

**Konzeption und Implementierung eines Virtual Reality Serious
Game zur Visualisierung enzymatischer Prozesse durch
Biolumineszenz mittels Unreal Engine**

Bachelorarbeit



Fachbereich 03: Mathematik und Informatik
Studiengang Digitale Medien



Eingereicht von: Osowski, Maik &
Röll, Jessica
geboren am: 01.06.1996, Delmenhorst &
12.07.2001, Bremen
Matrikel-Nr.: 4416247 &
6035835

Betreuung: 1. Prof. Dr.-Ing.Udo Frese
2. Nuri Ovüc

Eingereicht am: 08.08.2024

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Theoretischer Rahmen	3
2.1 Enzyme und Biolumineszenz.....	3
2.2 Serious Games.....	8
2.3 Unreal Engine.....	12
3. Methodik	15
3.1 Design- und Entwicklungsprozess.....	15
3.2 Spielkonzept und Planung der Spielmechaniken und Lerninhalte.....	17
3.3 Auswahl und Begründung der eingesetzten Werkzeuge und Technologien.....	22
3.4 Methoden zur Evaluierung des Lernerfolgs.....	29
4. Spielmechanik und Entwicklung	29
4.1 Unterwasserumgebung.....	29
4.2 Implementierung der Reaktionsteilnehmer.....	34
4.2.1 Kollision zwischen Reaktionsteilnehmern.....	37
4.2.2 Tasks des Substrats bei Kollisionseintritt.....	39
4.2.3 Task des Schwermetalls bei Kollisionseintritt.....	40
4.2.4 Denaturierung des Enzyms.....	41
4.2.5 Spawnen.....	42
4.3 Audiosequenzen im Spiel.....	44
4.4 Schieberegler und Biolumineszenz der Umgebung.....	46
4.5 Erstellung der Konsole.....	54
4.6 Performance.....	57
4.6.1 Effiziente Programmierung.....	59
4.6.2 Begrenzter Bewegungsraum.....	59
4.6.3 Texturen.....	60
4.6.4 Performance Überprüfung.....	61
5. Studie	63
5.1 Rekrutierung der Personen.....	63
5.2 Fragestellungen und Hypothesen.....	64
5.3 Erläuterung des Studienaufbaus.....	65
5.4 Durchführung.....	66
5.5 Auswertung.....	70
6. Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse	77
Literaturverzeichnis	80
Abbildungsverzeichnis	85
Materialverzeichnis	87
Anhang 1: Blueprint Code	90
Anhang 2: Audiotext Vorbereitung	95
Anhang 3: Textvorlage für die Studie	98
Anhang 4: Einverständniserklärung und persönlicher Fragebogen	100
Anhang 5: Fragebogen	105
Anhang 6: Bilder der VR-Anwendung	109

Eigenständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Alle Teile meiner Arbeit, die wortwörtlich oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen sind, wurden unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Gleiches gilt auch für Zeichnungen, Skizzen, bildliche Darstellungen sowie für Quellen aus dem Internet, dazu zählen auch KI-basierte Anwendungen oder Werkzeuge. Die Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch nicht als Prüfungsleistung eingereicht. Die elektronische Fassung der Arbeit stimmt mit der gedruckten Version überein. Mir ist bewusst, dass wahrheitswidrige Angaben als Täuschung behandelt werden.

Bremen, den

Einverständniserklärung zur elektronischen Überprüfung der Arbeit auf Plagiate

Eingereichte Arbeiten können nach § 18 des Allgemeinen Teil der Bachelor- bzw. der Masterprüfungsordnungen der Universität Bremen mit qualifizierter Software auf Plagiatsvorwürfe untersucht werden. Zum Zweck der Überprüfung auf Plagiate erfolgt das Hochladen auf den Server der von der Universität Bremen aktuell genutzten Plagiatssoftware. Ich bin damit einverstanden, dass die von mir vorgelegte und verfasste Arbeit zum oben genannten Zweck dauerhaft auf dem externen Server der aktuell von der Universität Bremen genutzten Plagiatssoftware, in einer institutionseigenen Bibliothek (Zugriff nur durch die Universität Bremen), gespeichert wird.

Bremen, den

1. Einleitung

Bearbeitet von Jessica und Maik

Computerspiele haben sich zu einer der einflussreichsten Formen der Unterhaltung entwickelt. In Deutschland greifen beispielsweise 53 % der Bevölkerung zumindest gelegentlich zu Videospielen, ein Trend, der weltweit zu beobachten ist [1]. Computerspiele bieten jedoch nicht nur eine Möglichkeit zum Entertainment, sondern eröffnen auch neue Wege des Lernens. Die Idee, Spiele nicht ausschließlich zur Unterhaltung, sondern auch als Lerninstrument einzusetzen, entstand bereits in den 1960er und 1970er-Jahren. Der Begriff Serious Games kam dabei zum ersten Mal 1970 auf, als Clark C. Abt ein Buch mit demselben Titel schrieb [2]. Mit Serious Games sind somit all jene Spiele gemeint, die neben der Unterhaltung einen lehrreichen Hintergrund bieten und auf ein breites Spektrum von Bereichen angewendet werden können, wie z. B. Wirtschaft, Kunst, Sport, Gesundheitswesen und Bildung. Seitdem hat sich sehr viel in der Technologie verändert, was zu erweiterten Möglichkeiten auch für das Lernen mithilfe von Spielen führt. Die rasante Entwicklung der Technologie hat die Möglichkeiten für das Lernen durch Spiele signifikant erweitert. Besonders die Einführung und Verbreitung von Virtual Reality (VR) hat die Art und Weise, wie Spiele für Bildungszwecke genutzt werden können, revolutioniert. VR ermöglicht eine noch nie dagewesene Immersion, die Lernenden erlaubt, in virtuelle Welten einzutauchen und Lerninhalte auf eine interaktive und erlebnisorientierte Weise zu erforschen.

Somit können normalerweise schwer verständliche Themengebiete auf z. B. molekularer Ebene besser visualisiert werden, da die zugrunde liegenden Prozesse unmittelbar nachvollzogen werden können.

Diese Bachelorarbeit beschäftigt sich mit der Erstellung eines solchen Serious Game im Bereich Biologie. Das Thema Enzyme, das einen wesentlichen Bestandteil des Abiturs im Schwerpunkt Biologie darstellt, ist für Schüler und Schülerinnen häufig eine große Herausforderung. Diese Herausforderung rührt unter anderem von der mikroskopischen Größe der Enzyme her, die sie abstrakt und schwer greifbar macht. Allerdings auch aufgrund der komplexen Eigenschaften von Enzymen sowie dem

Umfang des Themas. Da Enzyme eine unglaublich wichtige Rolle in der Natur und im Leben spielen, handelt es sich also um ein Thema, welches gut verstanden werden sollte. Um den Lernerfolg zu maximieren, ist es entscheidend, Schüler/innen insbesondere intrinsisch zu motivieren.

„In den Studien zur Motivationslage von Schüler/innen gilt insbesondere die Erreichung einer intrinsischen Motivation als erstrebenswertes Ziel im Unterricht, da diese Motivationsform als am förderlichsten für das Lernen und den Lernerfolg der Schüler/innen eingestuft wird (z. B. Schiefele und Schreyer 1994).“[3, S. 98]

Mit intrinsischer Motivation ist die Art der Motivation gemeint, die aus inneren Gefühlen und Bedürfnissen einer Person entsteht. Lernende engagieren sich also aufgrund von inneren Belohnungen wie dem Gefühl des Erfolgs oder der Freude und nicht anhand externer Anerkennung oder Belohnungen [4]. Dies soll erreicht werden, indem das Serious Game etwas Aufregendes und Schönes zeigt, was Schüler/innen in der Natur vielleicht noch nie in der Realität erlebt haben und somit die Neugierde weckt. Daher soll das Thema Enzyme durch das Naturphänomen der Biolumineszenz weiter visualisiert werden. Da Enzyme eine Schlüsselrolle in diesem leuchtenden Naturprozess spielen, bietet die Biolumineszenz eine faszinierende und anschauliche Methode, um den Einfluss von äußeren Faktoren auf enzymatische Reaktionen darzustellen und somit das Lernen zu vertiefen. Das starke Gefühl der Präsenz soll zu größerem Engagement und Interesse am Lerninhalt beitragen.

Ziel ist es, ein Serious Game zu entwickeln, welches in Virtual Reality gespielt werden kann. Durch die Verwendung von VR und die Visualisierung enzymatischer Prozesse durch Biolumineszenz wird ein direkter Bezug zwischen theoretischen Grundlagen und praktischer Anwendung hergestellt. Die abstrakten Prozesse der Enzymatik können so durch interaktive und immersive Erfahrungen für Schüler/innen nachvollziehbar gemacht werden. Das Serious Game wird dabei am Ende auf seine Effektivität hin überprüft, um sicherzustellen, dass die Anwendung den tatsächlichen Lernerfolg steigert und auch zu einer erhöhten Motivation der Lernenden führt.

Im Abschnitt über den theoretischen Rahmen wird etwas genauer auf die Themenfelder Enzyme und Biolumineszenz eingegangen sowie eine tiefgreifende

Erklärung über das Thema Serious Games gegeben. Im darauffolgenden Methodik-Abschnitt soll ein Rahmen für die Entwicklung des Serious Games, einschließlich des Designs und der verwendeten pädagogischen Theorien, gegeben werden. Die Arbeit erklärt, welche Technologien wie Game Engines angewendet werden und warum sie als geeignet empfunden wurden. Zudem werden die Methoden vorgestellt, mit denen der Lernerfolg evaluiert werden soll. In der nächsten Sektion geht es um die Grundidee, eine detaillierte Planung und Realisierung des Spiels sowie die spezifischen Lernziele, die erreicht werden sollen. Hier wird letztlich die Umsetzung des Serious Games erklärt. Der vorletzte Abschnitt zeigt die Vorgehensweise bei der Evaluierung des Spiels, einschließlich der Methodik und der Durchführung von Tests mit der Zielgruppe auf, bevor am Ende eine Schlussfolgerung über den Erfolg der Lernanwendung getroffen wird.

Diese Arbeit umfasst also:

- Einführung in das Themengebiet
- Planung und Erstellung eines eigenen Serious Game im Bereich Enzymatik mit der Unreal Engine 5.3
- Evaluierung des Lernerfolgs anhand einer Nutzerstudie
- Ausblick für die weitere Entwicklung und Zusammenfassung

2. Theoretischer Rahmen

2.1 Enzyme und Biolumineszenz

Bearbeitet von Jessica

Enzyme sind Proteine, welche in lebenden Organismen für Umwandlungsprozesse benötigt werden und an der Wortendung „-ase“ erkannt werden können. Sie wirken als Biokatalysatoren, das heißt, sie beschleunigen Reaktionen, ohne dabei selbst verbraucht zu werden. Enzyme können spezifische Substrate in Produkte umwandeln, die in anderen Prozessen wiederum benötigt werden. Sie sind somit substratspezifisch. Enzyme funktionieren nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip, indem sie spezifisch an ihr aktives Zentrum binden.

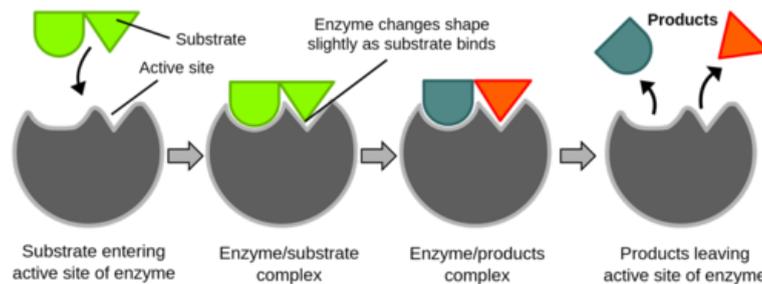


Abb. 1 Einfache Darstellung der Enzym-Substrat-Bindung und Umsetzung [vgl. Abb.-Verz. 1]

Diese genaue Passform zwischen Enzym und Substrat senkt die für chemische Reaktionen erforderliche Aktivierungsenergie und führt so zu einer effizienten Katalyse der Umwandlung. Das Enzym geht aus der Reaktion unverändert hervor. Jedes Enzym ist wirkungsspezifisch, das heißt, dass das Substrat stets in dasselbe Produkt umgewandelt wird. Die kurzzeitige molekulare Bindung zwischen Enzym und Substrat nennt man Enzym-Substrat-Komplex. Nach dem Katalysieren der Reaktion entsteht der Enzym-Produkt-Komplex, woraufhin sich das Produkt vom aktiven Zentrum des Enzyms abspaltet [5, S. 100-101].

Adenosintriphosphat, kurz ATP, spielt dabei eine entscheidende Rolle als universeller Energieträger in Zellen. Es wird von Enzymen als Energiequelle genutzt, um chemische Reaktionen anzutreiben. Enzyme katalysieren die hydrolytische Spaltung von ATP in ADP (Adenosindiphosphat) und Phosphat, wobei Energie freigesetzt wird, die dann genutzt wird, um die Aktivierungsenergie für die Umwandlung von Substraten in Produkte zu senken. Somit dient ATP als direkte Quelle chemischer Energie für enzymatische Reaktionen, die lebenswichtige zelluläre Prozesse ermöglichen [5, S. 97].

Die Effizienz von Enzymen wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst, darunter die Umgebungstemperatur und der pH-Wert. Jedes Enzym hat ein Temperaturoptimum. Beim Optimum findet die enzymatische Reaktion am schnellsten statt, wobei dieses für jedes Enzym unterschiedlich ist. Zu hohe Temperaturen führen zur Denaturierung der Enzyme, was bedeutet, dass das Enzym irreversibel beschädigt wird, indem sich seine Struktur verändert. Die Sekundär- und Tertiärstruktur des Enzyms wird zerstört, sodass nur die Primärstruktur der

Aminosäurenkette übrig bleibt. Zu niedrige Temperaturen hingegen verlangsamen die Bewegungsgeschwindigkeit der Reaktionsteilnehmer. Dies kann anhand der RGT-Regel (Reaktionsgeschwindigkeit-Temperatur-Regel) begründet werden, die besagt, dass sich bei einer Temperaturerhöhung um 10 K die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen verdoppelt bis vervierfacht [5, S. 109].

Das pH-Optimum eines Enzyms wird durch die Eigenschaften der Aminosäurereste in dessen aktiven Zentrum bestimmt und ist daher für jedes Enzym unterschiedlich. Bei einem zu sauren oder basischen Milieu ändert sich die Ladung dieser Aminosäurereste, was die Aktivität des Enzyms beeinflussen und zur Denaturierung führen kann. Auch die Substratkonzentration hat einen Einfluss auf die Geschwindigkeit der enzymatischen Reaktion. Bei erhöhter Substratkonzentration steigt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Enzym auf das passende Substrat trifft. Die Reaktionsgeschwindigkeit erhöht sich dabei bis zu einem gewissen Punkt, an dem eine Sättigung erreicht wird und alle Enzyme mit Substraten besetzt sind. Ab diesem Sättigungspunkt führt eine weitere Erhöhung der Substratkonzentration nicht zu einer weiteren Steigerung der Reaktionsgeschwindigkeit [5, S. 102].

Neben diesen natürlichen Regulierungsmechanismen gibt es auch externe Störfaktoren, wie die Hemmung durch Schwermetalle, die die Funktion von Enzymen beeinträchtigen können. Zusätzlich zu den Schwermetallen können auch andere Substanzen, wie natürliche Inhibitoren, enzymatische Prozesse beeinflussen. Die Inhibitoren in Form von Schwermetallen können mit den Substraten um das aktive Zentrum konkurrieren und es beim Binden dauerhaft blockieren, wodurch das Enzym irreversibel beschädigt wird. Die Hemmung kann kompetitiv sein, wobei der Inhibitor direkt mit dem Substrat um die Bindungsstelle am aktiven Zentrum konkurriert, oder nicht-kompetitiv, wobei der Inhibitor an einer anderen Stelle, auch als allosterisches Zentrum bezeichnet, des Enzyms bindet und dessen Funktion beeinträchtigt. Den zweiten Fall nennt man auch allosterische Hemmung [5, S. 103-104].

Eine faszinierende Anwendung enzymatischer Prozesse findet sich in der Biolumineszenz, einem natürlichen Phänomen, das weit verbreitet im Meer vorkommt, aber auch bei einigen Landorganismen wie Pilzen oder Glühwürmchen beobachtet werden kann [6]. Die Biolumineszenz ist ein hervorragendes Beispiel für

die Spezifität und Effizienz von Enzymen in natürlichen Systemen und zeigt, wie biochemische Prozesse zur visuellen Kommunikation und Tarnung genutzt werden können.

Biolumineszenz ist ein natürlicher Prozess, bei dem Enzyme in Lebewesen oder deren symbiotischen Partnern Licht erzeugen. Luciferase ist das Enzym, wobei Luciferase als Sammelbezeichnung für eine Anzahl von Enzymen, die zu den Oxidoreduktasen gehören, verwendet wird. Luciferin ist das zugehörige Substrat, das in einer enzymatischen Reaktion durch Luciferase und Sauerstoff in Oxyluciferin umgesetzt wird, was zur Emission von kaltem Licht führt. Diese Reaktionen sind art- oder gruppenspezifisch, also für jeden Organismus kennzeichnend. Bei der Reaktion wird ebenfalls ATP als Energielieferant verwendet. Es wird jedoch nicht ADP, sondern AMP (Adenosinmonophosphat) und Pyrophosphat (PPi) gebildet.

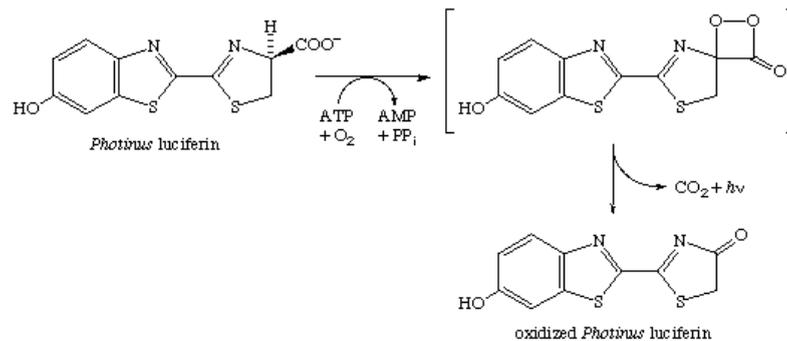


Abb. 2 Chemischer Ablauf der Umsetzung von Luciferin mit Hilfe der Firefly Luciferase [vgl. Abb.-Verz. 2]

Die Biolumineszenz wird dabei auf unterschiedlichste Arten im Tierreich genutzt. Der Anglerfisch benutzt die Biolumineszenz z. B. um Beute mit seinem Licht anzulocken, während manche Tiere sie als Abwehrmechanismus gegen potenzielle Fressfeinde nutzen [6]. Biolumineszenz wird oft für die Kommunikation verwendet. Einige Tiere, wie Tintenfische, verwenden Biolumineszenz Muster und Signale, um zu kommunizieren, z. B. zur Partnerfindung [7, S. 201-207]. Bestimmte Tiere nutzen das Leuchten als Tarnung, um z. B. die Meeresoberfläche vorzutäuschen. Diese vielfältigen Anwendungen zeigen auch, welche Rolle Enzyme in der Evolution und der Anpassungen von Organismen spielen.



Abb. 3 *Biolumineszente Quallen und Lampyris noctiluca* [vgl. Abb.-Verz. 3 und 4]

Die Biolumineszenz findet ebenfalls Anwendung in der Wissenschaft. So wird sie in der Ökotoxikologie eingesetzt, um Toxine z. B. im Wasser anhand der Leuchtkraft nachweisen zu können [8, S. 318]. Dafür werden biolumineszente Bakterien Wasserproben hinzugesetzt und dessen Leuchtkraft überprüft. Dabei wird die hohe Sensitivität und Spezifität der Enzyme zur Umweltüberwachung genutzt.

Darüber hinaus findet die Biolumineszenz Anwendung in der medizinischen Forschung und Diagnostik sowie in der Molekularbiologie [8, S. 313 & 318]. Die Nutzung von Biolumineszenz in genetisch modifizierten Bakterien und Zellen ermöglicht es, die Aktivierung spezifischer Gene zu beobachten, wobei das emittierte Licht als Marker für die Aktivität dieser Gene dient [8, S. 315-316]. In der Diagnostik wird die Biolumineszenz eingesetzt, um in Proben Mikroorganismen, Viren oder Gifte, die eine Erkrankung hervorrufen können, zu erkennen [8, S. 316]. Auch für sogenannte Vitaltests kann das Phänomen genutzt werden, um die ATP-Produktion in lebenden Zellen zu überprüfen. Diese Anwendungen unterstreichen die Bedeutung der Biolumineszenz in der modernen Wissenschaft und Medizin.

2.2 Serious Games

Bearbeitet von Maik

In der heutigen Bildungslandschaft nehmen Serious Games eine immer wichtigere Rolle ein. Serious Games sind Spiele, die nicht nur auf Unterhaltung ausgerichtet sind, sondern einem sorgfältig durchdachten Bildungszweck dienen sollen. Sie sind oft vollständige Spiele mit einer klar definierten Struktur und Regeln, die spezifische Lern- oder Trainingsziele verfolgen. Diese Spiele nutzen die motivierenden Elemente des Spielens, um Wissen zu vermitteln, Fähigkeiten zu entwickeln oder Bewusstsein für bestimmte Themen zu schaffen. Aufgrund ihrer Fähigkeit, Bildungsinhalte auf eine motivierende, unterhaltsame und interaktive Weise zu vermitteln, bieten sie eine innovative Lösung für einige Herausforderungen im Bildungswesen wie das motivierte Lernen im Unterricht [9, S. 29]. In dieser Arbeit geht es um digitale Games.

Laut R. Dörner et al. werden digitale Spiele wie folgt definiert:

„Games that use some kind of computing machinery (e.g., a personal computer, a smartphone or a piece of electronics dedicated for playing games such as a video game console) are called digital games.” [10, S. 2]

Das bedeutet, dass digitale Spiele solche sind, die auf Geräten wie PCs, Smartphones oder speziell für Spiele entwickelten Konsolen gespielt werden. Häufig wird der Begriff Serious Games im Bereich digital Games auch mit dem Wort Simulation oder Gamification verwechselt. Eine Simulation ist jedoch eine Nachbildung eines realen Prozesses, Systems oder einer Umgebung und wird verwendet, um reale Aktivitäten in einer kontrollierten Umgebung zu imitieren. Sie werden daher oft für Trainingszwecke verwendet, wie Flugsimulatoren oder in der medizinischen Ausbildung. Ein Beispiel hierfür ist die medizinische Simulation, die es ermöglicht, komplexe Operationen in einer sicheren Umgebung zu üben, die möglichst realitätsnahe Bedingungen nachstellt.

Häufig wird auch spezielle Hardware benötigt, um in Simulationen üben zu können. Der Schwerpunkt bei Simulationen liegt somit stärker auf der genauen Wiedergabe

realer Bedingungen und Prozesse als auf Unterhaltungselementen und grenzt sich somit ab von Serious Games, mit denen sich diese Bachelorarbeit beschäftigt.

Mit dem Begriff Gamification hingegen wird der Einsatz von Spielelementen in einem Nicht-Spiele-Kontext verstanden. Das kann innerhalb eines Serious Games geschehen, um die Motivation und das Engagement der Nutzer zu erhöhen, ist aber nicht auf die Nutzung in Spielen beschränkt [10, S. 3-4, 6]. Vielmehr wird Gamification häufig in Bereichen wie Bildung, Arbeit, Gesundheitswesen und Kundenbindung eingesetzt, um Verhaltensänderungen zu fördern oder die Teilnahme an bestimmten Aktivitäten zu steigern.

In der Praxis bedeutet das, dass ein Serious Game Gamification-Techniken nutzen kann, um seine Bildungs- oder Trainingsziele effektiver zu erreichen, indem es z. B. Fortschrittsbalken oder Punktesysteme integriert, aber Serious Games nicht gleichzusetzen sind mit dem Begriff Gamification. Diese Elemente helfen dabei, die Benutzer zu motivieren, sich weiterhin mit den Inhalten des Spiels auseinanderzusetzen und ihre Lernerfahrungen zu vertiefen.

Ein weiteres Konzept von Serious Games ist ihr charakterisiertes Ziel. Laut Dörner et. al. gibt es dabei verschiedenen Charakterisierungen:

„The characterizing goals of serious games can be matched to competence domains, e.g., cognition and perception, emotion and volition, sensory-motor control, personal characteristics, social attitudes and media use.” [10, S. 9]

Des Weiteren unterscheidet man häufig zwischen Serious Games für „(formal) education“ und Serious Games für „(informal) training and simulation“ [10, S. 9]. Diese Unterscheidung ist wesentlich für das Verständnis der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten von Serious Games.

Von frühester Kindheit an wird durch spielerisches Experimentieren und Erkunden die Welt kennengelernt und zusätzlich soziale und kognitive Kompetenzen erworben. Diese Tatsache bildet ebenfalls das Herzstück der Philosophie hinter Serious Games. Ein Konzept, das nach der Einschulung nur selten Anwendung findet. Stattdessen werden Kinder häufig mit einem eher monotonen Schulsystem konfrontiert, was vollkommen gegen die natürliche Art und Weise, wie Kinder lernen,

spricht. Indem Serious Games die Elemente des traditionellen Spielens aufgreifen und mit gezielten Lernzielen verknüpfen, schaffen sie eine Brücke zwischen dem natürlichen Lerninstinkt der Kinder und den strukturierten Bildungsanforderungen. Sie gestalten den Unterricht in einer interaktiven, spielerischen Lernumgebung, in der Kinder durch Erfahrung, Entdeckung und Problemlösung durch aktive Interaktion mit dem Lehrmaterial lernen. Diese Art des Lernens ist nicht nur effektiver, sondern auch nachhaltiger, da sie das Gelernte mit positiven Emotionen und Erfahrungen verknüpft. Innovative Lernmethoden fördern die Motivation und das Engagement, wobei Serious Games häufig eine intrinsische Form der Motivation hervorrufen. Spieler merken dabei häufig nicht, dass sie lernen, da Spiele Darstellungsformen ermöglichen, die komplexere Zusammenhänge auf greifbare Weise veranschaulichen. Dies wird durch Studien unterstützt, die zeigen, dass spielerisches Lernen tiefere kognitive Prozesse aktiviert und das Behalten von Informationen verbessert [11, S. 79]. Digital Games könnten dem Spieler durch die isolierte Umgebung zusätzlich ein Gefühl von Sicherheit geben und somit die Bereitschaft erhöhen, neue Ansätze auszuprobieren und sich Fehler zu erlauben, da diese sich nicht auf die Realität auswirken. Im Frontalunterricht kann hingegen z. B. die Angst, Fehler zu machen, oder andere Faktoren wie soziale Unsicherheiten oder Scham die Bereitschaft, sich zu melden und aktiv mitzuarbeiten, hemmen. Das kann zudem dazu führen, dass Rückmeldung über Verständnis und Wissen vom Lehrkörper nicht bestätigt oder korrigiert werden kann. Die Erwartung, möglichst keine Fehler zu machen, wird ebenfalls durch das Notensystem unterstützt, indem häufig nur die Leistung in einem einzigen Moment gemessen wird. Dies lässt nicht nur wenig Raum zum Experimentieren, sondern unterstützt auch das Gefühl von Unsicherheit. Serious Games können hier eine sicherere Umgebung zum Experimentieren und Lernen durch Fehler bieten. Sie sind zudem angepasster an individuelle Lernvoraussetzungen, da jederzeit Pausen eingelegt werden und jeder in seinem Tempo arbeiten kann. Dadurch können Menschen mit geringerem Aufmerksamkeitsspannen oder Konzentrationsfähigkeit in ihrem eigenen Arbeitstempo arbeiten und das Gelernte besser aufnehmen.

Diese positive Art des Lernens gilt aber nicht nur für Kinder. Dies wurde bereits früh beobachtet. „Chaturanga“ war der erste Vorläufer des Schachs und wurde bereits im 7. Jahrhundert entwickelt. Das Spiel stellte strategisches Denken, Planung und

Vorhersage des Gegnerverhaltens in den Mittelpunkt und stellte somit eine der ersten Arten von Serious Games dar. Im 20. Jahrhundert gab es das Spiel „Landlord’s Game“, welches der Vorläufer von Monopoly war und mit dem die Gefahren kapitalistischer Ansätze bei Grundsteuern und Immobilien Mieten aufgezeigt werden sollten [9, S. 18]. Das Thema spielerisch lernen besitzt somit eine lange Tradition, die, wie man sieht, nicht erst bei digitalen Games beginnt.

Die historische Entwicklung von digitalen Serious Games begann Ende des Zweiten Weltkrieges, bei dem zum ersten Mal Computersimulationen für Trainingssituationen im Militär genutzt wurden [9, S. 30]. Der Begriff „Serious Game“ wurde erst 1970 von Clark C. Abt geprägt, welcher jedoch zuerst nur auf Brettspiele beruhte. Seit 2002 auch als „Year One“ bezeichnet, gibt es einen großen Anstieg der Anzahl an Serious Games. Interessanterweise nimmt jedoch zugleich der Anteil an Bildungsspielen ab, was auf die Vielfalt der Zwecke und auf eine breite Akzeptanz der Anwendungsfelder hindeutet [9, S. 35]. Aufgrund des technologischen Fortschritts gibt es zunehmend mehr Anwendungsmöglichkeiten, um traditionelle Lehrmethoden zu erweitern oder zu ergänzen. So kommen digitale Technologien sowie Virtual Reality-Brillen im Unterricht immer häufiger zum Einsatz.

Serious Games sind inzwischen ein interdisziplinäres Forschungsfeld geworden, das neben den Bildungswissenschaften auch Psychologie, Kunst und Design, Informatik, Pädagogik sowie Sozial- und Kulturwissenschaften umfasst. Diese Art von Spielen findet in den unterschiedlichsten Bereichen ihren Einsatz, darunter z. B. im Militär, Gesundheitswesen (z. B. Rehabilitation, Prävention, Training medizinischer Fähigkeiten), Unternehmensschulungen, Umwelterziehung und soziale Veränderung [12]. Es gibt einige erfolgreiche Spiele, welche wissenschaftliche Probleme in Spiele umwandeln, damit andere Menschen eine Lösung finden können. Diese Spiele nutzen das „Citizen Science“ Konzept. Spiele wie Phylo oder Foldit sind gute Beispiele dafür [10, S. 7]. In Foldit tragen die Spieler durch ihre Puzzellösungen direkt zur Wissenschaft bei, indem sie helfen, theoretische Modelle von Proteinen in praktisch anwendbare Strukturen umzuwandeln. Foldit hat sich als besonders nützlich erwiesen, da es bereits dazu beigetragen hat, die Strukturen einiger Proteine aufzuklären, die wissenschaftlich schwer zu bestimmen waren. Diese

Spiele zeigen, wie Serious Games zur Lösung komplexer wissenschaftlicher Probleme beitragen können.

Ein großes Thema bei der Entwicklung von Serious Games spielt dabei ebenfalls stets die Bewertung der Effektivität und des Kosten-Nutzen-Verhältnisses, welche im Vergleich zu herkömmlichen Lehrmethoden stehen [9, S. 6-7]. Aufgrund der Wiederverwendbarkeit und der Möglichkeit komplexe Themen ansprechend zu vermitteln, lohnt sich sehr häufig das Investment in Serious Games [9, S. 30].

2.3 Unreal Engine

Bearbeitet von Maik

Um ein Serious Game entwickeln zu können, ist die Wahl einer Game Engine von großer Bedeutung. Game Engines sind Software-Frameworks, die speziell zur Entwicklung von Videospielen gedacht sind und eine Vielzahl an Tools und Funktionen bieten, die es Entwicklern erleichtern, effektiv zu arbeiten. Sie bieten unter anderem Grafik-Rendering-Engines bis hin zu Physik-Engines wodurch ebenfalls die Menge an Grundlagenarbeit, die Entwickler normalerweise leisten müssen, reduziert wird. Die mit einem Spiel verbundenen Entwicklungskosten und -zeit können durch bereits vorgefertigte Komponenten verringert werden und bieten sich daher an für die Verwendung von Serious Games. Einige Beispiele für sehr bekannte Game Engines sind die Unreal Engine, Unity, Godot, und CryEngine. Diese Engines bieten unterschiedliche Vor- und Nachteile, abhängig von den spezifischen Anforderungen des Projekts und den Fähigkeiten der Entwickler. Für dieses Projekt haben wir die Unreal Engine 5.3 ausgewählt, aufgrund ihrer erweiterten Grafikfunktionen, verbesserten Leistung gegenüber früheren Versionen, ihrer Kompatibilität für Virtual Reality und einer Vielzahl von Tools, die besonders für die Darstellung komplexer, wissenschaftlicher Inhalte geeignet sind.

Die Unreal Engine, erstmals 1998 eingeführt, ist eine etablierte Plattform in der Spieleentwicklung. Zudem erhält die Unreal Engine regelmäßig neue Updates und konnte sich über die Jahre stark weiterentwickeln. Seit der neuen Version Unreal Engine 5 wurde das Lumen- und Nanite-System eingebaut, womit noch

realistischere Beleuchtungen und hochpolygonale Geometrien möglich werden. Diese und weitere leistungsfähige Rendering Techniken schaffen visuell beeindruckende Möglichkeiten, welche entscheidend für die Immersion und Performance sind. Die Entscheidung für die Unreal Engine basiert auch auf dem benutzerfreundlichen Design, einer umfangreichen Dokumentation und der Fähigkeit, plattformübergreifend arbeiten zu können. Mit der Engine können somit verschiedene Spiele mit unterschiedlichem Leistungsumfang vom Indie-Spiel bis hin zu großen kommerziellen Projekten für verschiedene Geräte entwickelt werden. Darunter befindet sich eine umfassende Unterstützung für verschiedene VR Brillen Modelle wie die Oculus, HTC oder Playstation VR, wodurch die Entwicklung für VR-Anwendungen erleichtert wird [13]. Durch die nahtlose Integration der Virtual-Reality-Technologien ist es möglich, VR Erfahrungen zu entwickeln, welche das immersive Lernen weiter verstärken.

VR bezieht sich auf Technologien, die computergenerierte Umgebungen schaffen, in denen Benutzer vollständig in eine alternative Realität eintreten und diese intensiv erfahren können.

„Virtual reality (VR) refers to computer simulated environments for recreating sensory experiences such as vision, sound, touch, smell and taste, as realistic as possible, to provide an immersion feeling to subjects (Steuer, 1992).“ [14, S. 30]

VR wird in vielen Bereichen für das Training eingesetzt, darunter im Militär, zur Schulung von Industriearbeitern, Feuerwehrleuten und Notfall Helfern. Sie werden zunehmend für experimentelle psychologische Forschungen eingesetzt, insbesondere in Situationen, die für Teilnehmer gefährlich sein könnten, wie das Verhalten in Notfallsituationen. Diese realistische Art von Training wäre in realen Situationen unmöglich umsetzbar. Auch für Themen auf molekularer Ebene lassen sich VR-Anwendungen hervorragend einsetzen, da sie das Verständnis für wissenschaftliche Modelle und deren Anwendungen hervorheben [15, S. 49]. Ein Beispiel hierfür ist die Visualisierung von Proteinstrukturen, die in VR wesentlich verständlicher gemacht werden können. Eine Studie von Tan und Waugh (2013) zeigte, dass Schüler beim Lernen von Molekularbiologie durch den Einsatz von VR-Technologie deutliche Vorteile erfahren. Die breite Akzeptanz und Diskussion

von VR in der Bildung wird auch durch zahlreiche Forschungsarbeiten unterstrichen, die die Effektivität dieser Technologie in Bildungskontexten bestätigen [15, S. 49]. Zudem gibt es weitere wissenschaftliche Studien, welche die Argumente unterstützen, dass Technologie wie VR die Involviertheit von Schülern in wissenschaftliche Aufgaben erhöhen kann [15, S. 49].

Des Weiteren spiele die Authentizität eine wichtige Rolle für das Lernen mit VR:

„The beneficial effect of such realistic contexts can be linked to the potential of technology to make students' learning experiences more authentic and to increase their exposure, engagement and interaction. Authenticity is considered important because more authentic learning experiences may lead to higher cognitive fidelity, which in turn could contribute to better learning outcomes.” [15, S. 49]

Eine starke Immersion fördert somit die Authentizität, wodurch das Erstellen lebendiger interaktiver Welten ein sehr wichtiger Bestandteil ist. Die Authentizität der Lernumgebung in VR ermöglicht es den Schülern, realistischere und damit effektivere Lernexperimente durchzuführen.

Die fortschreitende Entwicklung von VR-Technologien für den schulischen Lehrplan, insbesondere in der Molekularbiologie, zeigt, wie VR genutzt wird, um komplexe wissenschaftliche Inhalte zugänglich und verständlich zu machen. Diese Entwicklungen machen VR zu einem unverzichtbaren Werkzeug für moderne Bildungsansätze, insbesondere in Bereichen, die traditionell als herausfordernd gelten. Die fortlaufende Forschung und Verbesserung in diesem Bereich zeigt das Potenzial, das VR für die Zukunft der Bildung hat.

3. Methodik

Bearbeitet von Jessica und Maik

In diesem Kapitel wird die Methodik beschrieben, die für die Entwicklung und Gestaltung des Serious Games verwendet wurde. Das Vorgehen umfasst die Design- und Entwicklungsprozesse unter Berücksichtigung pädagogischer Theorien und Modelle sowie die Auswahl der geeigneten Werkzeuge und Technologien. Darüber hinaus werden das Konzept und die Planung der Spielmechaniken und Lerninhalte detailliert dargestellt, wobei ein forschungs- und entwicklungsorientierter Ansatz verfolgt wurde. Abschließend werden die Methoden zur Evaluierung des Lernerfolgs erläutert.

3.1 Design- und Entwicklungsprozess

Bearbeitet von Jessica und Maik

Die Entwicklung eines Serious Games erfordert eine genaue Planung und basiert auf verschiedenen pädagogischen Theorien und Modellen, die darauf abzielen, effektive Lernprozesse zu unterstützen. Dabei ist zunächst die Bestimmung des Lernansatzes entscheidend, wobei zwischen den folgenden Lernansätzen unterschieden werden kann:

Behaviorismus: Dieser Ansatz konzentriert sich auf ein beobachtbares Verhalten, wobei das Lernen als Reaktion auf äußere Reize verstanden wird. Die Prozesse, die mental ablaufen, werden dabei nicht beachtet. Dabei spielen Belohnungen und Bestrafungen eine bedeutende Rolle [16, S. 71-73].

Kognitivismus: Dieser Ansatz legt Wert auf die inneren mentalen Prozesse wie Denken, Erinnern und Problemlösen. Der aktive Aufbau und die Organisation von Informationen stehen im Mittelpunkt. Wissen wird selbst konstruiert und nicht einfach übernommen [16, S. 1-3].

Humanismus: Dieser Ansatz hebt die individuelle Entwicklung und Selbstverwirklichung des Lernenden hervor. Er lehnt die behavioristische Methode ab. Lernen ist ein Prozess, der neben kognitive auch soziale oder emotionale Aspekte

umfasst. Selbstbestimmung und die persönliche Relevanz des Lernstoffs sind hierbei von zentraler Bedeutung [16, S. 351].

Konstruktivismus: Bei diesem Ansatz wird Lernen als aktiv-konstruktiver Prozess verstanden, der in einem bestimmten Kontext erfolgt und somit situativ ist. Wissen wird somit nicht einfach übertragen, sondern durch Interaktion und Reflexion mit der Umgebung aufgebaut. Demnach kann Wissen besser verstanden und langfristiger abgespeichert werden, wenn es in einem realen oder realitätsnahen Kontext erworben wird [17, S. 71-73].

„Ein lediglich vermitteltes, mitgeteiltes Wissen bleibt – in der Regel – ‚träge‘, oberflächlich. Ein situiert angeeignetes Wissen wirkt – hoffentlich – nachhaltig, ist verfügbar.“ [17, S. 72]

Die Entwicklung eines VR Serious Games eignet sich hervorragend für den Lernansatz des Konstruktivismus.

Der Fokus liegt darauf, dass der Unterricht auf komplexen, realitätsnahen Problemen basiert. Das Ziel ist es, einen Gesamtzusammenhang zu erfassen und das Wissen in einer realen Umgebung anwenden zu können. Es gilt also, eine Lernumgebung zu schaffen, die vernetztes Denken und reflexive Beobachtungen fördert. Durch die persönliche Auseinandersetzung mit dem Thema soll ein tieferes Verständnis und ein anspruchsvolles Denken hervorgerufen werden [18, S. 890]. Außerdem sei selbstgesteuertes Lernen nicht immer ausreichend effektiv. Rolf Dubs empfiehlt daher eine Kombination aus selbstgesteuertem Lernen mit einem unterstützenden Dialog, um bessere Lernergebnisse zu erzielen [18, S. 897].

Die Grundidee unserer Anwendung basiert daher auf diesen Grundsätzen und versucht, sich danach zu richten. Des Weiteren war die Bestimmung der Zielgruppe von Bedeutung, um die Art und Weise der Wissensvermittlung und die Komplexität in dem Serious Game zu bestimmen. Die Entwicklung des Serious Games richtet sich demnach an Personen ab 16 Jahren, da das Thema Enzymatik komplex ist und ein gewisses Verständnis von chemischen Grundlagen erfordert.

Auf Basis dieser Informationen haben wir einen Spielansatz ermittelt. Im Folgenden beschreiben wir zunächst die Grundidee der Anwendung und den Aufbau des

Spiels, bevor wir zu weiteren pädagogischen Ansätzen kommen, die unsere Entscheidungen weiter begründen.

3.2 Spielkonzept und Planung der Spielmechaniken und Lerninhalte

Bearbeitet von Jessica und Maik

Das nun beschriebene Spielkonzept bietet eine interaktive Lernumgebung, um Spielern grundlegende biologische Prinzipien näherzubringen, mit einem besonderen Fokus auf die Rolle und Bedeutung von Enzymen und Substraten anhand der Biolumineszenz. Das Spiel ist in zwei Hauptphasen gegliedert, die sowohl Bildungsinhalte als auch die Möglichkeit zum spielerischen Experimentieren bieten.

Phase 1: Grundlagen der Enzymaktivität

In der ersten Phase werden die Spieler in einer Unterwasserumgebung eingeführt, in der Enzyme und Substrate frei schweben. Die Umgebung und wichtige Bereiche für das spätere Verständnis werden kurz vorgestellt. Eine begleitende Stimme liefert Anweisungen und erläutert die grundlegenden Konzepte hinter der Enzymaktivität. Anschließend wird der Spieler dazu aufgefordert, ein Enzym und ein Substrat aus dem MEX - Microscopic Enzym Explorer zu greifen. Vor dem Spieler befindet sich nun ein einzelnes Enzym, welches gegriffen werden kann. Nach dem Greifen des Enzyms erklärt die Stimme die typische Endung für Enzyme („-ase“) und die Aufgabe der Enzyme. Anschließend verschwindet das Enzym und ein Substrat erscheint. Nach dem Greifen des Substrates wird erklärt, wie Substrate mit Enzymen reagieren und in was sie umgewandelt werden. Am Ende der Phase erscheinen ein Enzym und ein Substrat. Der Spieler kombiniert das Enzym mit einem Substrat, um einen Enzym-Substrat-Komplex zu bilden. Die begleitende Stimme erläutert, dass Enzyme substrat- und wirkungsspezifisch sind und die Aktivierungsenergie herabsetzen. In diesem Abschnitt lernt der Spieler folgendes:

- Die typische Wortendung für Enzyme „-ase“.
- Dass das Substrat mit dem Enzym eine molekulare Bindung eingeht.
- Die Erklärung, dass Enzyme substrat- als auch wirkungsspezifisch sind.

- Die Bindungsstellen eines Enzyms (Aktives Zentrum).
- Was Enzyme so besonders macht (herabsetzen der benötigten Aktivierungsenergie).
- Die Rolle von ATP.

Phase 2: Einfluss von Umweltbedingungen

Die zweite Phase vertieft die Komplexität durch die Einführung von drei Schieberegler und einem Drehrad, mit denen die Spieler Umweltbedingungen wie Temperatur, pH-Wert, Substratkonzentration und den Grad der Umweltverschmutzung anpassen können. Die Schieberegler zur Anpassung von Umweltbedingungen sind typische Gamification-Elemente, die es den Spielern ermöglichen, aktiv mit den Lerninhalten zu interagieren und unmittelbares Feedback zu erhalten. Durch die gezielte Anpassung der Umweltbedingungen wie Temperatur und pH-Wert in der VR-Umgebung können die Lernenden die Auswirkungen auf die Enzymaktivität in Echtzeit beobachten und verstehen, wie diese Faktoren die theoretischen Konzepte der Enzymkinetik beeinflussen. Die Regler werden nach und nach eingeführt, sodass der Spieler zunächst mit einem Regler experimentiert haben muss, bevor die nächste Phase und damit die nächste Einstellungsmöglichkeit freigeschaltet wird. Es bleibt dem Spieler selbst überlassen, wann die nächste Phase gestartet wird, da man dafür einen Knopf drücken muss. Dadurch kann der Spieler sich ausreichend Zeit zum eigenen Experimentieren nehmen. Die begleitende Stimme unterstützt den Spieler dabei und erklärt zugleich, was in der jeweiligen Phase beobachtet werden konnte. Begonnen wird mit der Temperatur, die über den linken Schieberegler angepasst werden kann. Dabei können zu heiße oder zu kalte Temperaturen eingestellt werden, wodurch sich die Reaktionsgeschwindigkeit verändert, was auf einer Anzeige auf der Konsole sichtbar ist, und die Umgebung heller oder dunkler leuchtet. Außerdem verändern sich die Enzyme im System bei zu hohen Temperaturen. Bei zu niedrigen Temperaturen bewegen sich die Reaktionspartner langsamer. Nachdem diese Beobachtung gemacht wurde, kann der optimale Wert eingestellt werden und anschließend die nächste Phase gestartet werden. Hier müssen Temperatur und pH-Wert entsprechend angepasst werden. Der Spieler kann zudem die Abhängigkeiten für die Reaktionsgeschwindigkeit zwischen Temperatur und pH-Wert beobachten. Anschließend wird der nächste

Schieberegler für die Substratkonzentration dazugenommen.

In der letzten Phase kann die Abhängigkeit der Schwermetallkonzentration über das Aufdrehen eines Drehrades beobachtet werden. Dabei verändert sich die Anzahl der Schwermetalle im System und aus einer Röhre in der näheren Umgebung wird Abfall in die Umwelt entlassen.

In dieser Phase kann Folgendes gelernt werden:

- **Temperatur:** Spieler erfahren, wie Temperaturschwankungen die Enzymstruktur beeinflussen können, wobei extrem hohe Temperaturen zur Denaturierung führen und niedrige Temperaturen die Bewegungsgeschwindigkeit beeinflussen.
- **pH-Wert:** Die Bedeutung des pH-Werts für die Enzymaktivität wird verdeutlicht, indem gezeigt wird, wie Abweichungen vom optimalen pH-Wert die Enzymfunktion hemmen, indem sie die Struktur der Enzyme verändern.
- **Substratkonzentration:** Durch die Anpassung dieses Parameters lernen die Spieler die Michaelis-Menten-Kinetik kennen und wie Veränderungen in der Substratkonzentration die Reaktionsgeschwindigkeit beeinflussen. Dadurch lernen sie auch die Enzymsättigung kennen.
- **Umweltverschmutzung:** Hier wird die Rolle von Schwermetallen als Inhibitoren hervorgehoben, um zu zeigen, wie Umweltverschmutzungen enzymatische Reaktionen stören können. Die begleitende Stimme erklärt, dass Schwermetalle sich an Enzyme binden, was die Funktion der Enzyme beeinträchtigt.

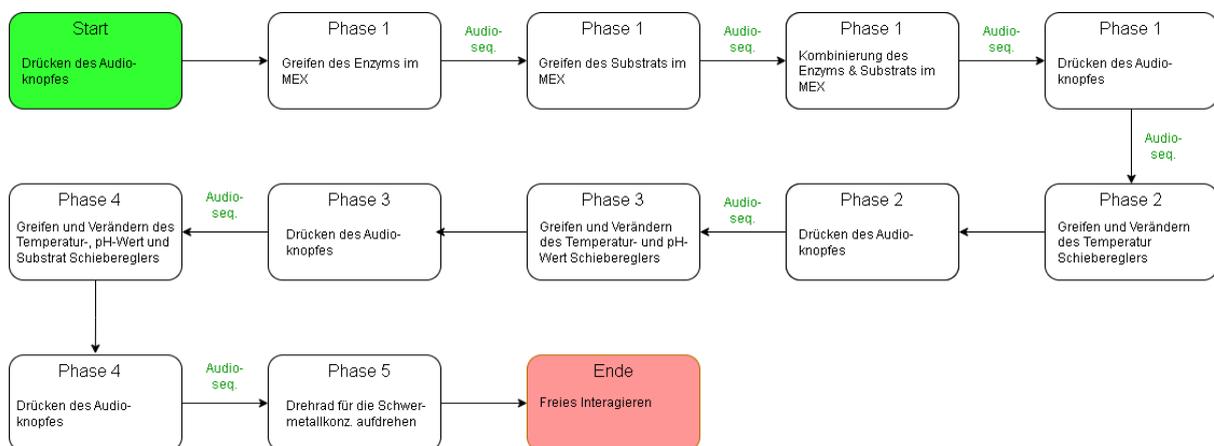


Abb. 4 Flow Chart des Spielablaufs

Durch das Experimentieren mit diesen Parametern und die Beobachtung der resultierenden Effekte auf die Enzyme und die Umwelt lernen die Spieler, wie biologische Prozesse von verschiedenen externen Faktoren abhängen. Die Visualisierung dieser Veränderungen macht abstrakte wissenschaftliche Konzepte greifbar und leicht verständlich. Dieser Ansatz entspricht dem Prinzip des Lernens durch Handeln. Indem die Lernenden aktiv in die Lernumgebung eingebunden werden und Aufgaben direkt ausführen, vertiefen sie ihr Verständnis und erhöhen die Gedächtnisleistung [19, S. 298].

Die Anwendung deckt das wichtigste Grundlagenwissen ab. Aufgrund der zeitlichen Begrenztheit dieser Arbeit konnten jedoch einige Bereiche der Enzymatik nicht in die Anwendung integriert werden. Diese Bereiche bieten Raum für zukünftige Erweiterungen und Vertiefungen.

Das Ziel der Anwendung ist es, Wissen anschaulich zu vermitteln und zunächst ein situationales Interesse aufzubauen, das hoffentlich in ein dauerhaftes individuelles Interesse übergeht. Forschungsergebnisse zeigen, dass Interesse eine wichtige Voraussetzung für den Lernerfolg bildet. Lehrkräfte haben jedoch häufig Schwierigkeiten, das Interesse bei unmotivierten Schülern zu wecken und aufrechtzuerhalten [20, S. 112]. Situationales Interesse kann durch Umweltreize ausgelöst werden und führt zu einer fokussierten Aufmerksamkeit und einer affektiven Reaktion [20, S. 113]. Zudem sei die Form des interaktiven Lernens eine der besten Möglichkeiten, um Informationen nachhaltig abzuspeichern. Dies wird auch von der Autorin Michelene T. H. Chi betont, die feststellt, dass interaktive Aktivitäten wahrscheinlich effektiver als konstruktive, diese wiederum effektiver als aktive und alle besser als passive Aktivitäten sind:

„The framework generates a testable hypothesis for learning: that interactive activities are most likely to be better than constructive activities, which in turn might be better than active activities, which are better than being passive.”
[21, S. 73]

Bei der Entwicklung des Serious Games haben wir daher besonderen Augenmerk auf eine immersive und interaktive Umgebung gelegt, wie das Leuchten der Umwelt durch Biolumineszenz sowie einer lebendigen Landschaft. Die Landschaft erfordert

dabei eine sorgfältige Planung, um nicht nur eine realistische Wirkung zu erzielen und somit die Immersion zu verstärken, sondern auch um einen interessanten Rundumblick zu gewährleisten. Wir haben die Landschaft in verschiedene Bereiche mit unterschiedlichen Höhen gestaltet. Einige dieser Bereiche sind Lebensräume für Fische und Kalmare, während andere genutzt wurden, um den Einfluss von Verschmutzung oder der Enzymreaktion darzustellen.

Laut James Paul Gee ist es außerdem förderlich, unterschiedliche Level anzubieten und Themen nacheinander einzuführen. Dies hilft den Spielern, grundlegende Prinzipien zu erlernen und später wieder anzuwenden. Spieler können Fähigkeiten schrittweise verbessern, was letztendlich zu einem tieferen Verständnis und besseren Lernergebnissen führt [22, S. 2]. Aufgrund dessen haben wir unterschiedliche Spielphasen für unser Serious Game eingeplant. Somit kann das Grundlagenwissen Schritt für Schritt erlernt werden, wobei die erste Phase die wichtigsten Grundprinzipien beibringt und die späteren Phasen sich mit äußeren Einflussfaktoren beschäftigen. Wie bereits im Konzept erwähnt, kann der Spieler selbst entscheiden, wann die nächste Runde gestartet wird. Wenn die optimalen Bedingungen hergestellt wurden, beginnt ein Knopf auf der Konsole zu blinken. Werden die Bedingungen wieder verändert, hört der Knopf auf zu blinken. Das Betätigen eines blinkenden Knopfes leitet die nächste Phase ein, während das Betätigen eines nicht blinkenden Knopfes die Informationen der aktuellen Phase wiederholt. Das Wiederholen einer Phase kann jederzeit durch erneutes Drücken des Knopfes unterbrochen werden, damit nicht das gesamte Audio erneut angehört werden muss. Dadurch wird die Anwendung an verschiedene Lerngeschwindigkeiten angepasst.

Da eine kontinuierliche Beschäftigung oder Unterstützung erforderlich ist, damit ein Rückgang des Interesses vermieden wird [20, S. 112-113], bietet unsere VR-Anwendung wiederholte Interaktionen, Aufforderungen und kontinuierliche Herausforderungen, um das Interesse der Lernenden aufrechtzuerhalten und zu vertiefen.

3.3 Auswahl und Begründung der eingesetzten Werkzeuge und Technologien

Bearbeitet von Jessica und Maik

Der Arbeitsbereich des Spielers wurde in drei Hauptbereiche unterteilt, um dem Spieler eine klare Fokussierung zu ermöglichen und die Informationsaufnahme zu maximieren. Einer der Bereiche ist die Darstellung der Enzymreaktionen auf makroskopischer Ebene, welche es ermöglicht den normalerweise mikroskopisch kleinen Bereich mit der makroskopischen Ebene zu verbinden, wodurch eindrucksvoll gezeigt werden kann, welchen Einfluss die Enzymreaktionen auf die Umwelt hat. Somit können leichter Verbindungen aufgebaut und abstrakte und unsichtbare Vorgänge sichtbar gemacht werden, wodurch das Verständnis und die Analyse erleichtert wird. Die Unterwasserumgebung mit der biolumineszenten Flora und Fauna bildet einen weiteren Bereich, der die Auswirkungen der Enzymreaktion widerspiegelt. Dieser Bereich befindet sich rund um die Kuppel (siehe Bereich 3, Abb. 5).

Innerhalb der Umgebung befindet sich ein Bereich, der Verschmutzungen verdeutlichen soll und für die letzte Spielphase interessant wird. Zuletzt bildet die Konsole ebenfalls einen Bereich, über den der Spieler verschiedene Parameter einstellen können soll.

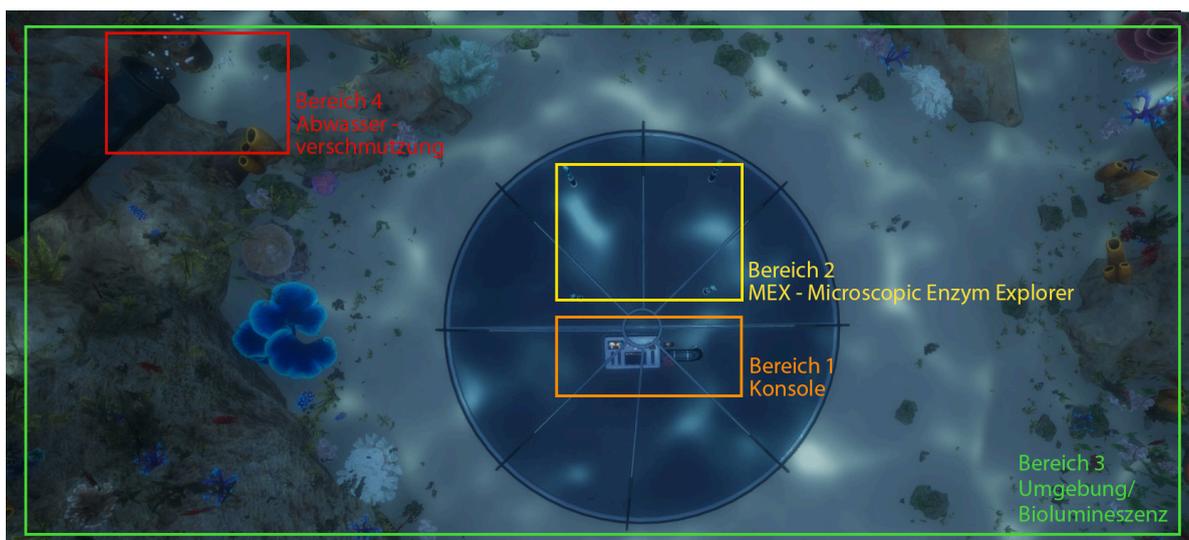


Abb. 5 Aufteilung in vier Bereiche für den Spielerfokus

Bei der Planung dieser Konsole wurden mehrere Prinzipien der Benutzeroberflächengestaltung berücksichtigt, um eine intuitive und effektive Bedienung zu gewährleisten. Wir haben uns zuerst überlegt, welche Regler, Knöpfe und Bildschirme wir brauchen. Anhand dessen wurden die möglichen Platzierungen der einzelnen Teile geplant. Die Regler sollen dabei von links nach rechts eingeführt werden, damit dem Spieler schnell eine Reihenfolge klar wird. Die beiden Regler für Temperatur und pH-Wert liegen dabei dicht beieinander und wirken dadurch zusammengehörig. Dies passt damit überein, dass sie beide einen ähnlichen Einfluss auf die Enzyme haben. Durch die Wiederholung ähnlicher Bedienelemente und Layouts wird eine konsistente Benutzererfahrung geschaffen. Dies erleichtert das Erlernen und die Bedienung der Konsole. Die Schieberegler und das Drehrad besitzen ein rotes Material und zeigen somit an, dass alle roten Teile auf der Konsole Bedienelemente sind. Zusätzlich wurden die Bildschirme alle in einer Reihe platziert. Der zentrale Bildschirm ist gut sichtbar in der oberen Mitte platziert. Dies weist auf seine Bedeutung hin und ermöglicht dem Benutzer, wichtige Informationen schnell zu erfassen. Verschiedene Symbole sollen die Funktionalitäten der einzelnen Bedienelemente deutlich machen, so wurde für die Temperatur, pH-Wert und für die Schwermetalle stets ein dazu passendes Zeichen verwendet, damit die Bedienelemente dauerhaft auseinandergehalten werden können und damit sich der Spieler diese Information nicht merken muss. Auch die Knöpfe im unteren Bereich werden durch Symbole verdeutlicht. Diese Symbole sind intuitiv verständlich und weisen auf spezifische Funktionen hin.

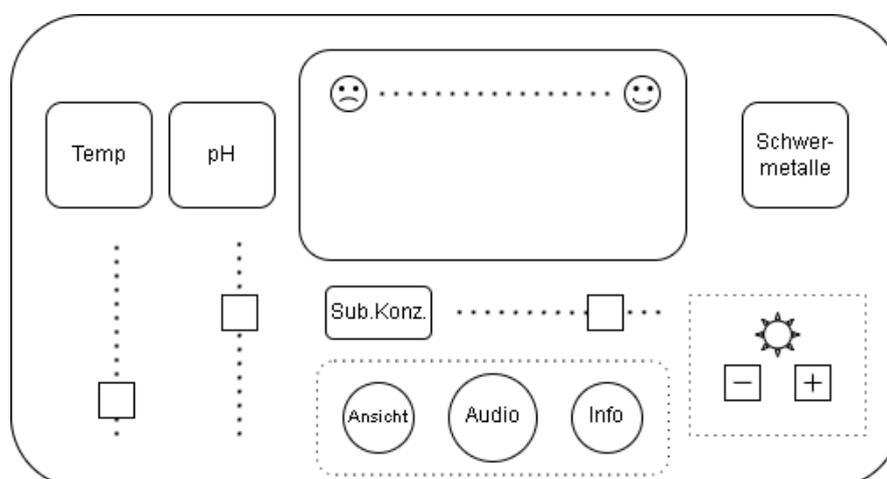


Abb. 6 Erste Überlegung der Platzierung

Nach der Umsetzung der einzelnen Positionen und ersten Tests in der Anwendung haben wir uns entschieden, das anfängliche Design zu verwerfen und weiter umzubauen, damit ein versehentliches Drücken der Knöpfe verhindert wird und Anzeigen leichter lesbar werden. Somit wird die Benutzerfreundlichkeit erhöht. Dadurch werden Nutzerfehler minimiert und eine stressfreie und angenehme Bedienung hergestellt [23]. Der Bildschirm für die Schwermetallkonzentration wurde von der Konsolenoberfläche entfernt und stattdessen an der rechten Seite angebracht. Dies unterstützt ebenfalls den Unterschied zu den anderen Reglern, da sich die Erhöhung von Schwermetallen stets negativ auswirkt. Eine separate Anzeige für die Schwermetallkonzentration sorgt zudem für eine klare und übersichtliche Anordnung der restlichen Anzeigen auf der Konsole.

Die Knöpfe bleiben leicht erreichbar, wurden aber weiter nach oben verschoben und leicht im Dreieck angeordnet, damit nicht aus Versehen mehrere Knöpfe gleichzeitig gedrückt werden.



Abb. 7 Neuer Konsolenaufbau

Diese Knöpfe sollen beim Experimentieren genutzt werden können, um das Wissen zu vertiefen oder zu erweitern. Der Infobutton soll die gelernten Informationen noch einmal textlich und mit einem Hologramm darstellen, damit Informationen an einem späteren Zeitpunkt noch einmal nachgelesen und wiederholt werden können, da Wiederholungen für das Erinnern von Bedeutung sind.

Ein weiterer Knopf basiert auf der Überlegung, wie Substrate und ATP im System dargestellt werden sollen. In Biologie-Textbüchern findet sich normalerweise eine ikonische Darstellung der Enzyme und Substrate wieder, wobei jedoch wichtige Informationen verloren gehen können [15, S. 47].

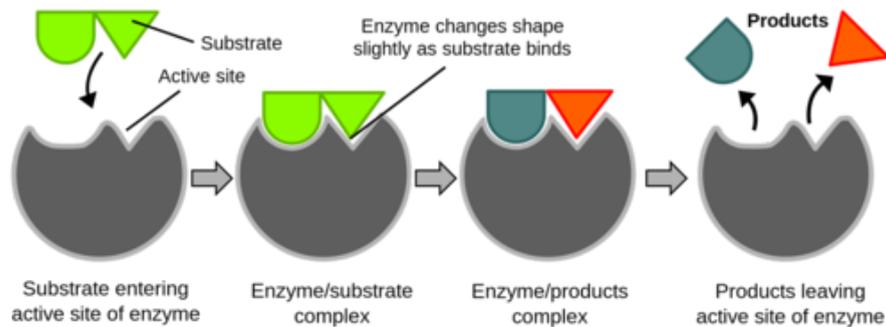


Abb. 8 *Darstellungsform in Biologiebüchern* [vgl. Abb.-Verz. 1]

Unsere Anwendung soll die Enzyme und Substrate in 3D darstellen. Anhand dieser Basis wurden 3D-Modelle der Reaktionsteilnehmer vom National Institutes of Health verwendet, um eine realitätsnahe Darstellung zu erhalten. Da die Firefly-Luciferase, zu Deutsch Glühwürmchen-Luciferase, eine der am besten erforschten Luciferasen ist, haben wir uns für diese Art von *Photinus pyralis* entschieden. Außerdem hat die Firefly Luciferase einen deutlichen Aufbau, bei dem die unterschiedlichen Bindungsstellen gut von außen zu sehen sind.

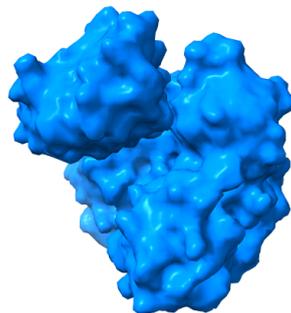


Abb. 9 *Luciferase in der Oberflächendarstellung* [vgl. Abb.-Verz. 5]

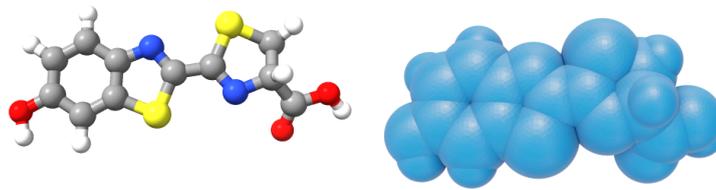


Abb. 10 Luciferin in Molekül und raumfüllender Repräsentation [vgl. Abb.-Verz. 6]

Für ein tieferes Verständnis kann mit dem Knopf die Ansicht zwischen molekularer und raumfüllender Repräsentation gewechselt werden. Dabei ändert sich das Aussehen der Reaktionsteilnehmer Luciferin, ATP, ADP und Oxyluciferin. Das Enzym Luciferase ändert sich nicht, da die Peptiddarstellung nur einen schlechten Überblick ermöglichen würde (siehe Abbildung 11).

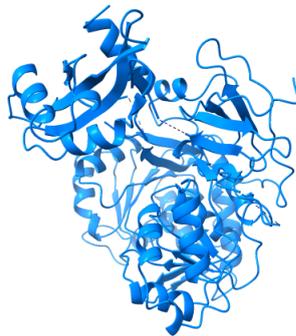


Abb. 11 Peptiddarstellung des Enzyms [vgl. Abb.-Verz. 5]

Nicht nur eine geeignete Darstellungsweise ist für die Anwendung von Bedeutung, sondern auch die Positionierung wichtiger Bindungsstellen, welche zuerst anhand von Forschungsdaten bestimmt werden mussten. Auch wenn nur wenige Informationen über die genauen Bindungsstellen bekannt sind, gibt es einige Aminosäuresequenzen, die in der Forschung genannt werden. Das Firefly Luciferase Enzym besteht dabei aus einer oberen und unteren Struktur, wobei die untere den größeren Teil bildet. Die wichtigste Bindungsstelle stellt dabei das aktive Zentrum dar. Dieses kann bereits an der äußeren Form des Enzymes erkannt werden, wobei

man annimmt, dass das aktive Zentrum in der unteren Struktur des Enzymes liegt [24, S. 25]. Demnach bildeten sich folgende Aminosäuren heraus, die für die Bindung von Luciferin an Firefly Luciferase benötigt werden: R218, 244HHGF247, 315GGA317, 340YGLTE344, A348 und I351 [25, S. 1752]. Mithilfe einer Software zur Proteindarstellung haben wir die einzelnen Bindungsstellen zur Visualisierung markiert [26].

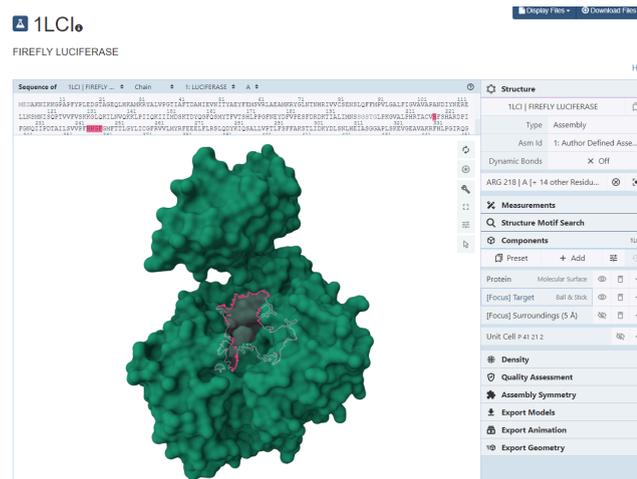


Abb. 12 Beteiligte Aminosäuren, um Luciferin zu binden. Markiert sind R218, 244-247, 315-317, 340-344, A348 und I351

Wir haben daher das aktive Zentrum in unserer Anwendung auf diesen Bereich bezogen, da an dieser Stelle eine direkte Verbindung mit dem Substrat eingegangen werden kann.

Die nächste wichtige Bindungsstelle ist die ATP-Bindungsstelle. Hierzu gibt es leider keine direkten Daten, da nur die AMP-Bindungsstelle bekannt ist. Es ist aber anzunehmen, dass sich die ATP-Bindungsstelle in der Nähe der AMP-Bindungsstelle befindet. Das AMP-Bindemotiv ist direkt an der kovalenten Bindung von AMP beteiligt, welches durch die Abspaltung von zwei Phosphatgruppen von ATP entsteht. Eine räumliche Nähe der beiden Bindungsstellen ist daher anzunehmen. Die Aminosäuresequenz für die Firefly Luciferase wird demnach bei 234-245 vermutet [27, S. 543].

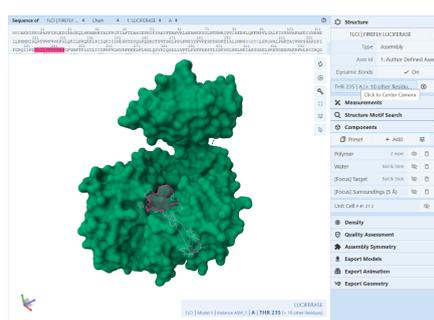


Abb. 13 AMP-Bindungsstelle bei Firefly Luciferase. Markiert sind 234-245

Die letzte Bindungsstelle von Bedeutung, ist das allosterische Zentrum für Schwermetalle. Einige Forschungsdaten belegen, dass die Aminosäure H310 eine wichtige Rolle für die Metallempfindlichkeit spielt. Zusätzlich seien die Aminosäuren E311/R337 und E354 ebenfalls für die Bindung mit Schwermetallen verantwortlich [28, S. 997]. Diese Aminosäuren wurden im folgenden Modell markiert.

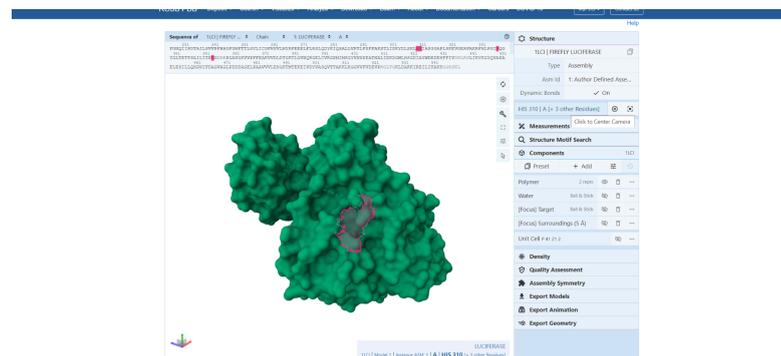


Abb. 14 Position der Metallionen Bindungsstelle zur Hemmung. Markiert sind E311/R337 and H310/E354

Nachdem sowohl der Lerninhalt als auch die wichtigsten Grundsteine wie Bindungsstellen und Darstellungsformen gelegt wurden, konnten wir uns mit dem Schreiben eines passenden Skriptes für das Audio beschäftigen. Wichtig dabei war es, die wichtigsten Informationen möglichst präzise darzustellen und wichtige Bereiche und Aufgaben einzuleiten. Die Einleitung in die Anwendung sollte einen spielerischen Charakter verfolgen und daher zunächst eine kleine Geschichte einführen, in der der Spieler als Forscher vorgestellt wird (siehe Anhang 2). Anschließend

wurde die Stimme mittels einer KI-Stimme eingesprochen und das Audio später an die passenden Stellen eingebaut.

3.4 Methoden zur Evaluierung des Lernerfolgs

Bearbeitet von Jessica und Maik

Um die Effektivität des Serious Games zu evaluieren, wurde eine Nutzerstudie geplant. Der Studienaufbau sieht drei Testgruppen vor:

- Eine Gruppe spielt unsere VR-Anwendung.
- Eine Gruppe liest einen Text über das Thema Enzymatik für 10 Minuten.
- Eine Gruppe kombiniert beides (5 Minuten lesen, dann VR-Spiel).

Alle Gruppen beantworten nach einer Stunde dieselben Fragen zum Gelernten. Testgruppe 1 und 3 beantworten noch zusätzliche Fragen über die Zufriedenheit mit der Anwendung und der Lernpräferenz. Es kann somit herausgefunden werden, ob das VR-Spiel alleine besser, schlechter oder gleichwertig im Vergleich zur Kombination aus Lesen und VR oder nur Lesen ist. Mit den Gruppen 1 und 2 kann die Effektivität unserer Anwendung bestimmt werden. Die dritte Gruppe reflektiert nicht nur eine realistische Lernsituation, in der verschiedene Methoden kombiniert werden, sondern bietet zusätzliche Einblicke, ob eine Kombination bevorzugt wird, was für die Entwicklung zukünftiger Lernmethoden nützlich sein kann. Die Durchführung dieser Studie wird in Kapitel 5 genauer erläutert.

4. Spielmechanik und Entwicklung

4.1 Unterwasserumgebung

Bearbeitet von Maik

Bei der Entwicklung des Serious Games beginnen wir damit, die Umgebung möglichst realistisch darzustellen. Unsere Wahl fiel auf eine Unterwasserwelt, da ein

Großteil der biolumineszenten Lebewesen unter Wasser existiert. Ungefähr 80 % der Tiefseeorganismen sind dafür bekannt, biolumineszent zu sein [29, S. 1]. Diese Umgebung bietet nicht nur eine interessante und aufregende Erfahrung für die Anwender, sondern nutzt auch Prinzipien der pädagogischen Psychologie, die besagen, dass ein immersives und ansprechendes Lernumfeld die Motivation und Aufmerksamkeit der Lernenden signifikant erhöht [19, S. 298]. Darüber hinaus ermöglicht die realistische Darstellung der Unterwasserwelt den Lernenden, sich besser in die biologischen Prozesse hineinzusetzen und ein tieferes Verständnis zu entwickeln.

In der Unreal Engine gibt es viele verschiedene Möglichkeiten, Unterwasser-szenarien zu erzeugen. Allerdings ist die Darstellung von Wasser häufig besonders für VR problematisch, da eine realistische Repräsentation viel Rechenzeit benötigt. Dies liegt zum einen an der Durchsichtigkeit (Opacity) und Reflexion der Texturen, wodurch die Shader-Komplexität höher ist und zum anderen an der Bewegung der Wellen, welche kontinuierlich berechnet werden muss. Die Herausforderung besteht darin, eine Balance zwischen realistischer Darstellung und Systemperformance zu finden. Laut Smith et al. sind Optimierungen in der VR-Entwicklung entscheidend, um eine flüssige und immersive Nutzererfahrung zu gewährleisten.

„In the context of IVR, usability can be defined as the extent to which the IVR system can be utilized by specified users to achieve specified goals with effectiveness, efficiency, and satisfaction in a specified context of use (ISO 2018). Thus, usability has to do with the outcome of interacting with a system, and can be understood in terms of user performance and satisfaction (ISO 2018).“ [30, S.952]

Zumal eine hohe Bildwiederholungsrate förderlich sein kann, um Motion Sickness, oder zu Deutsch der Simulatorkrankheit, vorzubeugen. Um in VR eine möglichst performante Anwendung zu erstellen, haben wir uns entschieden, eine eigene Unterwasserwelt anzufertigen. Dazu haben wir zunächst die Atmosphäre, den Himmel und die Sichtweite mithilfe von Nebel angepasst.

Für die Farbgebung der Umgebung haben wir uns an den wissenschaftlichen Grundsatz gehalten, dass Blaulicht, gefolgt von Grün, im Wasser am weitesten

vordringt. Die Farben Rot und Gelb hingegen sind langwellige Lichter. Sie werden daher vollständig absorbiert und nicht wie Blau oder Grün reflektiert [31, S. 182260]. Diese physikalischen Prinzipien basieren auf der Lichtabsorption im Wasser, die entscheidend für die visuelle Wahrnehmung unter Wasser ist. Die verschiedenen Reichweiten der unterschiedlichen Lichtspektren werden ebenfalls von den lichterzeugenden Organismen berücksichtigt. Viele Organismen senden daher eher blaues oder grünes Licht aus. Es gibt jedoch auch Arten mit rotem Licht, da diese Lebewesen nicht aus der Ferne gesehen werden können und viele Unterwasserarten eine Rotblindheit aufweisen [32, Kapitel 13]. Dies ermöglicht es ihnen, unentdeckt zu bleiben oder spezielle Kommunikationsmethoden zu nutzen.

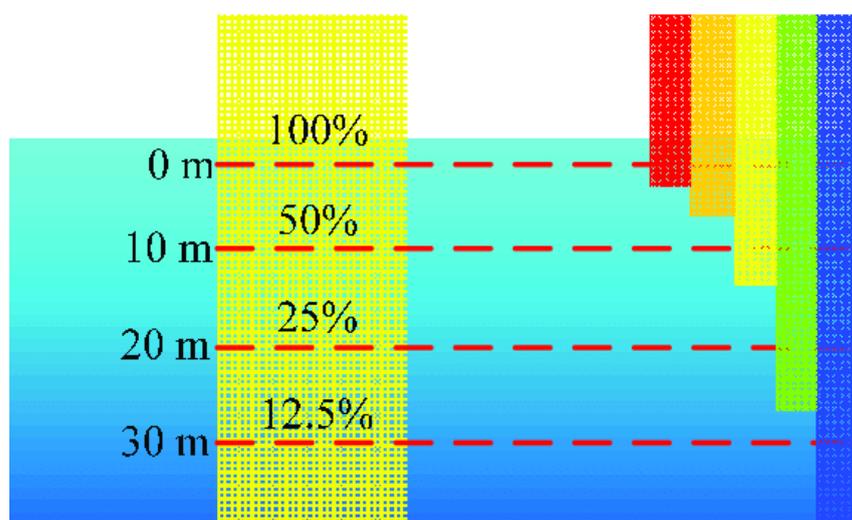


Abb. 15 Absorption von Licht im Wasser [vgl. Abb.-Verz. 7, S. 182260]

Da die Anwender später mit der Geschwindigkeit der enzymatischen Reaktion spielen sollen, haben wir uns für eine Tiefe entschieden, in der es nicht zu dunkel ist, wenn die Umgebung nur sehr schwach leuchtet. Außerdem sollen sich die Anwender wohlfühlen und nicht das Gefühl haben, unter Wasser erdrückt zu werden. Das Gefühl, die Wasseroberfläche noch sehen zu können, trägt eine beruhigende Komponente bei. Um effektiv lernen zu können, ist das körperliche Wohlbefinden von großer Bedeutung [17, S. 33].

„Der Psychologe Antonio Damasio betont die Bedeutung der »Empfindungen«, die zwischen Subjekt und äußeren Objekten, zwischen Körper und Geist, zwischen Gefühl und Verstand vermitteln. Jeder

nachhaltige Lernprozess ist mit solchen – angenehmen oder unangenehmen – Empfindungen verknüpft.” [17, S. 36]

Außerdem erhöht sich die Nachhaltigkeit des Lernens, wenn die Ästhetik des Lernortes ansprechend ist [17, S. 36]. Untersuchungen haben gezeigt, dass ästhetisch ansprechende Umgebungen das Wohlbefinden und die Lernbereitschaft positiv beeinflussen können [17, S. 36]. Für diesen Effekt haben wir zunächst das Directional Light und das Sky Light verändert und die Sichtweite mithilfe von Nebel stark eingeschränkt. Das Directional Light soll am Boden das von der Wasseroberfläche gebrochene Licht darstellen. Dafür haben wir ein *Light Function Material* zum Licht hinzugefügt. Um den Effekt zu erzeugen, haben wir eine Wasseroberflächentextur mithilfe mehrerer Panner in verschiedene Richtungen bewegen lassen. Diese sich bewegenden Texturen werden dann mit einem Multiply übereinandergelegt und mit der Emissive Color des Materials verbunden, damit es aussieht wie das Leuchten unter Wasser.

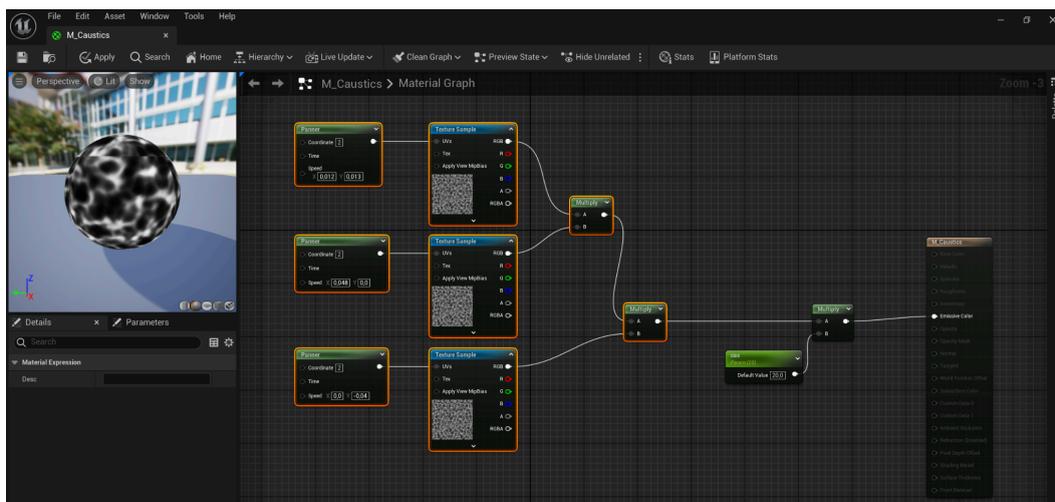


Abb. 16 M_Caustic Funktion für das Licht von der Wasseroberfläche

Um die Umgebung nun weiter anzupassen, haben wir ein Post Process Volume verwendet und die Umgebung weiter angepasst. Letztendlich befinden wir uns in einer Wassertiefe, bei der die Wasseroberfläche noch sichtbar ist. Diese besteht in unserem Fall aus einer Plane und einem dafür erstellten Material. Das Material wird wie das *M_Caustic* Material auch mithilfe mehrerer Panner in verschiedene Richtungen bewegt. Diesmal wird sowohl die Textur als auch die Normalmap

bewegt. Um die Normalmaps miteinander zu vereinen, wird ein *Blend Angle Corrected Normals-Node* verwendet.

Damit sich der Anwender nicht direkt unter Wasser befindet, haben wir eine Kuppel erstellt und eingefügt.

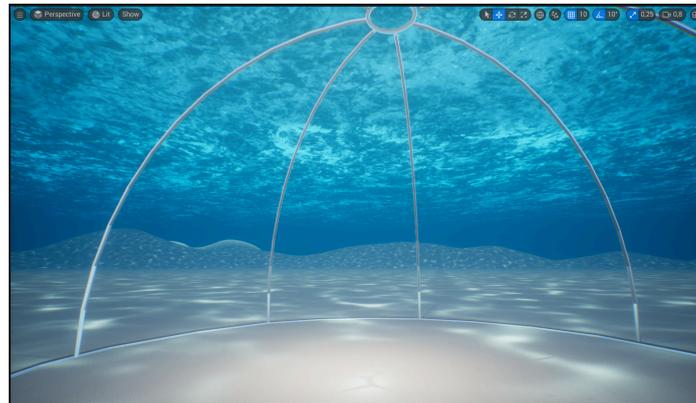


Abb. 17 Fertige Unterwasserumgebung ohne Foliage und Erhöhungen

Der nächste Schritt besteht darin, die Umgebung mit ausreichend Pflanzen zu versehen und das Terrain weiter anzupassen. Für die biolumineszente Umgebung haben wir verschiedene Korallen und Seegräser verwendet, von denen ein Teil später leuchten soll.

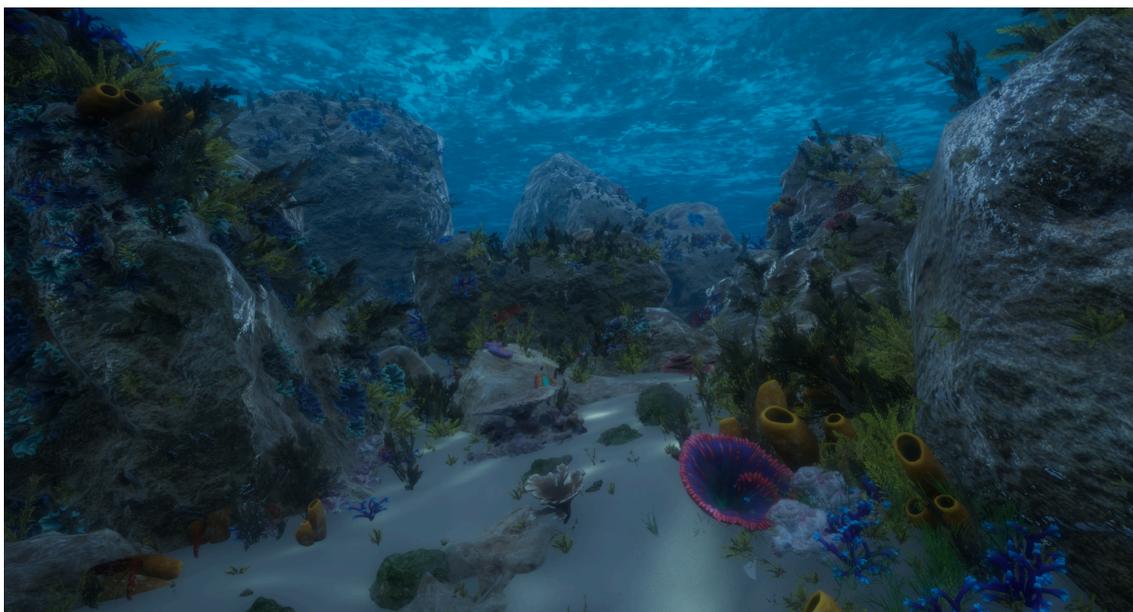


Abb. 18 Abbildung der Spielwelt ohne das Leuchten der Biolumineszenz

4.2 Implementierung der Reaktionsteilnehmer

Bearbeitet von Jessica

Für die Implementierung der Reaktionsteilnehmer haben wir uns für die Verwendung von Behavior Trees entschieden. Behavior Trees bieten die Möglichkeit, künstliche Intelligenz für Nicht-Spieler-Charaktere zu erstellen, wobei unterschiedliche Logikzweige je nach aktuellem Zustand ausgeführt werden. Die Entscheidung, welche Zweige ausgeführt werden sollen, beruht auf einem weiteren Asset, den Blackboards. Blackboards bilden das Gedächtnis der KI, indem sie Schlüsselwerte wie Booleans speichern, anhand derer die KI Entscheidungen trifft [33].

Um Behavior Trees in Unreal umzusetzen, haben wir zunächst die einzelnen 3D-Modelle in Blueprints umgewandelt. Jeder Blueprint wurde dabei einem AI Controller zugewiesen, der später die Verbindung zum Behavior Tree herstellt. Anschließend wurden Vorüberlegungen zu den einzelnen Funktionalitäten und deren Ablauf angestellt (siehe Abbildungen 19-21).

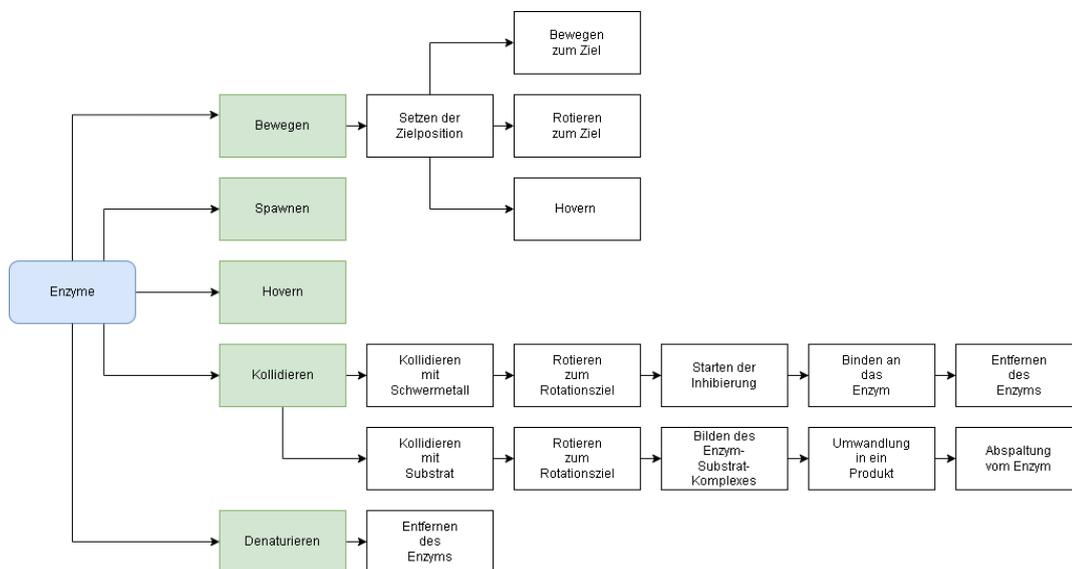


Abb. 19 Vorüberlegungen zu den Funktionalitäten des Enzyms

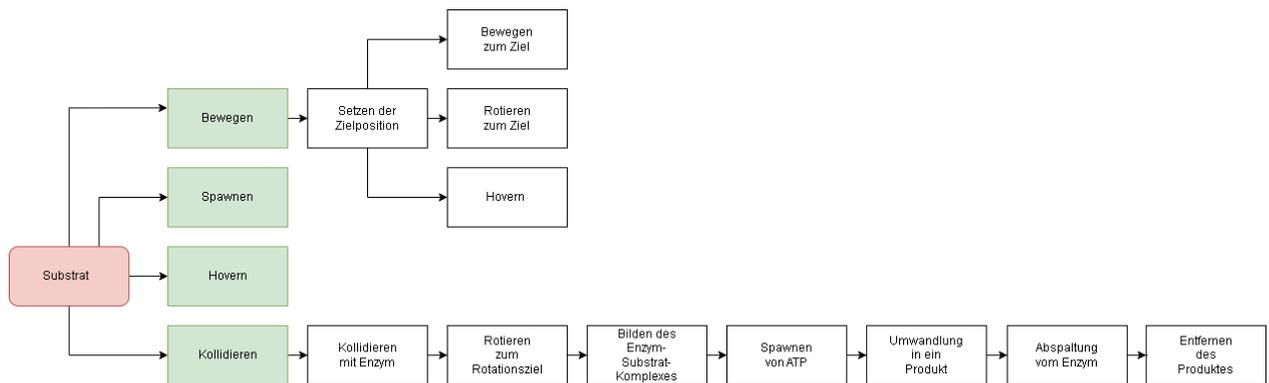


Abb. 20 Vorüberlegungen zu den Funktionalitäten des Substrats

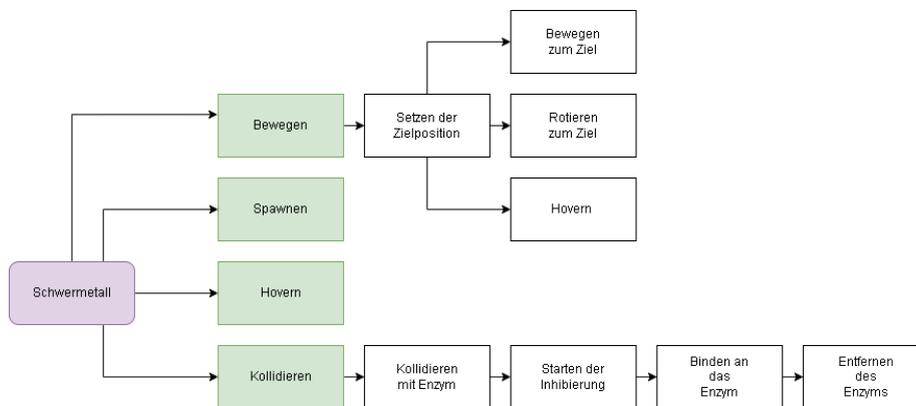


Abb. 21 Vorüberlegungen zu den Funktionalitäten des Schwermetalls

Die Gemeinsamkeit aller Reaktionsteilnehmer liegt in der Bewegung. Die Reaktionsteilnehmer sollen ein komplexes Bewegungsverhalten aufweisen, bei dem sie durch die Umgebung schweben, sich dabei rotieren und auf- und ab bewegen. Dieses Bewegungsmuster soll möglichst nah an dem Gefühl von schwebenden Reaktionsteilnehmern liegen. Nach dem Ausführen einer Bewegung soll es Momente geben, in denen die Reaktionsteilnehmer für einen kurzen Moment auf und ab schweben, bevor die nächste Bewegung eingeleitet wird. Für diesen Ablauf wurde im Behavior Tree eine Sequenz erstellt, die immer wieder ausgeführt wird, bis sich der Zustand des Systems ändert. Das Bewegungssystem beginnt mit der Task *MoveToRandomLocation*, bei der zunächst eine Position in einem Bereich als Ziel und ein Rotationsziel ausgewählt werden und dann die Bewegung schrittweise über einen *SetTimerByEvent* ausgeführt wird. Somit wird eine flüssige Bewegung der Reaktionsteilnehmer garantiert. Bei jedem Aufruf wird die neue Position über

Interpolation zwischen der aktuellen Position und der Zielposition berechnet. Anschließend wird überprüft, ob die Zielposition erreicht wurde. Ist das der Fall, wird die nächste Funktion *HoverWait* aus dem Behavior Tree abgerufen.

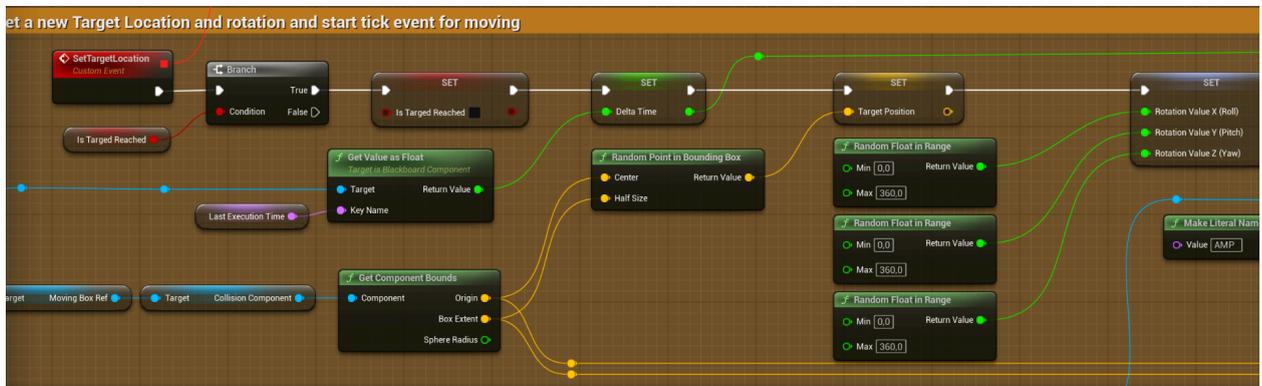


Abb. 22 Setzen des Zielortes und der Zielrotation über zufällige Werte.

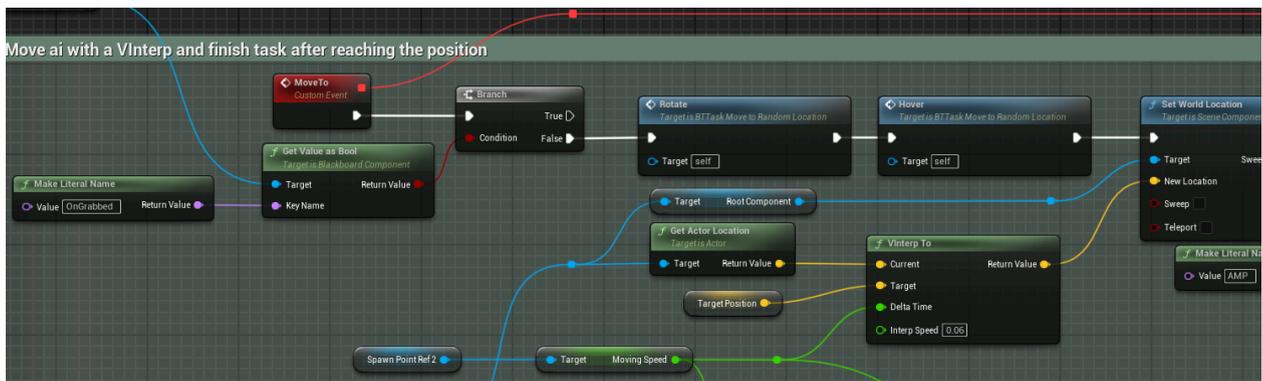


Abb. 23 Bewegung mittels Interpolation

Die Rotation innerhalb der Bewegung wird mittels Quaternionen durchgeführt, um einen Gimbal Lock zu verhindern, der zu einem Zittern der Reaktionsteilnehmer geführt hätte. Ein Gimbal Lock tritt auf, wenn für die Orientierung im dreidimensionalen Raum zwei der drei Rotationsachsen in eine parallele Ausrichtung geraten. Dadurch geht eine der Rotationsachsen verloren, weshalb bestimmte Bewegungsmuster nicht mehr möglich sind. Ein Gimbal Lock tritt bei der Verwendung von Euler-Winkeln auf, da Euler-Winkel die Rotationsdarstellung mittels drei aufeinanderfolgender Drehungen (X, Y, Z) beschreiben. Quaternionen hingegen nutzen vier Werte, wobei einer davon ein Skalar und die anderen drei einen dreidimensionalen Vektor bilden.

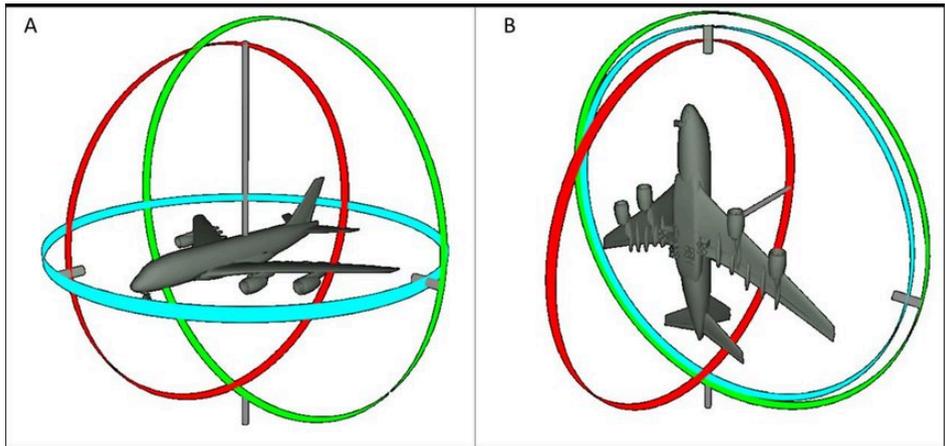


Abb. 24 Situation des Gimbal Locks bei der Berechnung mit Euler Winkeln [vgl. Abb.-Verz. 8]

Nachdem die Zielposition erreicht wurde, sollen die Reaktionsteilnehmer kurz an einer Stelle verharren und sich dabei auf- und ab bewegen. Die Auf- und-ab-Bewegung erfolgt dabei in der Task *HoverWait*, wobei mithilfe einer Sinusfunktion über Interpolation der Z-Wert angepasst wird. Die Hover-Funktionalität befindet sich ebenfalls beim Bewegungsaufwurf *MoveToRandomLocation*, sodass sich Reaktionsteilnehmer nicht direkt auf ihre Zielposition zu bewegen, sondern Variationen in ihrer Bewegung aufweisen.

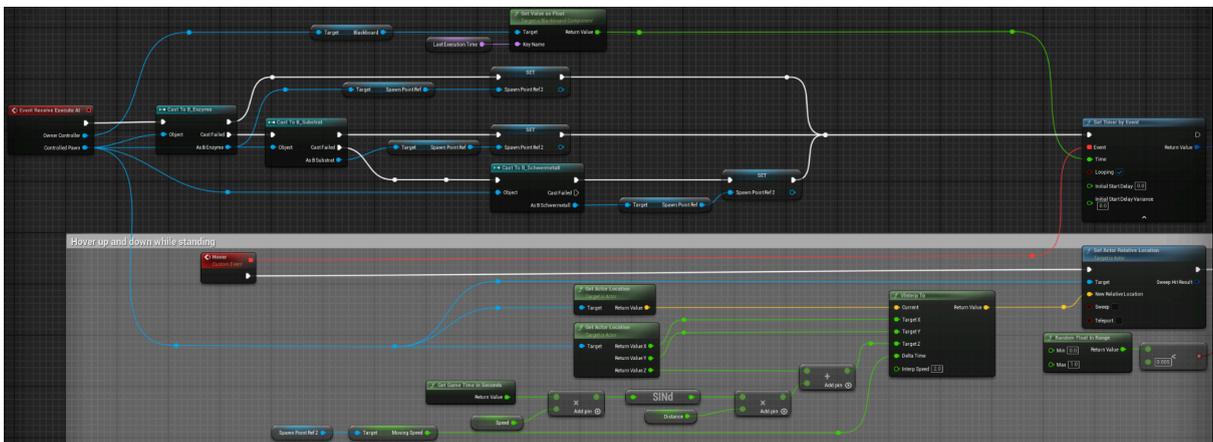


Abb. 25 HoverWait Task. Eine detaillierte Ansicht findet sich im Anhang 1.

4.2.1 Kollision zwischen Reaktionsteilnehmern

Bearbeitet von Jessica

Sollte es zwischen dem Enzym und einem anderen Reaktionsteilnehmer zur Kollision kommen, wird der Boolean „*DidCollide*“ im Blackboard auf true gesetzt.

Dadurch ändert sich die Task-Ausführung innerhalb des Behavior Trees. Doch bevor das passiert, muss zunächst eine Kollision erkannt werden. Alle Reaktionsteilnehmer nutzen dafür die Capsule Component. Die Hauptimplementierung für die Kollision findet sich jedoch in den Enzymen. Hier wird geprüft, mit welchem Reaktionsteilnehmer (Schwermetall oder Substrat) eine Kollision erfolgt ist. Je nachdem, mit welchem Teilnehmer eine Kollision erfolgt ist, wird das Material des Enzyms auf eine andere Farbe gesetzt, um dem Spieler eine visuell bessere Übersicht zu geben. Denaturierte Enzyme sind dabei gelb und gehemmte Enzyme lila.

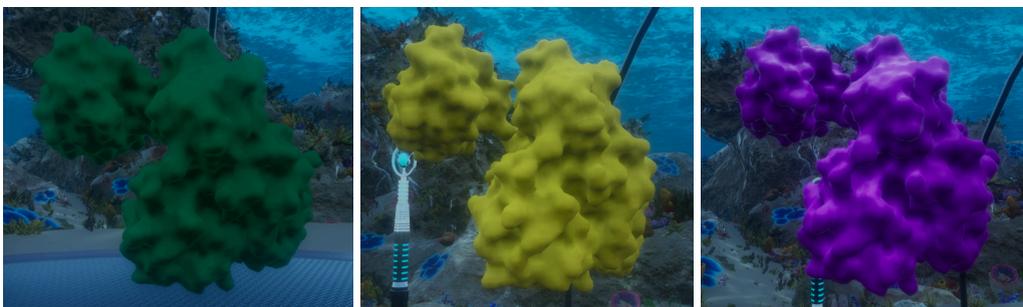


Abb. 26 Farbe für normale Enzyme (links), denaturierte Enzyme (mitte) und gehemmte Enzyme (rechts)

Anschließend wird das *ReportTouchEvent* des AI Controllers aufgerufen. Im *ReportTouchEvent* des Controllers werden die erforderlichen Variablen des Enzyms und des anderen Reaktionsteilnehmers im Blackboard abgeändert. Unter anderem wird ein *EnzymeRotationTarget* gesetzt, bei dem die aktuelle Look-at-Rotation mit der Ziel-Look-at-Rotation verrechnet wird. Die Variable wird ebenfalls ins Blackboard geschrieben und ist später wichtig, um die Rotation des Enzyms in die richtige Richtung zu bestimmen. Für das Substrat oder Schwermetall wird ebenfalls eine Referenz zu dem jeweiligen Enzym abgespeichert, damit basierend darauf später unterschiedliche Implementierungen durchgeführt werden können.

Eine andere Phase wird in den Behavior Trees des Enzyms und des anderen Reaktionsteilnehmers eingeleitet, wobei sich das Enzym in die passende Richtung rotiert, um das aktive Zentrum oder die Schwermetall-Bindungsstelle zugänglich zu machen. Normalerweise müsste das Substrat oder das Schwermetall in der Nähe der eigentlichen Bindungsstelle sein, damit eine solche Reaktion passieren kann.

Für unsere Anwendung haben wir eine Abstraktion getroffen, um die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, dass es zur Reaktion zwischen dem Enzym und den anderen Teilnehmern kommt, da sich die Teilnehmer in einem relativ großen Bereich bewegen. Aufgrund der Performance und der Übersichtlichkeit des Systems sollen nicht zu viele Reaktionsteilnehmer gespawnt werden (siehe Abbildung 27). Deshalb wurde der Kollisionsradius größer gewählt und nicht nur auf die einzelnen Bindungsstellen begrenzt.

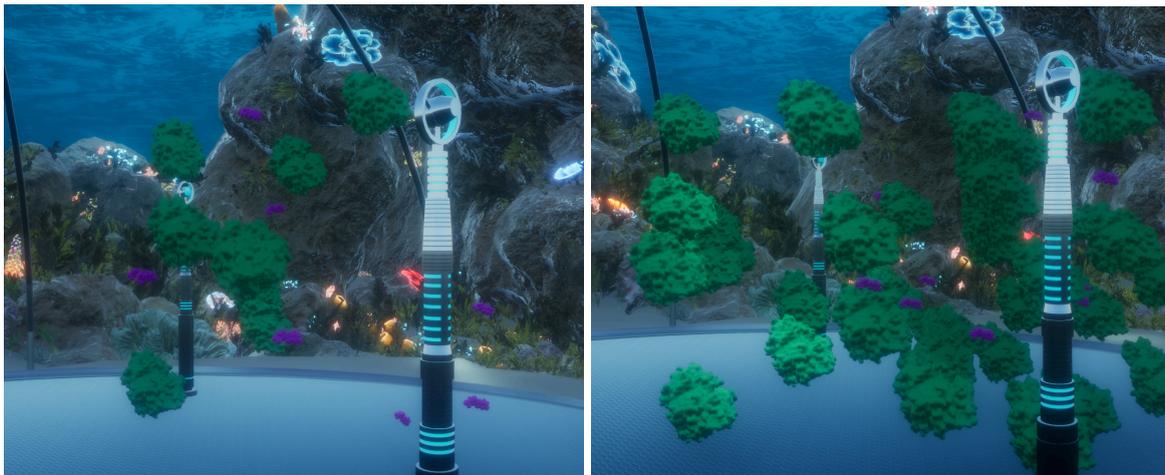


Abb. 27 Normales System vs. System mit vielen Reaktionsteilnehmern

Im *DidCollide-Zustand* unterscheiden sich die Tasks der einzelnen Teilnehmer deutlich.

4.2.2 Tasks des Substrats bei Kollisionseintritt

Bearbeitet von Jessica

Während sich das Enzym ausschließlich rotiert und die Kollision ausgeschaltet wird, damit es zu keiner weiteren Reaktion kommen kann, wird beim Substrat zunächst eine Task aufgerufen, um sich auf das aktive Zentrum zuzubewegen. Dafür wird die zuvor abgespeicherte Enzym-Referenz genommen, um die Position des aktiven Zentrums zu ermitteln und anschließend sich über Interpolation dem Ziel langsam anzunähern. Sobald das Substrat das aktive Zentrum erreicht hat, wird in der Nähe ATP gespawnt, welches sich auf die ATP-Bindungsstelle zubewegt. Hier haben wir ebenfalls eine Abstraktion zu den normalen Verhältnissen getroffen. Normalerweise

befindet sich ATP genauso wie die Enzyme und Substrate im Zytoplasma, wo es in Verbindung mit dem Enzym tritt und als Energielieferant für die Reaktion dient. Um das System in unserer Anwendung übersichtlich zu halten und den Fokus auf die wichtigsten Teilnehmer zu lenken, wird ATP erst gespawnt, wenn es benötigt wird.

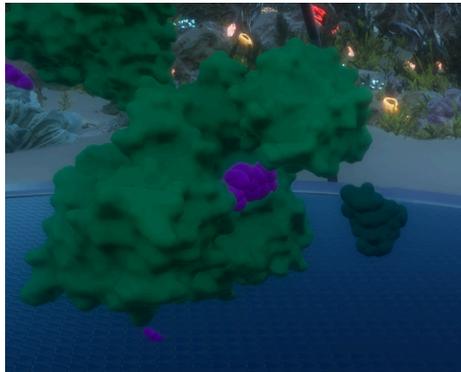


Abb. 28 Gespawntes ATP rechts (dunkelgrün) und Substrat (lila) verbunden mit dem Enzym (hellgrün)

Haben beide Teilnehmer die passende Bindungsstelle erreicht, wird das Static Mesh in Oxyluciferin und AMP umgewandelt. Die Enzym-Referenz wird verwendet, um den *FinishedESK-Status* an das Blackboard des Enzyms weiterzugeben. Anschließend werden die Produkte mit einer Wahrscheinlichkeit von 25 % nach jedem Bewegungsablauf gelöscht.

4.2.3 Task des Schwermetalls bei Kollisionseintritt

Bearbeitet von Maik

Bei der Kollision mit einem Schwermetall wird die *StartInhibition-Funktion* des Schwermetalls eingeleitet. Das Schwermetall bewegt sich zunächst auf die Bindungsstelle zu und wird dann an den Actor des Enzyms mittels *attach Actor-to-Actor* gebunden. Das Enzym spielt die Animation Inhibition ab, wodurch es zu einer leichten Konformationsänderung des Enzyms in der Nähe des aktiven Zentrums und der Schwermetallbindungsstelle kommt. Die dafür verwendete Animation wurde in der 3D-Anwendung Autodesk Maya mithilfe von Blendshapes erstellt.

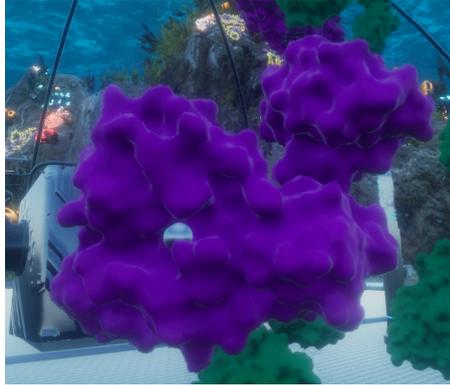


Abb. 29 Attachtes Schwermetall an der Schwermetallbindungsstelle

Ein Boolean namens „Irreversibel“ im Blackboard des Enzyms wird daraufhin gesetzt. Da die Bindung irreversibel ist, muss das Enzym nach einer gewissen Zeit wieder aus dem System entfernt werden, um das System regelmäßig zu erneuern. Dadurch wird am Ende einer jeden Bewegung mit einer Wahrscheinlichkeit von 25 % das Enzym mit dem Schwermetall aus dem System entfernt.

4.2.4 Denaturierung des Enzyms

Bearbeitet von Jessica und Maik

Im späteren Spielverlauf können einzelne Parameter wie die Temperatur oder der pH-Wert geändert werden, was zur Denaturierung der Enzyme führen kann. Dieser Denaturierungsprozess wird durch einen Farbwechsel des Enzyms und eine Animation dargestellt, bei der sich die äußere Form des Enzyms verändert. Die Animation für die Denaturierung wurde wie bei den Schwermetallen mit Autodesk Maya erstellt. Hierbei wurde ein Blendshapes erzeugt und mithilfe des Sculpting Tools die äußere Form des Enzyms angepasst. Anschließend wurde eine Animation erstellt, die in Unreal eingefügt wurde.

Beim Temperaturregler wird darauf geachtet, dass eine Denaturierung nur dann stattfindet, wenn die Temperatur zu hoch ist. Vor der Denaturierung wird geprüft, ob die aktuelle Temperatur höher als das Temperaturoptimum ist und ob die Reaktionsgeschwindigkeit unter 20 % liegt. Sollte dies der Fall sein, wird die Denaturierung ausgelöst. 20 % sind dabei ein angemessener Wert, um zu verhindern, dass bereits bei kleinen Änderungen an der Konsole eine Denaturierung ausgelöst wird, und um

zu verdeutlichen, dass größere Abweichungen erforderlich sind, damit es zur Denaturierung kommt. Nach jedem Bewegungsablauf besteht eine Wahrscheinlichkeit von 40 %, dass ein denaturiertes Enzym gelöscht wird, um das System zu erneuern.

Liegt die aktuelle Temperatur unter dem Temperaturoptimum, handelt es sich um eine niedrigere Temperatur, bei der sich nur die Bewegungsgeschwindigkeit der Teilnehmer ändert. Die Bewegungsgeschwindigkeit wird anhand der *Delta Time* in der *MoveToRandomLocation* Task bestimmt, die zur Berechnung der Interpolation verwendet wird.

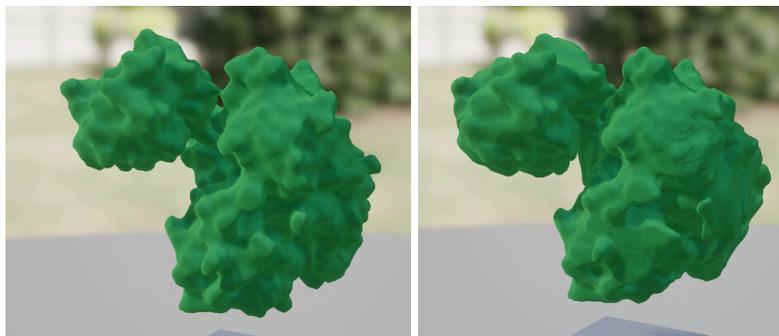


Abb. 30 Form des denaturieren Enzyms (rechts) und normales Enzym (links)

4.2.5 Spawnen

Bearbeitet von Jessica

Nachdem die wichtigsten Tasks implementiert wurden, müssen die Reaktionsteilnehmer noch in entsprechender Anzahl gespawnt und auch wieder entfernt werden können. Hierfür wurde ein Blueprint für das Spawnen erstellt, welcher die gewünschten Anzahlen speichert und basierend darauf diese spawnt. Beim Spawnen werden zunächst wichtige Werte an die KIs übertragen, wie eine Referenz auf den Spawnpoint oder den Bereich, in dem sie sich bewegen dürfen. Außerdem muss beim Enzym geprüft werden, ob die passenden Temperaturen und pH-Werte vorliegen, damit die neu gespawnten Enzyme, falls nötig, denaturiert werden. Für den Spawnbereich wird ebenfalls eine Collision Box erstellt, die genutzt wird, um daraus zufällige Positionen zu bestimmen.

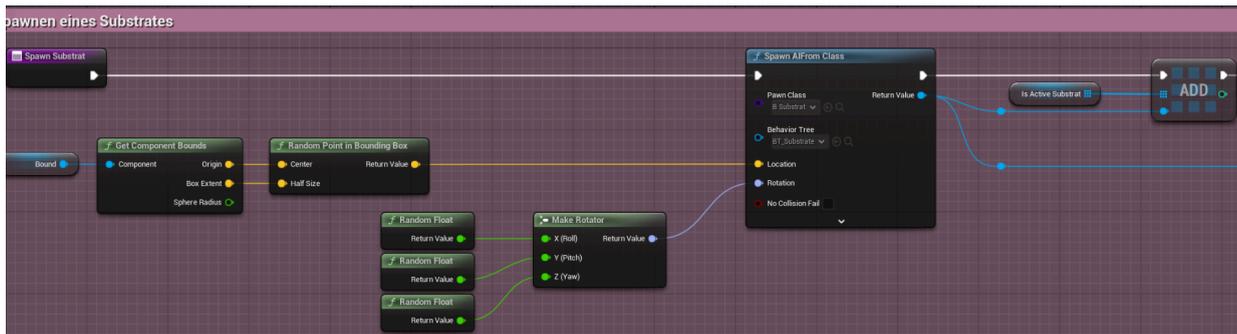


Abb. 31 Teil des Codes zum Spawnen eines Substrats

Jeder Reaktionsteilnehmer besitzt dann eine *Delete-Funktion*, bei der der passende Actor aus dem Array entfernt wird.

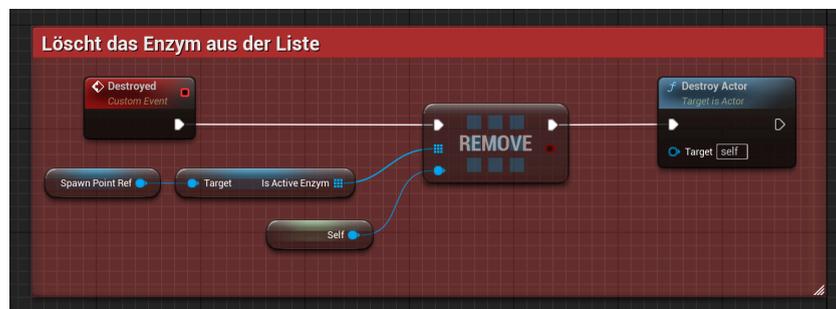


Abb. 32 Löschen eines Enzyms

Eine *Respawn-Funktion*, die alle paar Sekunden aufgerufen wird, sorgt dafür, dass stets die richtige Anzahl an Reaktionsteilnehmern im System vorhanden ist. In Fällen, bei denen z. B. Substrate in Produkte umgewandelt und nach kurzer Zeit aus dem System gelöscht werden, füllt die *Respawn-Funktion* das System wieder auf. Dafür wird die aktuelle Array-Länge mit dem zu Beginn gespeicherten Integer verglichen und danach die jeweilige *Spawn-Funktion* aufgerufen.

Des Weiteren gibt es im späteren Spielverlauf die Möglichkeit, die Anzahl der Substrate und Schwermetalle zu beeinflussen. Damit nicht auf das System gewartet werden muss, welches nach und nach die Teilnehmer spawnt, benötigen wir eine Funktion für einen *Quick Spawn* oder *Delete*. Bei den *Quick-Spawn-Funktionen* wird zunächst die Array-Länge mit der aktuell gespeicherten Länge verglichen. Sollten zu wenige Teilnehmer im System sein, so wird in einem For-Loop so lange aufgefüllt, bis ausreichend vorhanden sind. Sollten jedoch zu viele Teilnehmer im System sein,

so sollen diese mit einem For-Loop entfernt werden. Beim Entfernen gibt es jedoch eine Regel: Es dürfen all jene Teilnehmer, die gerade mit dem Enzym reagieren, nicht entfernt werden, da ansonsten der Status des Enzyms nicht korrekt abgeändert wird. Dies kann überprüft werden mit dem aktuellen „*DidCollide*“-Status im Blackboard eines jeden Teilnehmers. Sollte eine Kollision gerade stattfinden, so soll der Reaktionsteilnehmer beim Löschen übersprungen werden. Stattdessen wird ein Integer erhöht, damit der For-Loop einen weiteren Teilnehmer überprüft.

4.3 Audiosequenzen im Spiel

Bearbeitet von Jessica und Maik

Die begleitende Stimme soll an den entsprechenden Stellen im Spiel ausgelöst werden können. Es gibt zwei unterschiedliche Bereiche, in denen Audio abgespielt werden muss. Der Hauptbereich für das Audio ist der Audioknopf auf der Konsole. Der zweite Bereich ist für das Auslösen von Audio beim Greifen der Teilnehmer in der entsprechenden Spielphase vorgesehen. Um das Spiel in verschiedene Phasen zu unterteilen, haben wir eine Game Instance verwendet. Game Instances werden zu Beginn des Spiels gespeichert und können Werte über verschiedene Level hinweg aufrechterhalten [34]. Darüber hinaus kann von jedem Blueprint aus auf die Game Instance zugegriffen werden. In unserem Fall wird die Game Instance genutzt, um den *GameLevelIndex* zu speichern.

Um die erste Spielphase zu starten, muss der Spieler auf den Audioknopf drücken. Neben dem Abspielen der Audiosequenz und dem Erhöhen des *GameLevelIndexes* werden weitere Änderungen vorgenommen, wie das zeitgesteuerte Blinken der Pfeiler im MEX-Bereich sowie das langsame Aufleuchten der Umgebung. Diese Maßnahmen sollen die Aufmerksamkeit des Spielers auf die verschiedenen Bereiche lenken, sobald diese von der Stimme eingeführt werden.

„Attention can be either directed voluntarily based on internal goals — “top-down” or goal-directed attention—or captured automatically, by salient stimuli — “bottom-up” or stimulus-driven attention.” [35, S. 451]

Das Aufleuchten der unterschiedlichen Bereiche, sobald diese von der Stimme eingeführt werden, soll die bottom-up Aufmerksamkeit steuern und somit dazu beitragen, dass der Spieler der Stimme besser folgen kann.

Für Phase 1 gibt es zudem einen Sound Blueprint, der beim Greifen eines Teilnehmers aufgerufen wird. Dieser Blueprint überprüft zuerst, in welcher Spielphase sich der Spieler befindet. Steht der *GameLevelIndex* auf 0, sollen Audiosequenzen beim Greifen gestartet werden. Wenn der Spieler ein Enzym greift, wird die entsprechende Audiosequenz für dieses Enzym abgespielt. Eine zusätzliche Bedingung sorgt dafür, dass die Audiosequenz sich beim wiederholten Greifen nicht überlappt.

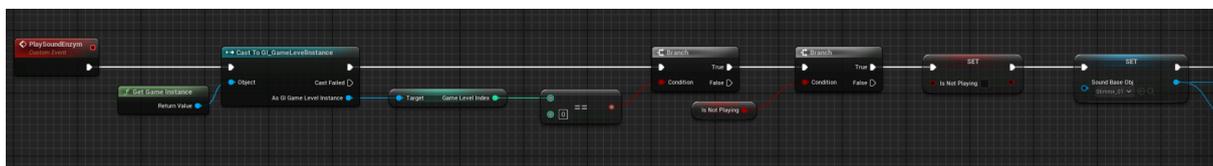


Abb. 33 Teil des Codes für die Audiosequenz bei Enzymen. Eine detaillierte Ansicht findet sich im Anhang 1.

In der ersten Phase werden die Reaktionsteilnehmer der Reihenfolge nach vorgestellt. Daher muss am Ende jeder Audiosequenz die Spawanzahl der Enzyme und Substrate angepasst werden. Zunächst spawnt nur ein Enzym, das am Ende der Audiosequenz verschwindet, gefolgt von einem Substrat. Schließlich spawnt jeweils eines von beiden. Das Greifen in der ersten Phase wird über eine Grab Component innerhalb der Blueprints ermöglicht. Beim Greifen wird zudem eine Beschriftung sichtbar gemacht, damit der Spieler weiß, was sich gerade in seiner Hand befindet.

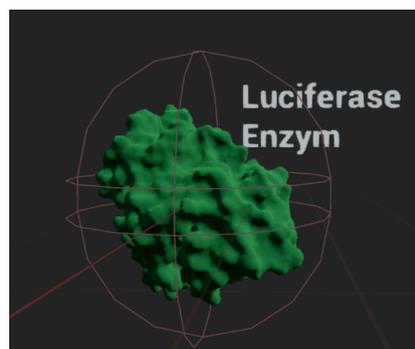


Abb. 34 Beschriftung des Enzyms beim Greifen

Nach Abschluss der ersten Phase wird der Sound nur noch über den Audioknopf angesteuert. Der *GameLevelIndex* wird im Audioknopf verwendet, um zwischen den unterschiedlichen Audiosequenzen zu unterscheiden. Hier wird der *GameLevelIndex* auch erhöht, um nach dem Drücken eines blinkenden Knopfes in die nächste Spielphase zu gelangen. Zu Beginn wird außerdem überprüft, ob eine Audiosequenz noch nicht zu Ende gespielt wurde, um Überlappungen zu verhindern. Das wiederholte Drücken des Knopfes löst in dieser Zeit keine weiteren Audios aus. Es wird zwischen einem blinkenden Knopf, der ausgelöst wird, sobald die Aufgabe in einem Abschnitt erledigt wurde, und einem nicht blinkenden Knopf unterschieden. Bei einem nicht blinkenden Knopf wird der *GameLevelIndex* nicht erhöht, sodass die bereits gespielte Audiosequenz wiederholt wird. Dadurch kann der Spieler das Wissen erneut hören, falls er eine Information verpasst hat. Nach Erreichen des *GameLevelIndexes* 1 wird zudem ein zufälliges Temperatur-, pH- und Substratoptimum festgelegt, welches für die Berechnung innerhalb der einzelnen Schieberegler benötigt wird.

4.4 Schieberegler und Biolumineszenz der Umgebung

Bearbeitet von Jessica und Maik

Die Stärke der Biolumineszenz soll über verschiedene Schieberegler, die nacheinander eingeführt werden, bestimmt werden können. Um die Biolumineszenzstärke der gesamten Umgebung und der darin enthaltenen Lebewesen zu verändern, benötigen wir eine Material Parameter Collection. Diese Material Parameter Collection ist ein Asset, das eine Vielzahl von Skalaren oder Vektoren speichern und in jedem beliebigen Material aufgerufen werden kann. Mithilfe der Material Parameter Collection kann eine große Anzahl von Materialien auf einmal verändert werden, wodurch ständige Aufrufe einzelner Materialien vermieden werden [36]. In dieser Collection speichern wir den *Glow Value*, den wir dann in den Materialien zur Berechnung des Emissive-Wertes verwenden. Es muss lediglich der *Glow Value* innerhalb der Collection geändert werden, um alle anderen Materialien zu beeinflussen.



Abb. 35 Umgebung mit voller Biolumineszenz

Um den *Glow Value* zu berechnen, benötigen wir eine Formel, die den Einfluss verschiedener Parameter wie Temperatur, pH-Wert, Substratkonzentration und Schwermetallkonzentration berücksichtigt. Hierfür haben wir eine mathematische Gleichung entwickelt, die die Stärke der Leuchtkraft bestimmen kann:

$$L(T, \text{pH}, S, \text{Sc}) = L_{\max} \cdot f(T, T_{\text{opt}}) \cdot g(\text{pH}, \text{pH}_{\text{opt}}) \cdot h(S) \cdot i(\text{Sc})$$

Die einzelnen Parameter haben folgende Wertebereiche:

$$\begin{aligned} T &\in \{x \in \mathbb{R} \mid -40 \leq x \leq 50\} \\ \text{pH} &\in \{x \in \mathbb{Z} \mid 0 \leq x \leq 14\} \\ S &\in \{x \in \mathbb{Z} \mid 0 \leq x \leq 40\} \\ \text{Sc} &\in \{x \in \mathbb{Z} \mid 0 \leq x \leq 40\} \end{aligned}$$

Die einzelnen Funktionen f bis i können dabei Werte zwischen 0 und 1 annehmen und werden anschließend mit der maximalen Lichtintensität verrechnet, um die letztendliche Leuchtkraft, den *Glow Value*, zu bestimmen. Die maximale Lichtintensität wurde auf 82 festgelegt. Im Folgenden erläutern wir die Berechnungen der einzelnen Funktionen f bis i.

Temperatur:

Die Temperatur spielt in der Enzymatik eine wesentliche Rolle. Starke

Abweichungen von der optimalen Temperatur führen zu einer geringeren enzymatischen Aktivität, die üblicherweise in Form einer Glockenkurve dargestellt wird.

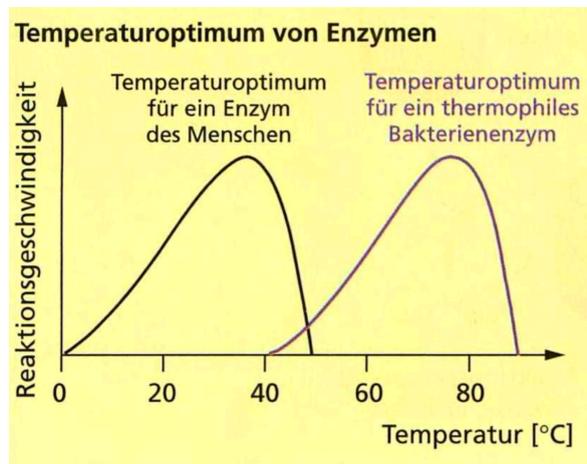


Abb. 36 Beispiel der enzymatischen Reaktion für verschiedene Enzyme bei unterschiedlicher Temperatur [5]

Jedes Enzym hat ein spezifisches Temperaturoptimum, das für seine Aktivität ideal ist. Beispielsweise hat Saccharase, das Enzym, das Saccharose abbaut, ein Temperaturoptimum zwischen 38-40 °C, was etwa der normalen Körpertemperatur des Menschen entspricht. Das Enzym Luciferase, das in biolumineszierenden Organismen vorkommt, existiert in verschiedenen Formen, jede mit einem eigenen Temperaturoptimum, das je nach Art variieren kann [37, S. 835]. Um den spielerischen Aspekt zu betonen, soll das Temperaturoptimum in jeder Runde wechseln, sodass der Spieler das neue Optimum erneut finden muss. Zur Beschreibung der Glockenkurve mit Werten zwischen 0 und 1 haben wir folgende Funktion aufgestellt:

$$f(T, T_{\text{opt}}) = e^{-\lambda(T-T_{\text{opt}})^2}$$

Dabei stellt Lambda (λ) den Skalierungsfaktor der Funktion dar. Mit diesem Faktor kann gesteuert werden, wie schnell die Kurve ansteigt oder abfällt. Wir verwenden einen Wert von 0,003, da sich nach mehreren Tests gezeigt hat, dass dieser Wert eine angenehme Glockenkurve erzeugt, die gut über die Schieberegler verändert werden kann.

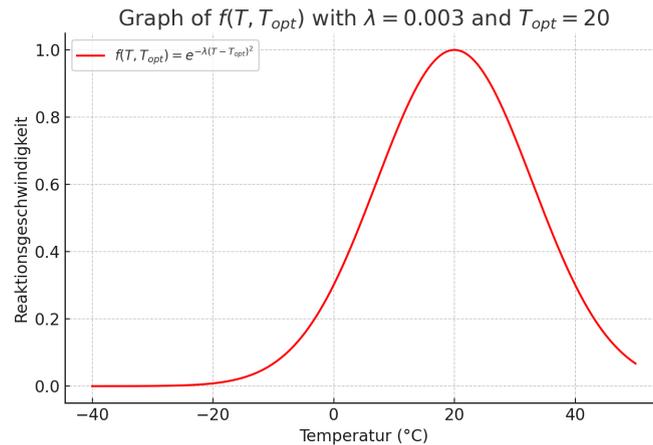


Abb. 37 Beispiel Glockenkurvenfunktion mit $\lambda = 0.003$ und $T_{opt} = 20$

pH-Wert:

Der Verlauf des pH-Werts ähnelt dem Temperaturverlauf und wird ebenfalls als Glockenkurve dargestellt.

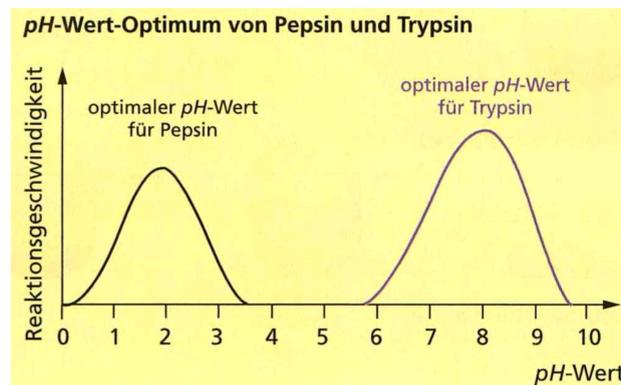


Abb. 38 Enzymaktivität bei unterschiedlichem pH-Wert für Pepsin und Trypsin [5]

Da die Verläufe sehr ähnlich sind, verwenden wir dieselbe Formel wie für die Temperatur:

$$g(\text{pH}, \text{pH}_{\text{opt}}) = e^{-\kappa(\text{pH} - \text{pH}_{\text{opt}})^2}$$

Anstelle von Lambda (λ) verwenden wir hier den Term κ , um die Kurvenfunktion besser anzupassen. Der Wert für κ wird auf 0,1 gesetzt.

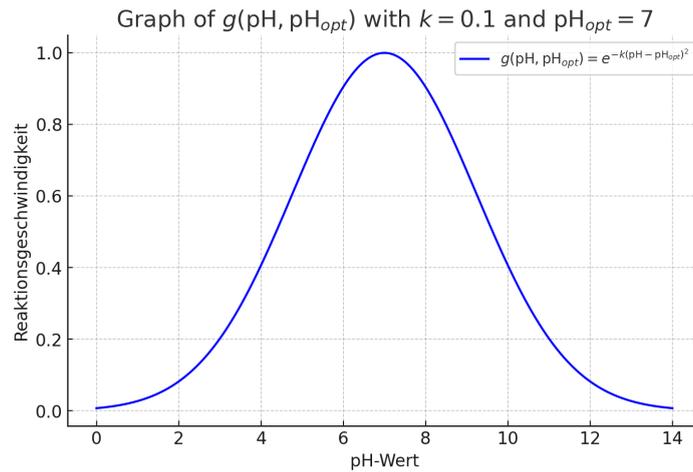


Abb. 39 Beispiel Glockenkurvenfunktion bei $\text{pH}_{\text{opt}} = 7$

Substratkonzentration:

Die Substratkonzentration ist entscheidend für die Geschwindigkeit enzymatischer Reaktionen, da bei erhöhter Konzentration die Wahrscheinlichkeit eines Zusammenstoßes mit einem passenden Enzym steigt.

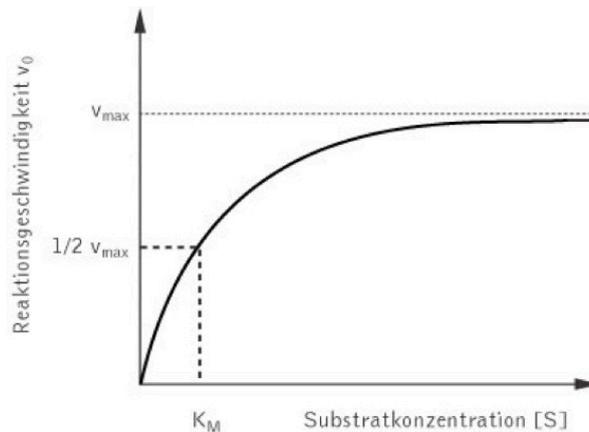


Abb. 40 Verlauf der Enzymgeschwindigkeit bei steigender Substratkonzentration
[vgl. Abb.-Verz. 9]

Um sicherzustellen, dass die Enzymaktivität, die von der Substratkonzentration abhängt, ein Maximum von 1 und nicht höher erreicht, verwenden wir die Michaelis-Menten-Gleichung. Diese ist bereits so konzipiert, dass sie diese Anforderung erfüllt. Die Formel für unsere Substratkonzentration lautet:

$$h(S) = \frac{V_{\max} \cdot [S]}{K_M + [S]}$$

Dabei ist:

- V_{\max} , die maximale Reaktionsgeschwindigkeit, die das Enzym erreichen kann,
- $[S]$ die Substratkonzentration,
- K_M , die Michaelis-Menten-Konstante, die die Substratkonzentration angibt, bei der die Reaktionsgeschwindigkeit die Hälfte von V_{\max} erreicht.

Da V_{\max} in unserem Beispiel 1 sein soll, können wir die Gleichung normieren, indem wir $V_{\max} = 1$ nehmen und somit aus der Gleichung herausstreichen. Die finale Formel für die Substratkonzentration sieht damit wie folgt aus:

$$h(S) = \frac{[S]}{K_M + [S]}$$

Für K_M werden wir einen zufälligen Wert annehmen, der wie die Temperatur und der pH-Wert für jede Runde geändert wird. Ein K_M -Wert zwischen 0,1 und 4,0 hat sich als optimal erwiesen, wenn die maximale Substratkonzentration bei 40 Substraten liegt. Dies soll die Obergrenze an zu spawnenden Substraten sein, um das System nicht zu überlasten. Wie man bereits am Funktionsgraphen sehen kann, handelt es sich bei der Michaelis-Menten-Kinetik um eine hyperbolische Funktion. Das bedeutet, dass V_{\max} nur angenähert wird, jedoch niemals vollständig erreicht werden kann. Das Abschließen einer Spielphase erfordert jedoch nur eine Genauigkeit von 80 %, weshalb keine Fehler auftreten. Da diese Funktion die typische Berechnungsformel für die Substratkonzentration darstellt, haben wir uns entschieden, sie beizubehalten und für unsere Berechnungsformel zu verwenden.

Schwermetallkonzentration:

Schwermetalle binden sich in unserer Anwendung an das allosterische Zentrum eines Enzyms. Sie konkurrieren in unserem Fall nicht mit den Substraten um das

aktive Zentrum, was ebenfalls eine Art der Hemmung darstellt, aber für eine spätere Erweiterung der Anwendung vorgesehen ist. Da es sich um eine allosterische Hemmung handelt, ist dieser Prozess irreversibel. Für die Berechnung bedeutet das, dass je mehr Schwermetalle vorhanden sind, umso weniger Substrate umgesetzt werden können.

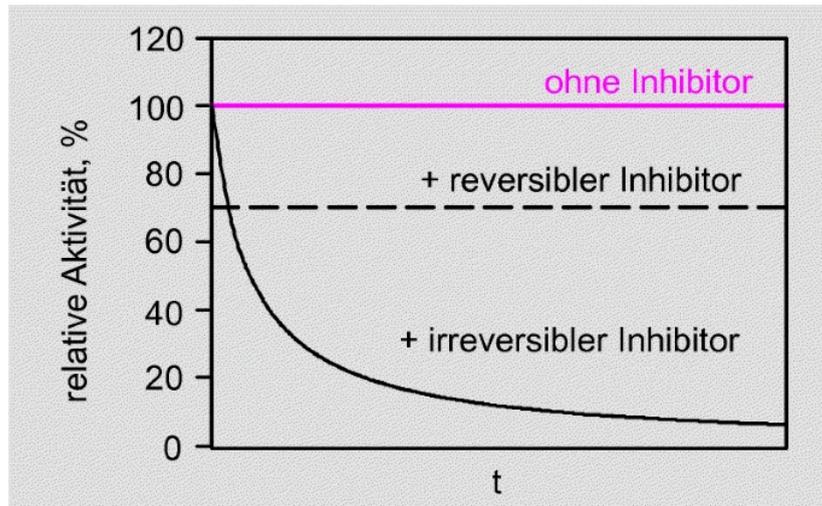


Abb. 41 Kurvenverlauf der Enzymaktivität bei einer irreversiblen Hemmung [vgl. Abb.-Verz. 10]

Die Berechnungsformel wurde daher wie folgt aufgestellt:

$$i(S_c) = \frac{1}{1 + K_i \cdot S_c}$$

Dabei steht:

- S_c für die Schwermetallkonzentration
- K_i für die inhibitorische Konstante, die angeben soll, wie stark die Schwermetalle die Enzyme hemmen.

K_i wurde in unserer Anwendung auf 1 gesetzt, während S_c von der Schwermetallkonzentration aus dem Spawnpoint abhängt.

Mithilfe dieser Funktion kann ein Kurvenverlauf ähnlich dem der irreversiblen Hemmung aus dem oberen Bild erzeugt werden.

Anhand dieser Rechnungen gibt es nun im Slider und im Drehrad eine Funktion, um den *Glow Value* zu bestimmen. Dabei werden je nach Spielphase einzelne Teile der Rechnung genutzt oder ausgeblendet.

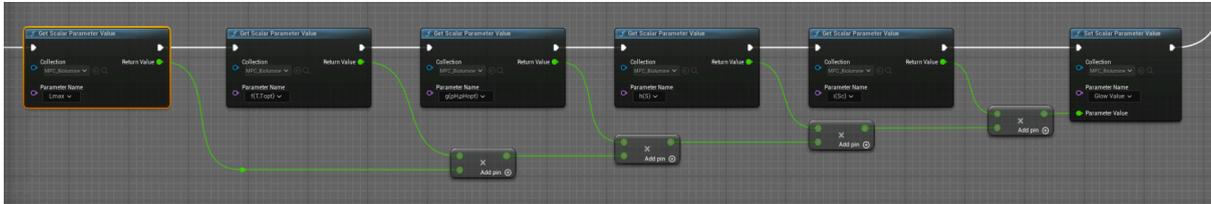


Abb. 42 Vollständige Berechnungsformel, welche letztendlich den Glow Value verändert. Eine detaillierte Ansicht findet sich im Anhang 1.

Damit Änderungen durch die Slider für den Spieler deutlich werden, gibt es auf der Konsole zusätzliche Anzeigen. Mit einem Blueprint wird eine Nadel erstellt, die anhand der *Slider-Range*, welche zwischen 0 und 1 liegt, einen Wert zwischen 0 und 180 anzeigt. Die Anzeigen wurden von uns selbst mit der Bildbearbeitungssoftware Adobe Photoshop erstellt. Da die Werte auf unseren selbst erstellten Anzeigen nicht immer gleich sind, muss der Wert anhand der Nadelrotation berechnet werden. So können wir garantieren, dass die angezeigte Temperatur bzw. der pH-Wert auch dem tatsächlichen Wert des Systems entspricht.

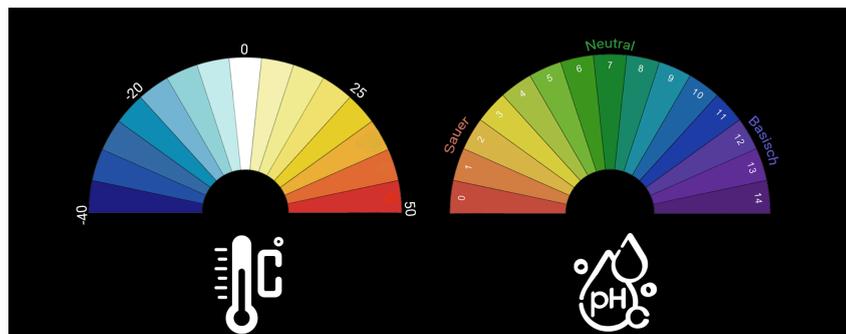


Abb. 43 Anzeigen mit unterschiedlichen Einheiten

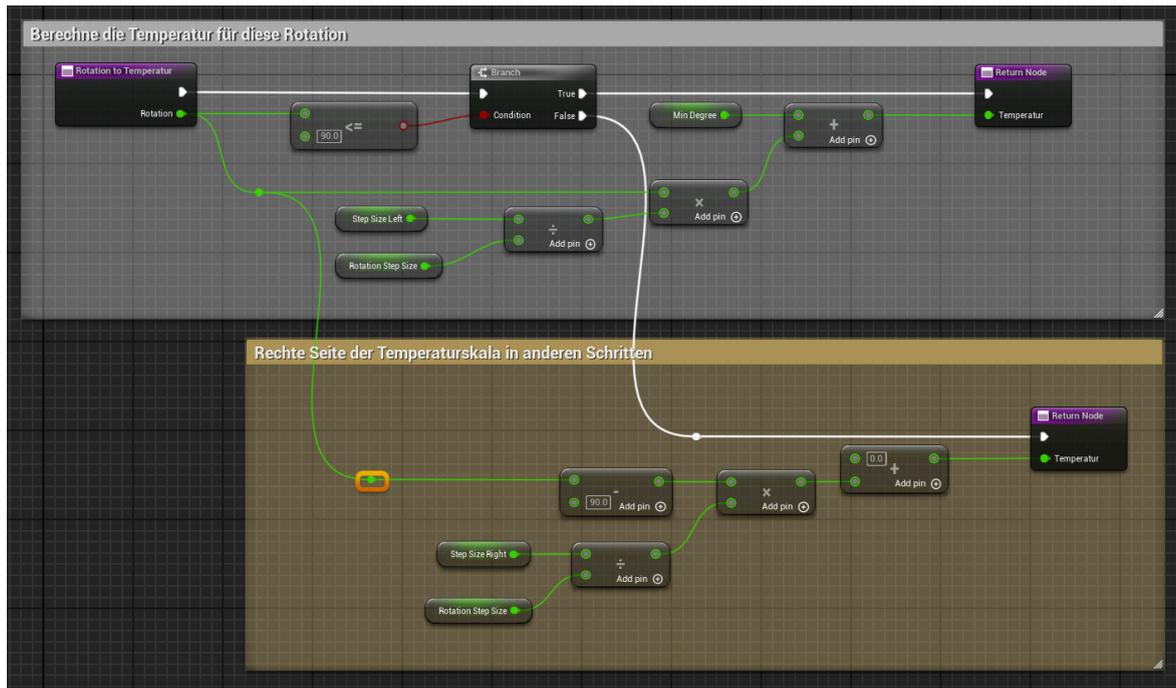


Abb. 44 Berechnung der Temperatur mit unterschieden zwischen rechter und linker Seite aufgrund unterschiedlicher Einheiten

4.5 Erstellung der Konsole

Bearbeitet von Jessica und Maik

Die Konsole bildet einen der Hauptbereiche des Spiels, da auf ihr wichtige Informationen nachgelesen, Parameter verändert und Audiodateien abgespielt werden können. Nachdem die Planung aus Kapitel 3 Methodik abgeschlossen war, haben wir eine Konsole modelliert und die nötigen Schieberegler, Knöpfe und das Drehrad erstellt. Die Modellierung dafür erfolgte mit Autodesk Maya.

Für die Konsole wurde ein Rechteck genommen und dieses nach oben hin extrudiert. Anschließend wurden über weiteres Extrudieren leichte Kerben auf der Oberseite hinzugefügt. Die Knöpfe entstanden ebenfalls aus den Grundformen, die übers Extrudieren in ihrer Form angepasst wurden. Das Drehrad entstand aus einem Donut. Für die inneren Streben wurde ein Rechteck verformt und anschließend mittels verbinden der Vertices mit dem Donut zusammengefügt. Am Ende musste bei dem fertigen Mesh noch die UV-Map erstellt werden, um eine saubere Texturierung zu ermöglichen. Dabei war es besonders wichtig eine sehr gute UV Map, insbesondere für die Bildschirme zu erstellen, da hier später wichtige Informationen stehen würden.

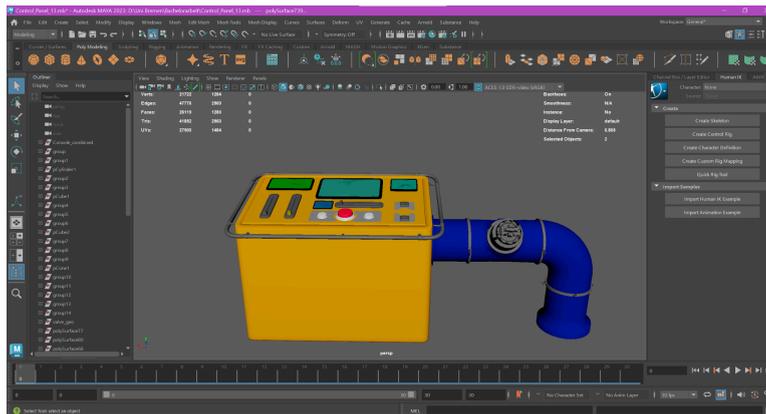


Abb. 45 Modellerte Konsole in Autodesk Maya

Anschließend wurde die Konsole mit der 3D-Texturierung Anwendung Adobe Substance Painter texturiert. Dabei wurde darauf geachtet, Materialien möglichst realistisch zu erstellen, indem Abnutzungen, Verschmutzungen, Beschaffenheiten und Farbunterschiede verwendet wurden. Das lässt die Konsole nicht nur etwas älter wirken sondern trägt auch maßgeblich zur Immersion bei, da zu saubere Texturen schnell unrealistisch wirken können. Zum Beispiel haben wir ein Edge Wear verwendet, um Ränder und Ecken verschlissen aussehen zu lassen. Das Hinzufügen von Schmutz und Dreck in Vertiefungen oder auf der Oberfläche erhöht den Realismus zusätzlich. Letztendlich haben wir noch weitere Details wie kleine Kratzer hinzugefügt. Die Texturen für die Bildschirme arbeiten zusätzlich mit einer Emissive Ebene, um das Gefühl eines echten leuchtenden Bildschirms zu erzeugen. Die fertig texturierte Konsole wurde anschließend in unsere Lernanwendung übertragen. Nach einigen Tests fiel jedoch auf, dass die Platzierung der Knöpfe und Bildschirme nicht ganz optimal war, weshalb wir die Positionen verändert haben (siehe Kapitel 3 Methodik).

Wie bereits erwähnt, findet man auf der Konsole den Audioknopf, den Informationsknopf, den Aussehen-Knopf, die Helligkeitsknöpfe, Schieberegler und das Drehrad. Die Funktionsweise des Audioknopfes wurde bereits in Kapitel 4.3 erklärt und die des Aussehen-Knopfes in Kapitel 3.3. Die Symbole für die Texturierung der Knöpfe wurden von Flaticon genommen.

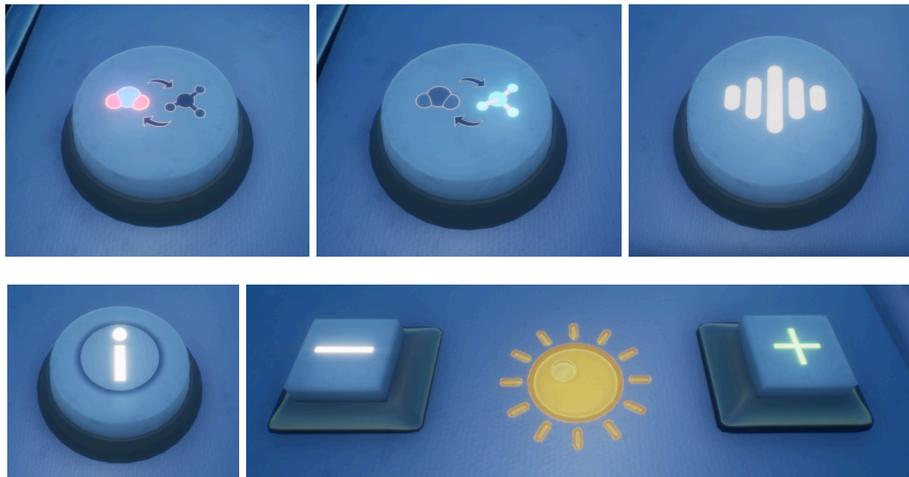


Abb. 46 Aussehen-Knopf (Bilder links oben), Audioknopf (rechts oben), Informationsknopf (links unten), Helligkeitsknöpfe (rechts unten)

Für den Informationsknopf wurde ein Widget erstellt, dessen Sichtbarkeit an- und ausgeschaltet wird, sobald der Knopf gedrückt wird. Die Informationen erscheinen sowohl als Hologramm mit Namensverweis daneben als auch auf dem mittleren Bildschirm. Hier können erworbene Informationen nachgelesen werden. Mithilfe der Hand kann auf dem Bildschirm über Pfeile zum nächsten Reaktionsteilnehmer gewechselt werden. Die Berührung der Hand auf die einzelnen Pfeile erfolgt über Kollisionserkennung, wobei eine Funktion innerhalb des Widgets aufgerufen wird, um die Sichtbarkeit anzupassen. Dasselbe Widget beinhaltet zudem den Fortschrittsbalken für die Reaktionsgeschwindigkeit. Spieler können an diesem Balken ablesen, wie gut die aktuellen Werte eingestellt sind, zusätzliches Feedback wird dem Spieler über das Umgebungsleuchten gegeben.

Mit den Knöpfen oben rechts auf der Konsole kann die Umgebungshelligkeit nach Präferenz eingestellt werden, um jedem Spieler ein angenehmes Gefühl beim Spielen zu geben. Zur Anpassung der Helligkeit werden zwei Methoden aus dem *Brightness Blueprint* aufgerufen, die die Intensität des Sky Lights verändern.

Zu Beginn haben wir die Schieberegler und das Drehrad nicht greifbar gemacht, indem die Kollision deaktiviert wurde. Die Bedienelemente haben zudem ein graues Material erhalten. Dadurch soll der Fokus der Spieler weiter gelenkt werden, da sie nicht von Anfang an mit den Reglern interagieren können. Wenn neue Spieler sofort

alle Funktionen zur Verfügung haben, können sie schnell überfordert werden. Ein stufenweises Freischalten verbessert die Lernkurve und dient zusätzlich als Belohnung für Fortschritte im Spiel. Außerdem können die einzelnen Phasen so besser unterteilt werden, ohne dass andere Einflüsse bereits eine Rolle spielen könnten. Wird die richtige Spielphase erreicht, wird für das entsprechende Bedienelement die Farbe auf ein rotes Material gewechselt, um dem Spieler Feedback zu geben, dass das Bedienelement nun verwendet werden kann.

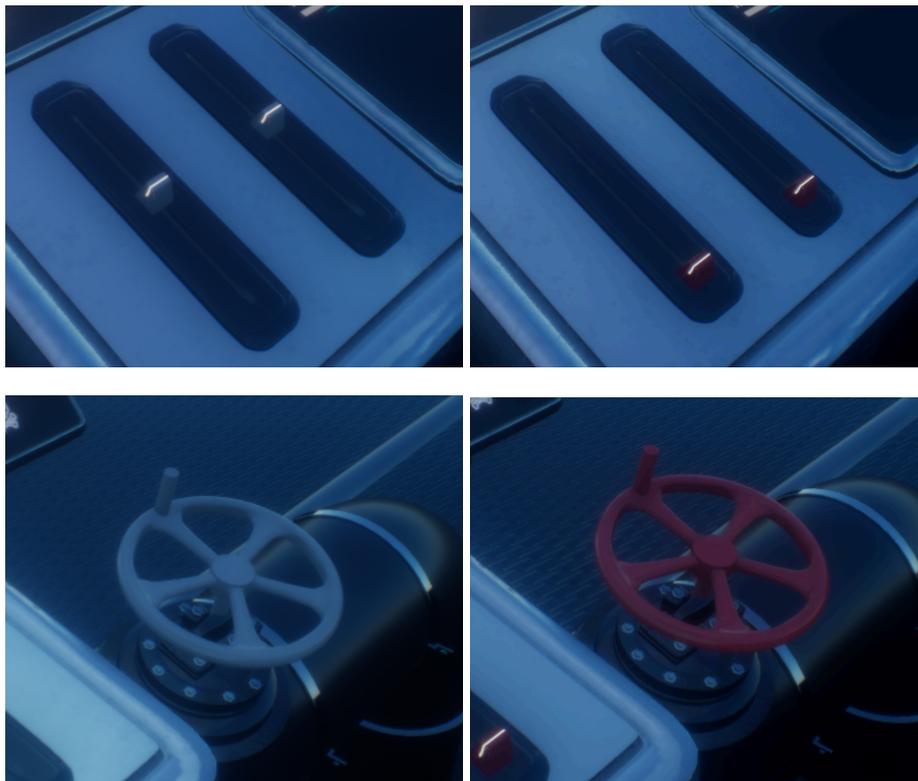


Abb. 47 Ausgegraute Bedienelemente

4.6 Performance

Bearbeitet von Jessica und Maik

Das Spielen eines ruckelnden Computerspiels kann schnell als störend empfunden werden und stellt in Virtual Reality ein besonderes Problem dar. Während leichte Ruckler oder Verzögerungen bei herkömmlichen Spielen oft nur als ärgerlich wahrgenommen werden, können sie in VR eine Reihe ernsthafterer Probleme verursachen. Eine der gravierendsten Auswirkungen ist die sogenannte Motion

Sickness, bei der es zu Abweichungen zwischen dem Gleichgewichtssinn und den visuellen Eindrücken kommt. Motion Sickness kann zu Kopfschmerzen, Übelkeit und Schwindel führen und resultiert daher häufig in einem Abbruch der VR-Anwendung.

In VR kann ein ruckelndes Spielerlebnis nicht nur die physische Gesundheit der Nutzer beeinträchtigen, sondern auch das gesamte Spielerlebnis und die Immersion vollständig zerstören. Wenn Elemente des Spiels ruckeln oder zögernd reagieren, wird die Immersion gebrochen und der Nutzer wird ständig daran erinnert, dass er sich in einer simulierten Umgebung befindet. Dies kann die gesamte Erfahrung frustrierend machen und das Vertrauen in VR-Anwendungen schmälern.

Ein stockendes Spielverhalten kann auch den Erfolg einer Lernanwendung erheblich beeinträchtigen. In einer Lernanwendung ist es entscheidend, dass sich die Lernenden vollständig auf den Inhalt konzentrieren können. Diskrepanzen lenken dabei ab und machen es nur schwer, den roten Faden zu verfolgen oder sich Informationen einzuprägen. Die Effektivität der Anwendung sinkt daher drastisch, wenn Nutzer sich mehr auf technische Probleme als auf den Lerninhalt konzentrieren müssen.

Zudem kann die Motivation der Lernenden stark beeinträchtigt werden. Ein flüssiges, ansprechendes Spielerlebnis ist oft ein wichtiger Motivationsfaktor. Wenn die Technik nicht störungsfrei funktioniert, kann dies zu Frustration führen und die Bereitschaft, weiterzulernen oder die Anwendung erneut zu nutzen, erheblich verringern. Besonders in der virtuellen Realität ist es daher entscheidend, dass die technische Leistung immer optimal und möglichst störungsfrei ist, um ein positives und effektives Lernerlebnis zu ermöglichen.

Aufgrund der besonderen Anforderungen an die Performance unserer VR-Lernanwendung wurde von Anfang an ein großer Wert auf effiziente Programmierung und ressourcenschonende Implementierungen gelegt. Dies war notwendig, um ein flüssiges und immersives Spielerlebnis zu gewährleisten, das möglichst frei von Störungen und Verzögerungen ist.

4.6.1 Effiziente Programmierung

Bearbeitet von Jessica und Maik

Bereits während des Programmierprozesses wurden spezifische Optimierungsstrategien angewendet. Dazu gehörte die seltene Verwendung von For-Schleifen, um unnötige Iterationen zu vermeiden, die die Prozessorlast erhöhen könnten. Ebenso wurde darauf geachtet, *Cast-to-Aufrufe* nur dann zu verwenden, wenn absolut notwendig, da diese Operationen verhältnismäßig rechenintensiv sind und die Performance beeinträchtigen können. Zudem wurden *Get All Actors of Class-Aufrufe* minimiert, da diese besonders in großen Szenen mit vielen Objekten zu erheblichen Leistungseinbußen führen können.

4.6.2 Begrenzter Bewegungsraum

Bearbeitet von Maik

Ein weiterer Aspekt zur Optimierung der Performance war die Beschränkung des Bewegungsraums des Spielers. Dadurch soll nicht nur der Fokus des Spielers auf das Experimentieren anstatt auf das Erkunden der Umgebung gelegt werden, sondern es dient auch der Performanceoptimierung. Der Spieler kann sich nur in einem kleinen, definierten Bereich bewegen und betrachtet einen Großteil der virtuellen Welt aus einer größeren Entfernung. Diese Eigenschaft der Anwendung wurde genutzt, um die Rendering-Last zu verringern. Objekte, die sich in der Ferne befinden, wurden mit einer geringeren Auflösung gerendert, indem ihre Level of Detail (LOD)-Stufen herabgesetzt wurden. Dies bedeutet, dass detaillierte Modelle wie Steine und Korallen in der Ferne weniger Polygone verwenden, was die Renderleistung erheblich verbessert, ohne die visuelle Qualität aus der Sicht des Spielers merklich zu beeinträchtigen.

Angesichts der hohen Anzahl an KIs im System war es entscheidend, auch hier effiziente Lösungen zu finden. Die 3D-Modelle (Meshes) der KI-Reaktionsteilnehmer wurden dahingehend optimiert, dass sie mit möglichst wenigen Polygonen auskommen, ohne das äußere Erscheinungsbild zu verändern. Dies bedeutet, dass die Charaktermodelle so gestaltet wurden, dass sie visuell ansprechend und realistisch bleiben, aber dennoch eine geringe Anzahl von Polygonen aufweisen.

Solche Optimierungen sind entscheidend, um sicherzustellen, dass die VR-Anwendung auch bei einer großen Anzahl von interaktiven Charakteren performant läuft.

4.6.3 Texturen

Bearbeitet von Jessica

Für die Texturen gelten ähnliche Regeln wie für die Polygonanzahlen der Meshes. Texturgrößen beeinflussen demnach maßgeblich die Leistung und die Speicheranforderungen einer Anwendung. Je weiter ein Objekt weg ist, desto geringer sollte auch die benötigte Auflösung der Textur sein. Die Texturen in Unreal werden über Zweierpotenzen angegeben und können auch im Nachhinein alle auf einmal über die Asset Selection in der Property Matrix bearbeitet werden. Hier können die aktuellen Texturgrößen reduziert werden. Eine mögliche und gängige Regel dabei ist das Verwenden der vollen Auflösung für Albedo Maps, die Hälfte der Auflösung für die Normalmaps und ein Viertel der Auflösung für die Roughness Maps. Diese Empfehlungen basieren auf mehreren technischen und perzeptuellen Überlegungen.

Die Albedo Maps tragen die grundlegenden Farb- und Detailinformationen, während Normal Maps verwendet werden, um feine Details und Oberflächenunebenheiten zu simulieren, indem die Normalen der Pixel verändert werden und dadurch das Licht beeinflussen. Roughness Maps hingegen bestimmen die Oberflächenbeschaffenheit, indem sie die Stärke der Lichtreflexion beeinflussen.

Aufgrund dieser Eigenarten können Normal Maps auf die Hälfte der Auflösung von Albedo Maps gesetzt werden. Da sie hauptsächlich Detailinformationen über Oberflächenunebenheiten enthalten, führen höhere Auflösungen oft nur zu marginalen visuellen Unterschieden. Der Speicherbedarf erhöht sich jedoch deutlich. Da Normal Maps auf kleinere Details abzielen, reicht in vielen Fällen eine halbierte Auflösung aus, um die gewünschten visuellen Effekte zu erzielen, ohne die Performance zu stark zu beeinträchtigen.

Die Roughness Maps beeinflussen die Lichtreflexionen und Lichtstreuungen, wobei feine Details weniger relevant sind als bei Albedo- oder Normal Maps. Die

menschliche Wahrnehmung ist weniger empfindlich gegenüber kleinen Änderungen in der Rauheit als gegenüber Farb- und Oberflächendetails. Dies liegt daran, dass die Glanzwahrnehmung stark von Lichtquellen und Betrachtungswinkeln abhängt, während Farbe konsistenter und weniger anfällig für solche Variationen ist [38, S. 2]. Daher kann eine deutlich niedrigere Auflösung verwendet werden, ohne dass dies zu einer wahrnehmbaren Verschlechterung der visuellen Qualität führt.

The screenshot shows the 'Asset Audit' window with a table of asset data. The table has columns for Name, Primary Ty, Primary N, Exclusive C, Staged, Cor, Cook, Rule, Chunks, Has Virtual, Format, Texture, Glt, Never, Strei, Compressi, LOD Bias, Source For, Mip, Load, C, Filter, X-axis Tiltr, Source Cor, sRGB, Dimensions, Has Alpha, Y-axis Tiltr, and Virtual Text. The rows list various assets like 'Burton1_Cylind', 'Burton2_Cylind', and 'BurtonBase' with their respective properties.

Name	Primary Ty	Primary N	Exclusive C	Staged	Cor	Cook	Rule	Chunks	Has Virtual	Format	Texture	Glt	Never	Strei	Compressi	LOD Bias	Source For	Mip	Load	C	Filter	X-axis Tiltr	Source Cor	sRGB	Dimensions	Has Alpha	Y-axis Tiltr	Virtual Text
Burton1_Cylind									False	BC5	WorldNon	False	Normalms	0			TSP BGRJ	Default	Default	Wrap	PNG	False	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton2_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0			TSP GB	Default	Default	Wrap	PNG	True	2,048 x 2,1	False	Wrap	False		
Burton_Cylind									False	DX11	World	False	Default	0														

Anpassungen in den Einstellungen der Fischechwärme und der Bewegung der Leuchtkalmare vorgenommen, da hier die Threaddauer am längsten war. Nach den Anpassungen konnte die Frametime noch einmal um 10 ms also ca. 25 Frames verbessert werden. Dadurch läuft die Anwendung nun auf konstanten 86-97 FPS.

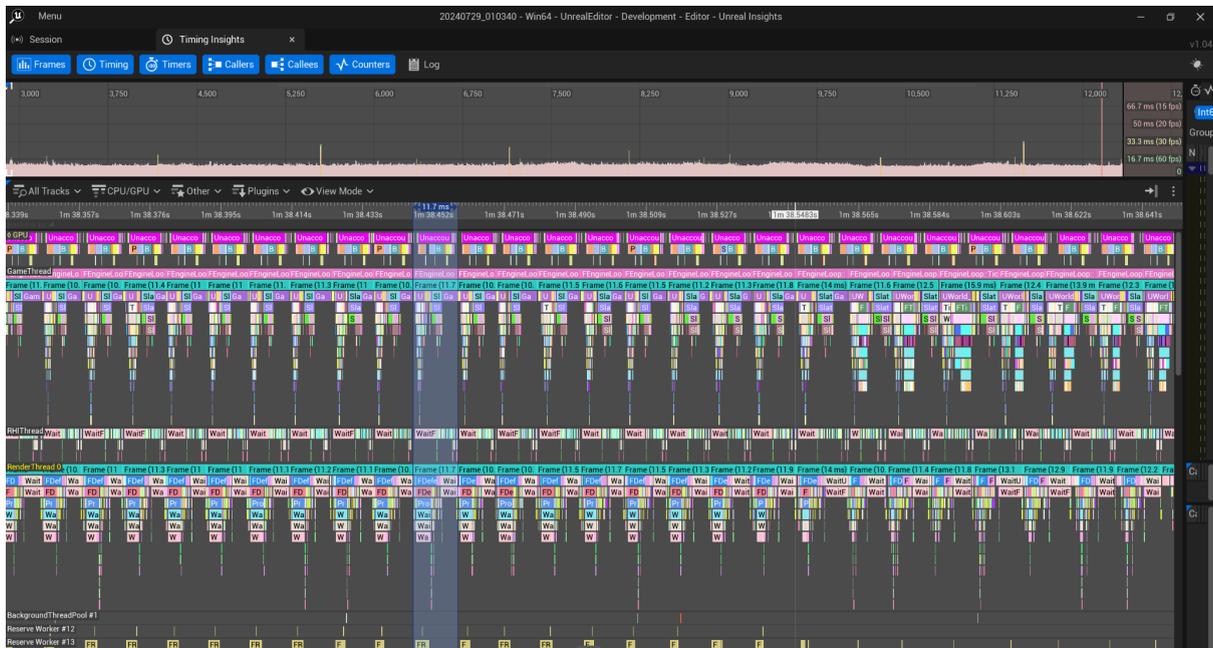


Abb. 49 Flammendiagramm unserer Anwendung, der obere Teil zeigt die konstanten FPS der Anwendung, der untere Teil zeigt die einzelnen Aufrufe des Threads als Flammendiagramm

Ein Visualisierung der Arbeit findet sich unter:

<https://drive.google.com/file/d/14xidqKt0hbOm5xg9zxnYIMm9sCVSzM7L/view>

5. Studie

Bearbeitet von Jessica und Maik

Im Folgenden beschreiben wir den Ablauf der durchgeführten Studie zur Ermittlung des Lernerfolgs unserer Lernanwendung. Die Studie vergleicht unsere Lernanwendung mit einem klassischen Lernmedium sowie einer Kombination beider Methoden, um deren Unterschiede und Wirksamkeit zu bewerten. Die Benutzerstudie wurde im Zeitraum vom 10. Juli bis 19. Juli 2024 durchgeführt und umfasste drei Probandengruppen.

Wir konnten jeweils 10 Probanden für unsere Lernanwendung (Testgruppe 1) rekrutieren. Weitere 10 Probanden nutzten ein Textmedium als klassisches Lernmedium (Testgruppe 2). Zusätzlich absolvierten 10 Probanden beide Lernmedien nacheinander, wobei sie zuerst das Textmedium verwendeten (Testgruppe 3). Nach einer zeitlichen Pause füllten alle Testgruppen denselben Fragebogen zur Lernüberprüfung aus.

5.1 Rekrutierung der Personen

Bearbeitet von Jessica und Maik

Die Rekrutierung der Teilnehmenden erfolgte über verschiedene Kanäle, um eine möglichst breite und diverse Stichprobe zu erreichen. Einladungen wurden auf verschiedenen sozialen Plattformen sowie über universitätsinterne Verteiler verschickt. Zusätzlich wurden persönliche Kontakte und Netzwerke genutzt, um potenzielle Teilnehmer anzusprechen. Beide wurden über allgemeine Informationen zur Studie, Teilnahmebedingungen und Kontaktinformationen informiert.

Die Teilnahme an der Studie erfolgte auf freiwilliger Basis, um sicherzustellen, dass die Motivation zur Teilnahme intrinsisch und nicht durch monetäre Anreize beeinflusst ist. So wurden keine finanziellen Anreize oder Entlohnungen angeboten. Diese freiwillige Teilnahme sollte gewährleisten, dass die Teilnehmenden aus eigenem Interesse und Engagement an der Studie teilnehmen, was die Qualität und Authentizität der erhobenen Daten unterstützt. Bei unseren Probanden haben wir darauf geachtet, dass sie ein grundlegendes deutsches Sprachniveau besitzen und dass das Alter der Probanden nicht unter 16 Jahren liegt. Merkmale wie Herkunft,

Geschlecht oder andere Faktoren spielen dabei eine untergeordnete Rolle und wurden von uns daher nicht berücksichtigt.

5.2 Fragestellungen und Hypothesen

Bearbeitet von Jessica und Maik

Die Studie untersucht die Effektivität unserer Lernanwendung im Vergleich zu herkömmlichen Lernmethoden und der Kombination beider Methoden. Dabei werden folgende zentrale Forschungsfragen und Hypothesen formuliert:

Forschungsfragen

- **Effektivität der Lernmethoden:**
Welche Methode führt zu den meisten korrekten und konkreten Ergebnissen? Dabei wird die Lernanwendung mit einem Textmedium als herkömmliche Lernmethode verglichen.
- **Kombination von Methoden:**
Verbessert die Kombination aus Lesen und VR-Anwendung die Lernleistung im Vergleich zu den einzelnen Methoden?
- **Präferenzen und Zufriedenheit:**
Welche Lehrmethoden bevorzugen die Probanden und warum? Wie zufrieden sind die Teilnehmer der Testgruppen 1 und 3 mit der Lernanwendung?

Hypothesen

- **Hypothese zur VR-Anwendung:**
Die Lernleistung der Teilnehmer, die die VR-Anwendung nutzen, ist signifikant höher als die der Teilnehmer, die nur den Text lesen.
- **Hypothese zur Kombination von Methoden:**
Die Lernleistung der Teilnehmer, die eine Kombination aus Lesen und VR-Anwendung nutzen, ist signifikant höher als die der Teilnehmer, die nur

eine der einzelnen Methoden nutzen.

- **Hypothese zur Zufriedenheit und Lernleistung:**

Die Zufriedenheit mit der VR-Anwendung ist positiv korreliert mit der wahrgenommenen Lernleistung der Teilnehmer der Testgruppen 1 und 3.

- **Hypothese zur Präferenz der Lernmethoden:**

Die Mehrheit der Teilnehmer bevorzugt die Kombination aus Lesen und VR-Anwendung gegenüber den einzelnen Methoden.

Diese Forschungsfragen und Hypothesen bilden die Grundlage für die Durchführung der Studie und die anschließende Auswertung der Ergebnisse, um fundierte Aussagen über die Wirksamkeit und Präferenz der verschiedenen Lernmethoden treffen zu können.

5.3 Erläuterung des Studienaufbaus

Bearbeitet von Jessica und Maik

Um eine isolierte Bewertung der Lernanwendung zu ermöglichen, haben wir uns bewusst dafür entschieden, die einzelnen Testgruppen separat zu führen. Dies stellt sicher, dass die Ergebnisse nicht durch den Einfluss anderer Lernmethoden verzerrt werden und die Effektivität jeder Methode unabhängig voneinander bewertet werden kann.

Neben unserer VR-Lernanwendung haben wir uns entschieden, einer Testgruppe ein Textmedium zum Lesen zu geben. Lesen als klassisches Lernmedium ist eine gängige Praxis im Unterricht und für unsere Studie besonders geeignet, da es konsistenter und standardisierter Wissen vermittelt werden kann. Diese Methode bietet eine kontrollierte Basis, mit der die Ergebnisse der VR-Anwendung verglichen werden können. Zudem wurde dem Text ein Bild beigefügt, welches den Prozess der Bindung des Substrates an das Enzym darstellt. Dieses Bild dient zur besseren Visualisierung des Textes und ahmt das typische Layout eines Biologiebuch-Abschnitts nach. Dadurch soll der Text ein authentisches Lernszenario vermitteln.

Wir haben uns gegen Frontalunterricht als Vergleichsgruppe entschieden, da es äußerst schwierig wäre, einen identischen Ablauf zu garantieren. Der klassische Unterricht wird im Alltag durch unterschiedliche Lehrkräfte, variierende Unterrichtsstile und die Dynamik zwischen Lehrkraft und Schülern beeinflusst, was zu inkonsistenten Ergebnissen führen könnte. Wir haben uns außerdem gegen die Verwendung von Lernvideos entschieden.

Zwar könnten Videos eine gewisse Konsistenz bieten, jedoch besteht die Gefahr, dass Lernende passiv bleiben und weniger aktiv mit dem Material interagieren. Studien haben gezeigt, dass aktives Lernen effektiver ist, da es die kognitive Verarbeitung und das Verständnis fördert [21, S. 73]. Beim Lesen sind die Lernenden gezwungen, sich aktiv mit dem Text auseinanderzusetzen, was zu einer tieferen Verarbeitung und besserem Verständnis führen kann. Darüber hinaus erlaubt das Lesen den Lernenden, ähnlich wie unsere Lernanwendung, ihr eigenes Tempo zu bestimmen und bei Bedarf Passagen erneut zu lesen, um das Verständnis zu verbessern.

Die Gestaltung der Studie berücksichtigt die Notwendigkeit, externe Einflüsse wie Ablenkungen zu minimieren. Gleichzeitig soll sichergestellt werden, dass die Ergebnisse der Studie tatsächlich auf die untersuchten Variablen zurückzuführen sind und somit aussagekräftig und verlässlich sind. Daher wurde auf eine randomisierte Zuteilung der Probanden zu den Testgruppen geachtet, um Verzerrungen zu vermeiden und sichergestellt, dass die Probanden immer unter denselben Bedingungen getestet werden.

Insgesamt zielt der Studienaufbau darauf ab, die Effektivität der VR-Lernanwendung unter realistischen, aber kontrollierten Bedingungen zu testen und dabei auf etablierte Bildungsprinzipien zurückzugreifen, um valide Ergebnisse zu erzielen.

5.4 Durchführung

Bearbeitet von Jessica und Maik

Zunächst wurde jeder Proband mündlich über den Versuchsablauf informiert. Anschließend füllten die Probanden allgemeine Informationsangaben und eine Einverständniserklärung aus und wurden über Warnhinweise bei der Verwendung

der VR-Anwendung belehrt. Das Textmedium für Testgruppe 2 und 3 sowie der Informationsbogen, die Einverständniserklärung und die Fragebögen finden sich im Anhang.

Durchführung in Testgruppe 1 (VR-Anwendung):

Jedem Probanden der Testgruppe 1 wurde das Head-Mounted Display (HMD) Oculus Quest 2 zur Verfügung gestellt, das über ein Kabel mit dem Laptop verbunden war, auf dem die Lernanwendung lief. Um sicherzustellen, dass alle Probanden die allgemeine Steuerung im virtuellen Raum beherrschen und sicher anwenden können, übten sie vor der Durchführung unserer Lernanwendung für fünf Minuten in einem Testlevel von Unreal Engine alle essenziellen Funktionalitäten.

Dieser Bereich ermöglicht das Üben der grundlegenden Steuerungen unserer Lernanwendung, einschließlich Bewegung und Orientierung sowie Interaktion mit Objekten.

- **Bewegung und Orientierung:** Der Spieler kann in der virtuellen Welt mit dem Joystick des rechten Controllers nach oben gedrückt halten und einen Lichtbogen steuern, der auf dem Boden einen Kreis wirft. Lässt der Spieler den Trigger los, teleportiert er zur Position des Kreises. Bewegt man den Joystick des linken Controllers in horizontaler Richtung, kann der Spieler seine Perspektive im Raum um 45° rotieren.
- **Interaktion:** Der Spieler kann Gegenstände greifen, indem er die seitlichen Knöpfe der Controller drückt. Drückt er die jeweilige Schultertaste des Controllers, kann er zusätzlich mit dem Zeigefinger greifen. Zudem wurden die Probanden darüber informiert, dass ihre Hände Kollision haben, sodass sie mit der Hand Knöpfe drücken können.

Nachdem die Probanden die Bedienung verstanden und korrekt angewendet hatten, wurden sie erneut darauf hingewiesen, dass es sich um eine Lernanwendung handelt und sie aufmerksam sein sollten. Es wurde betont, dass eine Sprecherstimme die Nutzer durch die Lernanwendung begleiten und informieren wird. Deshalb sollen diese aufmerksam zuhören und die Stimme immer ausreden lassen, bevor sie weiter interagieren.

Anschließend starteten die Probanden die Lernanwendung und durchliefen sie ohne externe Hilfe. Dafür bekamen sie 20 Minuten Zeit. Nach Abschluss aller Phasen der Lernanwendung wurden die Probanden nach einer Stunde erneut eingeladen, den Fragebogen auszufüllen. Nach Ebbinghaus geht innerhalb einer Stunde mehr als die Hälfte der zuvor gelernten Informationen verloren [39, Abschnitt 29]. Dies deutet darauf hin, dass sich diese Informationen im Kurzzeitgedächtnis befanden und nicht ins Langzeitgedächtnis überführt wurden. Da wir die Abspeicherung im Langzeitgedächtnis überprüfen wollten, sollte eine Stunde zwischen dem Lernen und dem Beantworten der Fragen ausreichen, um sicherzustellen, dass die Antworten hauptsächlich aus dem Langzeitgedächtnis stammen.

Durchführung Testgruppe 2 (Textmedium):

Die Testgruppe 2, bestehend aus 10 Probanden, konnte die Studie entweder online oder in Präsenz ausfüllen. Sechs Probanden haben die Studie online ausgefüllt, während vier Probanden in Präsenz teilgenommen haben. Die Wahl, Probanden sowohl online als auch in Präsenz teilnehmen zu lassen, wurde getroffen, um die Flexibilität und Erreichbarkeit der Studie zu erhöhen, wobei darauf geachtet wurde, dass die Bedingungen so weit wie möglich standardisiert wurden, um die Vergleichbarkeit der Daten sicherzustellen.

Online:

Für die Probanden, die online teilnehmen wollten, wurden über die Webseite Jotform die Formulare für den Fragebogen, die Einverständniserklärung sowie die Belehrung über Warnhinweise erstellt. Der Lerntext wurde ihnen als PDF zugeschickt, damit sie wichtige Punkte markieren und Notizen anfertigen konnten. Nach einer Bearbeitungszeit von 10 Minuten wurden sie gebeten, das Textmedium und ihre Notizen beiseitelegen und eine Pause einzulegen. Eine Stunde später vervollständigten sie den Rest des Jotform-Dokuments ohne Zuhilfenahme ihrer Notizen.

Präsenz:

Der Ablauf in Präsenz ist nahezu gleich verlaufen. Die Probanden haben die Dokumente jedoch in Papierform erhalten und ihnen wurde zusätzlich ein Stift und ein leeres Blatt bereitgestellt.

Hinweise zur Dauer und mögliche externe Einflüsse:

Die VR-Lerngruppe hat etwas mehr Zeit als die Lesegruppe erhalten. Das hat mehrere wichtige Gründe. Die Einleitung am Anfang erklärt zum einen erst einmal die wichtigsten Bereiche, bevor das richtige Lernen überhaupt erst losgehen kann.

Zum anderen werden in der VR-Anwendung die Informationen schrittweise eingeführt, im Gegensatz zum Text, bei dem alle Informationen auf einmal zur Verfügung stehen. Diese schrittweise Vermittlung erfordert zusätzliche Zeit, da die Lernenden die neuen Informationen aufnehmen und durch interaktive Elemente verinnerlichen müssen.

Zweitens können die Informationen in der VR-Umgebung nicht dauerhaft nachgelesen werden, da der Fokus auf dem Spielen und Experimentieren liegt. Das Spiel erfordert, dass die Lernenden ihre Aufmerksamkeit auf die Aufgaben und die virtuelle Umgebung richten, was zusätzliche Zeit in Anspruch nimmt.

Drittens erfolgt die Bewegung in der VR-Welt oft langsamer, da die meisten Lernenden sich erst an die neue Umgebung und die Steuerungsmechanik gewöhnen müssen. Obwohl ein fünfminütiges Training der Steuerung durchgeführt wurde, reicht dies oft nicht aus, um alle Aspekte der VR-Interaktion vollständig zu beherrschen.

Das Lernen und Experimentieren benötigt daher länger, bis dieselben Informationen wie in einem Text gelernt werden können.

Zudem noch der Hinweis, dass die Probanden der Testgruppe 2 (online) das Textmedium als PDF zugeschickt bekommen haben. Es wurde deutlich kommuniziert, dass sie auf diese Datei nur während der Lernphase zugreifen dürfen. Nach der Lernphase soll die Datei nicht mehr geöffnet und sich auch nicht über externe Quellen zu dem Thema informiert werden. Wir können jedoch nicht ausschließen, dass dies immer eingehalten wurde.

Durchführung Testgruppe 3 (Kombination Textmedium + VR-Anwendung):

Die Probanden der Testgruppe 3 hatten den gleichen Versuchsaufbau wie die Testgruppe 1. Jedoch wurde die Lesezeit auf 5 Minuten reduziert, da sie sich anschließend noch mit dem Spiel beschäftigen durften. Nach Ablauf der Zeit wurde

der Proband in die VR-Einführung zur Steuerung eingeführt. Anschließend wurde die Lernanwendung gestartet.

5.5 Auswertung

Bearbeitet von Jessica und Maik

Auswertungsmethode

Zur Abfragung des Wissens haben wir Fragen unterschiedlicher Schwierigkeitsgrade erstellt. Es finden sich fünf Single-Choice-Fragen, darunter zwei Wahr-Falsch Fragen.

Die Ergebnisse wurden zunächst durch die Überprüfung der Antworten aus dem Ankreuztest der Fragebögen erhoben. Wir haben die Anzahl der richtigen Antworten notiert und den Mittelwert für jeden Teilnehmer und jede Testgruppe berechnet. Anschließend wurden diese Mittelwerte zwischen den Testgruppen verglichen, um Unterschiede in der Lernleistung zu identifizieren.

Des Weiteren haben wir für eine bessere Abfrage des Tiefenwissens, 4 offene Fragen gestellt, bei denen die Probanden einen Antworttext schreiben mussten. Die Antworten haben wir als korrekt, teilweise korrekt oder falsch bewertet.

Die Testgruppe 1 und 3 haben noch zusätzlich Informationen zu ihren Präferenzen und zur Bewertung unseres Serious Game gegeben. Hier haben wir die übereinstimmenden Antworten der verschiedenen Probanden zusammengerechnet, um herauszufinden, wie vielen Probanden die VR-Anwendung gefallen oder nicht gefallen hat.

Auswertung der Studie

Bei der Erhebung wurden Altersgrenzen verwendet, indem die Teilnehmer gebeten wurden, ihr Alter in vorgegebenen Kategorien wie 16-25 anzugeben. Mit Berücksichtigung auf diesen Aspekt hat die Auswertung der Studie ergeben, dass die drei Testgruppen hinsichtlich ihres Durchschnittsalters ähnlich waren, wobei die Testgruppe 1 mit einem Durchschnittsalter von 32,9 Jahren etwas älter war als die Testgruppen 2 und 3, die ein Durchschnittsalter von 26,1 bzw. 28,0 Jahren aufwiesen. Diese geringfügigen Altersunterschiede können potenziell die Lernergebnisse beeinflussen. Allerdings sind die Unterschiede nicht so gravierend, dass

wir keine signifikanten Abweichungen in den Ergebnissen erwarten. Stattdessen gehen wir davon aus, dass die Auswirkungen auf das Gesamtbild minimal bleiben.

Durchschnittsalter in Jahren der einzelnen Testgruppen

Durchschnittsalter in Jahren der einzelnen Testgruppen bei einer Studie zum Lernerfolg mit einem VR-Serious-Game, Lesen und einer Kombination beider Methoden.

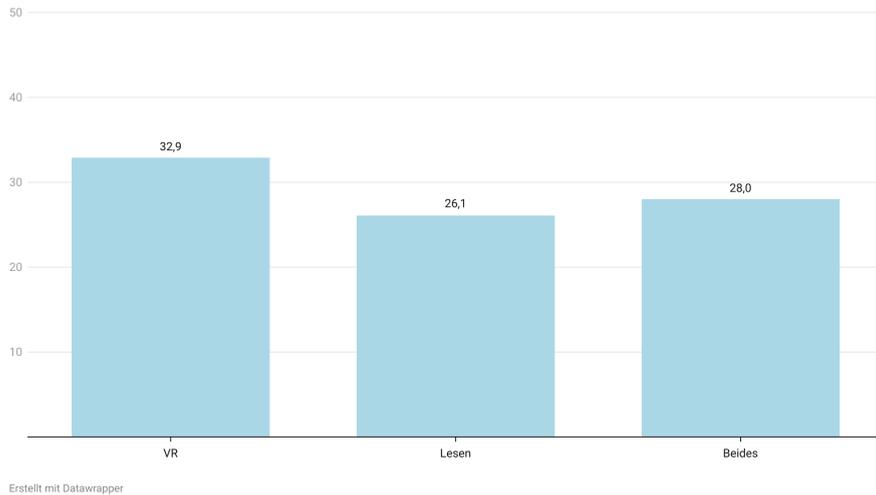


Abb. 50 Statistik zu den Altersunterschieden der Testgruppen

Die Sprachkenntnisse der Probanden waren von besonderer Bedeutung, da die Anwendung komplexe biologische Themen behandelt, die ein höheres Maß an Sprachverständnis erfordern. In Testgruppe 1 (VR) gaben 70 % der Teilnehmer an, Deutsch als Muttersprache zu sprechen, während 20 % C1- und 10 % B2-Sprachkenntnisse hatten. Dafür war der C1-Anteil der Testgruppe 1 höher als bei der Lese-Testgruppe mit nur 10 %. In der Testgruppe 3 befanden sich die meisten Probanden die Muttersprache oder C1 angekreuzt haben. Diese Verteilung zeigt, dass die Mehrheit der Teilnehmer in allen Gruppen über ausgezeichnete Deutschkenntnisse verfügte, was die Vergleichbarkeit der Ergebnisse hinsichtlich des Sprachverständnisses sicherstellt.

Sprachkenntnisse in Deutsch der einzelnen Testgruppen

Sprachkenntnisse in Prozent

■ Muttersprache ■ C1 ■ B2



Erstellt mit Datawrapper

Abb. 51 Statistik über den Sprachkenntnisstand der Testgruppen

Bei den Vorkenntnissen in Enzymatik und VR-Technologie zeigten sich nur geringfügige Unterschiede zwischen den Testgruppen. In allen drei Gruppen hatten 90 % der Teilnehmer keine Vorkenntnisse in Enzymatik. Bei den VR-Vorkenntnissen gaben 90 % der Teilnehmer in Testgruppe 1 und 3 an, keine oder nur seltene Erfahrungen mit VR zu haben, was darauf hinweist, dass die Mehrheit der Teilnehmer in allen Gruppen ähnlich wenig Vorkenntnisse hatte. Dies stellt sicher, dass die Unterschiede in den Lernergebnissen nicht auf unterschiedliche Vorkenntnisse zurückzuführen sind.

Vorkenntnisse der einzelnen Testgruppen

Vorkenntnisse in Prozent

Kategorie	VR	Lesen	Beides
Vorkenntnisse in Enzymatik			
Ja	10	10	10
Nein	90	90	90
Vorkenntnisse in VR			
Nein	90	-	90
Ja - Selten	8	-	7
Ja - Monatlich oder Wöchentlich	2	-	3

Erstellt mit Datawrapper

Abb. 52 Statistik über den Vorkenntnisstand der Testgruppen

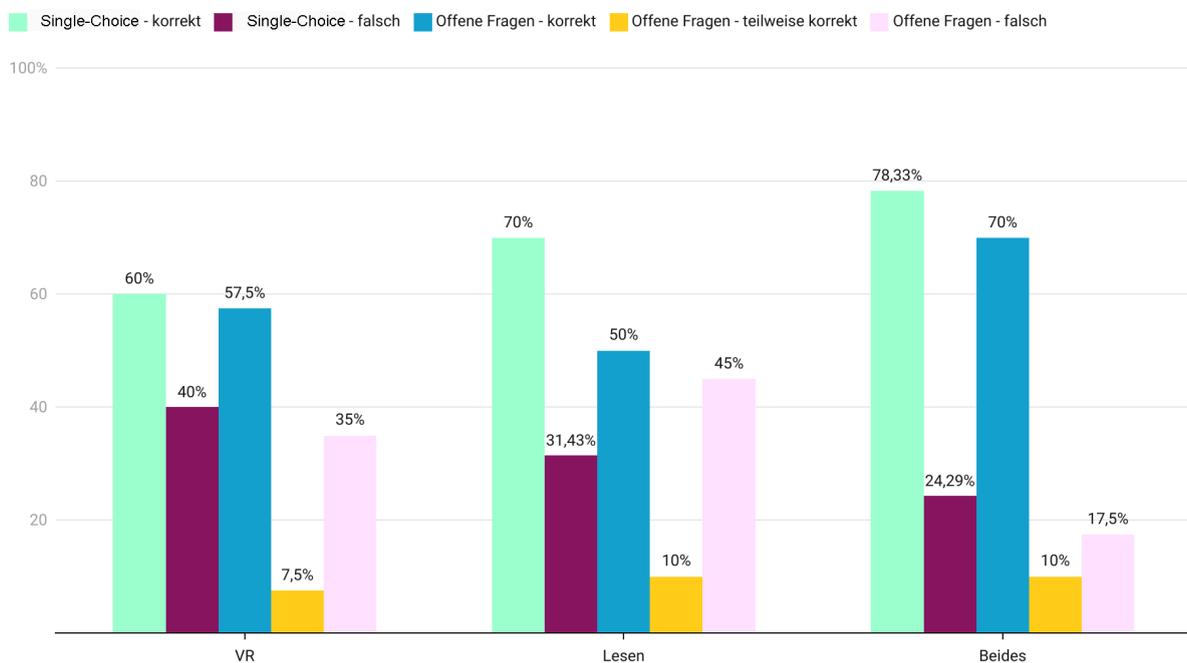
Die Auswertung des Wissensstandes nach der einstündigen Pause ließ hingegen leichte Unterschiede erkennen. Testgruppe 1 konnte 60 % der Auswahlfragen richtig beantworten. Die Testgruppen 2 und 3, also die Textmedium und Kombinationsgruppe erhielten jedoch bessere Ergebnisse, wobei Testgruppe 3 sich deutlich von den anderen beiden Gruppen abhebt. Sie schnitt mit 78,33 % im Single-Choice Fragenteil überdurchschnittlich gut ab.

Außerdem auffällig ist, dass die offenen Fragen, die ein tieferes Verständniswissen prüfen, deutlich besser von der Testgruppe 1 gegenüber Testgruppe 2 beantwortet wurden. Mit ca. 57 % scheint das Wissen tiefer verstanden worden zu sein als bei Testgruppe 2.

Besonders auffällig ist, dass Testgruppe 3 nicht nur bei den Single-Choice-Fragen, sondern auch bei den offenen Fragen, die ein tieferes Verständnis prüfen, überdurchschnittlich gut abschnitt, was unsere Hypothese stützt, dass eine Kombination aus beiden Lernmethoden die effizienteste zu sein scheint. Das Vortraining durch das Lesen des Textes bereitete die Teilnehmer möglicherweise besser auf die anschließende Nutzung der VR-Anwendung vor, wodurch die Lerninhalte effektiver aufgenommen wurden [19, S. 298].

Durchschnittsantworten in Prozent der einzelnen Testgruppen

Durchschnittsantworten in Prozent der einzelnen Testgruppen bei einer Studie zum Lernerfolg mit einem VR Serious Game, Lesen und Kombination beider Methoden.



Erstellt mit Datawrapper

Abb. 53 Statistik zu den Durchschnittsantworten der Probanden

Auswertung der Präferenzen und des Feedbacks

Im Anschluss des Fragebogens wurden die Testgruppen 1 und 3 noch einmal genau dazu befragt, was ihnen gefallen hat oder nicht und welche Lernmethode sie bevorzugen würden. In Testgruppe 1 haben 40 % zugestimmt, dass sie die VR-Lernmethode auf jeden Fall der herkömmlichen Methode bevorzugen würden. Der Großteil mit 50 % kreuzte die Antwort „Eher Ja“ an. In Testgruppe 3 lag der Anteil etwas höher, mit 50 % die vollkommen zustimmen. Dies zeigt, dass die Integration

von VR in den Lernprozess nicht nur das Verständnis, sondern auch die Motivation und das Interesse der Lernenden erheblich steigern kann.

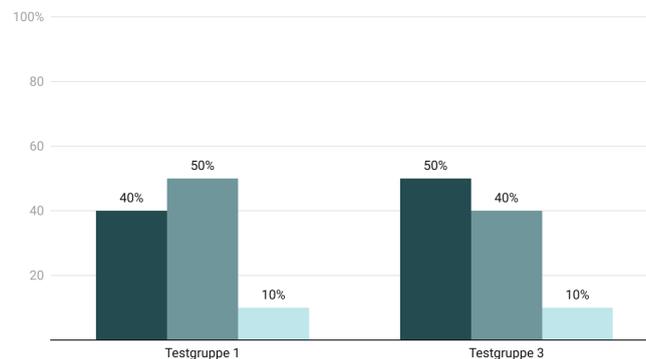
70 % der Anwender in Testgruppe 1 fanden unsere Anwendung sehr gut und in Testgruppe 3 haben 80 % sehr gut angekreuzt. Die restlichen Probanden der Gruppen 1 und 3 haben für gut abgestimmt.

90 % der Anwender der Testgruppen 1 und 3 würden für die Wissensvermittlung des Themas die Anwendung weiterempfehlen. Auch der Teil zum Lerneffekt und Verständnis erhielt hauptsächlich gutes Feedback. Demnach würden in Testgruppe 1 und 3 zusammengerechnet 60 % ihr Verständnis zum Thema als sehr gut oder gut bezeichnen und die restliche 40 % als neutral.

Lernpräferenz

Die Probanden wurden gefragt, ob sie die vorgestellte VR-Anwendung der herkömmlichen Methode vorziehen würden.

■ Auf jeden Fall ■ Eher Ja ■ Neutral



Created with Datawrapper

Abb. 54 Lernpräferenz der Probanden nach dem VR Spiel

Kennnisstand

Die Probanden wurden gefragt, wie sie ihren Kenntnisstand zu dem Thema nach der VR-Anwendung einschätzen.

■ Sehr gut ■ Gut ■ Neutral

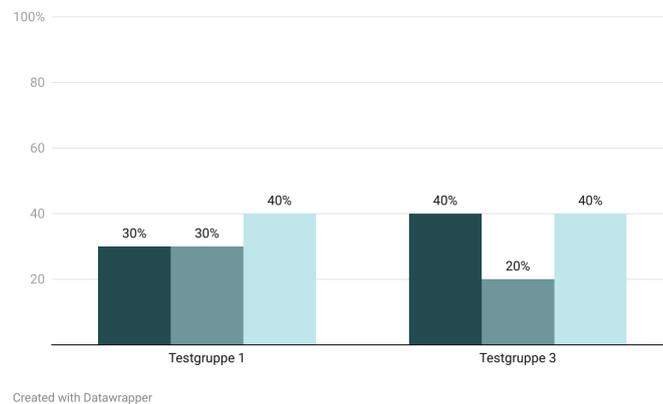


Abb. 55 Kenntnisstand der Probanden nach dem VR Spiel

Besonders gefallen haben die interaktiven Elemente und die Details in der Umgebung der Unterwasserwelt. Ein Spieler hätte sich gewünscht, dass der Replay Button noch einmal deutlicher eingeführt wird, damit der Spieler weiß, wann das Audio wiederholbar ist. Ein anderer Proband wünschte noch einmal eine visuelle Darstellung auf der Konsole, die erklärt das Schieberegler und das Drehrad gegriffen werden können. Insgesamt waren alle Probanden zufrieden mit der Benutzerfreundlichkeit der Anwendung.

Fazit:

Die Ergebnisse der Studie deuten darauf hin, dass interaktive und vielfältige Lernmethoden, wie die Kombination von VR und Lesen, effektiver sind als die Anwendung einer einzelnen Methode. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass beide Methoden unterschiedliche kognitive Prozesse aktivieren und den Lernstoff auf verschiedene Weisen verankern. Die vergleichbaren Vorkenntnisse und Sprachfähigkeiten der Teilnehmer stellen sicher, dass die Unterschiede in den Lernergebnissen auf die Lernmethoden selbst zurückzuführen sind und nicht auf andere Faktoren. Besonders auffällig war, dass VR-Anwendungen tieferes Verständnis fördern, wie bei Testgruppe 1 im offenen Fragenteil ersichtlich, während traditionelle Methoden wie das Lesen weiterhin ihre Stärke in der Vermittlung einfacher Fakten haben. Das Serious Game fand bei den Probanden großen Anklang und spiegelte sich in den Lernpräferenzen wider. Die immersiven Aspekte der VR-Technologie steigerten nicht nur das Lernen, sondern auch das Interesse

und die Motivation der Teilnehmer, was darauf hindeutet, dass VR-basierte Lernmethoden in anderen Bereichen der Naturwissenschaften und darüber hinaus implementiert werden könnten. Die aufgestellten Hypothesen wurden weitgehend bestätigt. Allerdings konnte die Hypothese, dass die Lernleistung der VR-Anwender signifikant höher ist als die der reinen Textleser, nur teilweise bestätigt werden, da Testgruppe 1 im Ankreuztest schlechter abschnitt, jedoch im offenen Fragenteil genauere Antworten lieferte. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass die Stichprobengröße von 30 Teilnehmern relativ klein war, was die Generalisierbarkeit der Ergebnisse einschränkt. Zukünftige Studien sollten daher größere Stichproben umfassen.

Eine Überprüfung von Checa und Bustillo (2020) ergab, dass Nutzer von VR-basierten Serious Games insgesamt zufriedener waren als mit anderen Lernmethoden. Allerdings zeigten nur 30 Prozent der untersuchten Studien, dass VR-basierte Serious Games das Lernen und Training tatsächlich verbesserten. Weitere 6 Prozent stellten fest, dass VR gleichwertig zur traditionellen Methode war, und weitere 6 Prozent fanden, dass VR das Lernen nicht verbesserte [19, S. 297]. Diese Erkenntnisse unterstreichen, dass die Effektivität von VR als Lernwerkzeug variieren kann und dass weitere Forschung notwendig ist, um die Bedingungen zu identifizieren, unter denen VR das Lernen optimal unterstützen kann. Zukünftige Studien sollten daher weitere Tests durchführen und auch Langzeitstudien einbeziehen, um die Nachhaltigkeit des gelernten Wissens zu untersuchen. Ferner könnte es interessant sein, die spezifischen Bedingungen zu erforschen, unter denen VR das Lernen am effektivsten unterstützt, wie etwa die optimale Dauer der VR-Nutzung und die Art der Interaktivität, die den größten Lerneffekt erzielt.

6. Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse

Bearbeitet von Jessica und Maik

In unserer Studie konnten wir nachweisen, dass die VR-Lernanwendung eine effektive und interaktive Möglichkeit bietet, sich mit Inhalten auseinanderzusetzen. Die aktive und interaktive Lernweise fördert in unserem Fall das Lernen und führt zu signifikant besseren Lernergebnissen im Vergleich zu herkömmlichen Methoden. Die Studie hat gezeigt, dass die Programmierung, Darstellungsweise und Performance des Projekts erfolgreich umgesetzt wurden. Insbesondere hat sich herausgestellt, dass eine Kombination aus Lesen und der Nutzung der VR-Anwendung am effizientesten war. Ein typisches zukünftiges Anwendungsszenario im Unterricht könnte daher ähnlich gestaltet sein. Die Probanden äußerten sich zudem sehr positiv über die Anwendung und könnten sich vorstellen, auch in Zukunft auf diese Weise zu lernen.

Einschränkungen der Forschung

Trotz der positiven Ergebnisse gibt es einige Einschränkungen. Das Spiel deckt nur die wesentlichen Grundprinzipien der Enzymatik ab. Weitere wichtige Faktoren wären die Einbindung und Erklärung anderer Hemmungsmethoden sowie die Bedeutung von Cofaktoren gewesen. Zudem hätten wir gerne zusätzliche Phasen integriert, in denen die Teilnehmer das erworbene Wissen über Temperatur, pH-Wert und andere Aspekte noch einmal auf verschiedene Weise anwenden und damit experimentieren könnten. Wir hätten zusätzlich gerne mehr Wiederholungen und kleine Quizze eingebaut, um das gerade gelernte Wissen aus den jeweiligen Phasen noch einmal abzufragen. Dies könnte die Lernleistung weiter verbessern und die Anwendung noch effektiver machen. Zukünftige Projekte könnten diese Ansätze erweitern, indem weitere komplexe biologische Prozesse integriert werden, um ein noch umfassenderes Lernwerkzeug zu entwickeln.

Diskussion der Fragestellungen und Hypothesen

Unsere Forschungsfragen zielten darauf ab, die Effektivität der Lernmethoden zu untersuchen, zu prüfen, ob die Kombination von Methoden die Lernleistung verbessert, und die Präferenzen und Zufriedenheit der Probanden zu ermitteln. Unsere Hypothesen waren:

1. **Hypothese zur VR-Anwendung:** Die Lernleistung der Teilnehmer, die die VR-Anwendung nutzen, ist signifikant höher als die der Teilnehmer, die nur den Text lesen.
2. **Hypothese zur Kombination von Methoden:** Die Lernleistung der Teilnehmer, die eine Kombination aus Lesen und VR-Anwendung nutzen, ist signifikant höher als die der Teilnehmer, die nur eine der einzelnen Methoden nutzen.
3. **Hypothese zur Zufriedenheit und Lernleistung:** Die Zufriedenheit mit der VR-Anwendung ist positiv korreliert mit der wahrgenommenen Lernleistung der Teilnehmer der Testgruppen 1 und 3.
4. **Hypothese zur Präferenz der Lernmethoden:** Die Mehrheit der Teilnehmer bevorzugt die Kombination aus Lesen und VR-Anwendung gegenüber den einzelnen Methoden.

Die Ergebnisse der Studie haben gezeigt, dass alle Hypothesen bestätigt wurden. Die VR-Anwendung zeigte eine leicht höhere Effektivität im Vergleich zum Textmedium, und die Kombination beider Methoden führte zu den besten Lernergebnissen. Die Teilnehmer waren zudem sehr zufrieden mit der VR-Anwendung und bevorzugten die Kombination aus Lesen und VR.

Implikationen und Empfehlungen für zukünftige Forschung

Die Ergebnisse unserer Studie haben wichtige Folgerungen für die Entwicklung zukünftiger Lernmethoden. Eine Kombination traditioneller und digital-interaktiver Lernmethoden kann die Lernleistung verbessern und das Verständnis vertiefen. Gerade der interaktive Ansatz kann die Motivation der Lernenden erhöhen und somit zu einem größeren Interesse beitragen. Zukünftige Forschung könnte sich darauf konzentrieren, die Anwendung um zusätzliche Inhalte und interaktive Elemente zu erweitern, um das Lernen noch effektiver zu gestalten. Außerdem wäre es interessant zu untersuchen, wie unterschiedliche Zielgruppen z. B. unterschiedlichen Alters auf die VR-Anwendung reagieren und welche Anpassungen notwendig sind, um die Anwendung für verschiedene Altersgruppen und Lernniveaus optimal zu gestalten.

Beim Beobachten der Probanden haben wir zudem einige wichtige Erkenntnisse gewonnen. Das Testen mit verschiedenen Probanden ist unerlässlich und hat uns tiefe Einblicke für zukünftige Projekte ermöglicht. Aus der Studie haben wir gelernt, wie wichtig es ist, Nutzerfeedback frühzeitig und kontinuierlich in den Entwicklungsprozess einfließen zu lassen. Bei einer Erweiterung der Anwendung würden wir weiterhin besonderen Wert auf den Fokus der Spieler legen, da dieser entscheidend dafür ist, ob Wissen effektiv aufgenommen wird.

Die Blickrichtungen einiger Probanden fielen dabei nicht immer auf die gewünschten Stellen, selbst wenn diese durch Lichteffekte markiert und von der Sprecherstimme hervorgehoben wurden. Zudem konnten wir beobachten, dass Spieler ohne VR-Erfahrung oder mit weniger Computerspielerfahrung häufiger Probleme mit typischen Bedienelementen hatten. Ein Tutorial zu Beginn, das die wichtigsten Prinzipien des Spiels erklärt, könnte daher hilfreich sein. Fortführend könnten die UI-Elemente mit Text- und Audio-Kennzeichnungen eingeführt werden, um die Möglichkeit der Fehlinterpretation der Funktionen zu reduzieren.

Der mittlere Bildschirm könnte ebenfalls genutzt werden, um die aktuellen Aufgaben und deren Ausführung anzuzeigen. Auch die Einführung der anderen Knöpfe wäre wünschenswert, da viele Funktionen von den Spielern erst gegen Ende hin ausprobiert wurden.

Schlussfolgerungen

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Entwicklung und Implementierung der VR-Lernanwendung ein erfolgreicher Schritt in Richtung interaktiver und effektiver Lernmethoden ist. Unsere Studie hat gezeigt, dass interaktive Lernmethoden, insbesondere in Kombination mit traditionellen Ansätzen, die Lernleistung verbessern können. Das positive Feedback der Probanden beweist das Potenzial solcher Anwendungen für die Zukunft des Lernens und das bestehende Interesse. Bereits jetzt kommen VR-Spiele immer häufiger zum Einsatz, um Wissen zu vermitteln. Mit weiteren Anpassungen und Erweiterungen sowie der Entwicklung weiterer Serious Games könnte diese Technologie eine zentrale Rolle in der Bildung spielen und dazu beitragen, das Lernen interessanter und nachhaltiger zu gestalten.

Literaturverzeichnis

[1] Statista Research Department, „Anteil der Computer- und Videospiele in Deutschland in den Jahren 2013 bis 2023“, August 2023. [Online]. Verfügbar:

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/315860/umfrage/anteil-der-computerspieler-in-deutschland/> [Zugriff am: 17-Apr-2024]

[2] C. C. Abt, Serious games, New York City: Viking Press, 1970. [Online]. Verfügbar:

<https://archive.org/details/seriousgames0000abtc/page/n9/mode/2up>

[3] G. Hagenauer und T. Hascher, „Lernfreude, engagierte Mitarbeit im Unterricht und erfolgreiches Leisten bei instrumentellen Formen der Lernmotivation – ein Widerspruch in sich?“, Z f Bildungsforsch, Bd. 1, S. 97–113, 2011. [Online]. Verfügbar:

<https://doi.org/10.1007/s35834-011-0011-3>

[4] J. Zajda, „Constructivist Learning Theory and Creating Effective Learning Environments“, in Globalisation and Education Reforms, Bd. 25, Globalisation, Comparative Education and Policy Research, Springer, Cham, 2021. [Online]. Verfügbar:

https://doi.org/10.1007/978-3-030-71575-5_3

[5] DUDEN Verlag, DUDEN Abiturwissen, 2011, S. 1-464. [Online]. Verfügbar:

https://archive.org/details/duden_abiturwissen/DUDEN%20Abiturwissen%20Biologie/page/104/mode/2up [Zugriff am: 12-Apr-2024]

[6] K. Dettner, „Biolumineszenz“, in Lehrbuch der Entomologie, K. Dettner und W. Peters, Hrsg. Spektrum Akademischer Verlag, 2010. [Online]. Verfügbar:

https://doi.org/10.1007/978-3-8274-2618-5_18

[7] W. Müller, „Leuchten im Dunkeln“, in Lebenswelt Meer. Springer, Berlin, Heidelberg, 2017, S. 201-207. [Online]. Verfügbar: https://doi.org/10.1007/978-3-662-52852-5_13

[8] U. K. Winkler und J. Sicher, „Die Biolumineszenz von Tieren, Pflanzen und Bakterien Grundlagen und Anwendung,“ Naturwissenschaften, Bd. 83, S. 312–320, 1996. [Online]. Verfügbar: <https://doi.org/10.1007/BF01152212>

[9] R. Dörner, S. Göbel, M. Kickmeier-Rust, M. Masuch und K. Zweig, Entertainment Computing and Serious Games, International GI-Dagstuhl Seminar 15283, Dagstuhl Castle, Germany, 5.-10. Juli 2015, Überarbeitete Ausgewählte Beiträge, Lecture Notes in Computer Science, Springer Cham. [Online]. Verfügbar: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-46152-6>

- [10] R. Dörner, S. Göbel, W. Effelsberg und J. Wiemeyer, Serious Games, Foundation, Concepts and Practice, Springer International Publishing Switzerland, 2016.
- [11] D. B. Clark, E. E. Tanner-Smith, und S. S. Killingsworth, „Digital Games, Design, and Learning: A Systematic Review and Meta-Analysis“, *Review of Educational Research*, Bd. 86, Nr. 1, S. 79–122, 2016. [Online]. Verfügbar: <https://doi.org/10.3102/0034654315582065>
- [12] M. Ma, M. F. Oliveira und J. M. Pereira, Serious Games Development and Applications, Zweite Internationale Konferenz, SGDA 2011, Lissabon, Portugal, 19.-20. September 2011, Proceedings, Lecture Notes in Computer Science, Springer Berlin, Heidelberg. [Online]. Verfügbar: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-23834-5>
- [13] Epic Games, Unreal Engine, „What's new“, [Online]. Verfügbar: <https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/whats-new> [Zugriff am: 17-Apr-2024]
- [14] J. E. S. C. de Almeida, „Serious Games as a Behaviour Elicitation Tool: Applications to Evacuation Scenarios,“ FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 11-Jan-2016. [Online]. Verfügbar: https://sigarra.up.pt/spup/en/PUB_GERAL.PUB_VIEW?pi_pub_base_id=121553
- [15] Y. Cai, W. van Joolingen und Z. Walker, VR, Simulations and Serious Games for Education, Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2019. [Online]. Verfügbar: <https://doi.org/10.1007/978-981-13-2844-2>
- [16] D. H. Schunk, Learning Theories: An Educational Perspective, 6th ed. Boston, MA, USA: Pearson Education, Inc., 2012. [Online]. Verfügbar: <https://elmirmohammedmemorypsy.com/wp-content/uploads/2017/11/learning-theories-an-educational-perspective.pdf>
- [17] H. Siebert, Pädagogischer Konstruktivismus, 3. Aufl., Weinheim: Beltz, 2005, 150 S. [Online]. Verfügbar: <https://katalog.ub.uni-leipzig.de/Record/0-667717242>
- [18] R. Dubs, „Konstruktivismus: Einige Überlegungen aus der Sicht der Unterrichtsgestaltung“, Zeitschrift für Pädagogik, Bd. 41, Nr. 6, S. 889-903, 1995. [Online]. Verfügbar: <https://doi.org/10.25656/01:10535>
- [19] G. Makransky, „The Immersion Principle in Multimedia Learning“, in The Cambridge Handbook of Multimedia Learning, R. E. Mayer and L. Fiorella, Eds. Cambridge: Cambridge

University Press, S. 296–303, 2021. [Online]. Verfügbar:

<https://doi.org/10.1017/9781108894333>

[20] S. Hidi, „The Four-Phase Model of Interest Development”, *Educational Psychologist*, Bd. 41, S. 111-127, 2006. [Online]. Verfügbar: https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_4.

[21] M. T. H. Chi, „Active-Constructive-Interactive: A Conceptual Framework for Differentiating Learning Activities” *Topics in Cognitive Science*, Bd. 1, S. 73-105, 2009. [Online]. Verfügbar: <https://doi.org/10.1111/j.1756-8765.2008.01005.x>

[22] J. Gee, „What Video Games Have to Teach Us About Learning and Literacy”, *Computers in Entertainment*, Bd. 1, Nr. 20, 2003. [Online]. Verfügbar: <https://doi.org/10.1145/950566.950595>

[23] Nielsen Norman Group, „Jakob’s Ten Usability Heuristics”, [Online]. Verfügbar: https://media.nngroup.com/media/articles/attachments/Heuristic_Summary1-compressed.pdf#:~:text=URL%3A%20https%3A%2F%2Fmedia.nngroup.com%2Fmedia%2Farticles%2Fattachments%2FHeuristic_Summary1 [Zugriff am: 13-May-2024]

[24] M. Kasueske, „Klonierung und Charakterisierung der Luziferase und des Luziferin regenerierenden Enzyms aus dem marinen Schwamm *Suberites domuncula*” Dissertation, Fachbereich Biologie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Mainz, Germany, 2009. [Online]. Verfügbar: <https://docplayer.org/35175491-Klonierung-und-charakterisierung-der-luziferase-und-des-luziferin-regenerierenden-enzym-aus-dem-marinen-schwamm-suberites-domuncula.html>, [Zugriff am: 07-Jul-2024].

[25] A. J. Silva Neto, V. Scorsato, F. G. C. Arnoldi, et al., „Pyrearinus termitilluminans larval click beetle luciferase: active site properties, structure and function relationships and comparison with other beetle luciferases” *Photochem Photobiol Sci*, Bd. 8, S. 1748–1754, 2009. [Online]. Verfügbar: <https://doi.org/10.1039/b9pp00053d>

[26] RSCB Protein Data Bank, „1LCI”, [Online]. Verfügbar: <https://www.rcsb.org/3d-view/1LCI> [Zugriff am: 13-May-2024]

[27] W. E. G. Müller, M. Kasueske, X. Wang, et al., „Luciferase a light source for the silica-based optical waveguides (spicules) in the demosponge *Suberites domuncula*” *Cell. Mol. Life Sci.*, Bd. 66, S. 537, 2009. [Online]. Verfügbar: <https://doi.org/10.1007/s00018-008-8492-5>

- [28] G. F. Pelentir, A. Tomazini, V. R. Bevilaqua, et al., „Role of Histidine 310 in *Amydetes vivianii* firefly luciferase pH and metal sensitivities and improvement of its color tuning properties” *Photochem Photobiol Sci*, Bd. 23, S. 997–1010, 2024. [Online]. Verfügbar: <https://doi.org/10.1007/s43630-024-00570-1>
- [29] R. Chatragadda, „Terrestrial and marine bioluminescent organisms from the Indian subcontinent: a review” *Environ Monit Assess*, Bd. 192, Nr. 747, 2020. [Online]. Verfügbar: <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08685-5>
- [30] G. Makransky und G.B. Petersen, „The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): a Theoretical Research-Based Model of Learning in Immersive Virtual Reality“, *Educ Psychol Rev*, Bd. 33, S. 937–958, 2021. [Online]. Verfügbar: <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2>
- [31] W. Zhang, L. Dong, X. Pan, P. Zou, L. Qin und W. Xu, „A Survey of Restoration and Enhancement for Underwater Images” 13. Dez. 2019. [Online]. Verfügbar: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2959560>
- [32] W. Müller, *Lebenswelt Meer, Reportagen aus der Meeresbiologie und Vorstellungen über die Entstehung des Lebens*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2017. [Online]. Verfügbar: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-52852-5>
- [33] Epic Games, „Unreal Engine, Behavior Trees”, [Online]. Verfügbar: https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/behavior-tree-in-unreal-engine---overview?application_version=5.3 [Zugriff am: 17-Apr-2024]
- [34] Epic Games, „Unreal Engine, Gameplay Framework”, [Online]. Verfügbar: <https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/gameplay-framework-in-unreal-engine> [Zugriff am: 21-May-2024]
- [35] S. Banerjee, S. Grover und D. Sridharan, „Unraveling Causal Mechanisms of Top-Down and Bottom-Up Visuospatial Attention with Non-invasive Brain Stimulation” *J Indian Inst Sci*, Bd. 97, S. 451–475, 2017. [Online]. Verfügbar: <https://doi.org/10.1007/s41745-017-0046-0>
- [36] Epic Games, „Unreal Engine, Material Parameter Collections”, [Online]. Verfügbar: https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/using-material-parameter-collections-in-unreal-engine?application_version=5.4 [Zugriff am: 25-May-2024]

[37] M. I. Koksharov und N. N. Ugarova, „Thermostabilization of firefly luciferase by in vivo directed evolution” Protein Engineering, Design and Selection, Bd. 24, Nr. 11, S. 835–844, Nov. 2011. [Online]. Verfügbar: <https://doi.org/10.1093/protein/gzr044>

[38] G. Wendt, F. Faul, V. Ekroll und R. Mausfeld, „Disparity, motion, and color information improve gloss constancy performance” Journal of Vision, Bd. 10, Nr. 9, Art. 7, 2010. [Online]. Verfügbar: <https://doi.org/10.1167/10.9.7>

[39] H. Ebbinghaus, Über das Gedächtnis, Leipzig, 1885. [Online]. Verfügbar: <https://home.uni-leipzig.de/wundtbrieft/wvcd/opera/ebbing/memory/Gdaechtl.htm>, [Zugriff am: 07-Jul-2024].

Abbildungsverzeichnis

- [1] ImranKhan1992, „Enzyme-substrate binding“, Wikimedia Commons, 4 July 2014. [Online]. Verfügbar: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Enzyme-substrate_binding.png, [Zugriff am: 07-Jun-2024]
- [2] ExploreEnz - The Enzyme Database, „EC 1.13.12.7“, 2017. [Online]. Verfügbar: <https://www.enzyme-database.org/reaction/single/113127.html> [Zugriff am: 20-Jun-2024].
- [3] PxHere, „Quallen“, 7 February 2019. [Online]. Verfügbar: <https://pxhere.com/de/photo/1528785>, [Zugriff am: 07-Jul-2024]
- [4] Wofl~commonswiki, „Lampyris noctiluca“, Wikimedia Common, 8. Oktober 2012. [Online]. Verfügbar: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lampyris_noctiluca.jpg. [Zugegriffen: 07-Jul-2024]. CC BY-SA 2.0 DE. Verfügbar: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/de/deed.en>.
- [5] NIH 3D, „FIREFLY LUCIFERASE (Version 2.x)“, NIH 3D, 2015. [Online]. Verfügbar: <https://doi.org/10.60705/3DPX/2385.2>
- [6] NIH 3D, „Firefly luciferin“, NIH 3D, 2015. [Online]. Verfügbar: <https://doi.org/10.60705/3dpx/11661.2>
- [7] W. Zhang, L. Dong, X. Pan, P. Zou, L. Qin und W. Xu, „A Survey of Restoration and Enhancement for Underwater Images“, 13. Dez. 2019. [Online]. Verfügbar: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2959560>
- [8] Interactive and connected rehabilitation systems for e-health, „Scientific Figure on ResearchGate“, [Online]. Verfügbar: https://www.researchgate.net/figure/Gimbal-lock-problem-for-Euler-angles-A-no-gimbal-lock-B-yaw-and-roll-angles-are_fig14_332394380 [Zugriff am: 20-May-2024]
- [9] Spektrum, „Michaelis-Menten-Gleichung“, Copyright 2001 Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg. [Online]. Verfügbar: <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/michaelis-menten-gleichung/7573>
- [10] K. Castiglione, „Enzymkinetik“, in Bioprozesstechnik, H. Chmiel, R. Takors und D. Weuster-Botz, Hrsg. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, 2018, Abbildung 1.14. [Online]. Verfügbar: https://doi.org/10.1007/978-3-662-54042-8_1

[11] Wikimedia Commons, GYassineMrabet, „KinEnzym01.svg“, 13 April 2007. [Online].
Verfügbar: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:KinEnzym01.svg>, [Zugegriffen:
07-Jul-2024]. Lizenziert unter CC BY-SA 3.0. Verfügbar:
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>

Materialverzeichnis:

[1] Sketchfab, Misao00, „Firefly squid (glowing)“, 2017. [Online]. Verfügbar:

<https://sketchfab.com/3d-models/firefly-squid-glowing-7055e5b018ca43e9ad2e00438f8572a>

1. [Zugegriffen: 17-Jun-2024]. Lizenziert unter CC Attribution-NonCommercial. Verfügbar:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

[2] Sketchfab, A. Holzworth, „Anglerfish“, 2021. [Online]. Verfügbar:

<https://sketchfab.com/3d-models/anglerfish-5e2f4b2d2e1a4613a008b6caaf40d50c>.

[Zugegriffen: 17-Jun-2024]. Lizenziert unter CC Attribution. Verfügbar:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>, bearbeitet.

[3] Flaticon, „Sound Waves free icon.“, [Online]. Verfügbar:

https://www.flaticon.com/free-icon/sound-waves_109190. [Zugegriffen: 17-Jun-2024].

Lizenziert unter der Flaticon License, bearbeitet.

[4] Flaticon, „Celsius kostenlos Icon.“, [Online]. Verfügbar:

https://www.flaticon.com/de/kostenloses-icon/celsius_3893407?term=celsius&page=1&position=79&origin=search&related_id=3893407. [Zugegriffen: 17-Jun-2024]. Lizenziert unter der

Flaticonlizenz, bearbeitet.

[5] Flaticon, „Ph-gleichgewicht kostenlos Icon.“, [Online]. Verfügbar:

https://www.flaticon.com/de/kostenloses-icon/ph-gleichgewicht_15359463?term=ph+wert&page=1&position=9&origin=search&related_id=15359463. [Zugegriffen: 17-Jun-2024].

Lizenziert unter der Flaticonlizenz, bearbeitet.

[6] Flaticon, „Die Info kostenlos Icon.“, [Online]. Verfügbar:

https://www.flaticon.com/de/kostenloses-icon/die-info_167801?term=info&page=1&position=2&origin=search&related_id=167801. [Zugegriffen: 17-Jun-2024]. Lizenziert unter der

Flaticon-Editorial-Lizenz, bearbeitet.

[7] Flaticon, „Add free icon.“, [Online]. Verfügbar:

https://www.flaticon.com/free-icon/add_1237946?term=plus&page=1&position=15&origin=search&related_id=1237946. [Zugegriffen: 17-Jun-2024]. Lizenziert unter der Flaticon-Lizenz,

bearbeitet.

[8] Flaticon, „Minus Sign free icon.“, [Online]. Verfügbar:

https://www.flaticon.com/free-icon/minus-sign_43625?term=minus&page=1&position=2&origin=search&related_id=43625

[n=search&related_id=43625](#). [Zugegriffen: 17-Jun-2024]. Lizenziert unter der Flaticon-Lizenz, bearbeitet.

[9] Flaticon, „Sonne kostenlos Icon.“, [Online]. Verfügbar: https://www.flaticon.com/de/kostenloses-icon/sonne_15349372?term=sun&page=1&position=42&origin=search&related_id=15349372. [Zugegriffen: 17-Jun-2024]. Lizenziert unter der Flaticonlizenz.

[10] Flaticon, „Moleküle kostenlos Icon.“, [Online]. Verfügbar: https://www.flaticon.com/de/kostenloses-icon/molekule_5228540?term=molekule&page=1&position=5&origin=search&related_id=5228540. [Zugegriffen: 17-Jun-2024]. Lizenziert unter der Flaticonlizenz, bearbeitet.

[11] Flaticon, „Molekül kostenlos Icon.“, [Online]. Verfügbar: https://www.flaticon.com/de/kostenloses-icon/molekul_3016867?term=molekule&page=1&position=6&origin=search&related_id=3016867. [Zugegriffen: 17-Jun-2024]. Lizenziert unter der Flaticonlizenz, bearbeitet.

[12] Flaticon, „Laden Sie Curve Arrow Herunter kostenlos Icon.“, [Online]. Verfügbar: https://www.flaticon.com/de/kostenloses-icon/laden-sie-curve-arrow-herunter_21200?term=arrow&page=1&position=6&origin=search&related_id=21200. [Zugegriffen: 17-Jun-2024]. Lizenziert unter der Flaticonlizenz, bearbeitet.

[13] Quixel Megascans, „Seaweed.“, [Online]. Verfügbar: <https://quixel.com/megascans/home?category=3D%20plant&category=aquatic&category=submerged&assetId=sdokE>. [Zugegriffen: 20-Jun-2024]

[14] Quixel Megascans, „Ocean Seaweed.“, [Online]. Verfügbar: <https://quixel.com/megascans/home?category=3D%20plant&category=aquatic&category=submerged&assetId=sdEh6>. [Zugegriffen: 20-Jun-2024]

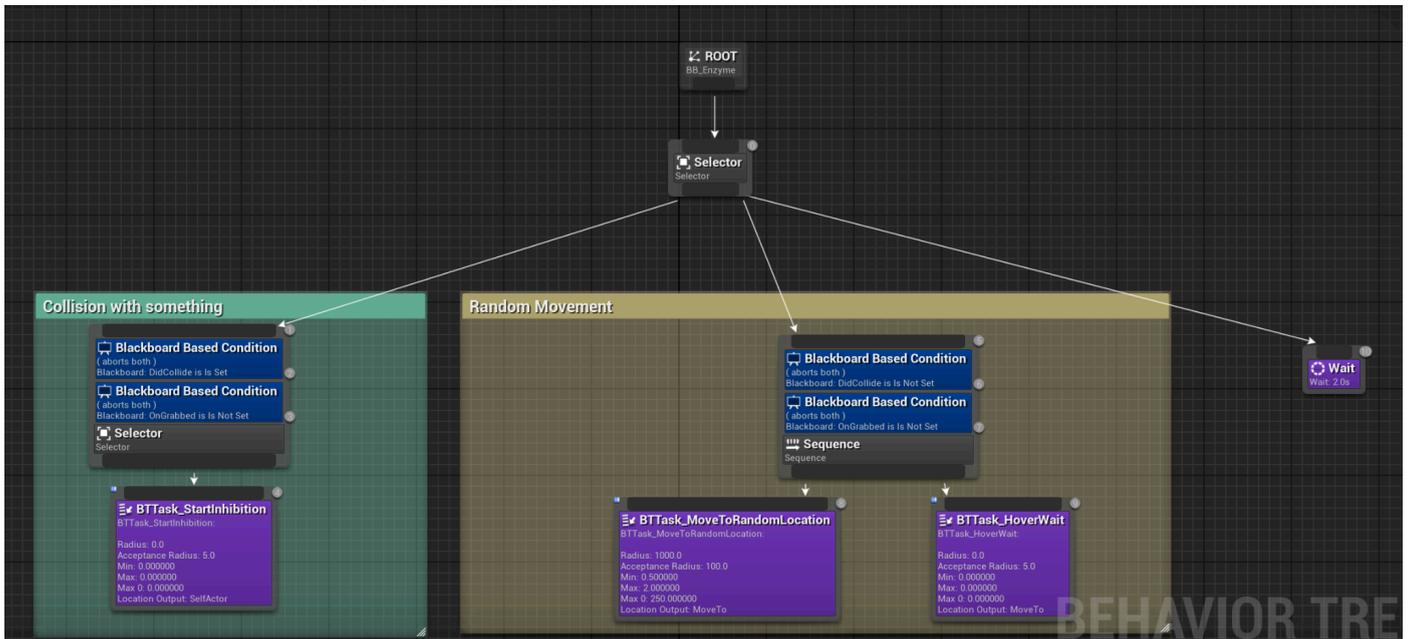
[15] Quixel Megascans, „Lemongrass.“, [Online]. Verfügbar: <https://quixel.com/megascans/home?category=3D%20plant&category=grass&assetId=sktne> [Zugegriffen: 20-Jun-2024]

[16] Epic Games Store, D. Dryzhak, „Corals“, 16-Sep-2019. [Online]. Verfügbar: <https://www.unrealengine.com/marketplace/en-US/product/corals>. [Zugegriffen: 20-Jun-2024]

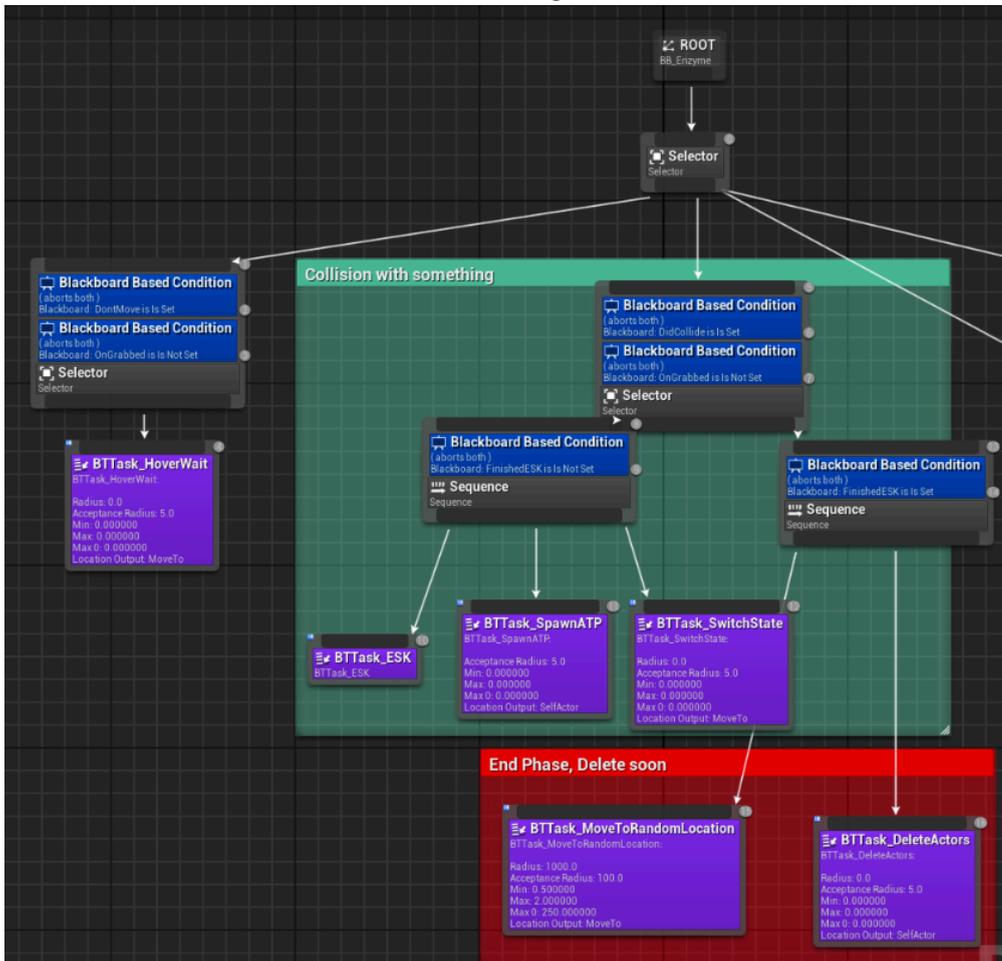
- [17] Paethon, „Pipe Straight.“, Sketchfab, 2024. [Online]. Verfügbar:
<https://sketchfab.com/3d-models/pipe-straight-e1de405e63d14cafa7077fdeaaef893f>.
[Zugegriffen: 20-Jun-2024]. Lizenziert unter CC Attribution. Verfügbar:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
- [18] Sketchfab, RISD Nature Lab, „Coral“, 2021. [Online]. Verfügbar:
<https://sketchfab.com/3d-models/coral-665e3b345c754e618ae931d6fc786f7a>. [Zugegriffen:
20-Jun-2024]. Lizenziert und CC Attribution. Verfügbar:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
- [19] Sketchfab, Earth Sciences, University of Newcastle, „Modern coral #2“, 2022. [Online].
Verfügbar:
<https://sketchfab.com/3d-models/modern-coral-2-784ce93e1ea34ecb92ff1e8623a0ce9d>.
[Zugegriffen: 20-Jun-2024]. Lizenziert und CC Attribution. Verfügbar:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.
- [20] Sketchfab, Herrick Chow, „Coral 珊瑚“, 2024. [Online]. Verfügbar:
<https://sketchfab.com/3d-models/coral-bd3a47071fc1452bbc6007fcd96be32d>. [Zugegriffen:
20-Jun-2024]. Lizenziert und CC Attribution. Verfügbar:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.
- [21] Sketchfab, thehydrous, „Acropora hyacinthus“,
<https://sketchfab.com/3d-models/acropora-hyacinthus-3b2227217de7468ea1ae67440505ce49>. [Zugegriffen: 20-Jun-2024]. CC Attribution-NonCommercial-ShareAlike. Verfügbar:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.
- [22] Epic Games, Craft Assets Studio (CAS), „Advanced Flock System“, 2. Okt.
2020. <https://www.unrealengine.com/marketplace/en-US/product/advanced-flock-system>.
[Zugegriffen: 20-Mai-2024].
- [23] Pixabay, R-0-T-0, „Soundeffekte: Klicken, Maus, Clicker“, kostenlose Nutzung.
<https://pixabay.com/de/sound-effects/click-151673/>. Pixabay-Inhaltslizenz. [Zugegriffen:
5-Juni-2024].
- [24] Pixabay, u_jety9kd4hd, „underwaterambience“,
<https://pixabay.com/de/sound-effects/underwaterambience-181406/>. Pixabay-Inhaltslizenz.
[Zugegriffen: 6-Juni-2024].

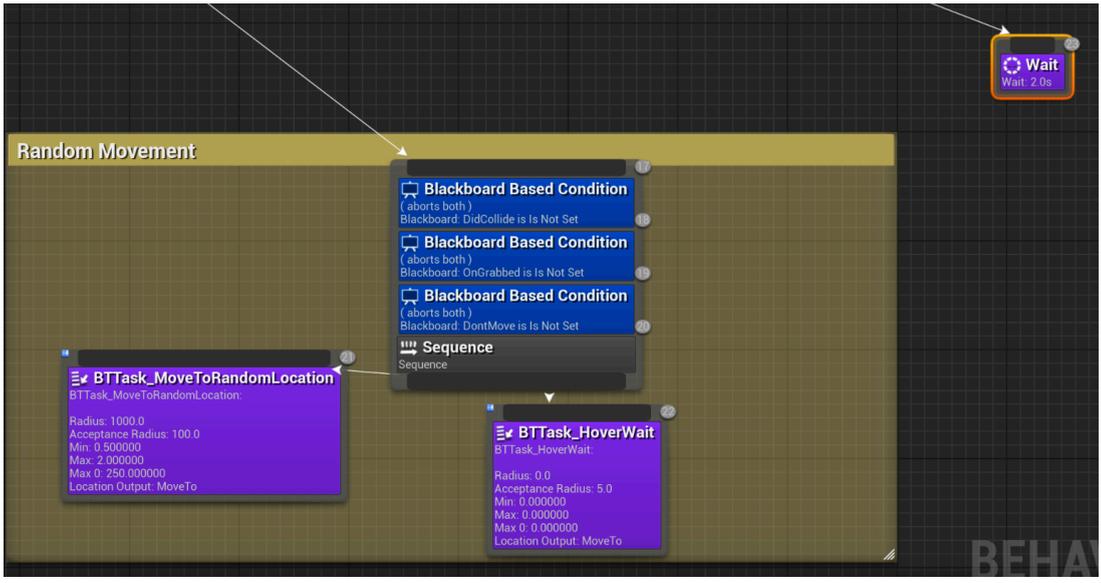
Anhang 1: Blueprint Code

Behavior Tree des Schwermetalls



Behavior Tree des Substrats. Dargestellt in 2 Bildern.





Behavior Tree für Enzyme. Dargestellt in 2 Bildern.

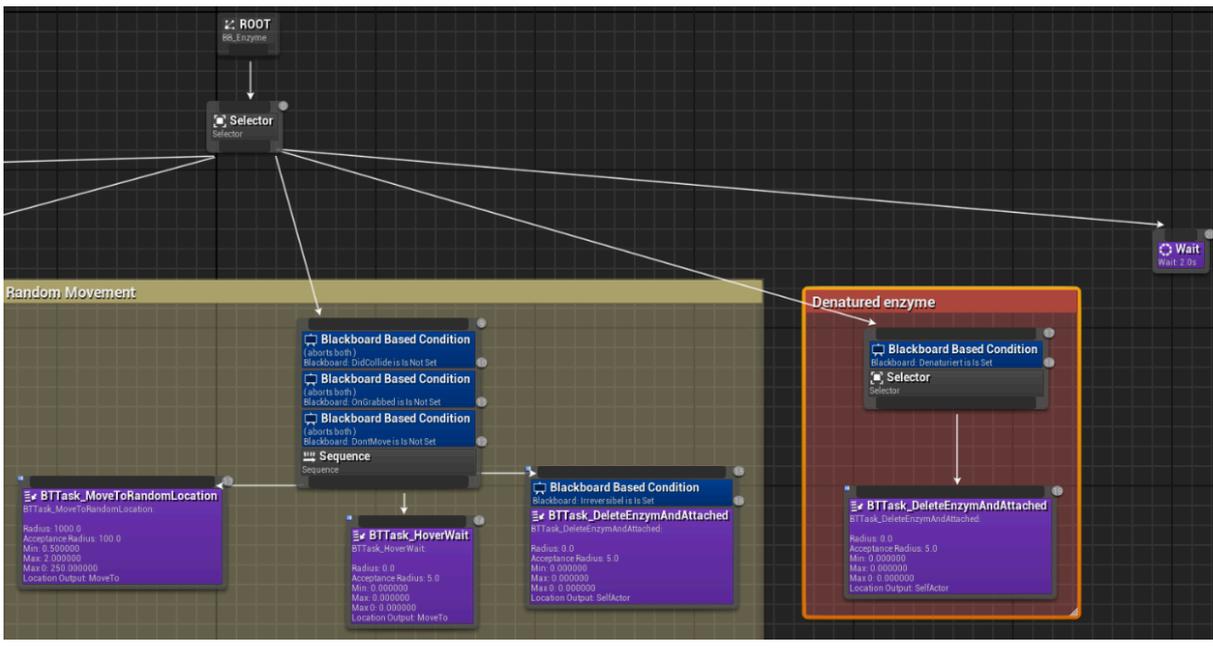
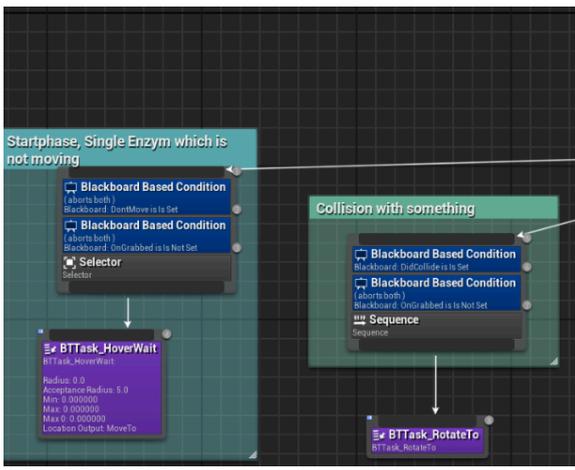
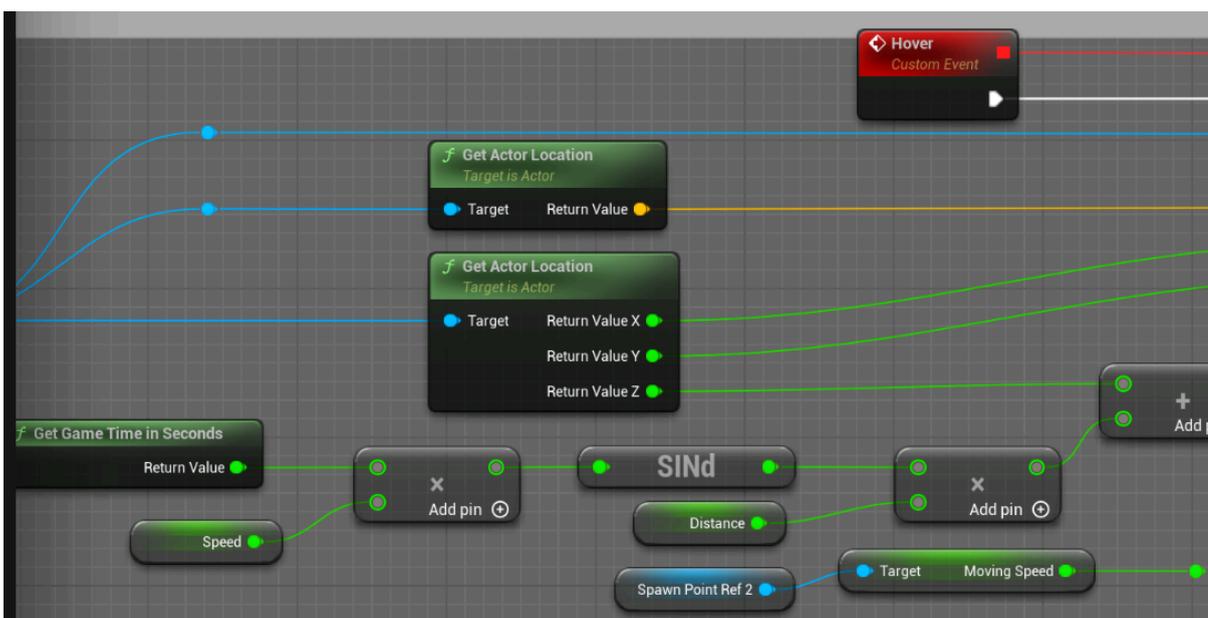
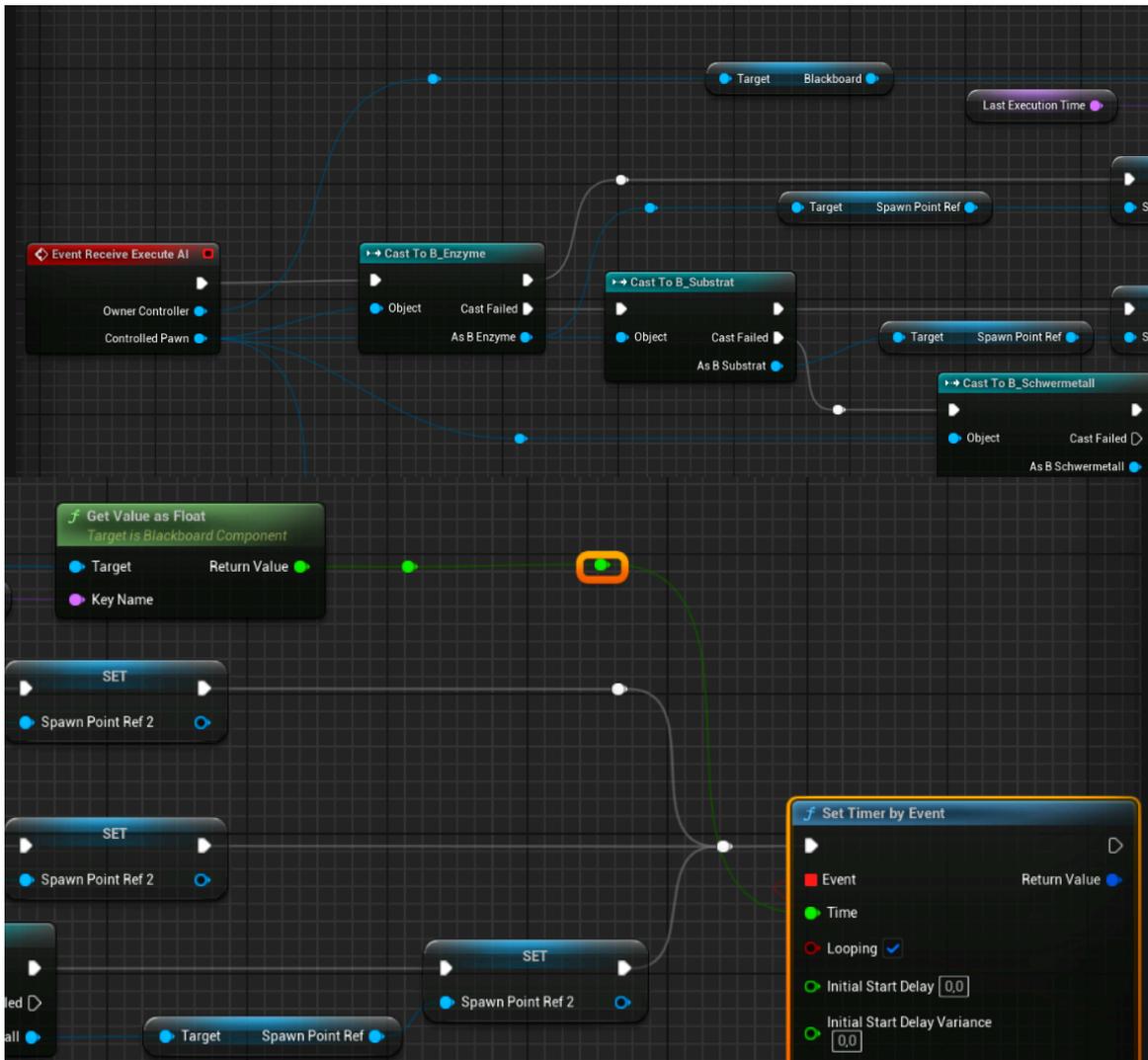


Abb. 25 HoverWait Task. Dargestellt in 4 Bildern



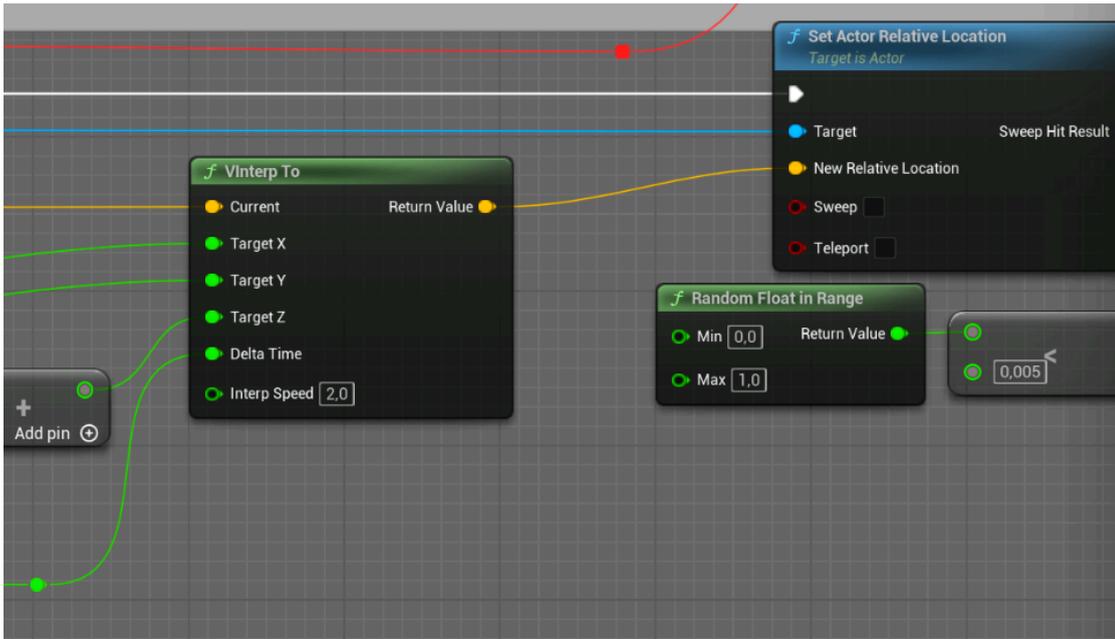


Abb. 33 Teil des Codes für die Audiosequenz bei Enzymen. Dargestellt in 2 Bildern

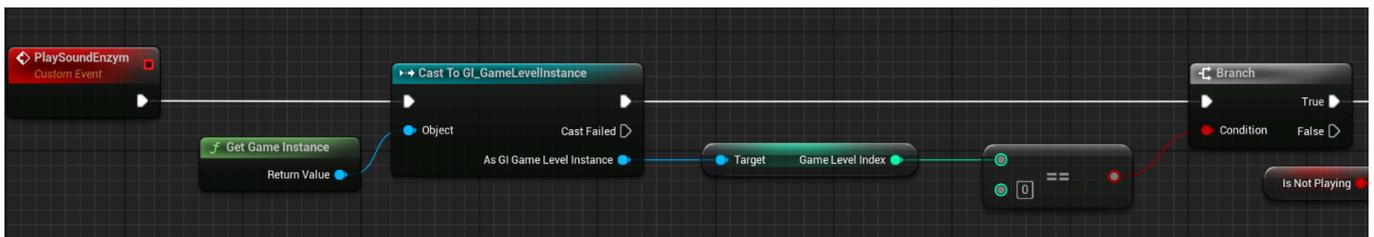
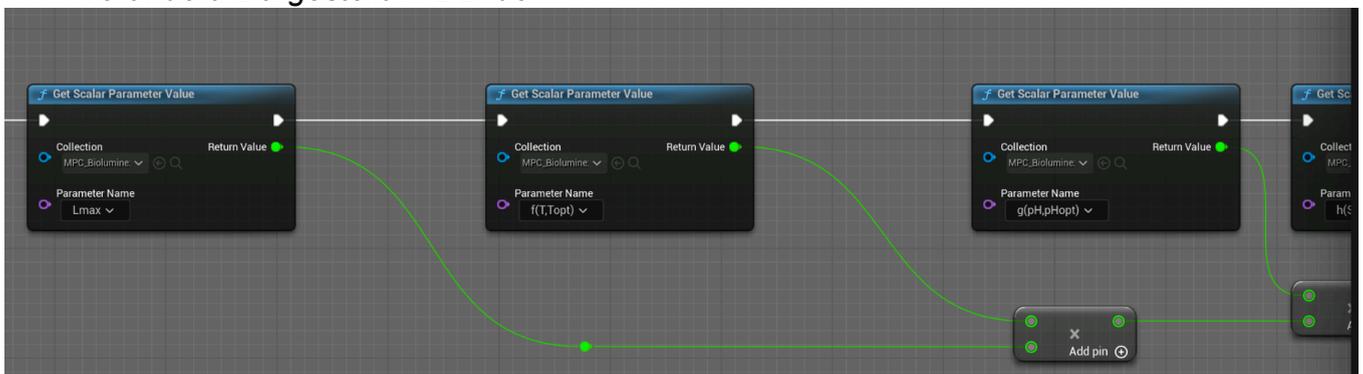
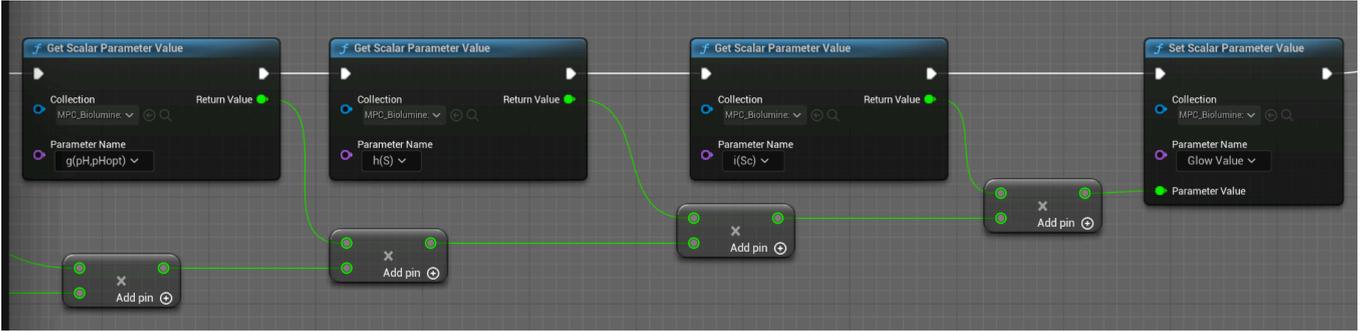


Abb. 42 Vollständige Berechnungsformel, welche letztendlich den Glow Value verändert. Dargestellt in 2 Bildern





Anhang 2: Audiotext Vorbereitung

Herzlich willkommen Forscher, zu deiner Unterwasserbasis! Du bist auf großer Mission, die Mysterien der Enzymatik mithilfe der Biolumineszenz zu entschlüsseln. Doch zunächst einmal führe ich dich kurz herum. Das hier ist deine Basis. Vor dir siehst du die Konsole, mit der wir später unterschiedliche Parameter verändern, um dem Geheimnis der Enzymatik auf den Grund zu gehen. Dieser abgesteckte Bereich vor dir ist der Microscopic Enzym Explorer, auch MEX genannt. Hier können wir mikroskopisch kleine Prozesse in Lebensgröße beobachten. Sieh dir die Enzyme und Substrate an – sie spielen die Hauptrollen bei der Enzymatik.

In unserem Fall betrachten wir die Enzyme und Substrate bei der Biolumineszenz, einem natürlichen Prozess, bei dem Licht entsteht. Sieh dich um! Die leuchtenden Pflanzen und Tiere in deiner Umgebung nutzen genau diesen Prozess, um zu leuchten. Genau deswegen bist du auch unter Wasser, da fast 80 % der Tiere in der pelagischen Zone des Ozeans, also zwischen 200 und 1000 Metern Tiefe, zur Biolumineszenz fähig sind. Im weiteren Verlauf bitte ich dich, stets auf diese drei Bereiche zu achten. Bei jeder Änderung, die du vornimmst, solltest du diese Bereiche genau überprüfen, um Veränderungen zu erkennen. Beginnen wir mit deiner ersten Aufgabe. Gehe zum MEX und greife eines der Enzyme, Luciferase, und das Substrat Luciferin.

Das ist das Enzym Luciferase. Enzyme erkennen wir immer an der Endung -ase. Sie sind Proteine, die für Stoffwechselprozesse verantwortlich sind, indem sie Substrate zu Produkten umwandeln.

Greife nun das Substrat Luciferin. Im Allgemeinen kannst du dir merken, dass das Enzym Luciferase und das Substrat Luciferin die Hauptteilnehmer der Reaktion sind.

Das ist das Substrat Luciferin. Wenn Luciferin auf Luciferase trifft, bindet es nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip an das aktive Zentrum von Luciferase. Dort wird Luciferin zu dem Produkt Oxyluciferin umgewandelt. Das Enzym geht aus der Reaktion unverändert hervor. Probiere es einmal aus, indem du das Enzym und das Substrat miteinander verbindest.

Wie du siehst, bindet Luciferin an das aktive Zentrum und bildet somit einen Enzym-Substrat-Komplex. Enzyme sind substratspezifisch, das heißt, es kann wirklich nur dieses Substrat von dem Enzym umgewandelt werden. Jedes Substrat passt also wie ein Schlüssel in ein bestimmtes Schloss. Damit eine Reaktion stattfinden kann, benötigen wir eine gewisse Menge an Energie, die Aktivierungsenergie. Um die benötigte Aktivierungsenergie herabzusetzen, benötigen wir einen Katalysator, in diesem Fall A-T-P-, also Adenosin-tri-phosphat. ATP dockt an die ATP-Bindungsstelle und spaltet zwei Phosphatgruppen ab. Das

liefert uns ausreichend Energie, damit das Enzym das Substrat in ein Produkt umwandeln kann. Es entsteht Oxyluciferin, das ein Photon abstößt. Das ist das Leuchten, das du siehst. Wie du bald sehen wirst, entsteht bei dieser Reaktion immer Oxyluciferin, da Enzyme wirkungsspezifisch sind, also immer dieselbe Wirkung erzielen. Das sind erst mal die Grundlagen der Enzymatik. Kehre zurück zu deiner Konsole, wenn du soweit bist. Dann machen wir weiter.

Wir haben bereits gelernt, was Enzyme und Substrate sind. Du weißt nun, dass:

- Enzyme substratspezifisch sind, also nur bestimmte Substrate umsetzen können,
- sie wirkungsspezifisch sind, also immer dasselbe Ergebnis liefern,
- sie einen Enzym-Substrat-Komplex bilden, wenn das Substrat an das aktive Zentrum des Enzyms bindet,
- ATP als Katalysator der Reaktion gilt,
- und dass das Enzym stets unverändert aus der Reaktion hervorgeht.

Nun wollen wir weiter in die Tiefe gehen und ermitteln, welchen Einfluss äußere Faktoren auf die enzymatische Reaktion haben. Wir beginnen mit der Temperatur. Schau mal auf deine Konsole. Du hast bestimmt schon die verschiedenen Schieberegler bemerkt und die dazugehörigen Anzeigen. In der ersten Phase betrachten wir nur den Einfluss der Temperatur, den Schieberegler links. Auf der mittleren Anzeige siehst du, wie schnell die enzymatische Reaktion gerade abläuft. Bei optimalen Voraussetzungen können Enzyme nämlich mehr Substrate umsetzen. Das Leuchten der Biolumineszenz wird also stärker, je schneller die enzymatische Reaktion abläuft. Verändere nun die Temperatur und beobachte, was passiert. Stelle anschließend den optimalen Wert ein. Danach machen wir weiter.

Hast du gesehen, was passiert ist? Bei zu hohen Temperaturen kam es zur Denaturierung, während zu niedrige Temperaturen die Reaktionsteilnehmer verlangsamen und somit die Wahrscheinlichkeit einer Kollision verringern. Mit Denaturierung sind Konformationsänderungen in der Struktur des Enzyms gemeint, wodurch die Funktionalität verloren geht. Die Denaturierung ist irreversibel, das bedeutet, dass das Enzym für immer zerstört wurde und keine Substrate mehr umsetzen kann. Jetzt weißt du auch, warum zum Beispiel zu hohes Fieber tödlich sein kann. Jedes Enzym hat sein Temperaturoptimum, also den Wert, bei dem das Enzym am effizientesten arbeiten kann. Als Nächstes machen wir es etwas schwerer und nehmen den Schieberegler für den pH-Wert dazu. Hier wirst du sehr wahrscheinlich dasselbe Phänomen wie bei der Temperatur beobachten. Probiere, die optimalen Werte einzustellen. Wenn du soweit bist, geht es weiter.

Ok, lass uns das Ganze noch etwas schwieriger machen, indem du jetzt auch die Anzahl der Substrate einstellen kannst. Je mehr Substrate es gibt, umso höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Substrat auf ein Enzym trifft und dieses umsetzt. Die Michaelis-Menten-Kinetik beschreibt dies gut. Der K_M -Wert gibt an, bei welcher Substratkonzentration die Reaktionsgeschwindigkeit halbmaximal ist. Ein niedriger

K_M bedeutet, dass das Enzym eine hohe Affinität zum Substrat hat, also schon bei niedriger Substratkonzentration effizient arbeitet. Ein hohes K_M bedeutet eine geringere Affinität, das Enzym benötigt also eine höhere Substratkonzentration, um effizient zu arbeiten. Mit hoher Affinität meinen wir, dass das Enzym stark dazu neigt, das Substrat zu binden und zu einer Reaktion zu führen. Verändere die Substratkonzentration und beobachte, wie sich die Reaktionsgeschwindigkeit verändert.

Nun kommen wir schon langsam zum Ende unserer Reise. Zuallerletzt wollen wir die Schwermetallkonzentration betrachten. Schwermetalle gelangen in die Meere durch zum Beispiel Industrieabfälle und haben erhebliche Auswirkungen auf die Enzymreaktion. Schwermetalle wirken als Inhibitoren. Sie binden an das Enzym und verändern dessen Struktur oder blockieren das aktive Zentrum, sodass das Substrat nicht mehr binden kann. Dadurch wird die enzymatische Aktivität stark vermindert oder komplett gestoppt. Probiere es aus, indem du die Schwermetallkonzentration erhöhst und siehst, wie sich die Reaktionsgeschwindigkeit verändert. Das Drehrad zu deiner Rechten erhöht die Schwermetallkonzentration. Nun kennst du die wichtigsten Grundprinzipien der Enzymatik. Du hast sehr gute Arbeit geleistet Forscher! Wir sehen uns bei deiner nächsten Mission!

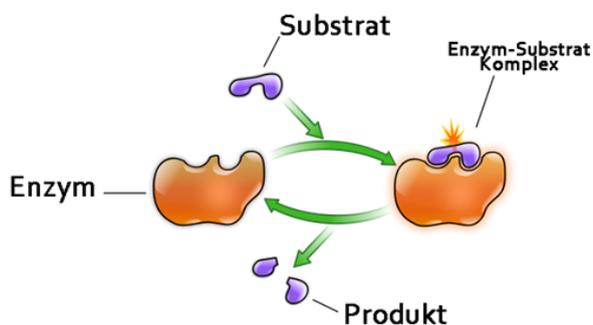
Anhang 3: Textvorlage für die Studie

Grundlagen der Enzymatik und Biolumineszenz

Die Enzymatik, ein zentraler Bereich der Biochemie, befasst sich mit den Mechanismen und Funktionen von Enzymen. Enzyme sind Proteine, die als Katalysatoren wirken und chemische Reaktionen beschleunigen, ohne dabei selbst verbraucht zu werden. In der natürlichen Welt finden sich zahlreiche Beispiele für enzymatische Prozesse, darunter die Biolumineszenz, bei der lebende Organismen Licht erzeugen. Diese Fähigkeit nutzen viele marine Organismen, um in den Tiefen der Ozeane zu überleben.

Enzyme, zeichnen sich durch die Endung "-ase" aus. Sie erkennen spezifische Substrate und setzen diese zu Produkten um. Ein prominentes Beispiel ist die Luciferase, das Enzym, das den Biolumineszenzprozess antreibt. Luciferase fungiert als Katalysator und verwandelt das Substrat Luciferin in Oxyluciferin, wobei Licht emittiert wird.

Enzyme und ihre Funktionsweise am Beispiel von Luciferase



Quelle: Wikimedia, Yassine Mrabet, 13.04.2007, CC-BY-SA version 2.5
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:KinEnzym01.svg> (besucht: 10.07.2024)

Enzyme und Substrate interagieren nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip. Das Substrat (Luciferin) bindet spezifisch an das aktive Zentrum des Enzyms (Luciferase), wodurch ein Enzym-Substrat-Komplex gebildet wird. Jede chemische Reaktion benötigt eine gewisse Menge an Aktivierungsenergie, die durch Enzyme gesenkt wird, was die

Reaktion beschleunigt. ATP (Adenosintriphosphat) dient dabei als Energielieferant. Durch die katalysierte Reaktion wird Luciferin in Oxyluciferin umgewandelt, wobei ein Photon abgestrahlt wird, das das charakteristische Leuchten erzeugt. Zudem weisen Enzyme mehrere wichtige Eigenschaften auf. Sie sind substratspezifisch, was bedeutet, dass sie nur bestimmte Substrate umsetzen können. Sie sind auch wirkungsspezifisch, was bedeutet, dass die katalysierte Reaktion immer zu denselben Produkten führt. Außerdem gehen Enzyme unverändert aus der Reaktion hervor und können somit erneut wirken.

Die Aktivität von Enzymen wird durch verschiedene äußere Faktoren beeinflusst, darunter Temperatur, pH-Wert, Substratkonzentration und Schwermetalle. Jedes Enzym hat ein Temperaturoptimum, bei dem es am effizientesten arbeitet. Abweichungen von diesem Optimum können zu einer Denaturierung führen, bei der das Enzym seine Struktur und damit seine Funktion verliert. Ähnlich verhält es sich

beim pH-Wert: Jedes Enzym hat ein pH-Optimum und Abweichungen davon können die Enzymaktivität beeinträchtigen. Die Michaelis-Menten-Kinetik beschreibt die Beziehung zwischen der Substratkonzentration und der Reaktionsgeschwindigkeit. Der K_M -Wert gibt die Substratkonzentration an, bei der die Reaktionsgeschwindigkeit halbmaximal ist. Ein niedriger K_M -Wert deutet auf eine hohe Affinität des Enzyms zum Substrat hin, während ein hoher K_M -Wert auf eine geringere Affinität hinweist. Mit hoher Affinität ist gemeint, dass das Enzym stark dazu neigt, das Substrat zu binden und zu einer Reaktion zu führen. Es werden also weniger Substrate benötigt, um die halbmaximale Geschwindigkeit zu erreichen. Schwermetalle können als Inhibitoren wirken, indem sie an das Enzym binden und dessen Struktur verändern oder das aktive Zentrum blockieren, was die enzymatische Aktivität verringert oder stoppt.

Zusammenfassung: Enzyme sind essenzielle Katalysatoren in biochemischen Prozessen. Ihre Aktivität wird durch verschiedene äußere Faktoren beeinflusst, was ihre Effizienz und Funktionalität verändern kann. Das Verständnis dieser Faktoren ist entscheidend, um enzymatische Reaktionen zu kontrollieren und zu optimieren. Biolumineszenz ist ein faszinierendes Beispiel für die Anwendung von Enzymen in der Natur, bei dem Licht als Produkt einer enzymatischen Reaktion entsteht.

(Das Bild stammt von der Quelle 11 Abbildungsverzeichnis)

Anhang 4: Einverständniserklärung und persönlicher Fragebogen

Einverständniserklärung zur Teilnahme an der Studie

Titel der Arbeit: *Konzeption und Implementierung eines Virtual Reality Serious Game zur Visualisierung enzymatischer Prozesse durch Biolumineszenz mittels Unreal Engine*

Vergleich der Wissensvermittlung durch traditionelle Methoden und eine VR-Anwendung

Verantwortlicher Forscher:

Maik Osowski – Uni Bremen – mosowski@uni-bremen.de
Jessica Röhl - Uni Bremen – jessica1@uni-bremen.de

Zweck der Studie:

Diese Studie untersucht die Effektivität der Wissensvermittlung über eine VR-Anwendung im Vergleich zu traditionellen Lernmethoden. Die Ergebnisse sollen Aufschluss darüber geben, welche Methode langfristig besser geeignet ist, um das Wissen zu festigen.

Ablauf der Studie:

- Sie werden einer von drei Gruppen zugeteilt.
 - Testgruppe 1 wird die Informationen über eine VR-Anwendung lernen.
 - Testgruppe 2 wird dieselben Informationen über ein Textmedium durchführen.
 - Testgruppe 3 wird die Kombination aus Textmedium und VR-Anwendung durchführen.
- Eine Stunde nach der Lernphase werden Sie gebeten, an einem Test teilzunehmen, um Ihr Wissen zu überprüfen.

Dauer der Teilnahme:

Die Teilnahme an der Studie wird insgesamt ca. 1 Stunde in Anspruch nehmen.

Freiwilligkeit:

Ihre Teilnahme an dieser Studie ist vollkommen freiwillig. Sie können die Teilnahme jederzeit und ohne Angabe von Gründen abbrechen, ohne dass Ihnen daraus Nachteile entstehen.

Risiken und Vorteile:

Sie tragen zur Verbesserung der Lehrmethoden bei und erhalten möglicherweise Einblicke in Ihre eigenen Lernpräferenzen. Mit der Teilnahme an dieser Studie sind Risiken jedoch nicht ausgeschlossen. Diese Teilnahme an der VR-Lernanwendung kann bei Personen mit Epilepsie zu Problemen führen oder körperliche Probleme wie Schwindel oder Übelkeit

hervorrufen. Informieren Sie und bitte umgehend bei Unwohlsein, damit wir im Notfall den Durchlauf pausieren können.

Vertraulichkeit:

Alle gesammelten Daten werden anonymisiert und vertraulich behandelt. Ihre Identität wird in den Berichten und Veröffentlichungen zu dieser Studie nicht preisgegeben. Die Daten werden sicher gespeichert und nur für Forschungszwecke verwendet.

Einwilligungserklärung:

Mit Ihrer Unterschrift bestätigen Sie, dass Sie die Informationen zur Studie gelesen und verstanden haben. Sie erklären sich bereit, an der Studie teilzunehmen und die oben beschriebenen Bedingungen zu akzeptieren.

Name der Teilnehmer/in:

Nach-, Vorname

Datum:

Unterschrift der Teilnehmer/in:

Namen des Forscher:

Datum:

Unterschrift der Forscher:

Persönliche Informationen

Alter:

- Unter 18
- 18-25
- 26-35
- 36-45
- 46-55
- Über 55

Geschlecht:

- Weiblich
- Männlich
- Divers
- Keine Angabe

Bildungsstand:

- Kein Schulabschluss
- Hauptschulabschluss
- Realschulabschluss
- Abitur
- Bachelor
- Master
- Promotion
- Anderes: _____

Sprache:

Wie gut sind deine Deutschkenntnisse?

- Muttersprache
- C1/ C2 Niveau
- B1/B2 Niveau
- A1/A2 Niveau

Vorerfahrungen im Bereich Biologie und Enzymatik

Haben Sie bereits Kurse oder Unterricht im Fach Biologie gehabt?

- Ja
- Nein

Wenn ja, bis zu welchem Bildungsniveau?

- Schule
- Abitur
- Berufsschule
- Bachelor
- Master
- Promotion
- Anderes: _____

Haben Sie spezifische Kenntnisse oder Erfahrungen im Bereich der Enzymatik?

- Ja
- Nein

Wenn ja, wie haben Sie diese Kenntnisse erworben? (Mehrfachauswahl möglich)

- Schule
- Universität
- Berufliche Tätigkeit
- Selbststudium
- Andere: _____

Wie würden Sie Ihr Wissen über Enzyme einschätzen?

- Sehr gute Kenntnisse
- Gute Kenntnisse
- Mittlere Kenntnisse
- Geringe Kenntnisse
- Sehr schlechte Kenntnisse

Vorerfahrungen mit VR-Anwendungen

Nur ausfüllen, wenn Sie der Testgruppe 1 oder 3 angehören.

Haben Sie bereits Erfahrung mit Virtual Reality (VR) Anwendungen?

- Ja
- Nein

Wenn ja, wie häufig nutzen Sie VR-Anwendungen?

- Täglich
- Wöchentlich

- Monatlich
- Selten
- Nie

Für welche Zwecke haben Sie VR bisher genutzt? (Mehrfachauswahl möglich)

- Spiele
- Bildung
- Berufliche Anwendungen
- Soziale Interaktionen
- Andere: _____

Einstellungen zur VR-Lernanwendung

Wie interessiert sind Sie an der Nutzung von VR für Bildungszwecke?

- Sehr interessiert
- Interessiert
- Neutral
- Wenig interessiert
- Gar nicht interessiert

Anhang 5: Fragebogen

Testfragen zur Überprüfung des Langzeitgedächtnisses

Single-Choice-Fragen

1. Grundlagen der Enzymatik
 - o Was ist die Funktion von Enzymen?
 - A) Sie speichern genetische Informationen.
 - B) Sie beschleunigen chemische Reaktionen.
 - C) Sie transportieren Sauerstoff im Blut.
 - D) Sie sind Hauptbestandteile der Zellmembran.

2. Biolumineszenz und spezifische Enzyme
 - o Welche Rolle spielt Luciferase in der Biolumineszenz?
 - A) Sie zerlegt Glukose.
 - B) Sie erzeugt Licht, indem sie Luciferin umwandelt.
 - C) Sie speichert Energie.
 - D) Sie transportiert Elektronen.

Wahr/Falsch-Fragen

	Wahr	Falsch
Ein niedriger K_M -Wert bedeutet, dass ein Enzym eine niedrige Affinität zum Substrat hat.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Denaturierung von Enzymen ist ein reversibler Prozess (kann rückgängig gemacht werden).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Zuordnungs-Fragen

Ordnen Sie die Begriffe den richtigen Definitionen zu:

1. Luciferase:
 - Substrat, das in der Biolumineszenzreaktion verwendet wird
 - Enzym, das die Biolumineszenzreaktion katalysiert
 - Energiequelle für die Reaktion
 - Produkt der Reaktion

2. K_M -Wert:
 - Maximale Reaktionsgeschwindigkeit
 - Substratkonzentration, bei der die Reaktionsgeschwindigkeit halbmaximal ist
 - Temperatur, bei der ein Enzym am besten funktioniert
 - pH-Wert, bei dem ein Enzym am aktivsten ist

3. Substrat:
- Molekül, das die Enzymaktivität hemmt
 - Molekül, auf das ein Enzym einwirkt
 - Molekül, das als Produkt einer enzymatischen Reaktion entsteht
 - Molekül, das die Struktur eines Enzyms bildet

Offene Fragen

1. Grundlagen der Enzymatik

1. Erklären Sie das Schlüssel-Schloss-Prinzip in Bezug auf Enzyme und Substrate.

2. Wichtige Eigenschaften von Enzymen

1. Nennen Sie zwei Hauptmerkmale von Enzymen und erläutern Sie diese.

3. Einfluss äußerer Faktoren

1. Wie beeinflusst die Temperatur die Aktivität von Enzymen? Was passiert bei zu hohen oder zu niedrigen Temperaturen?

4. Praktische Anwendungen

1. Warum sind Schwermetalle schädlich für Enzymreaktionen?

Testbogen VR Anwendung

Würden Sie eine VR-Lernanwendung der herkömmlichen Methode (Text, Vorlesung) vorziehen?

- Ja
- Eher ja
- Eher nein
- Nein

Wie hat Ihnen die VR-Lernanwendung insgesamt gefallen?

- Sehr gut
- Gut
- Neutral
- Schlecht
- Sehr schlecht

Was hat Ihnen an der VR-Lernanwendung besonders gefallen? (Offene Frage)

Was hat Ihnen an der VR-Lernanwendung nicht gefallen? (Offene Frage)

Haben Sie Verbesserungsvorschläge für die VR-Lernanwendung? (Offene Frage)

Lerneffekt und Verständnis

Hatten Sie das Gefühl, durch die VR-Lernanwendung besser gelernt zu haben als durch traditionelle Methoden?

- Ja, definitiv
- Ja, etwas besser
- Neutral
- Nein, eher schlechter
- Nein, definitiv schlechter

Wie würden Sie Ihr Verständnis der Enzymatik nach dem Spielen der VR-Lernanwendung einschätzen?

- Sehr gut
- Gut
- Neutral
- Schlecht
- Sehr schlecht

Glauben Sie, dass Sie sich an viele der Inhalte der VR-Lernanwendung erinnern werden?

- Ja, definitiv
- Ja, teilweise
- Unsicher
- Eher nicht
- Nein, gar nicht

Wie hilfreich fanden Sie die interaktiven Elemente der VR-Lernanwendung beim Verständnis der Enzymatik?

- Sehr hilfreich
- Hilfreich
- Neutral
- Wenig hilfreich
- Gar nicht hilfreich

Benutzerfreundlichkeit und technische Aspekte

Wie bewerten Sie die Benutzerfreundlichkeit der VR-Lernanwendung?

- Sehr gut
- Gut
- Neutral
- Schlecht
- Sehr schlecht

Allgemeine Bewertung und Abschluss

Würden Sie die VR-Lernanwendung anderen Personen empfehlen, die mehr über Enzyme lernen möchten?

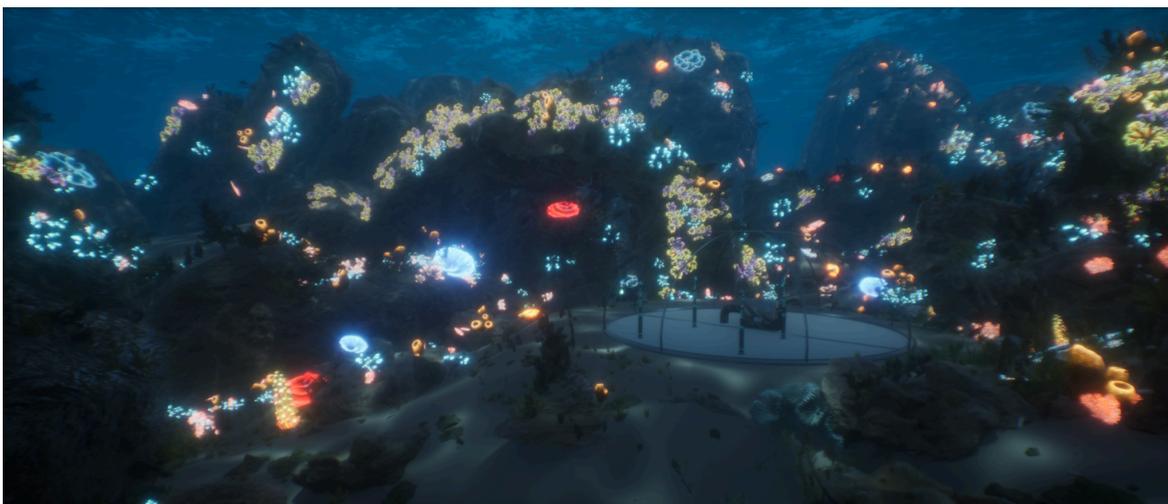
- Ja
- Nein

Glauben Sie, dass VR ein effektives Werkzeug für den Unterricht in anderen Themen sein könnte?

- Ja, definitiv
- Ja, möglicherweise
- Unsicher
- Nein, eher nicht
- Nein, definitiv nicht

Anhang 6: Bilder der VR-Anwendung

Unterwasserumgebung:



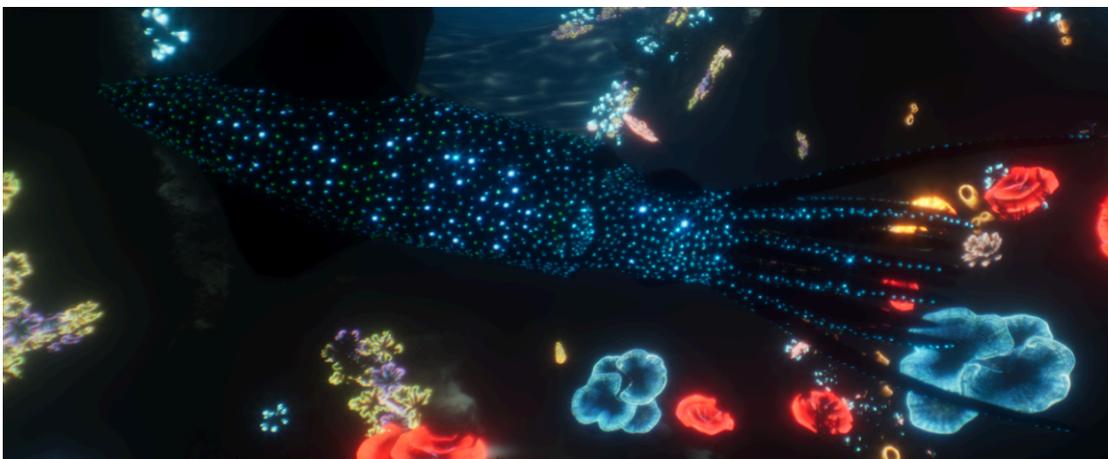
Konsole:

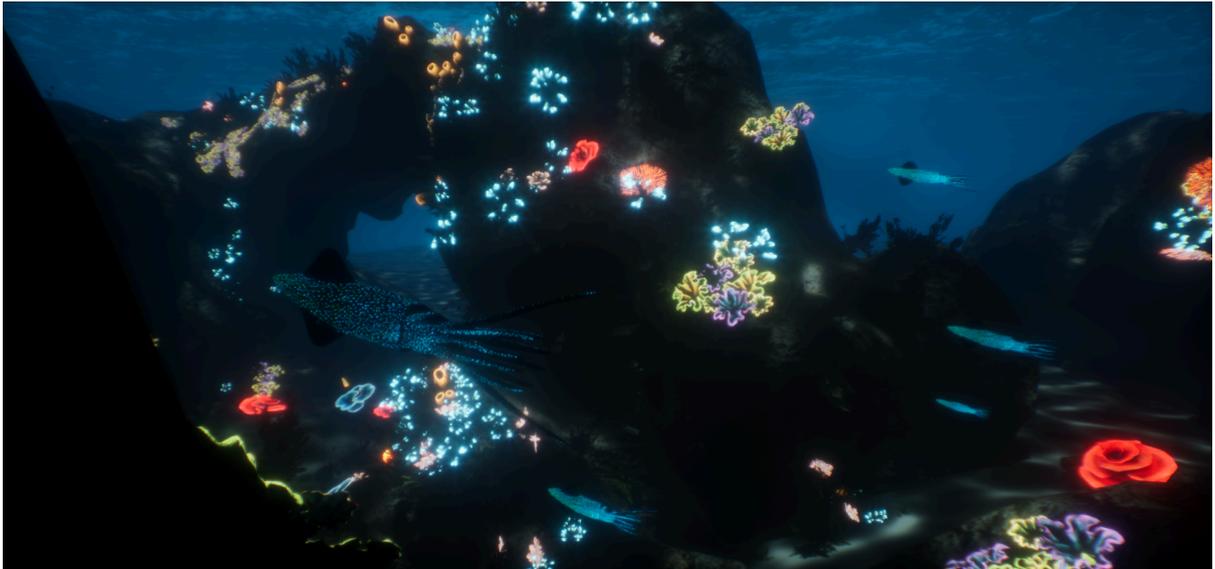


Enzymreaktion im Dunkeln:



Leuchtkalmar (*Watasenia scintillans*):





Laternenträger (Anomalopidae):

