenn Sie andere Ausschnitte brauchen, dann drucken Sie die aus, oder wie machen Sie das dann?	00:04:55h

**Tabelle C.2 – Weiterführung der vorherigen Seite**

	<b>Person</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Zeitstempel</b>
#9	B	(...) Genau, wenn ich doch mal was gebraucht habe, dann musste ich das eben vorbereiten und habe das dann auf Papier ausgedruckt.	00:05:24
#10	I	Welche Bedingungen muss denn eine Nuklidkarte so erfüllen, damit sie im Unterricht einsetzbar wär? Also zum Beispiel welche Informationen sollten pro Nuklid vorhanden sein oder was ist sogar nicht so relevant im Unterricht, also was sind so die Kerndaten, die da sein müssen?	00:05:27h
#11	B	Ja, (...) da müsste ich mich gegebenenfalls auch noch einmal mit dem Fachbereich Physik bei uns abstimmen, welche Informationen, die anderen Lehrkräfte ebenfalls als wichtig empfinden würden. (...) Klar, ansonsten sind die einzelnen Nuklide ja wichtig, daraus baut sich die Ordnung ja auf. Die Massenzahlen, find ich noch wichtig, weil wir damit den Massendefekt berechnen können. Also wenn ich mal gucken möchte bei welchem Fusionsprodukt wird welche Energie produziert, da sind die halt essentiell notwendig. (...) Das sind für mich die Hauptbestandteile, die ich brauche. (...) Und der Nuklidname, wie viel Protonen habe ich, wie viele Neutronen habe ich und wie viel wiegt das. Das sind meines Erachtens nach die wichtigsten Informationen, die wir in der Schule brauchen.	00:05:47h
#12	I	Und, wenn wir jetzt so zum Bereich VR übergehen würden, wie würden Sie sich denn die Idee einer Nuklidkarte in virtueller Realität vorstellen?	00:06:45h

**Tabelle C.2 – Weiterführung der vorherigen Seite**

	<b>Person</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Zeitstempel</b>
#13	B	Gute Frage, da bin ich neugierig und dachte dazu erfahre ich heute etwas und weiß ich jetzt gar nicht, was man da so machen kann. (...) Also ich könnte mir da jetzt so als Gamification vorstellen, dass ich jetzt so zwischen den Nukliden hin und her springe und das ich einen Neutronen einfange, das ich dann in die richtige Richtung gehe oder wenn sich eins umwandelt, dass ich dann auch hin und her wandere. Aber das sind jetzt schon über den reinen Visualisierungsansatz hinweg. Bin ich mir gar nicht so sicher. Also ich kan natürlich die reine Karte abbilden und auf irgend eine Weise durchnavigieren aber wenn ich jetzt aus dem vollen Schöpfen kann, dann wär es natürlich ganz nett die einzelnen Elemente zu visualisieren. (...) Also was das angeht, finde ich das PSE von Merck eine ganz gelungene Sache. Also die Firma Merck hat eine App entwickelt, da kann man sich die Elemente, ich glaube die Nuklide auch, aber da bin ich mir gerade nicht so sicher, auf jeden fall das PSE anzeigen lassen kann. Und man hat da allerhand Informationen. Das ist vielleicht für die Chemie noch etwas interessanter als für die Physik.	00:06:57h
#14	I	Das ist auf jeden fall ein guter Tipp, dann schaue ich mir die App mal an.	00:08:37

**Tabelle C.2 – Weiterführung der vorherigen Seite**

	<b>Person</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Zeitstempel</b>
#15	B	Ich wüsste jetzt auch gar nicht wie man das im schulischen Umfeld so geplant ist das umzusetzen. Wir sind hier an der Schule gar nicht so schlecht ausgestattet, technisch. Aber VR-Brillen habe ich nur so die Google Cardboards zur Verfügung. (...) Es gibts ja die von Microsoft die Brillen und die von Oculus, die finde ich auch ganz spannend aber die hatte ja Facebook aufgekauft, also bin ich im schulischen Umfeld eher mit Bauchschmerzen dabei, weil Facebook und Datenschutz ist jetzt nicht so rümlich, was die veranstaltet haben. Gibt es da denn schon einen Prototypen oder wie weit ist das denn schon?	00:08:46

**Tabelle C.2 – Weiterführung der vorherigen Seite**

	<b>Person</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Zeitstempel</b>
#16	I	<p>Den gibt es noch nicht, weil ich ja jetzt quasi erst einmal die Anforderungen sammle. Aber der Prototyp wird jetzt im Laufe meiner Masterarbeit entstehen, anhand der Anforderungen. Also Ziel wird es quasi sein, so wie ich das erstmal mit meinem Betreuer geplant habe ist, dass wir mehrere Formate darstellen wollen, also beispielsweise einmal auf dem Fußboden, damit die Schüler dabei herumlaufen können und ein bisschen aktiver interagieren können. Und dann einmal quasi an der Wand, quasi wie wenn man im Unterricht sitzt, weil im Klassenverband ist es ja meist doch etwas schwierig, wenn jeder mit einer Brille durch die Gegend laufen würde. Wir hatten dabei jetzt die Oculus Quest ins Auge gefasst, auch wenn sie von Facebook ist. Einfach, weil sie eine der besten Brillen von den technischen Voraussetzungen auf dem Markt ist bei dem günstigen Preis. Also es spricht schon sehr viel für die Brille und man braucht bei der Nutzung eigentlich keinen PC dafür. Also natürlich muss einmal über einen PC, die Software übertragen werden, aber danach wäre das dann frei zugänglich auf der Brille und man könnte im Unterricht einfach sagen, so jetzt alle Brille auf und braucht nicht noch 30 PCs, die dann an den Brillen hängen. Das ist jetzt quasi der Plan, wie wir uns das schon mal grob überlegt haben. Natürlich sehr zukünftig ausgerichtet aber ja (...). Da wird es hauptsächlich drum gehen, dass wir die Zerfallsreihen abbilden, also das die Schüler sich auf den Nukliden bewegen können, auf unterschiedliche Art und Weise, um den Zerfall umsetzen zu können.</p>	00:09:34

**Tabelle C.2 – Weiterführung der vorherigen Seite**

	<b>Person</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Zeitstempel</b>
#17	B	Da fällt mir noch ein als Anforderung, ich muss natürlich wissen was für ein Zerfall ich da vorliegen habe und mit welcher Wahrscheinlichkeit, also das ist schon essentiell zu wissen, ob ich einen Alpha, Beta oder Gammastrahler habe. Und auch in welchem Verhältnis, das hatte ich nämlich gar nicht genannt, vorhin.	00:12:32
#18	I	Betrachten Sie da eigentlich noch andere Dinge mithilfe der Karte oder betrachten Sie eher die Zerfälle mit Alpha, Beta Plus und Beta Minus? Betrachten Sie auch sowas wie Neutroneneinfang oder sowas?	00:12:48
#19	B	Das ist im Lehrplan nicht drin bei uns. Also ich hab bei uns vor ein paar Jahren einen Kompetenzkurs mit Schülerinnen und Schülern veranstaltet und da haben wir uns im speziellen mit Teilchenphysik auseinander gesetzt und da haben wir auch sowas angeschaut und mit Materialien der Teilchenphysik auseinander gesetzt. Die Joachim Hertz Stiftung hat da beispielweise nette Sachen rausgebracht und das Lab vom CERN hat da auch einige Materialien. Aber im normalen schulischen Kontext ist das leider aus den Lehrplänen rausgefallen. Also die Zerfallsreihen gucken wir uns an und auch welcher Strahler es ist, damit man auch noch Strahlenschutzmaßnahmen besprechen kann, je nach Art, wie ich mich dann schützen kann. (...) Achso, die Zeitkonstanten, also die Halbwertszeiten gucken wir uns auch an. Die sollten auch mit rein.	00:13:09
#20	I	Und wie interagieren Sie da mit den Halbwertszeiten? Also machen Sie da Berechnungen?	00:14:22

**Tabelle C.2 – Weiterführung der vorherigen Seite**

	<b>Person</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Zeitstempel</b>
#21	B	Genau, ja. Also welches Material habe ich zu einem bestimmten Zeitpunkt da und nach einer bestimmten Zeit, wie viel habe ich dann noch da, wie die Radio-Carbon-Methode, C14, das wird auch mal durchgesprochen. Also so Altersbestimmungen von Fossilien oder Uran, da weiß ich das Isotop jetzt nicht, aber das haben wir auch einmal durchgerechnet und war auch mal eine Abituraufgabe, wo es dann mal interessant ist sich die Zwischenprodukte anzuschauen, weil einige ja sehr kurzlebig sind. Und man auch ein Gefühl dafür bekommen sollte was sind so relevante Mengen, weil Isotope sind ja sowieso immer so schnell zerfallen, das sie überhaupt nicht ins Gewicht fallen. Klar, sie geben einen energetischen Beitrag aber wenn die Nanosekunden oder weniger vorhanden sind, hab ich davon effektiv nichts. Die Zerstrahlen ja gleich weiter. Also das gucken wir auch mal an, aber nur mal am Rande.	00:14:33
#22	I	Ja, das ist nämlich ganz gut für mich dann zu wissen, (...) weil das ist ja erstmal nur so ein Prototyp, (...) ich würde mich da erstmal nur auf die Sachen beschränken, die im Lehrplan sind, die dann wirklich quasi vermittelt werden. Dann ist es eben nicht so wichtig, dass ein Neutroneneinfang damit möglich ist, um irgendwelche Kennzahlen dazu noch darauf abzubilden, weil die Daten dann sowieso nicht so relevant sind.	00:15:39

**Tabelle C.2 – Weiterführung der vorherigen Seite**

	<b>Person</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Zeitstempel</b>
#23	B	Auch, den Aufbau von, was weiß ich, Neutronen und Protonen, da gehen wir auch nicht weiter rein. Das Elementarteilchenmodell endet in der Schule im Wesentlichen beim Modell von Neutronen und Protonen. (...) Es gibt auch im Braunbader noch so eine Abbildung im Braunbader (Lehrbuchverlag) von einem Protonen, wo man schon Gluonen und verschiedene Farbladungen sieht, aber das ist eigentlich nur, wenn man einen wirklich guten Leistungskurs hat, dass man wirklich dazu kommt.	00:16:25
#18	I	Das waren auch eigentlich schon alle meine Fragen. Vielen Dank für das Interview und ihre Zeit. Haben Sie denn jetzt noch irgendwelche Fragen oder spontan weitere Ideen und Anforderungen? Falls Ihnen sonst noch einmal etwas einfällt, können Sie mir auch jederzeit per E-Mail schreiben.	00:17:03
#19	B	Gern. Ja, also jetzt fällt mir nichts weiter ein. Aber ansonsten schreibe ich Ihnen und falls Sie den Prototypen fertig haben, würde ich mir den auch gern anschauen, weil mich das persönlich sehr interessieren würde, auch wenn ich gerade keine Klasse habe, bei der das aktuell zum Einsatz kommen kann. Besonders, da ich mir vorstellen kann in Augmented Reality würde das ganz gut funktionieren aber bei der VR-Variante sehe ich das aktuell noch nicht an Schulen oder nur in sehr sehr ferner Zukunft.	00:17:35



## UEQ-Fragebogen zur User Experience

### Fragebogen zur User Experience

Dieser Fragebogen dient zur Evaluierung des Nutzerlebnisses. Das heißt du gibst auf einer 8-gliedrigen Skala an wie du für dich persönlich die Interaktion und Darstellung der Nuklidkarten-Variante empfunden hast. Dabei geht es um deine Einordnung zwischen den beiden Adjektiven [32].

behindernd	o o o o o o o o	unterstützend
kompliziert	o o o o o o o o	einfach
ineffizient	o o o o o o o o	effizient
verwirrend	o o o o o o o o	übersichtlich
langweilig	o o o o o o o o	spannend
uninteressant	o o o o o o o o	interessant
konventionell	o o o o o o o o	originell
herkömmlich	o o o o o o o o	neuartig





## IPQ-Fragebogen zum Präsenzgefühl in virtueller Realität

### **Fragebogen zum Erlebnis in virtueller Realität**

Du siehst nun 14 Fragen bzw. Aussagen darüber, wie und was du erlebt hast. Bitte kreuze jeweils an, ob die Aussage zutrifft oder nicht. Es zählt nur deine persönliche Meinung. Manche Fragen werden sich sehr ähneln. Das ist aus statistischen Gründen notwendig, deshalb bitte ich um Verständnis. Bitte denk daran, dass du alle Fragen in Bezug auf die erlebte Variante beantwortest [49].

**1. Ich hatte nicht das Gefühl, in dem virtuellen Raum zu sein.**

Hatte nicht das Gefühl                    o o o o o o o                    hatte das Gefühl

**2. Wie sehr glich dein Erleben der virtuellen Umgebung dem Erleben einer realen Umgebung?**

Überhaupt nicht                    o o o o o o o                    vollständig

**3. Ich hatte das Gefühl, in dem virtuellen Raum zu handeln statt etwas von außen zu bedienen**

Trifft gar nicht zu                    o o o o o o o                    trifft völlig zu

**4. Wie real erschien dir die virtuelle Umgebung?**

Vollkommen real                    o o o o o o o                    gar nicht real

**5. Ich hatte das Gefühl, dass die virtuelle Umgebung hinter mir weitergeht.**

Trifft gar nicht zu                    o o o o o o o                    trifft völlig zu

**6. Ich hatte das Gefühl, nur Bilder zu sehen**

Trifft gar nicht zu                    o o o o o o o                    trifft völlig zu

**7. Wie bewusst war dir die reale Welt, während du dich durch die virtuelle Welt bewegtest (z.B. Geräusche, Raumtemperatur, andere Personen etc.)?**

Extrem bewusst                    o o o o o o o                    unbewusst

**8. Meine Aufmerksamkeit war von der virtuellen Welt völlig in den Bann gezogen.**

Trifft gar nicht zu                    o o o o o o o                    trifft völlig zu

**9. Die virtuelle Welt erschien mir wirklicher als die reale Welt.**

Trifft gar nicht zu                    o o o o o o o                    trifft völlig zu

**10. Wie real erschien dir die virtuelle Welt?**

Wie eine vorgestellte Welt                    o o o o o o o                    nicht unterscheidbar von d. realen Welt

**11. Meine reale Umgebung war mir nicht mehr bewusst.**

Trifft gar nicht zu                    o o o o o o o                    trifft völlig zu

**12. In der computererzeugten Welt hatte ich den Eindruck, dort gewesen zu sein...**

Überhaupt nicht                    o o o o o o o                    sehr stark

**13. Ich fühlte mich im virtuellen Raum anwesend.**

Trifft gar nicht zu                    o o o o o o o                    trifft völlig zu

**14. Ich achtete noch auf die reale Umgebung.**

Trifft gar nicht zu                    o o o o o o o                    trifft völlig zu



## Instruktion Studie

### **Probandeninstruktion**

Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer! Herzlich Willkommen zu der heutigen Nutzerstudie und vielen Dank für Deine Teilnahme! Insgesamt dauert die Studie etwa 20 Minuten. Dabei werden verschiedene Visualisierungs- und Interaktionskonzepte für die Navigation auf einer Nuklidkarte evaluiert. Bitte lies die nachfolgenden Informationen zunächst gründlich durch. Zu Beginn einige allgemeine Informationen:

- Die Teilnahme an dieser Studie ist freiwillig. Du kannst den Versuch jederzeit ohne Angabe von Gründen abbrechen.
- Beibehaltung der grundlegenden Struktur und Ordnung der Nuklidkarte,
- Grundsätzlich werden alle während der Studie erstellten Aufzeichnungen und Daten gemäß den geltenden Datenschutzrichtlinien vertraulich behandelt. Das heißt, deine persönlichen Daten und Studienergebnisse werden zugriffssicher aufbewahrt und ausschließlich anonymisiert und damit ohne Bezug zu deiner Person verantwortungsvoll ausgewertet.
- Über die geltenden Hygienemaßnahmen wirst Du gesondert informiert.

Während der Studie wird eine Nuklidkarte sowohl auf dem virtuellen Fußboden als auch an einer virtuellen Wand dargestellt dargestellt. Deine Aufgabe ist es, ausgehend von einem vorgegebenen Start-Nuklid, die farblich gekennzeichneten Zerfälle zu den Tochternukliden durchzuführen bis

kein Zerfall mehr möglich ist. Das heißt, bis du bei einem vollständig stabilem Nuklid angekommen bist. Insgesamt testen wir 4 verschiedene Varianten. Pro Variante wirst du 5 Zerfälle, ausgehend von einem Start-Nuklid durchführen. Die Schrittfolge, um die Zerfälle durchzuführen, wird dir dauerhaft auf einer Legende angezeigt. Das genaue Vorgehen wird dir jeweils in einem offenen Training demonstriert. In jedem Durchlauf gibt es eine Zeitmessung. Diese beginnt erst, wenn du das Start-Nuklid angewählt hast. Wenn du nach 5 Zerfällen bei dem vollständig stabilen Nuklid in der Zerfallsreihe angekommen bist, stoppt automatisch die Zeitmessung. Dann kannst du die VR-Brille kurz absetzen, damit ich weiß, dass du fertig bist. Du kannst Dir für alle Aufgaben so viel Zeit lassen wie du brauchst. Bitte arbeite jedoch möglichst genau und zügig.

**Hast Du Fragen bevor es losgeht?**



## Interaktion Studie

### Erklärung der Interaktion

Wie du dich fortbewegst und Tochternuklide auswählst, wird im Folgenden erläutert:

#### 1. Wand-Freihand

Die Nuklidkarte wird bei dieser Variante an einer virtuellen Wand dargestellt. Das Start-Nuklid wird immer durch einen grünen Rahmen hervorgehoben. Bei dieser Variante werden die eigenen Hände zur Interaktion verwendet. Du wählst das Tochternuklid durch Ausstrecken des Zeigefingers aus. Dabei erzeugst du einen virtuellen Zeigefinger. Durch das Heranführen des virtuellen Zeigefingers in das virtuelle Nuklid wird dieses ausgewählt.

217 Rn 593 us	218 Rn 33,75 ms	219 Rn 3,96 s	220 Rn 55,6 s	221 Rn 2,6 s
216 At 300 us	217 At 32,6 ms	218 At 1,20 s	219 At 56 s	220 At 3,71 s

Damit du besser an die Tochternuklide herankommst, kannst du die gesamte Nuklidkarte verschieben. Dazu ballst du deine Hand zu einer Faust, um eine virtuelle Faust zu erzeugen. Durch Heranführen der Faust an die Nuklidkarte erscheint kurz vor einem virtuellen Nuklid deiner Wahl ein kleiner weißer Ball. Beim Erreichen des Balls mit der Faust, verfärbt sich der Ball blau und die virtuelle Nuklidkarte hängt an deiner virtuellen Faust.

Durch Bewegung der Faust in der Luft wird die virtuelle Nuklidkarte verschoben. Sobald die Faust geöffnet wird, bleibt die virtuelle Nuklidkarte an dem verschobenen Ort stehen.



## 2.Wand-Controller

Die Nuklidkarte wird bei dieser Variante an einer virtuellen Wand dargestellt. Bei dieser Variante wird der rechte Controller zur Interaktion verwendet. Zur Auswahl des Tochternuklids drückst du mit deinem Zeigefinger den hinteren Button (hinterer Trigger) und es schießt ein roter Strahl aus deinem virtuellen Controller an die virtuelle Nuklidkarte. Wenn du den hinteren Trigger wieder loslässt, wird das Nuklid auf das der Strahl gezeigt hatte, als deine Auswahl des Tochternuklids ausgewählt.

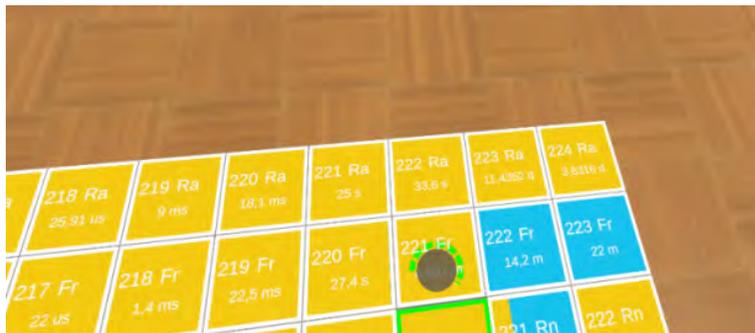


Die virtuelle Nuklidkarte kann auch in diesem Fall verschoben werden. Dazu drückst du wie bei der Auswahl eines Tochternuklids den hinteren Trigger, um den roten Strahl auf den virtuellen Nukliden zu erzeugen. Dazu drückst du mit deinem Mittelfinger den seitlichen Button (Seiten-Trigger) und der Strahl verfärbt sich blau. Wenn du den Controller im Raum bewegst, folgt die virtuelle Nuklidkarte und wird verschoben. So-

bald du einen der Buttons loslässt, verbleibt die virtuelle Nuklidkarte an der letzten geschobenen Position.

### 3. Fußboden-Freihand

Die Nuklidkarte wird bei dieser Variante auf einem virtuellen Fußboden dargestellt. Bei dieser Variante benötigst du keine Hilfsmittel und bewegst dich frei im Raum. Zur Auswahl des Tochternuklids läufst du zur gewünschten Position, um dich auf der virtuellen Nuklidkarte fortzubewegen. Bewege dich am besten auf direktem Weg zum Tochternuklid. Sobald du auf dem Tochternuklid angekommen bist, füllt sich ein grüner Kreis, bis nach 2 Sekunden alle Segmente des Kreises aufgefüllt sind. Erst dann wird das Nuklid als Auswahl erkannt.



### 4. Fußboden-Controller

Die Nuklidkarte wird bei dieser Variante auf einem virtuellen Fußboden dargestellt. Bei dieser Variante wird der rechte Controller zur Interaktion verwendet. Um dich auf das Tochternuklid zu bewegen und dieses somit auszuwählen, benutzt du den Stick am Controller. Wenn du den Stick bewegst, erscheint ein grüner Strahl mit einem Kreis am Ende des Strahls. Diesen Kreis bewegst du mithilfe deiner Handbewegung auf das Tochternuklid. Sobald du den Stick loslässt, wählst du das virtuelle Nuklid aus, wirst auf dieses teleportiert und findest dich auf der Position dieses virtuellen Nuklids wieder.



### Legende

Die Legende zeigt die Schrittfolge, um bei einem gekennzeichneten Zerfall zu dem korrekten Tochternuklid zu gelangen. Sie wird dauerhaft vor bzw. neben dir angezeigt. Es muss sich nicht zwingend in der genannten Reihenfolge zum Tochternuklid navigiert werden. Ebenfalls ist es möglich sich diagonal oder über andere Kästchen zum Tochternuklid zu navigieren. Der Weg zum Tochternuklid soll nicht angewählt werden, sondern nur das Tochternuklid selbst in welches das Mutternuklid zerfällt. Ebenfalls ist es möglich, dass Nuklide mehrere Zerfallsarten durchführen. In diesem Fall hast du die freie Wahl, welchen Weg zu wählst.





# Abschlussfragebogen Studie

**Abschlussfragebogen**





## Abbildungsverzeichnis

2.1	Nuklidkarte nach Segré [24]	6
2.2	Zerfallsschritte auf der Nuklidkarte [25]	7
2.3	Oculus Quest von Meta [47]	10
4.1	Designentwurf für ein einzelnes Nuklid nach Zerfallsart	38
4.2	Designentwurf der gesamten virtuellen Nuklidkarte	40
4.3	Designentwurf einer unterteilten virtuellen Nuklidkarte	41
4.4	Designentwurf eines Ausschnitts einer virtuellen Nuklidkarte	42
4.5	Designentwurf eines kleinen Ausschnitts einer virtuellen Nuklidkarte mit hoher Zoomstufe	43
4.6	Designentwurf eines kleinen Ausschnitts einer virtuellen Nuklidkarte mit hoher Zoomstufe und chemischen Elementen	44
4.7	Designentwurf der Legende für die Zerfallsarten	45
4.8	Designentwurf der Legende für die Halbwertszeiten	45
4.9	Farbskala, der zu verwendenden Farben ohne Farbsehschwäche [2]	46
4.10	Farbskala, wie sie von Personen mit Deuteranopie wahrgenommen wird [2]	46
4.11	Farbskala, wie sie von Personen mit Protanopie wahrgenommen wird [2]	47
4.12	Farbskala, wie sie von Personen mit Tritanopie wahrgenommen wird [2]	47
4.13	Designentwurf visuelles Feedback der Zerfallsreihe	54

---

5.1 Variante Fußboden mit Controller . . . . .	62
5.2 Variante Fußboden mit Controller und Sicht in den Raum . .	63
5.3 Variante Fußboden-Laufen . . . . .	64
5.4 Variante Wand mit Controller - Auswahl Nuklid . . . . .	65
5.5 Variante Wand mit Controller - Verschieben der Karte . . . . .	65
5.6 Variante Wand mit virtueller Hand zum Tippen . . . . .	66
5.7 Variante Wand mit virtueller Hand zum Schieben . . . . .	67
5.8 Klassenraum ohne Karte . . . . .	69
6.1 Verteilung der Angaben der Probandendaten . . . . .	72
6.2 Ergebnisse der objektiven Variablen . . . . .	77
6.3 Ergebnisse des User Experience Questionnaires . . . . .	77
6.4 Ergebnisse des iGroup Presence Questionnaires . . . . .	77
6.5 Verteilung der Wahl der Favoriten und Außenseiter . . . . .	80

# J

## Tabellenverzeichnis

3.1	Abgrenzung Charakteristika der Benutzergruppen . . . . .	28
3.2	Übersicht Konkurrenzprodukte zum eigenen VR-Prototypen	29
3.3	Übersicht Produkthanbieter . . . . .	30
3.4	Funktionale Anforderungen, die die VR-Anwendung erfüllen soll . . . . .	32
3.5	Nicht-funktionale Anforderungen, die die VR-Anwendung er- füllen soll . . . . .	35
4.1	Vor- und Nachteile der Navigationstechniken in Bezug auf die Zerfallsaufgabe . . . . .	49
4.2	Vor- und Nachteile der Selektionstechniken in Bezug auf die Zerfallsaufgabe . . . . .	51
6.1	Studienergebnisse mit Mittelwerten $\pm$ Standardabweichung .	76
6.2	Ergebnisse der Varianzanalyse . . . . .	78
6.3	Trainingszeiten mit Mittelwert $\pm$ Standardabweichung . . . . .	78
6.4	Funktionale Anforderungen, die die VR-Anwendung erfüllen soll . . . . .	83
6.5	Nicht-funktionale Anforderungen, die die VR-Anwendung er- füllen soll . . . . .	84
A.1	Übersicht Bundesländer - Vermittlung der Nuklidkarte laut Lehrplan [60] . . . . .	91

C.1 Interview 1 mit Frau Schilde von dem Gymnasium Kleine Burg in Braunschweig vom 11.11.2021 um 14:00 Uhr: . . . . .	96
C.2 Interview 2 mit Herrn Zelesnik von dem Gymnasium - Christophorusschule in Braunschweig vom 12.11.2021 um 15:00 Uhr: . . . . .	113



## Literaturverzeichnis

### Wissenschaftliche Quellen

- [3] Numan Ali, Sehat Ullah und Muhammad Raees. „Interactive cube for effective demonstration of virtual periodic table“. In: *Education and Information Technologies* 27.2 (2022), S. 1635–1654.
- [4] Nina Baur und Jörg Blasius, Hrsg. *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014. ISBN: 978-3-531-17809-7. DOI: 10.1007/978-3-531-18939-0.
- [5] Ivo Blohm und Jan Marco Leimeister. „Gamification“. In: *Wirtschaftsinformatik* 55.4 (2013), S. 275–278.
- [6] Steve Bryson. „Approaches to the successful design and implementation of VR applications“. In: *Virtual reality applications* (1995), S. 3–15.
- [7] Hans-Otto Carmesin, Anneke Emse und Inka Katharina Pröhl. *Universum Physik Sekundarstufe II*. Berlin: Cornelsen Verlag GmbH, 2022. ISBN: 978-3-06-010869-5.
- [8] Gary Charness, Uri Gneezy und Michael A Kuhn. „Experimental methods: Between-subject and within-subject design“. In: *Journal of economic behavior & organization* 81.1 (2012), S. 1–8.
- [9] Heni Cherni, Natacha Métayer und Nicolas Souliman. „Literature review of locomotion techniques in virtual reality.“ In: *International Journal of Virtual Reality* (2020).
- [10] Carolina Cruz-Neira, Daniel J Sandin und Thomas A DeFanti. „Surround-screen projection-based virtual reality: the design and implementation of the CAVE“. In: *Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. 1993, S. 135–142.
- [11] Ralf Dörner u. a. *Virtual und Augmented Reality (VR/AR): Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität*. Springer-Verlag, 2019.

- [12] Thorsten Dresing und Thorsten Pehl. *Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse: Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschende*. 8. Auflage. Marburg: Eigenverlag, 2018. ISBN: 978-3-8185-0489-2. URL: <https://www.audiotranskription.de/downloads/%5C#praxisbuch>.
- [15] Jannat Falah u. a. „Identifying the Characteristics of Virtual Reality Gamification for Complex Educational Topics“. In: *Multimodal Technologies and Interaction* 5.9 (2021), S. 53.
- [20] Paul Grimm u. a. „VR-Ausgabegeräte“. In: *Virtual und Augmented Reality (VR/AR)*. Springer, 2013, S. 127–156.
- [21] Andreas M Heinecke. „Software-Ergonomie“. In: *Mensch-Computer-Interaktion*. Springer, 2012, S. 25–44.
- [22] Cornel Hillmann. „Comparing the gear vr, oculus go, and oculus quest“. In: *Unreal for Mobile and Standalone VR*. Springer, 2019, S. 141–167.
- [23] Arno Hitzges. „Usability als wesentlicher Erfolgsfaktor für Unternehmenssoftware“. In: *Wirtschaftsinformatik & Management* 8.3 (2016), S. 100–108.
- [27] Jaemoon Jung u. a. „A review on interaction techniques in virtual environments“. In: *Proc. 2014 international conference on industrial engineering and operations management*. 2014, S. 1582–1590.
- [28] FG Kondev u. a. „The NUBASE2020 evaluation of nuclear physics properties“. In: *Chinese Physics C* 45.3 (2021), S. 030001.
- [29] Hiroyuki Koura. „Three-dimensional nuclear chart—understanding nuclear physics and nucleosynthesis in stars“. In: *Physics Education* 49.2 (2014), S. 215.
- [30] Elizaveta Kozlova. „Erhebung des Forschungsbedarfs in der Praxis: Experteninterviews“. In: *Governance der individuellen Datenverarbeitung*. Hrsg. von Elizaveta Kozlova. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2013, S. 79–96. ISBN: 978-3-8348-2398-4. DOI: 10.1007/978-3-8348-2399-1<sub>4</sub>.
- [31] Hanno Krieger. „Die radioaktiven Umwandlungen“. In: *Grundlagen der Strahlungsphysik und des Strahlenschutzes*. Springer, 2012, S. 91–127.
- [32] Bettina Laugwitz, Theo Held und Martin Schrepp. „Construction and evaluation of a user experience questionnaire“. In: *Symposium of the Austrian HCI and usability engineering group*. Springer. 2008, S. 63–76.
- [33] Joseph Magill und Jean Galy. „Nuclide Charts“. In: *Radioactivity Radionuclides Radiation*. Springer, 2005, S. 31–42.
- [34] Manuela Chessa u. a. „The Perceptual Quality of the Oculus Rift for Immersive Virtual Reality“. In: *Human-Computer Interaction* 34.1 (2019), S. 51–82. DOI: 10.1080/07370024.2016.1243478.

- 
- [35] Firas S Midani, Michelle L Wynn und Santiago Schnell. „The importance of accurately correcting for the natural abundance of stable isotopes“. In: *Analytical biochemistry* 520 (2017), S. 27–43.
- [36] Rainer Müller, Franz Bader und Friedrich Dorn. *Dorn / Bader Physik SII - Ausgabe 2018 für Niedersachsen*. Braunschweig: Westermann Schroeder Diestelweg Schönningh Winklers GmbH, 2017. ISBN: 978-3-14-152330-0. URL: <https://www.westermann.de/artikel/978-3-14-152330-0/Dorn-Bader-Physik-SII-Ausgabe-2018-fuer-Niedersachsen-Einfuehrungsphase>.
- [37] Fiona Fui-Hoon Nah u. a. „Gamification of education: a review of literature“. In: *International conference on hci in business*. Springer, 2014, S. 401–409.
- [38] Solomon Sunday Oyelere u. a. „Exploring the trends of educational virtual reality games: a systematic review of empirical studies“. In: *Smart Learning Environments* 7.1 (2020), S. 1–22.
- [39] Jongseok Park, Jaehyun Kim und Hail Ryu. „Application of Virtual Reality to the periodic table for chemistry education“. In: *EdMedia+ Innovate Learning*. Association for the Advancement of Computing in Education (AACE). 2001, S. 843–844.
- [40] Jarod Pivovar, Jasmine DeGuzman und Evan Suma Rosenberg. „Virtual Reality on a SWIM: Scalable World in Miniature“. In: *2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*. IEEE. 2022, S. 912–913.
- [46] Bernhard Preim und Raimund Dachselt. *Interaktive Systeme*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2015. ISBN: 978-3-642-45246-8. DOI: 10.1007/978-3-642-45247-5.
- [49] Holger Regenbrecht. „Faktoren für Präsenz in virtueller Architektur“. In: (2000).
- [50] Ignaz Rieser. „Konkurrenzanalyse: Wettbewerbs- und Konkurrentenanalyse im Marketing“. In: *Die Unternehmung* 43.4 (1989), S. 293–309. ISSN: 0042059X. URL: <http://www.jstor.org/stable/24179932>.
- [51] Michael Sailer. „Wirkung von Gamification auf Motivation“. In: *Die Wirkung von Gamification auf Motivation und Leistung*. Springer, 2016, S. 97–126.
- [53] Torsten Schmiermund. „Nuklidkarten“. In: *Das Chemiewissen für die Feuerwehr*. Springer, 2019, S. 349–351.
- [54] Thomas Schulenberg. „Grundlagen der Kerntechnik“. In: *Die vierte Generation der Kernreaktoren*. Springer, 2020, S. 7–40.

- 
- [56] EC Simpson. „The 3D Nuclide Chart“. In: *Journal of Physics: Conference Series*. Bd. 1643. 1. IOP Publishing. 2020, S. 012168.
- [57] Viadana Slabá. „Der individuelle DaF-Unterricht und Lernstile“. In: ().
- [58] Pavel Smutny, Marek Babiuch und Petr Foltýnek. „A review of the virtual reality applications in education and training“. In: *2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC)*. IEEE. 2019, S. 1–4.
- [59] Zsolt Sóti, Joseph Magill und Raymond Dreher. „Karlsruhe Nuclide Chart–New 10th edition 2018“. In: *EPJ Nuclear Sciences & Technologies* 5 (2019), S. 6.
- [70] Tim Weissker, Alexander Kulik und Bernd Froehlich. „Multi-Ray Jumping: Comprehensible Group Navigation for Collocated Users in Immersive Virtual Reality“. In: *IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR) 2019* (2019), S. 136–144. DOI: 10.1109/VR.2019.8797807.
- [72] Benedikt Zobel u. a. „Augmented- und virtual-reality-technologien zur digitalisierung der aus- und weiterbildung–überblick, klassifikation und vergleich“. In: *Digitalisierung in der Aus- und Weiterbildung*. Springer, 2018, S. 20–34.

## Online Quellen

- [1] Suhail Ahmad. *Motion Sickness*. URL: <https://worldofvr.de/motion-sickness/#:~:text=Motion%5C%20Sickness%5C%20ist%5C%20ein%5C%20Zustand%20Cyber%5C%20Belkeit%5C%20oder%5C%20Flug%5C%20Belkeit%5C%20bezeichnet%5C%20werden>. (besucht am 20. 12. 2021).
- [2] Gregor Aisch. *Chroma.js Color Palette Helper*. URL: <https://gka.github.io/palettes/#/6%7Cs%7Cf3cb11,17c2ec,f36f34,6afd73,bc0000,9dffff%7Cffffe0,ff005e,93003a%7C0%7C0> (besucht am 20. 04. 2022).
- [13] Sebastian Blumentritt e.K. *Nuklidkarte - Poster Vollversion*. URL: <https://www.blume-im-inter.net/nuklidkarte-poster-vollversion/nk-vv> (besucht am 11. 03. 2021).
- [14] LLC. Facebook Technologies. *Interaction SDK Overview*. 2022. URL: [https://developer.oculus.com/documentation/unity/unity-isdk-interaction-sdk-overview/?locale=de\\_DE](https://developer.oculus.com/documentation/unity/unity-isdk-interaction-sdk-overview/?locale=de_DE) (besucht am 12. 05. 2022).
- [16] ChemoLine GmbH. *Nuklidkarte Poster Sonderformat*. URL: [https://www.chemoline.de/chemie\\_kueche/nuklidkarte-poster-sonderformat.html](https://www.chemoline.de/chemie_kueche/nuklidkarte-poster-sonderformat.html) (besucht am 11. 03. 2021).
- [17] LD DIDACTIC GmbH. *Nuklidkarte*. URL: <https://www.leybold-shop.de/chemie/geraete/naturwissenschaften-schuelerversuche/anschauungsmaterial-chemie/wandtafeln-und-transparente/6677061.html> (besucht am 11. 03. 2021).
- [18] Nucleonica GmbH. *nucleonica*. URL: <https://www.nucleonica.com/> (besucht am 20. 12. 2021).
- [19] WKS Fulfillment GmbH. *Nuklidkarten online kaufen*. URL: <https://nuklid.shop/> (besucht am 20. 12. 2021).
- [24] Wikimedia Foundation Inc. *Datei:Nuklidkarte Segre.svg*. URL: <https://bit.ly/3y6ssbf> (besucht am 01. 05. 2022).
- [25] Wikimedia Foundation Inc. *Datei:Radioaktive Zerfallsarten in der Nuklidkarte.svg*. URL: <https://bit.ly/3KJutg6> (besucht am 01. 05. 2022).
- [26] Wikimedia Foundation Inc. *Unity (Spiel-Engine)*. 2022. URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Unity\\_\(Spiel-Engine\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Unity_(Spiel-Engine)) (besucht am 12. 05. 2022).
- [41] Google Play. *Chart of the Nuclides*. 2021. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=io.cordova.echart> (besucht am 20. 12. 2021).

- [42] Google Play. *Chart of the Nuclides++*. 2019. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.nuclides.pp.mobile> (besucht am 20.12.2021).
- [43] Google Play. *Isotope Browser*. 2021. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=iaea.nds.nuclides> (besucht am 20.12.2021).
- [44] Google Play. *Nucleus amdc*. 2019. URL: [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.csns.g\\_factor.nucleusv1](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.csns.g_factor.nucleusv1) (besucht am 20.12.2021).
- [45] Google Play. *NuklidCalc*. 2020. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.nptechconsulting.nuklidcalc> (besucht am 20.12.2021).
- [47] Amazon EU S.à r.l. *Oculus Quest-All-in-one VR Gaming Headset*. URL: <https://www.amazon.de/Oculus-Quest-All-one-Gaming-Headset/dp/B07QPKZKL5> (besucht am 01.05.2022).
- [48] René Rausch. *Das Periodensystem der Elemente online*. URL: <http://www.periodensystem-online.de/index.php?id=isotope&el=7&mz=10&sel=zf&show=nucard> (besucht am 20.12.2021).
- [52] Digitale Wirtschaft Schleswig-Holstein. *Technikaffine Lehrer – Studie „Schule 2.0“*. URL: <https://www.diwish.de/newsarchiv/technikaffine-lehrer-studie-schule-20-1241.html> (besucht am 20.12.2021).
- [55] Benjamin Shu. *NuDat 2.8*. URL: <https://www.nndc.bnl.gov/nudat3/reCenter.jsp?z=%5C%2062&n=%5C%2080> (besucht am 20.12.2021).
- [60] Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. *Bildungspläne / Lehrpläne der Länder im Internet*. URL: <https://www.kmk.org/de/dokumentation-statistik/rechtsvorschriften-lehrplaene/uebersicht-lehrplaene.html> (besucht am 20.11.2021).
- [61] Deutsche Telekom Stiftung. *Total digital? Wie Jugendliche Kompetenzen im Umgang mit neuen Technologien erwerben*. 2015. URL: <https://bit.ly/3uktXuj> (besucht am 20.12.2021).
- [62] App Store. *NuclideChart*. 2019. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.nuclides.pp.mobile> (besucht am 20.12.2021).
- [63] Unity Asset Store. *Assets classroom*. 2022. URL: <https://assetstore.unity.com/packages/3d/environments/assets-classroom-98134> (besucht am 12.05.2022).

- 
- [64] Unity Asset Store. *Oculus Integration*. 2022. URL: <https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/oculus-integration-82022> (besucht am 12.05.2022).
- [65] Unity Asset Store. *Procedural Circular Health Bar*. 2022. URL: <https://assetstore.unity.com/packages/tools/gui/procedural-circular-health-bar-207227> (besucht am 12.05.2022).
- [66] Unity Asset Store. *SteamVR Plugin*. 2022. URL: <https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/steamvr-plugin-32647> (besucht am 12.05.2022).
- [67] Facebook Technologies. *Performance and Optimization*. URL: <https://developer.oculus.com/documentation/unity/unity-perf/> (besucht am 11.04.2022).
- [68] Visualisierungswebseite. *Augmented Cooperation in Education and Training in Nuclear and Radiochemistry (A-CINCH)*. URL: <https://bit.ly/3g7g13e> (besucht am 07.12.2021).
- [69] Worlds on VRChat(Beta). *Table of Nuclides*. 2018. URL: [https://en.vrcw.net/world/detail/wrld\\_3b00c538-6a5f-4b01-b9fc-b2d5c58fed96](https://en.vrcw.net/world/detail/wrld_3b00c538-6a5f-4b01-b9fc-b2d5c58fed96) (besucht am 20.12.2021).
- [71] Dennis Ziesecke. *Die beste Virtual-Reality-Brille*. URL: <https://www.allesbeste.de/test/die-beste-vr-brille/> (besucht am 20.12.2021).



# Selbständigkeitserklärung

Titel der Thesis: Entwicklung und Evaluation einer interaktiven Nuklidkarte in virtueller Realität als ergänzende Lernanwendung für den Schulunterricht

Name: Zöllner, Janine

Date of birth: 06.01.1992

Martikelnnummer: 192591

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen Hilfsmittel als die angegebenen verwendet habe. Insbesondere versichere ich, dass ich alle wörtlichen und sinngemäßen Übernahmen aus anderen Werken als solche kenntlich gemacht habe.

Ort, Datum:

.....

(Unterschrift)