

**HOCHSCHULE
MITTWEIDA**

University of Applied Sciences

Fakultät Angewandte Computer- und Biowissenschaften

Professur Medieninformatik

Bachelorarbeit

Untersuchung des Einflusses optischer Hinweisreize auf
instinktbasierte Handlungsmuster beim Überwinden von
Herausforderungen in Videospiele

Felix Aderhold

Mittweida, den 26. November 2020

Erstprüfer: Prof. Dr. rer. nat. Marc Ritter

Zweitprüfer: Manuel Heizing, M.Sc.

Aderhold, Felix

Untersuchung des Einflusses optischer Hinweisreize auf instinkt-basierte Handlungsmuster beim Überwinden von Herausforderungen in Videospiele

Bachelorarbeit, Fakultät Angewandte Computer- und Biowissenschaften

Hochschule Mittweida — University of Applied Sciences, Februar 2021

Referat

Diese Arbeit behandelt die Wirkungsweise von optischen Reizen in Videospiele, sowie deren Einfluss auf instinktive Handlungen von Spielern. Es soll dabei untersucht werden, ob sich diese Reize von elementaren Prinzipien erfolgreicher Level Design Ansätze ableiten lassen. Hierfür wird auf Grundlage einer umfassenden Recherche eine modulare Testkammer im Stil eines Puzzlespiels konzipiert und umgesetzt. Die Probanden werden bei der Lösung acht verschiedener Bereiche beobachtet und protokolliert sowie zu einzelnen Aspekten befragt. Bei der Auswertung dieser stellen sich Farbunterschiede und starke Farbkontraste als wirksamste optische Reize heraus. Für eine akkurate Analyse der Auswirkungen auf instinktive Handlungsmuster, sind umfangreichere Vor-Untersuchungen in Bereichen der Psychologie von Instinkten und visuellen Wahrnehmung notwendig.

Name: Aderhold, Felix

Studiengang: Medieninformatik und Interaktives Entertainment

Seminargruppe: MI17w1-B

English Title: Investigation of the Influence that Optical Stimuli have on instinct-based actions to overcome challenges in Video Games

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung und Motivation	1
1.1	Zielstellung	2
2	Grundlagen	5
2.1	Reize: Visuelle Reizaufnahme und Verarbeitung	5
2.2	Interpretation der visuellen Reize: Wahrnehmung	8
2.3	Attentive und Präattentive Wahrnehmung	13
2.4	Game Design: Level Design	14
3	Konzeptionierung der modularen Testkammern	19
3.1	Auswahl der Probanden, Genre und Umfang	19
3.2	Aufbau der Kammerszenen	21
3.2.1	Schlüssel-Schloss	22
3.2.2	Knöpfe und Hebel	25
3.3	Testkonzept	28
4	Implementierung	31
4.1	Game Engine und Ausgangskomponenten	31
4.2	Bewegung der Spielfigur: <i>CharacterControllerMovement</i> und <i>PlayerCameraMovement</i>	33
4.3	Aufheben von Gegenständen: Raycast und PickUp	35
4.4	Interaktion mit Druckplatten und Knöpfen: <i>Push</i> , <i>ButtonPress</i> und <i>Lever</i>	36
4.5	Verlassen der Kammern: <i>Lock</i> und <i>Portal</i>	39
5	Evaluation	43

6 Zusammenfassung und Ausblick	47
Literaturverzeichnis	I
A Analysedokumente	A1
A.1 Auswertung der aufgenommenen Daten	A1
B Konzeptionsdokumente	A7
B.1 Kammergrundrisse	A7

1. Einführung und Motivation

In der modernen Videospieldindustrie erscheinen jährlich unzählige neue Titel in den verschiedensten Genres von unterschiedlichsten Spiele-Studios. Dabei werden altbewährte Spielkonzepte wieder aufgegriffen, gänzlich kopiert, frisch aufgesetzt oder kreativ neu kombiniert, während wiederum auch völlig neue Ideen digital umgesetzt werden. Bei der enormen Vielfalt dieser Spiele gibt es natürlich erfolgreiche und weniger erfolgreiche. Viele scheitern, weil sie ihrer Zeit voraus sind oder mit den aktuellen Trends nicht Schritt halten können, während andere mit vor Jahren entwickelten Konzepten oder futurischen Spielmechaniken absolute Hits werden. Dabei kommt die Frage auf, was genau diese Spiele voneinander unterscheidet. Neben Faktoren wie Marketing, Auswahl der richtigen Zielgruppe, Produktionswert, Fehlerfreiheit, Spielbarkeit und Zugänglichkeit steht hier natürlich an erster Stelle das eigentliche Game Design. Ein Spiel kann noch so gut vermarktet und verarbeitet sein, wenn es keine Unterhaltung für seine Zielgruppe bereitstellt, wird es nicht erfolgreich sein. Gutes Game Design stellt also die Grundlage für ein gutes Videospiel dar. Um ein ebensolches zu erreichen, kann man sich natürlich an erfolgreichen Beispielen orientieren oder die Grundlagen von gutem Game Design selbst analysieren.

Da in der heutigen Zeit eine nahezu unendlich große Vielfalt an Personen existiert, welche aus verschiedenen Gründen Videospiele spielen und ein unterschiedliches Level an Erfahrung mit sich bringen, wird es immer schwieriger das Game Design so anzulegen, dass eine möglichst große Zielgruppe erreicht wird und gleichzeitig das gewünschte Spielerlebnis für diese große Gruppe erreicht wird. Die Spiele dürfen nicht zu einfach, aber auch nicht zu schwer sein. Sie müssen eine Mindestgröße haben, sollen die Spieler aber nicht überfordern. Die Komplexität muss ein Engagement durch die Konsumenten zur Folge haben, soll es aber auch Menschen mit weniger Zeit ermöglichen, in die Welten einzutauchen. Bei all diesen Kriterien stellt sich die Frage, wie man diese auf grundlegende Komponenten zurückführen kann, welche dann analysiert werden können. Welche Elemente verleiten Spieler dazu, bestimmte Handlungen auszuführen, Aufmerksamkeit auf Objekte zu legen oder die

vom Entwickler gewünschten Emotionen zu verspüren? Hilfreich hierbei ist natürlich die Orientierung an erfolgreichen Markt-Beispielen. In vielen davon findet man wiederkehrende Muster oder Game Design Entscheidungen, die sich im Laufe der Jahre als erfolgreich oder bewährt herausgestellt haben. Dies geht soweit, dass bestimmte Elemente als Klischees und typische Bausteine verschiedener Genres bekannt sind, oder Handlungen zum Lösen von Puzzles und Herausforderungen so automatisiert bei einer Vielzahl von Menschen ablaufen, dass diese als zusätzlicher Sinn oder Videospiele-Instinkt bezeichnet werden. Beispiele hierfür sind das Identifizieren von zerstörbaren Objekten aufgrund von bestimmten Mustern in den Texturen oder das Erkennen von Funktionalität und Verhalten von Gegenständen basierend auf Form und Farbe (zum Beispiel rote Fässer explodieren). Weiterhin kann hier die selbstverständliche Annahme von, im Vergleich zu realer Welt, abstrakten Vorgängen wie dem schnellen Personentransport über Rohre oder das Öffnen von Geheimgängen über Puzzle-Mechanismen genannt werden.

Bei näherer Betrachtung fallen hierbei bestimmte Teile auf, welche in den verschiedensten Formen und Farben in allen möglichen Genres Anwendung finden und dort trotz der unterschiedlichen Umgebung auf gleich Weise effizient das Spielgeschehen und die Spielerfahrung unterstützen. Hierzu zählen das Erkennen zerstörbarer Objekte, Entdecken von geheimen Arealen, Ausführung bestimmter Sequenzen von Handlungen und instinktives Erkennen von eigentlich abstrakten Vorgängen. Da sich all diese Beispiele je nach Genre in sehr stark voneinander unterscheidenden Varianten darstellen können, müssen sich diese auf Grundlage von bestimmten physiologischen und psychologischen Prozessen bei der Aufnahme von optischen und akustischen Reizen in Videospiele durch den Menschen zurückführen lassen. Um also (massentaugliches) Game Design möglich zu machen, müssen diese Prozesse analysiert und verstanden werden. Sind die grundlegenden Elemente klar, können diese auf die unterschiedlichsten Genres angewendet werden, um die Qualität des Produktes zu erhöhen.

1.1. Zielstellung

Die Untersuchungen im Verlaufe dieser Arbeit sollen es ermöglichen, die genannten elementaren Bausteine auf die darunter liegenden Reize (spezifisch optische Reize) und deren Verarbeitung zu reduzieren und gleichzeitig zu analysieren, wie und wo

diese in den Videospielelementen platziert werden sollten, um die Konsumenten gezielt auf bestimmte Objekte aufmerksam zu machen und zu bestimmten Handlungen zu bewegen. Weiterhin soll überprüft werden, wie stark sich die Aufnahme dieser Reize auf das Verhalten von Personen mit wenig, moderater und umfangreicher Videospieleerfahrung auswirkt. Von Spielern mit einer großen Anzahl bereits gespielter Titel werden viele verwendete Elemente auf andere Art und Weise interpretiert und verarbeitet als von Spielern, welchen typische Videospielelemente unbekannt sind. Dies führt dazu, dass eventuell platzierte optische Hinweise, nicht als solche wahrgenommen werden oder Objekte, welche nur als Dekorationen der Umgebung eingefügt wurden, fälschlicherweise als Hinweis aufgenommen werden. Es gilt also weiterhin zu prüfen, welche dieser optischen Reize die größte Wirkung erzielen, welche weniger Aufmerksamkeit erregen und welche potentiell eine ungewünschte Ablenkung vom eigentlichen Spielinhalt darstellen könnten. Zusätzlich zur Art der Reize und deren Wirkung soll weiterhin überprüft werden, ob und wie stark sich die Position und Anzahl dieser auf die vom Spieler gefällten Entscheidungen auswirkt. Dies bezieht vor allem auf die instinktgesteuerten Handlungen der erfahrenen Spieler.

Aufgrund der enormen Vielfalt an Persönlichkeiten und Arten von Menschen, sowieso deren biologischen Grundlagen (Aufmerksamkeitsspanne, Reaktionszeit, Farbwahrnehmung etc.) kann hier bereits im Voraus (ohne Bezug auf wissenschaftliche Grundlagen) gesagt werden, dass es nahezu unmöglich sein wird, ein Spiel so zu erstellen, dass es für jeden Menschen die gewünschte Spielerfahrung erzeugt. Es kann also nur versucht werden, die oben beschriebenen Elemente und zugehörigen wissenschaftlichen Erkenntnisse so auszunutzen, dass die Zielgruppe eines Spiels so groß wie möglich gehalten werden kann, während gleichzeitig ein spezifisches Spielerlebnis erzeugt wird, was diese Gruppe zum Spielen des Spiels bewegt. Weiterhin können die erzielten Ergebnisse natürlich auch angewandt werden, um einer kleineren Zielgruppe eine möglichst komplexe, befriedigende Erfahrung zu ermöglichen. Die Probanden des im Laufe der Arbeit durchgeführten Experiments werden aus Kategorien unterschiedlicher Videospieleerfahrung und Präferenzen zusammengestellt, um ein möglichst akkurates Ergebnis über die Reizaufnahme und -Verarbeitung von Mitgliedern verschiedener potentieller Zielgruppen zu erhalten. Dies hilft bei der Entwicklung von Spielen, eine zielgruppen- und genreabhängige Entscheidung bezüglich des Umfangs und der Notwendigkeit dieser optischen Markierungen zu treffen.

2. Grundlagen

Im folgenden Kapitel werden zunächst die theoretischen Grundlagen der Reizaufnahme und -verarbeitung beim Menschen näher erläutert, um eine wissenschaftliche Basis für die im Aufbau der Software getroffenen Entscheidungen, in Bezug auf Platzierung und Auswahl der optischen Hinweise zu ermöglichen. Zusätzlich soll ein Verständnis für die visuelle Wahrnehmung beim Menschen geschaffen werden. Darauf folgt eine kurze Aufschlüsselung einzelner Aspekte des Leveldesigns von Videospielen, um ein möglichst realitätsnahes Spielerlebnis zu kreieren.

2.1. Reize: Visuelle Reizaufnahme und Verarbeitung

Die Reize, die wir alltäglich aufnehmen und verarbeiten, bilden die Grundlage für den Informationsgewinn aus unserer Umgebung und die Interaktion mit dieser. Für erfolgreiches Game Design ist es also unbedingt notwendig, die dahinterliegenden Prozesse zu verstehen. Als Reize werden dabei sämtliche physikalische und chemische Eindrücke auf das sensorische System des Menschen bezeichnet [Baa87, S.14]. Letzteres setzt sich aus den Sinnesorganen des Menschen zusammen, namentlich Haut, Auge, Ohr, Mund und Nase. Je nach Form des empfangenen Reizes erfolgt die Aufnahme auf Basis unterschiedlicher physikalischer und biochemischer Prozesse.

Im Fall der optischen Reize übernimmt diese Aufgabe das Auge. Die Form, in der uns diese Reize erreichen, sind Lichtstrahlen, welche von den Objekten, die wir uns ansehen, in unser Auge reflektiert, oder bei Lichtquellen, ausgesendet werden. Diese treffen zunächst auf eine durchsichtige Hornhaut, die sogenannte Cornea. Dort werden die Strahlen das erste mal gebrochen und somit gebündelt [NAC09, S.1479]. Das Bündeln der Lichtstrahlen ist notwendig, um die Informationen auf der, im Vergleich zum Sichtfeld, relativ kleinen Netzhaut abzubilden. Neben ihrer Funktion als statische Linse dient die Hornhaut außerdem als Schutz vor Staubpartikeln und anderen Fremdkörpern. Anschließend treffen die Strahlen auf die Augenlinse, wo sie

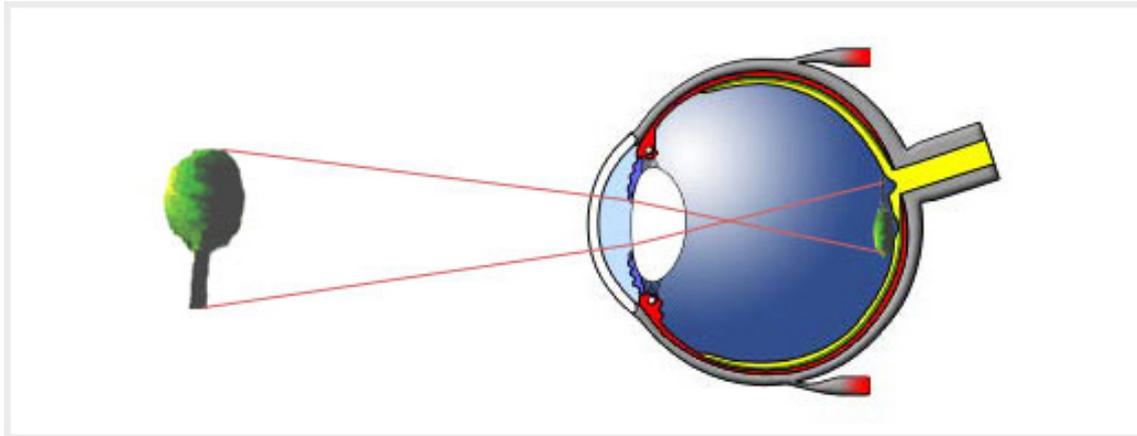


Abbildung 2.1.: Abbildung am Auge

ein letztes mal gebrochen und gebündelt werden. Die Wölbung dieser Linse kann sich, im Gegensatz zur Cornea, je nach Entfernung des betrachteten Objektes mit Hilfe von Muskeln anpassen, um ein scharfes Abbild zu ermöglichen [NAC09, S.1479]. Mit Hilfe der Regenbogenhaut, auch genannt Iris, welche wie die Blende bei einer Kamera funktioniert, wird der Anteil des Lichtes, der durch die Augenlinse gelangt, reguliert [SF14, S.124]. Dies ist notwendig, um bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen dem Auge das grobe Scharfstellen des Bildes zu ermöglichen und zu verhindern, dass eine für das Auge schädliche Menge an Lichtstrahlen aufgenommen wird. Im Anschluss wandern die nun gebündelten Strahlen durch den sogenannten Glaskörper des Auges und werden auf der Netzhaut, der Retina, abgebildet [NAC09, S.1479]. Jede Linse hat eine festgelegte optische Achse, welche senkrecht zum Querschnitt der Linse verläuft. Lichtstrahlen, die parallel zu dieser optischen Achse in die Linse eintreten, werden immer in Richtung dieser Achse gebrochen, schräg einfallende hingegen verlassen die Linse parallel zur Achse. Strahlen, die durch den Mittelpunkt der Achse verlaufen, werden nicht gebrochen. Dieses Abbild ist, wie in Abbildung 1 zu sehen, aufgrund des Strahlengangs um 180 Grad rotiert. [SF14, S.126]

Nach dem Erreichen der Retina muss die abgebildete Information aufgenommen und an das Gehirn zur Verarbeitung weitergereicht werden. Dies geschieht über spezielle lichtempfindliche Zellen, genannt Photorezeptoren. Dabei werden zwei Arten von Rezeptoren unterschieden. Die für das Farbsehen verantwortlichen Zapfen und die für das Unterscheiden von Helligkeiten benötigten Stäbchen. Aufgrund einer weniger stark ausgeprägten Anfälligkeit für die Intensität von Licht können die Zapfen nur bei ausreichender Lichteinstrahlung Farben wahrnehmen. Die Stäbchen hingegen

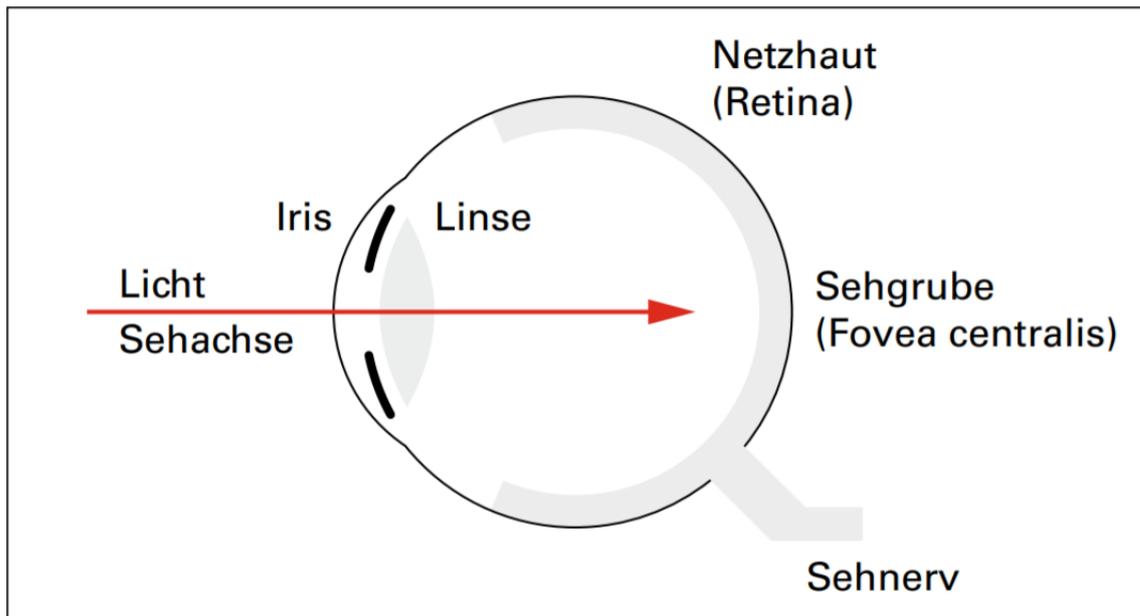


Abbildung 2.2.: Schematische Darstellung des Auges

besitzen keine Empfindlichkeit für das Farbspektrum des Lichts. Daher erscheinen nachts oder in anderen Situationen mit geringer Beleuchtung, die gesehenen Objekte weniger farbintensiv. Ein Großteil der Zapfen befindet sich in einem zentralen Punkt auf der Netzhaut, dem Sehzentrum oder Fovea. Dies ist dadurch gleichzeitig der Ort des schärfsten Sehens [SF14, S.125]. Etwa jeweils ein Drittel der gesamten Farbrezeptoren ist dabei für die Aufnahme von rotem, grünem oder blauem Licht zuständig. Alle weiteren vom Menschen wahrgenommenen Farben, werden aus den erhaltenen Informationen vom Gehirn zusammengesetzt. [PB17, S.13] Die Fähigkeit, das in das Auge gelangte Licht aufzunehmen, verdanken die Rezeptoren einem in den Zellen eingelagerten lichtempfindlichen Farbstoff. Ein Bestandteil dieses Farbstoffes, das Farbstoffmolekül Retinal, ist in der Lage Licht zu absorbieren. Hat das Molekül Licht absorbiert, wird über einen komplexen biochemischen Prozess ein elektrisches Signal erzeugt. Über verschiedene Zellen und anschließend den so genannten Sehnerv (zu sehen in Abbildung 2), gelangt die Information dann in das Gehirn, um dort weiter aufbereitet zu werden.

2.2. Interpretation der visuellen Reize: Wahrnehmung

Die vom Auge aufgenommenen optischen Reize aus unserer Umgebung reichen bei weitem nicht aus, um diese vollständig zu verstehen oder gezielt mit ihr zu interagieren. Tatsächlich sind die ans Gehirn weitergeleiteten Informationen ungeordnet und stark fehlerbehaftet. Neben dem um 180 Grad rotierten Abbild der realen Welt, treten zum Beispiel physikalisch bedingte Unschärfen bzw. Verzerrungen [SF14, S.128], fehlende Bildinformationen, die in einem blinden Fleck resultieren [SF14, S.125] und Verwacklungen aufgrund von Körperbewegungen auf. Die Dinge die wir tatsächlich sehen, unterscheiden sich also stark von denen, die wir wahrnehmen. Eine Vielzahl komplexer Vorgänge und die Einbindung der anderen Sinne ist nötig, um das Gesamtbild zu kreieren, mit dessen Hilfe wir uns in der Welt zurechtfinden. Der Sehsinn spielt hierbei jedoch definitiv die größte Rolle, da etwa 70% der Gesamtmenge an Umweltreizen, die wir aufnehmen, über das Auge unser Gehirn erreicht [PB17, S.13]. Die Wahrnehmung wird außerdem zusätzlich durch psychologische Faktoren und subjektives Empfinden beeinflusst [NAC09, S.14].

Bevor unser Gehirn aus den aufgenommenen Informationen ein Bild zusammensetzen und dieses interpretieren kann, muss allerdings noch eine weitere Hürde überwunden werden. Um ein möglichst scharfes Bild zu erzeugen, sind ein Großteil unserer Lichtrezeptoren in der Fovea auf der Netzhaut versammelt. Dies führt jedoch gleichzeitig dazu, dass Objekte aus der Umgebung unschärfer werden, je mehr sie sich vom Zentrum unseres Sichtfeldes entfernen. Im von uns wahrgenommenen Bild ist diese Unschärfe allerdings nicht zu erkennen. Um dies zu bewerkstelligen, benötigt das Gehirn mehr Bildinformationen, als es aus dem Mittelpunkt unseres Blickfeldes gewinnen kann. Obwohl es uns so erscheint, als würde unser Blick auf einem bestimmten Punkt ruhen, bewegt sich unser Auge permanent und tastet dabei den Raum ab. Wenn ein Objekt in unser Sichtfeld gelangt, wird es zunächst nur unscharf wahrgenommen. Diese Information wird vom Gehirn registriert und löst eine Bewegung des Auges aus, welche für einen kurzen Moment das entsprechende Objekt in den Punkt des scharfen Sehens bewegt. Das Auge bewegt sich dann sofort wieder zurück auf den Punkt des eigentlichen Fokus. Im Gehirn wird nun aus den so gewonnenen Informationen ein komplettes, scharf erscheinendes, Bild zusammengesetzt. [SF14, S.131-132] In Abbildung 3 ist die Abbildungsleistung des menschlichen Auges im Vergleich zu der einer handelsüblichen Kamera zu sehen.



Abbildung 2.3.: Vergleich Kamera Linse mit menschlichem Auge

Der Kreis soll dabei schematisch den Bereich darstellen, der im zentralen Blickfeld der Fovea scharf erkannt wird. Der tatsächlich abgedeckte Bereich ist in Wirklichkeit deutlich kleiner. Links sieht man das Kamerabild, welches in etwa dem Abbild der Realität entspricht, welches wir dank des Gehirns wahrnehmen.

Mit Hilfe des Gehirns kann also das tatsächliche gesehene Bild erweitert beziehungsweise verbessert werden. Ein ähnlicher Vorgang findet auch beim Ausgleich des zuvor angesprochenen blinden Flecks statt. Dieser entsteht durch fehlende Bildinformationen an der Stelle unseres Sichtfeldes, an der der Sehnerv mit dem Auge verbunden ist. An diesem Punkt existieren aufgrund der Verbindung keine Lichtrezeptoren, es kann also dort keine Bildinformation aufgenommen werden. Mit Hilfe der gesamten aufgenommenen Bildpunkte kann unser Gehirn diese Stelle mit einer dem

Hintergrund ähnlichen Farbe auffüllen. [SF14, S.125] Wir nehmen den blinden Fleck also nicht wahr, obwohl dieser in den erhaltenen Informationen aus beiden Augen existiert. Ähnliches gilt für unsere Fähigkeit des Farbsehens. Auch diese nimmt, je näher man dem Rand des Blickfeldes kommt, ab, da die Zapfen sich hauptsächlich in der Fovea befinden [SF14, S.131]. Die Farbinformationen für das gesamte Bild, werden also auch vom Gehirn zusammengesetzt. Das Wissen über diese Vorgänge ermöglicht es, gezielt verschiedene optische Illusionen zu erzeugen oder auf andere Art und Weise, das vom Menschen wahrgenommene Bild zu beeinflussen.

Nachdem nun die Entstehung des von uns wahrgenommenen Bilds verständlich geworden ist, gilt es zu klären, wie wir dieses Bild weitergehend interpretieren. Dies ist notwendig, um zu verstehen, wie optische Reize in Videospiele gezielt eingesetzt werden können, um Spieler auf bestimmte Objekte aufmerksam zu machen oder die gewünschten Emotionen und Empfindungen auszulösen. Die Interpretation der Bilder ist eine sehr umfangreiche Thematik, welche Kenntnis in verschiedenen Bereichen der Psychologie, wie zum Beispiel der Gestaltpsychologie, Farbpsychologie, Bewusstseinspsychologie und Kognitionspsychologie aber auch in Kognitions-Neurowissenschaften voraussetzt. Da eine umfassende Analyse der beteiligten Komponenten den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, soll hier nur ein oberflächliches Verständnis für die wichtigsten Aspekte entstehen.

Im Bereich der Wahrnehmung von Farbe gilt es zunächst zu klären, wie Farben tatsächlich von uns wahrgenommen werden und wie unser Gehirn diese unterscheiden kann. Grundlegend kann zunächst gesagt werden, dass als Empfindung von Farbe die Fähigkeit verstanden wird, zwei strukturlose Flächen gleicher Helligkeit zu unterscheiden. In der Realität tauchen solche gleichartigen Flächen in der Regel relativ selten auf, während in virtuellen Welten eine deutlich höhere Chance besteht, diesem optischen Phänomen zu begegnen. Tatsächlich konnte in wissenschaftlichen Untersuchungen ermittelt werden, dass dieser Vorgang dem Menschen eher schwer fällt. Grund dafür ist, dass in der Realität nahezu jedes Objekt eine ungleichmäßige Verteilung von Helligkeiten besitzt. Unser Gehirn hat sich demnach evolutionär so entwickelt, dass diese Helligkeitsunterschiede eine entscheidende Rolle bei der Objekterkennung spielen. [PT06, S.33] Farben hingegen werden also primär dazu eingesetzt, anhand der Struktur schwer differenzierbare Objekte zu unterscheiden.

Eine universale Bedeutung von Farben ist aufgrund der riesigen kulturellen Vielfalt des Menschen schwer zu definieren. Im Laufe der Entwicklung dieser Kulturen

entstanden unterschiedlichste Assoziationen mit bestimmten Farben, welche sich bedingt durch Umwelteinflüsse wie die Farbe des Himmels, der Nacht, von Flora und Fauna und des Erdbodens, abhängig von ihrer geographischen Lage entwickelt haben [NW12, S.15]. Daher wirken sich Farben bei Individuen unterschiedlich auf die Wahrnehmung und die induzierten Emotionen aus. Einigen Farben können jedoch, mit Hilfe ihrer Bedeutung in der Natur, eine spezifische Rolle in der Wahrnehmung zugeschrieben werden [PT06, S.13-25]. Rot kann zum Beispiel mit einem Zustand gesteigerter Emotionen und Aufmerksamkeit assoziiert werden, aufgrund des primären Einsatz als Warnsignal in der Natur und der Tatsache, dass unser Blut eine rote Farbe hat [PT06, S.40]. Gleichzeitig werden rote Farbtöne mit Wärme und Feuer assoziiert, während blaue Farbtöne mit Kälte, Wasser und Eis in Verbindung gebracht werden. Auch hier ist wieder deutlich zu sehen, dass vor allem das gewohnte Umfeld die Bedeutung der Farben beeinflusst und weniger hingegen die tatsächlichen physikalischen Eigenschaften der jeweiligen Lichtfarbe. Lichtstrahlen am Ende des blauen Spektrums werden in der Regel von sehr heißen Objekten mit viel thermischer Energie abgegeben, während Strahlen im roten Spektrum bei niedrigeren Temperaturen auftreten. [NW12, S.38] Grün hingegen wird oft als Farbe für das Leben, Fruchtbarkeit, Wachstum und Regeneration behandelt. Hier wird vor allem der Bezug zur Pflanzenwelt deutlich. In der Wissenschaft der Farbpsychologie sind viele weitere allgemeine Assoziationen für bestimmte Farbgruppen gesetzt, welche allerdings nie als komplett allgemeingültig für jeden Typ Menschen festgelegt werden können. Spezifische Farben können also nur bedingt für gezielte Signale in Videospielen eingesetzt werden.

Einen weiteren Hauptbestandteil der visuellen Wahrnehmung umfassen die Gebiete des Bewegungssehens und des räumlichen Sehens, auch stereoskopisches Sehen genannt. Um aus dem gesehenen Bild eine Bewegung extrahieren und verstehen zu können, benötigt das Gehirn mehr Informationen als die Position von Bildpunkten. Diese erhält es über einen spezialisierten Typ von richtungsselektiven Nervenzellen. Deren Entladungsmuster, also die Weitergabe der Information über einen elektrischen Reiz, ist abhängig von der Richtung der aufgenommenen optischen Reize. Zusätzlich verbessert wird die Erkennung von Bewegungen durch ein stark verknüpftes Netzwerk dieses Zelltypen mit anderen, nicht richtungsselektiven Zellen, welche eine besonders schnelle Reaktionszeit und Kontrastempfindlichkeit für Helligkeiten aufweisen. Außerdem konnte diesen Zellen eine Sensitivität für Geschwindigkeit der Reizbewegungen nachgewiesen werden. Interessant ist hierbei der Fakt, dass diese

Gruppierung in Aufbau und Lage von den farbsensitiven Zellen getrennt ist. Im Kontext der Wahrnehmung bedeutet dies, dass unser Gehirn die Informationen über die Bewegungserkennung separat von den Informationen über die Farberkennung abhandelt. Wir können also auch in Situationen, in denen wir über wenig differenzierende Farbinformationen verfügen, wie zum Beispiel in der Nacht oder in einer durchgehend grünen Wiese, eindeutig Bewegungen erkennen. [PT06, S.41-43] Aufgrund der Tatsache, dass mehrere Stäbchen an eine Nervenzelle anliegen, ist allerdings nachts die räumliche Auflösung deutlich geringer und Bewegungen erscheinen dadurch unscharf und verzögert [SF14, S.136].

Farben, Kontraste und erkannte Bewegungen sind jedoch nicht die einzigen Faktoren die unsere Wahrnehmung der Realität beeinflussen. Aus der riesigen Flut an Informationen ist unser Gehirn in der Lage, einen Teil dieser zu einem abstrakten Objekt zusammenzusetzen. In der Realität verfügen wir über zusätzliche Informationen von den restlichen Sinnesorganen, um den Gesamteindruck zusammen zu setzen [PB17, S.13]. Im Bereich der virtuellen Medien können diese jedoch, bis auf die hörbaren Reize, größtenteils ausgeschlossen werden. Also sind die einzigen Informationen, die wir tatsächlich erhalten, die Anzahl und Farbe der Bildpunkte, die Helligkeit der vom Punkt reflektierten Strahlen und in welcher Relation diese zu den umliegenden Bildpunkten erkannt wurden. Die Objekterkennung, also die Unterscheidung, ob zwei nebeneinander liegende Bildpunkte zum gleichen Objekt gehören oder nicht, wird vor allem durch eine bestimmte Gruppe von Nervenzellen in der so genannten Sehrinde im Gehirn ermöglicht [SF14, S.176]. Der Bereich dieser Zellen, der für die Aufnahme der Informationen aus der Umgebung zuständig ist, wissenschaftlich rezeptives Feld genannt [SF14, S.159], ist im Gegensatz zu anderen langgestreckt. Dies ermöglicht der Zelle anhand eingehender Signale Linien und Kanten zu erkennen, mit deren Hilfe Objekt-Zugehörigkeit unterschieden werden kann. [SF14, S.176]

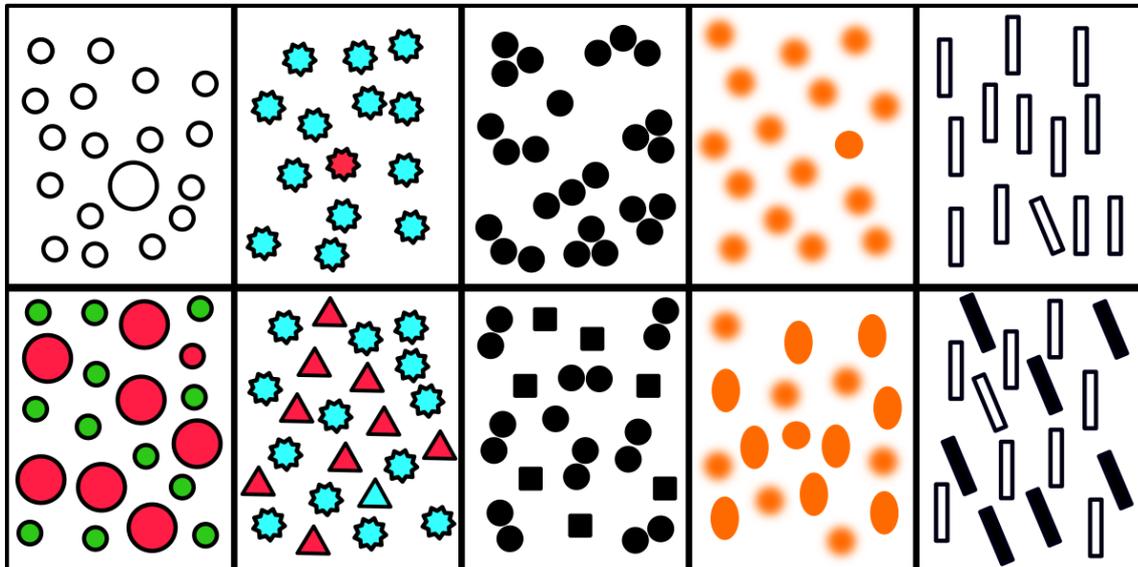
Basierend auf dieser Fähigkeit baut sich Stück für Stück das wahrgenommene Bild auf. Das visuelle System ermittelt Merkmale wie Farbe, Form und Oberflächenstruktur, sowie Position und Relation im Raum und ordnet diese einem bestimmten Objekt zu [PT06, S.55]. Dieser Vorgang, auch Segmentierung genannt, ermöglicht die Abgrenzung verschiedener zusammengehöriger Bildbereiche. Auf psychologischer Ebene ist dieser Vorgang hinreichend erforscht, während auf physiologischer Ebene nicht sämtliche Details wissenschaftlich erwiesen sind. [PT06, S.56] Aus diesem Grund soll hier nicht weiter auf die Hintergründe eingegangen werden. Das Ergebnis des Vorgangs ist, dass wir einzelnen Objekten aus der Szene, die wir sehen,

verschiedene Merkmale und Assoziationen zuordnen können. Mithilfe dieser können wir auf Funktionen, Verhalten und physikalische Eigenschaften von diesen Objekten schließen. Verschiedene Anordnungen und Kombinationen können dann zu übergreifenden Objekten verbunden werden. Sehen wir zum Beispiel eine Nase, einen Mund und zwei Augen und Ohren, können wir ein Gesicht bzw. einen Kopf erkennen. Arme und Brust setzen wir zu einem Oberkörper zusammen, Füße, Beine und Hüfte zu einem Unterkörper. [UA17, S.105-106] Das gesamte Bild ergibt einen menschlichen Körper. Oberflächenbeschaffenheit und Bewegung lassen uns differenzieren, ob es ein lebender Mensch oder eine Puppe ist. Abhängig davon wissen wir, ob es sich um ein Lebewesen handelt oder ein statisches Objekt ist. Diese Schritte werden weitergeführt, bis wir die vollständige uns präsentierte Szene erkannt haben.

2.3. Attentive und Präattentive Wahrnehmung

Für eine wissenschaftlich fundierte Entscheidung über Platzierung und Auswahl der optischen Hinweisen muss außerdem geklärt werden, welche Dinge wir zuerst und aufmerksamer wahrnehmen. Dabei spielt die visuelle Suche eine wichtige Rolle. Untersuchungen haben gezeigt, dass, wenn wir Objekte in einer Szene suchen, zwei unterschiedliche Suchmuster zur Anwendung kommen. Die so genannte parallele Suche erfasst das gesamte Bild mit einem Mal, wobei die Suchdauer nahezu unabhängig von der Menge der wahrgenommenen Objekte ist. Bei der seriellen Suche hingegen wird das Bild objektspezifisch analysiert und die benötigte Zeit steigt mit der Menge der zu untersuchenden Objekte linear an. [PT06, S.246] Um also gezielt steuern zu können, wie schnell ein Spieler ein bestimmtes Objekt entdeckt, kann eines dieser Suchmuster erzwungen werden. Hier kommen die präattentive und die attentive Wahrnehmung ins Spiel. Präattentive Wahrnehmung, die Basis für die parallele Suche, findet gleichzeitig in allen Bereichen unseres Sichtfeldes statt und ist für die Erkennung der grundlegenden Merkmale Kontrast, Form, Farbe, Tiefe und Bewegung zuständig [JF06, S.131]. Für diesen Vorgang sind noch keine Prozesse der Aufmerksamkeit notwendig, allerdings kann auch immer nur nach einem dieser Merkmale gesucht werden [Ale13, S.8]. Wir erkennen also einfache Muster, geometrische Grundformen, Farbwechsel und Kontraste sehr schnell und großflächig. Dies kann bei der optischen Markierung von Hinweisen oder zur Lösung gehörenden Elementen eingesetzt werden. Sobald jedoch mehr als eines dieser Merkmale bei den gesuchten Objekten verschieden ist, muss die suchende Person ihre Aufmerksamkeit gezielt

Präattentive Wahrnehmung



Attentive Wahrnehmung

Abbildung 2.4.:
fig:data

auf einzelne Objekte richten, um die Unterschiede zu erkennen. Diese attentive Wahrnehmung bildet die Grundlage für das serielle Suchen. In Abbildung 4 sind Beispiele für beide Arten der Wahrnehmung zu sehen.

Soll der Konsument beispielsweise aus einer größeren Ansammlung Schlüssel einen bestimmten entnehmen, reicht bereits ein einfacher Farbunterschied um dieses Objekt in den Fokus der Wahrnehmung zu rücken. Ebenso wird eine Lichtquelle in einer eher dunkleren Umgebung sehr schnell erfasst oder eine Kurve in einer Ansammlung von geraden Linien.

2.4. Game Design: Level Design

Den Großteil, der von einem Videospiel ausgestrahlten optischen Reize, empfängt ein Spieler, wenn er sich in der Welt in Aktion befindet. Daher ist es für dieses Projekt elementar, dass ein Grundverständnis für das Design von Videospieldwelten etabliert wird. In einem solchen Level wird die eigentliche Spielerfahrung generiert.

Hier befinden sich die Herausforderungen, denen ein Spieler entgegenzutreten muss. Werden diese bewältigt, erfährt der Spieler Fortschritt in den unterschiedlichsten Formen. Erfahrung wird gewonnen, Fähigkeiten werden verbessert, Ressourcen verdient, Belohnungen entgegengenommen oder einfach der Zugang zum nächsten Level gewährt. Zugleich wird in den Leveln eines Spiels auch dessen Geschichte (ab hier Story genannt) erzählt. Neben Elementen wie Nichtspielercharakteren, die mit dem Spieler sprechen, Schrift in der Spielumgebung oder Audio-Inhalten kommuniziert dieses Level hauptsächlich über die Dinge, die der Spieler sieht.

Um ein Level zu entwerfen, welches sich schlüssig in das gesamte Konzept eines spezifischen Videospiel-Titels integriert, muss dieses Level die Haupt-Spielmechaniken des Spiels als Grundbausteine verwenden [Tot16, S.123]. Folgt ein Bereich nicht dieser Schematik, fühlt er sich fremd oder unpassend an und stört den allgemeinen Spielfluss. In wenigen Ausnahmefällen können derartige Level positive Effekte bringen. In solchen Fällen muss allerdings ein logischer Zusammenhang mit der Geschichte bestehen, der eine Änderung der Haupt-Spielmechaniken rechtfertigt. Dies kann zum Beispiel eine schlagartige Veränderung der Fähigkeiten des Protagonisten aufgrund eines bestimmten Ereignisses oder Zeitsprungs sein oder eine grundlegende Anpassung der Spielwelt durch ein kataklysmisches Ereignis. Sind die Grundbausteine festgelegt, ist es notwendig das allgemeine Ziel des Levels genauer zu definieren. Hier sind verschiedene Einteilungen möglich, nach Scott Rogers lassen sich jedoch die meisten davon in die vier Kategorien Entkommen/Überleben, Erkundung, Bildung und Bereitstellung einer Moral einteilen [Rog14, S.223]

Nachdem geklärt wurde, welche Spielerfahrung mit dem Level erzeugt werden soll, muss ein Plan für die Verteilung der Schlüsselemente im tatsächlichen virtuellen Raum erstellt werden. Hier spielt nicht nur die räumliche Positionierung eine Rolle, sondern auch der zeitliche Ablauf von Ereignissen und die Präsentation der Story-Elemente. Nach Wei Wang kann der Aufbau eines Levels hierbei aus drei verschiedenen analytischen Perspektiven betrachtet werden [Tot16, S.56]. In der topographischen Perspektive werden vor allem räumliche Verhältnisse von Orientierungspunkten, wie Städte oder zentrale Handlungsorte, oder Größenverhältnisse von Regionen betrachtet sowie die Form, in der diese verbunden sind. Diese Ebene des Levelaufbaus entspricht am ehesten der Karte, die sich dem Spieler offenbart. [Tot16, S.57-64] Die operative Perspektive hingegen gibt Aufschluss über den zeitlichen Ablauf von Ereignissen, sowie die dynamische Veränderung des Einflusses durch den Spieler in Relation zum Spiel-Fortschritt. Dies betrifft zum Beispiel die

Reihenfolge, in der Areale freigeschaltet werden oder den Verlauf der Story mit entscheidenden Ereignissen an spezifischen Orten. Weiterhin wird hier die Mobilität von Nichtspielercharakteren definiert, zum Beispiel, ob diese statisch sind oder dem Spieler durch die Welt folgen. [Tot16, S.64-69] In der Präsentationsperspektive wird beschrieben, wie durch die Kombination von audiovisuellen, haptischen und weiteren Umgebungsreizen, der Gesamteindruck auf den Spieler erzeugt wird. Hier werden die Perspektive des Spielers, die Art der Kontrolle und Interaktion mit der Spielwelt sowie dramatische Elemente wie Übergänge und Videosequenzen dargestellt. [Tot16, S.69-76]

Aufgrund des kreativen Charakters von Videospiele sind den Möglichkeiten, wie ein Spieler durch die Level geführt wird, nahezu keine Grenzen gesetzt. Untersuchungen haben jedoch ergeben, dass sich hier fünf verschiedene Muster definieren lassen, welche einzeln oder in Kombination auf nahezu alle Spiele anwendbar sind. Als erstes wird hier das Sammel-Muster aufgeführt. Dieses wird von allen Spielen umgesetzt, in denen in irgendeiner Form über das Level verteilte Gegenstände mit einer bestimmten Belohnung oder Anreiz versehen werden, um den Spieler zur Suche zu motivieren. Dies können einfache Dinge wie Lebenspunkte, Munition oder Ressourcen sein, aber auch optionale Objekte, die die Story vorantreiben. Das zweite Muster bezieht sich auf die Verfolgung eines spezifischen Ziels. Hier wird die Aufmerksamkeit und Bewegung des Spielers auf ein bestimmtes Objekt oder einen Ort gelenkt. Dies kann in Form von im Level physisch sichtbaren Orientierungspunkten oder Missionszielen passieren. Eine weitere Möglichkeit sind im Spiel verbaute Mechaniken, welche dem Spieler Informationen über Position und Erreichbarkeit eines bestimmten Ziels vermitteln, wie zum Beispiel ein Radar oder eine Schatzkarte. Das dritte Muster beschreibt den Anreiz zur Bewegung als Reaktion auf freundliche oder feindliche künstliche Intelligenzen oder Nichtspielercharaktere. Eine Begegnung mit einer feindlichen Einheit kann eine Flucht in Richtung Sicherheit oder eine Verfolgung mit dem Ziel der Eliminierung der Gefahr mit sich bringen. Bei freundlichen Einheiten kann der Spieler entweder motiviert werden, dieser zu folgen oder den Weg in Richtung der Einheit einzuschlagen, um mit dieser zu kommunizieren. Das vierte Muster stellt die Verfolgung eines spezifischen Pfades und Reaktion auf Hindernisse, welche das Fortschreiten gezielt verzögern, in den Mittelpunkt. Der Spieler folgt in der Regel einer linearen Aufgabe, bei welcher er durch Inhibitoren wie geschlossene Türen oder erzwungene Umwege in die Spielerfahrung geführt wird. Dieses Muster wird in der Regel mit einem der vorher genannten kombiniert, um den Anreiz, dem

Pfad zu folgen, zu verstärken. Das letzte Muster bezieht sich auf die Verwundbarkeit des Spielers. Wenn die Möglichkeit besteht, dass die Spielfigur stirbt, so etabliert sich beim Spieler das Ziel, die Spielfigur mit allen zur Verfügung stehenden Mitteln am Leben zu erhalten. Dies zeigt sich in Form von Mechaniken, die die Überlebenschance erhöhen, wie Deckung suchen oder feindliche Einheiten gezielt auszuschalten. Kann die Spielfigur verwundet werden, zeigen sich hier sekundäre Ziele wie das Durchsuchen des Levels nach Heilungsgegenständen oder die Rückkehr zu einem sicheren Ort zur Regeneration. [MSEN09]

3. Konzeptionierung der modularen Testkammern

Aus den in den Grundlagen gewonnenen Erkenntnissen und der zu untersuchenden Problematik soll nun die Software selbst, sowie die einzelnen Kammern mit den darin vorkommenden Herausforderungen konzipiert werden. Dabei wird zunächst die Wahl der Probanden, des Spielgenres und Umfang der Testumgebung erklärt. Es folgt eine genaue Beschreibung des virtuellen Aufbaus der einzelnen Areale und der Game Mechaniken, welche diese hauptsächlich enthalten. Es wird außerdem erläutert, welche optischen Hinweise an welchen Stellen platziert werden sollen. Im Anschluss wird aufgeschlüsselt, wie die ausgewählten Probanden getestet werden.

3.1. Auswahl der Probanden, Genre und Umfang

Für die Auswahl der Probanden wurden zunächst drei verschiedene Kategorien angelegt. Personen mit gar keiner bis wenig Spielerfahrung (im Nachfolgenden Gruppe 1 genannt), mit moderater Spielerfahrung (Gruppe 2) und mit umfangreicher Spielerfahrung (Gruppe 3). Für die meisten befragten Personen war es sehr schwierig einzuschätzen, wie viele Spiele sie tatsächlich im Verlauf ihres Lebens gespielt haben. Zusätzlich ist in der heutigen Zeit die Definition eines Videospieles auf einer Vielzahl von unterschiedlichen Unterhaltungsmedien anwendbar. Die meisten Menschen besitzen ein Smartphone, einen Laptop oder Computer und haben damit Zugang zu unzähligen Spielen, welche sich in Stil und Komplexität völlig voneinander unterscheiden können. Aus diesem Grund wurden die oben genannten Kategorien nach Jahren aktiven Video spielens und Anzahl von Genres, in denen mehr als 3 Spiele gespielt wurden, eingeteilt. Zusätzlich wurden Smartphone-Spiele, bis auf wenige Ausnahmen, nicht als vollwertige Spieletitel gezählt. Über diese Zuordnung konnten neun Probanden, zu jeweils drei pro Kategorie, für die Tests rekrutiert werden. Um eine quantifizierbare Aussage über verschiedene Zielgruppen zu ermöglichen, wurde

außerdem darauf geachtet eine nahezu gleiche Verteilung männlicher und weiblicher Probanden zu finden. Innerhalb von Gruppe 3 befindet sich außerdem ein Proband mit moderater Deuteranomalie (Grünschwäche). Weiterhin wurden in Gruppe 2 und Gruppe 3 Personen mit unterschiedlichen Genrepräferenzen ausgewählt. Bei den Probanden aus Gruppe 1 wurde diese Unterscheidung außen vor gelassen, da oft aufgrund der geringen Anzahl unterschiedlicher gespielter Titel noch keine Präferenz für ein bestimmtes Genre ausgebildet wurde.

Für ein verwertbares Ergebnis muss natürlich die Umgebung, in der die Tests durchgeführt werden, der eines Videospiele entsprechen. Das heißt die Testkammern müssen zumindest im Bezug auf die Mechaniken und den Spielfluss, den Designprinzipien eines Genres folgen. Bei der Auswahl des Genres spielten die Rahmenbedingungen des Projektes eine entscheidende Rolle. So sollten für alle teilnehmenden Personen, so weit es geht, ähnliche Umstände geschaffen werden. Zum Beispiel können für Probanden der Gruppe 1 bereits einfache Elemente, wie der für Spiele der Ego-Perspektive üblichen Steuerung über WASD, als schwierig oder zu abstrakt erscheinen. Es dürfen also keine schweren Abfragen von mechanischen Fähigkeiten als Hauptaugenmerk des Genres dienen. Dies betrifft Spielmechaniken wie schnelle hektische Kämpfe, komplexe Bewegungs-/ Sprungpuzzles oder eine große Menge möglicher Inputs und entsprechender Fähigkeiten. Auch auf Präzision fokussierte Genres wie Ego-Shooter oder Geschicklichkeitsspiele können die Probanden überfordern oder zu stark ablenken. Bei Titeln mit optischer Reizüberflutung wie Wimmelbild- oder vielen Rhythmus-Spielen tritt ein ähnliches Problem auf. Im Genre der Puzzle-Spiele hingegen unterstützten ruhige Szenen und optische Simplizität sehr oft den gesamten Charakter. Teilweise geht die Komplexität der verwendeten Modelle nicht über geometrische Primitive hinaus. Basierend auf diesen, für die Untersuchungen idealen, Bedingungen fällt die Wahl des Genres auf ein simples puzzleartiges Spiel. Hier kann gewährleistet werden, dass die Spieler auch tatsächlich die gezielt gesetzten Hinweise wahrnehmen. Gleichzeitig kann die Reaktion auf ein bestimmtes Detail leichter erfasst und protokolliert werden.

Für einen durchgängig stabilen Spielfluss ist es notwendig, die Spieler Stück für Stück an die enthaltenen Mechaniken heran zu führen, bzw. eine bestimmte Funktion vor ihrer eigentlichen Anwendung bereits subtil vorzustellen. Aus der Recherche hat sich außerdem ergeben, dass für ein stimmiges Leveldesign die Hauptmechaniken des Spiels als Grundlage für die Gestaltung der Level dienen sollte. Gleichzeitig dürfen die Vorgänge nicht so surreal sein, dass eine Person, welche bisher wenig

Kontakt mit den üblichen Konzepten von Videospielen hatte (wie zum Beispiel: rote Objekte können explodieren, Risse in Textur bedeuten zerstörbares Objekt), diese selbst mit Hilfe von optischen Markierungen nicht erkennt. Es wurden daher für die erste Iteration der modularen Testkammern zwei Hauptmechaniken bzw. Prinzipien, nach denen sich der Aufbau richtet, festgelegt. Diese werden jeweils im Verlauf von vier und drei einzelnen Kammern zunächst vorgestellt und dann immer abstrakter umgesetzt. Die letzte Kammer enthält Elemente aus allen vorherigen Kammern und eine versteckte Tür. Es wurde dabei versucht, diese einfachen Konzepte in aus Videospielen klischeehaft bekannten Elementen umzusetzen. So sollen Herausforderungen geschaffen werden, welche von erfahrenen Spielern instinktiv, aber dennoch durch optische Hinweise gestützt, bewältigt werden können. Gleichzeitig sollen aber auch Anfänger in der Lage sein, die Kammern in ähnlichen Zeiträumen zu durchlaufen. Gelingt dies, kann eine qualifizierte Aussage darüber getroffen werden, ob sich der Videospiele-Instinkt und bekannte funktionierende Grundbausteine im Level Design tatsächlich auf spezifisch gesetzte optische Reize und Hinweise zurückführen lassen.

3.2. Aufbau der Kammerszenen

Im folgenden Abschnitt werden die zwei Leitmotive der Kammern genauer vorgestellt. Zunächst allgemein und dann spezifisch für die einzelnen Räume mit Erklärungen zu Positionierung und Intention der einzelnen platzierten Hinweise. Es wird außerdem erläutert, wieso die jeweiligen Reize gewählt wurden und welche Reaktion vom Spieler erwartet wird. Alle nachfolgend beschriebenen Kammern besitzen den gleichen Grundriss und verwenden zum größten Teil die gleichen 3D Modelle. Umgebungsbausteine, die nicht zum jeweiligen Rätsel gehören, besitzen vergleichsweise kontrastarme Farben und einfache Oberflächentexturen. Dies ermöglicht eine neutrale Testumgebung und stellt gleichzeitig einen schlüssigen Gestaltungsstil dar, welcher in vielen bekannten Puzzlespielen Anwendung findet (zum Beispiel Portal 1 und 2, Antichamber, Humans Fall Flat). Auch der logische Aufbau der Kammern ist immer gleich. Es existiert eine räumliche Struktur, durch die der Spieler sich bewegen muss, um mit Hilfe von verschiedenen interagierbaren Objekten den Weg in die nächste Kammer zu öffnen.

3.2.1. Schlüssel-Schloss

Die ersten vier Abschnitte basieren auf dem bekannten Schlüssel - Schloss Prinzip. Im Kontext des Spiels bedeutet dies, dass sich in jeder Kammer ein Objekt befindet, welches an einen bestimmten Punkt befördert werden muss, um den Fortschritt zu ermöglichen. Welches Objekt die Schlüsselfunktion inne hat, wird dem Spieler über die optischen Hinweise kommuniziert.

In der ersten Kammer ist der Aufbau relativ simpel gehalten. Der Spieler startet vor einer hohen schwarzen Mauer mit einem Torbogen in der Mitte. Dieser wird flankiert durch zwei Säulen mit grauen Kugeln auf der Spitze. Durch diesen Torbogen kann der Spieler direkt das Portal erkennen, welches ihn in die nächste Kammer befördern kann. Das Portal ist verschlossen und am rechten Rahmen ist ein großes goldenes Schloss erkennbar. Zusätzlich befindet sich am oberen Rand des Portals eine rote Lampe. Durch die goldene Farbe des Schlosses, welche sich stark vom restlichen Farbbild abhebt, soll der Spieler auf dieses aufmerksam gemacht werden und sich in Richtung des Tors bewegen. Die Farbe der Lampe hingegen soll dem Spieler symbolisieren, dass der Durchgang momentan noch versperrt ist. Hier wurde die Wahl der Farbe an die reale Welt angelehnt. Dort wird Rot oft für gesperrte Bereiche oder Bewegungsverbot und Grün für das Gegenteil verwendet (Zum Beispiel Ampeln, Verkehrsschilder, Notausgänge). Zusammen mit dem Schloss soll der Spieler hier die Verknüpfung ziehen, dass ein Schlüssel benötigt wird, um fortzuschreiten. Auf der Rückseite der schwarzen Wand befinden sich zwei Treppen, die auf deren Oberseite führen. Auf der rechten Seite wurde der passende goldene Schlüssel auf einem weißen Tisch platziert. Auch hier soll der Farbkontrast zwischen Schwarz und Weiß helfen, die richtige Seite der Mauer schnell zu erkennen. Mit dem Schlüssel wird das Tor geöffnet, die Lampe wechselt auf Grün und der Spieler gelangt in die nächste Kammer.

Die zweite Kammer konfrontiert den Spieler zunächst mit einem ähnlichen Aufbau. Eine der Säulen wird hier jedoch als umgefallen dargestellt. Diese Anordnung wurde bewusst gewählt, um dem Spieler zu suggerieren, dass die Kugel nicht Teil der Säule ist und unabhängig davon bewegt werden kann (Mechanik spielt in der dritten Kammer eine Rolle). Verbundenheit von Objekten wird unabhängig von Form und Farbe besonders schnell wahrgenommen. Bewegt sich der Spieler weiter in die Kammer, entdeckt er das Portal mit Schloss und einen Tisch mit einem blauen Schlüssel auf der linken Seite des Ganges. Am Portal ist jedoch kein blaues Schloss zu sehen.

Hat der Spieler die Farbzugehörigkeit in der vorherigen Kammer bemerkt, kann er über Mustererkennung direkt feststellen, dass es sich bei dem blauen Schlüssel nicht um den richtigen handelt. Neben dem Portal befindet sich ein zweites, rotes Schloss. Ausgehend vom Portal eröffnen sich dem Spieler zwei Wege, welche jeweils zu einem Tisch mit vielen verschiedenfarbigen Schlüsseln führen. Hier kommt zum ersten Mal die Wahrnehmung von Helligkeitsunterschieden zum Tragen, denn der Gang, der den Tisch mit dem richtigen Schlüssel trägt, ist mit einer leuchtenden Lampe versehen, während der falsche Gang eine defekte Lampe hat. Diese Anwendung von Lichtquellen zur Markierung der korrekten Richtung ist ein für Videospiele typisches Klischee und sollte von den Spielern aus Gruppe 2 und 3 sofort erkannt werden. Aber auch die unerfahrenen Spieler aus Gruppe 1 sollten in der Lage sein, den richtigen Gang als erstes zu wählen, da die Lichtquelle über die präattentive Wahrnehmung sehr schnell erkannt wird und die Aufmerksamkeit des Probanden auf sich zieht. Der zum Schloss passende rote Schlüssel befindet sich auf dem Tisch hinter der Lichtquelle und eröffnet den Weg in die dritte Kammer, wobei sich wieder die Lampe über dem Portal grün färbt.

Auch in Kammer Nummer drei zeigt sich dem Spieler zunächst ein ähnliches Bild. Ein großer Torbogen ist flankiert von zwei (hier wieder stehenden) Säulen und das Portal am Ende des Ganges. Das Portal in dieser Kammer trägt allerdings kein Schloss, stattdessen befinden sich drei Podeste direkt davor. Über die rote Lampe wird auch hier wieder angedeutet, dass das Portal geöffnet werden muss. Bewegt sich der Spieler auf das Tor zu, werden eine große Menge geometrischer Primitive sichtbar. Diese befinden sich verstreut auf dem Boden und beinhalten Würfel und Pyramiden. Spieler aus Gruppe 2 und 3 werden hier sofort erkennen, dass die Primitive Teil der Lösung sind und voraussichtlich auf den Podesten angeordnet werden müssen. Stellt der Spieler fest, dass es drei Podeste gibt, aber nur zwei verschiedene Formen auf dem Boden, wird er sich weiter in der Kammer umschauchen, um die dritte Form zu finden. Dabei sollen mehrere große Wandkonstrukte bestehend aus den am Boden liegenden Primitiven in den Fokus der Wahrnehmung fallen. Auf der linken Seite besteht das Wandkonstrukt aus vielen Pyramiden und auf der rechten Seite aus Würfeln. Die räumliche Ausrichtung soll dabei dem Spieler helfen, zu entscheiden auf welchem Podest welche Grundform abgelegt werden muss. Innerhalb der Konstrukte befindet sich auf jeder Seite jeweils eine einzelne Kugel. Die Objekte alle zu untersuchen, würde die Probanden sehr viel Zeit kosten. Da jedoch einfache Formunterschiede in einer großen Menge von gleichen Objekten sofort wahrgenom-

men werden, wird der Spieler die Kugel erkennen. Über die umgefallene Säule mit der Kugel im vorherigen Abschnitt, wissen die Probanden bereits, dass diese ein einzelnes Objekt ist und bewegt werden kann. Der Spieler kann nun die Kugel vom Eingangsbereich auf dem mittleren Podest platzieren, um das Portal zu öffnen.

In der vierten Kammer kommt eine etwas abstraktere Variante des Schlüssel-Schloss-Prinzips zum Einsatz. Zunächst sieht der Spieler, dass sich in dieser Kammer fünf Portale befinden. Jedes dieser Portale hat ein eigenes Podest, ähnlich denen aus der vorherigen Kammer. Außerdem befinden sich in diesem Raum mehrere Tische mit unterschiedlichen Primitiven und Schlüsseln. Zwischen den möglichen Schlüsseln und den Portalen gibt es keine eindeutige farbliche Zuordnung oder sonstige Hinweise auf Zugehörigkeit. Folgt der Spieler den gelernten Mustern aus den vorangegangenen Kammern, wird er nach einer alternativen Lösungsmöglichkeit suchen müssen. Eines der Portale hat einen bewusst gesetzten Farbunterschied zu den anderen vier. Dieser Unterschied sollte dem Spieler sofort beim Betrachten auffallen und eine nähere Untersuchung auslösen. Zusätzlich zum Farbunterschied ist die Lampe, die den Öffnungsstatus des Portals anzeigt, hier schwarz statt rot oder grün. Das Fehlen der Beleuchtung soll hier mit einem technischen Defekt des Portals assoziiert werden. Für alle Spieler sollte hier klar sein, dass dies das korrekte Portal ist, da es sich als einziges von den anderen vier unterscheidet. Bei diesem Portal sind außerdem die Türen leicht schräg und ein kleiner Spalt ist zu sehen. Da die Türen normalerweise im geschlossenen Zustand ein regelmäßiges Muster aufweisen, sollte auch dieser Hinweis direkt die Aufmerksamkeit der Spieler auf sich ziehen. Spielern aus Gruppe 3 wird hier sofort klar sein, dass die Türen auf irgendeine Art und Weise gewaltsam zu öffnen sind. Unregelmäßigkeiten in Mustern an Wänden, defekte oder beschädigte Objekte werden vielseitig in Videospiele eingesetzt, um zerstörbare oder manipulierbare Elemente zu markieren. Gleichmaßen kann allerdings auch der unerfahrene Spieler darauf schließen, dass es eventuell eine Möglichkeit gibt, die Türen mechanisch zu öffnen. Hat der Proband einen oder mehrere dieser Hinweise erkannt, wird er bei der Suche nach dem eigentlichen "Schlüssel", welcher in diesem Fall eine Brechstange ist, in die richtige Richtung gelenkt. Der gesamte Aufbau dieses Raumes ist gezielt symmetrisch gehalten, damit die Brechstange leichter zu finden ist. Diese lehnt seitlich an dem Tisch, der die Schlüssel trägt und stellt damit eine Musterunterbrechung bzw. einen Symmetriebruch dar. Dies bedeutet natürlich, dass Spieler potentiell die Brechstange entdecken, bevor die eigentliche Herausforderung

des Raumes klar wird. Ist der Spieler Mitglied der Gruppe 3 wird hier bereits auf eine gewaltsame Öffnung einer der Türen geschlussfolgert.

3.2.2. Knöpfe und Hebel

In der zweiten Hälfte der zu bewältigenden Herausforderungen kommen hauptsächlich Knöpfe und Hebel in verschiedenen Varianten und Kombinationen vor. Wie in den Kammern basierend auf dem Schlüssel-Schloss-Prinzip, werden die Funktionsweisen zunehmend abstrakter.

Zu Beginn der fünften Kammer hat der Proband erneut direkt das Portal im Blick. An diesem Portal ist wieder eine schwarze Lampe zu sehen. Hier soll jedoch ein kleiner Kasten mit einem Symbol für Elektrizität induzieren, dass statt einem Defekt nur fehlender Strom vorliegt. Der Weg wird außerdem versperrt durch ein großes goldenes Tor mit farbigen Gitterstangen. Größe und Farbkontrast stellen hier sicher, dass es als erstes in den Fokus der Aufmerksamkeit fällt. Hat der Spieler bisher alle Kammern lösen können, wird er wieder von einer farblichen Zuordnung ausgehen. Im besten Fall beginnt der Proband sich bereits die Farben zu merken. Auf den, über eine Treppe erreichbaren, höher gelegenen Ebenen befinden sich mehrere Knöpfe in den gleichen Farben wie die Gitterstangen, in goldenen Sockeln. Diese müssen in derselben farblichen Reihenfolge gedrückt werden, wie die Farben der Gitterstäbe von links nach rechts. Dabei ist auf der linken Seite der Gitterstäbe eine Lampe angebracht. Mit Hilfe dieser soll die Aufmerksamkeit des Spielers unbemerkt auf die linke Seite gezogen werden, wenn er nach einer Reihenfolge für die Knöpfe sucht. Wenn der Proband einen richtigen Knopf gedrückt hat, tauscht dieser die Farbe mit seinem Sockel. Werden alle Knöpfe erfolgreich betätigt, öffnet sich das farbige Gitter. Der Spieler wird nun, sofern er dies nicht vorher bereits getan hat, nach einer Möglichkeit suchen, das Portal mit Strom zu versorgen. Betrachtet er dabei den Kasten genauer, wird er eine Kabelführung erkennen. Diese geht vom Kasten bis auf den Boden und verläuft dann am Rand der Kammer nach hinten. An der Rückwand der Kammer befindet sich ein roter Knopf an der Wand, der mit der Kabelführung verbunden ist. Das Einschalten des Stroms ist in dieser Kammer verhältnismäßig einfach und soll den Spieler hauptsächlich darüber informieren, dass diese Mechanik existiert.

Die nächste Kammer ähnelt wieder der Grundform der ersten vier. Ein Torbogen und ein Gang trennen den Spieler zunächst vom Portal und den Puzzle-Elementen. Im Vergleich zu den vorherigen Räumen sind hier die Wände deutlich höher. Probanden aus Gruppe 2 und 3 werden instinktiv davon ausgehen, dass ein Teil der Lösung auf einer höheren Ebene stattfindet und passiv beim Erkunden nach einem Ausgang suchen. Das Portal trägt erneut eine schwarze Lampe und kein Schloss. Dem Probanden wird dadurch vermittelt, dass er wieder nach einer Stromquelle und einer alternativen Öffnungsmöglichkeit suchen muss. Auf dem Weg zum Portal befindet sich auf der linken Seite ein mit Gitterstäben abgesperrter beleuchteter Raum. In diesem befindet sich ein Hebel, welcher über eine ähnliche Kabelführung wie im vorangegangenen Level mit einem Knopf am Portal verbunden ist. Auf der rechten Seite des Ganges befindet sich ein unbeleuchteter Raum, mit einem Schlüssel ohne zugehöriges Schloss. Die Lichtquelle bei dem Hebel soll hierbei aktiv die Aufmerksamkeit auf die linke Seite des Ganges lenken, so dass der Spieler den Raum auf der rechten Seite nicht entdeckt. Folgt der Proband nun der Kabelführung zwischen den zwei Objekten, wird er eine Textur in Form von Fußspuren auf dem Boden entdecken. Diese ist so platziert, dass sie das Muster der Bodenplatten gezielt unterbricht und damit beim Betrachten der Kabelführung sofort wahrgenommen wird. Dem Spieler soll damit suggeriert werden, sich in diese Richtung zu bewegen. Hinter einer Ecke offenbart sich eine Treppe auf eine höhere Ebene. Erfahrenere Probanden werden hier potentiell ohne die Fußspuren zu bemerken den Ausgang entdecken. Auf der oberen Ebene findet der Spieler mehrere Platten im Boden vor, welche sich durch eine andere Textur abheben. Probanden aus Gruppe 2 und 3 sollen hier instinktiv erkennen, dass es sich um Druckplatten handelt. Eine dieser Platten öffnet beim Betreten das Gitter auf der unteren Ebene. Die Form und die eingelassenen Ränder, sollen hier auch den Spielern aus Gruppe 1 suggerieren, dass es sich um eine bewegliche Platte handelt. Der nun freigelegte Hebel schaltet beim Benutzen den Strom für das Portal ein, was das Spieler durch das rote Aufleuchten der Lampe signalisiert wird. Damit soll gleichzeitig übermittelt werden, dass eine weitere Aktion notwendig ist, um die Türen des Portals zu öffnen. Das Portal kann nun mit Hilfe des Knopfes am Rahmen geöffnet werden. Sowohl die Bodenplatten als auch der Hebel und der Knopf sind in der Art, in der sie auftreten, für Personen auf Gruppe 1 potentiell abstrakte Konstrukte. Hier wird der Angebotscharakter der Objekte ausgenutzt, um zusammen mit den optischen Hinweisen die Funktionsweise deutlich zu machen.

In der vorletzten Kammer wird der Weg zum Portal erneut durch ein Gitter versperrt. Dieses befindet sich in einem Torbogen der, wie in den ersten vier Kammern, durch zwei Säulen flankiert wird. Direkt vor der Stelle, an der der Spieler erscheint, befindet sich eine Druckplatte. Über die Druckplatte kann der Proband das Gitter temporär senken. Verlässt er jedoch die Druckplatte, bewegt sich das Gitter wieder nach oben. Erfahrene Spieler sollen hier instinktiv erkennen, dass eine der Säulen auf der Platte platziert werden kann, um das Gitter am Schließen zu hindern. Um zu signalisieren, dass eine der Säulen bewegt werden kann, wurde zusätzlich eine Schleifspuren-Textur auf dem Boden platziert. Selbst wenn ein Proband die Lösung nicht sofort erkennt, wird die Textur bei genauerer Untersuchung des Raumes sofort auffallen, da diese das ansonsten durchgängige Muster der Bodenplatten unterbricht. Ist die Säule auf der Druckplatte platziert, kann das nun dauerhaft geöffnete Tor passiert und das Portal über einen Knopfdruck geöffnet werden.

Die letzte Kammer konfrontiert die Probanden mit einer beliebigen Mechanik aus vielen verschiedenen Puzzlespielen. Es ist nur möglich das Portal zu öffnen, wenn der Spieler ein geheimes Areal findet, welches sich hinter einer beweglichen Wand befindet. Für die Markierung von Geheimtüren gibt es viele unterschiedliche Möglichkeiten. In der Kammer wurden drei dieser Optionen gewählt, um zu prüfen, welche den Spielern als erstes auffällt. Zunächst wurde der bewegliche Teil mit einer Textur versehen, welche sich leicht vom Rest der Wand unterscheidet. Außerdem wurde die Wand ein Stück eingerückt und mit einer dezenten Schleifspur am Boden versehen. Damit die Geheimtür nicht sofort auffällt, wurden mehrere Elemente der Mechaniken aus allen vorangegangenen Kammer als Ablenkung in diesem Areal platziert. Probanden aus Gruppe 3 sollten hier dennoch, nach einer kurzen Orientierungsphase, schnell die Tür entdecken. Die Schleifspuren wurden hauptsächlich platziert, um Spielern aus Gruppe 1 und 2, welche potentiell noch keinen Kontakt mit dem Konzept von Geheimtüren oder zerstörbaren Wänden hatten, zu signalisieren, dass hier eine Interaktion möglich ist. Die Mechanik an sich sollte, aufgrund der Anwendung in der vorherigen Kammer, für alle Teilnehmer verständlich sein. Wurde das geheime Areal geöffnet, wird ein großer Knopf auf einem Podest sichtbar. Da die Software keine akustischen Signale für ausgeführte Aktionen bereitstellt, wurde der Knopf so implementiert, dass dieser nach Aktivierung von einer leuchtend roten auf eine leuchtend grüne Farbe wechselt.

3.3. Testkonzept

Der Ablauf der Tests mit einer einzelnen Person ist in vier Hauptabschnitte gegliedert. Diese sind, unabhängig von der zugeteilten Kategorie des Probanden, immer gleich. Dabei wurden mehrere Dokumente angelegt, um die Handlungen und Aussagen der Testpersonen zu protokollieren. Wenn der Test nicht vor Ort durchgeführt werden kann, wird vorher zunächst eine Videokonferenz initialisiert, um die Handlungen der Personen im Spiel überwachen zu können.

Im ersten Teil werden dem Probanden zunächst alle notwendigen Informationen über das Experiment zu Verfügung gestellt. Zu Beginn wird kurz erklärt, was den Spieler in den Kammern erwartet. Hier werden keine Details zum Aufbau oder den eigentlichen Mechaniken genannt. Den Probanden wird nur erklärt, dass sie sich in einem geschlossenen Raum wiederfinden werden, mit dem Ziel die präsentierte Herausforderung zu überwinden und den Raum zu verlassen. Es folgt eine kurze Erklärung der Steuerung, sowie Anweisungen zum Ablauf und der Hinweis, dass Notizen über die Handlungen aufgenommen und die Zeit gestoppt wird. Die Teilnehmer werden gebeten nach der Lösung einer Kammer für eine kurze Befragung zu pausieren. Um Unklarheiten bezüglich der erwarteten Handlungen vorzubeugen, wird allen Teilnehmern zu Beginn der selbe Hinweis gegeben: "Die Lösung einer Kammer ist immer offensichtlich erkennbar und es ist nicht notwendig herumzuprobieren". Wird im Verlauf einer Kammer festgestellt, dass ein Proband versucht, durch Probieren zur Lösung zu kommen, wird interveniert und der Hinweis wiederholt. Zusätzlich wird eine kurze verbale Hilfestellung gegeben, sollte die Testperson auf einen Fehler in der Anwendung stoßen, welcher den Spielfortschritt verhindert oder unklar macht.

Der zweite Teil bezieht sich auf das Durchlaufen der Kammer selbst. Die Probanden werden beim Spielen beobachtet und Notizen bezüglich der Handlungsmuster aufgeschrieben. Hier wird vor allem darauf geachtet, in welcher Reihenfolge die Objekte in den Fokus des Teilnehmers rücken und welche Handlungen zu welchem Zeitpunkt ausgeführt werden. Sobald das Portal geöffnet wurde, wird der Test unterbrochen. Wenn der Proband länger als zehn Minuten benötigt, wird ebenfalls abgebrochen und die Kammer als nicht gelöst vermerkt. Im dritten Test-Abschnitt werden Fragen zur Vorgehensweise in der Kammer gestellt, welche Dinge dem Probanden aufgefallen sind und wie diese Gedankengänge und Vorgehensweise beeinflusst haben. Die Aussagen werden später in der Evaluation mit den tatsächlichen Handlungen verglichen. Zusätzlich werden die Testpersonen gebeten, eine eigene Einschätzung abzugeben, ob

die Herausforderung instinktiv oder mit Hilfe der gegebenen Hinweise gelöst wurde, sowie eine Einteilung der Schwierigkeit von 1 bis 10 (1 entspricht sehr einfach, 10 entspricht nicht lösbar). Nach der Befragung wird der Test mit der nächsten Kammer fortgesetzt.

Im vierten Abschnitt werden den Probanden Fragen zu den gezielt gesetzten optischen Reizen in den einzelnen Kammern gestellt. Die Fragen sind wieder für alle Probanden einheitlich. Sollte ein bestimmtes Detail unklar sein, wird die entsprechende Stelle per Bildschirmübertragung vom Tester erneut vorgeführt. Je nach gesetztem Hinweis, wird abgefragt, ob dieser wahrgenommen bzw. wie dieser interpretiert wurde. Sind alle Fragen beantwortet, ist der Test für diesen Probanden abgeschlossen. Nachdem alle Probanden den Test durchlaufen haben, werden die Ergebnisse anonym zusammengefasst und ausgewertet.

4. Implementierung

Im Folgenden Kapitel wird die tatsächliche Umsetzung des Konzepts in der Game Engine Unity beschrieben. Dabei werden zunächst dem Projekt zugrunde liegende Entscheidungen über verwendete Tools und Assets erklärt und anschließend die Bestandteile der Software sowie wie deren Entstehungsprozess im Detail erläutert.

4.1. Game Engine und Ausgangskomponenten

Für die Nutzung von Unity als Game Engine für diese Arbeit sprachen viele verschiedene Faktoren. Ein Großteil der im Studium entstandenen Spiele wurde in der Unity Engine umgesetzt, unter anderem das dreimonatige Praxismodul im fünften Semester. Im Vergleich zu anderen Game Engines und verwendeten Programmiersprachen, besteht hier also die umfangreichste praktische Erfahrung. Aufgrund der Struktur von Unity bietet sich diese Software außerdem für das Erstellen modularer erweiterbarer Anwendungen an. Es werden Szenen erstellt, welche die Spielinhalte tragen und verwaltbar machen, in denen einfache primitive Objekte ohne Aufwand über wenige Klicks erzeugt werden können. Diese Objekte und selbst erstellte, in der Engine platzierte Assets können beliebig modifiziert und über Skripte, mit Funktionen und Vorschriften über die Interaktionen miteinander, weiter spezialisiert werden. Einmal angepasst kann ein solches Objekt mit seinen Eigenschaften in einem so genannten Prefab abgespeichert werden. Diese Prefabs können anschließend beliebig oft wieder verwendet werden und simultan, durch Veränderungen an der abgespeicherten Version, angepasst werden. Unity besitzt außerdem einen Assetstore, in welchem eine Vielzahl frei verfügbarer Assets in den unterschiedlichsten Kategorien direkt in der Engine zugänglich ist. Weiterhin gibt es viele nützliche vorgefertigte Komponenten in der Datenbank, wie zum Beispiel der hier verwendete *Character Controller* für die Kontrolle und physische Repräsentation der Spielfigur. In der Unity-Dokumentation finden sich außerdem Informationen zu allen internen Strukturen, wie zum Beispiel Klassen oder das Physik-System, sowie praktische Beispiele.

Zusätzlich zur Wahl der Engine selbst wurden, vor dem Beginn der eigentlichen Bearbeitung der Kammer-Szenen, Recherchen und Tests zur Erstellung von Ego-perspektive basierten Videospielen und hierfür geeigneten Templates durchgeführt. Unity-Templates beinhalten verschiedene vorgefertigte Einstellungen für den Beginn eines neuen Projektes, unter anderem Einstellungen für die Renderpipeline (zuständig für Verarbeitung von Licht und grafischen Elementen), bereits implementierte Assets und Beispielszenen, Layout der Benutzeroberfläche (für 2D oder 3D basierte Programme) sowie vorgefertigte Einstellungen für Performance und Anbindung unterschiedlicher Systeme. Die Entscheidung fiel hier auf ein 3D-Projekt mit der so genannten Universal Render Pipeline. Diese Auswahl ist das von Unity empfohlene Template für Performance orientierte Projekte mit Kompatibilität für viele verschiedene Betriebssysteme und wenig Bedarf an individueller Konfiguration der Render-Einstellungen. Da sich aufgrund der globalen Pandemie das Testen vor Ort als relativ schwierig herausstellte, wurde dieses Template gewählt, um zu gewährleisten, dass die Anwendung auf den Systemen der Probanden problemfrei läuft.

Für das Erstellen von 2D-Grafiken wurde das Programm Inkscape und für das Erstellen von 3D-Objekten, welche nicht aus dem Asset Store entnommen werden konnten, wurde Blender genutzt. Bei der Wahl beider Anwendungen stand vor allem die kostenfreie Verfügbarkeit und persönliche Erfahrung in der Handhabung im Vordergrund. Da nur wenige Assets selbst erstellt wurden, waren hier die spezifischen Anforderungen an die Tools von geringer Wichtigkeit. Im 2D-Bereich wurde lediglich ein Fadenkreuz sowie ein stilisiertes Symbol für Elektrizität erstellt und im 3D-Bereich ein Tor, ein Schlüssel und drei verschiedene Schlösser modelliert.

Bevor die räumliche Struktur und der Aufbau der Herausforderungen bearbeitet werden konnte, mussten zunächst alle modularen Bestandteile funktional implementiert werden. Zu diesem Zweck wurde zunächst ein allgemeiner Testbereich, bestehend aus geometrischen Primitiven, erstellt und Stück für Stück mit den Elementen gefüllt, welche in den zukünftigen Kammern existieren sollten. In diesem Areal wurden die anschließend implementierten Skripte getestet.

4.2. Bewegung der Spielfigur: CharacterControllerMovement und PlayerCameraMovement

Ein wichtiger Ausgangspunkt für das Projekt, war die Umsetzung der Bewegungssteuerung im Spiel. Diese ist notwendig, um alle weiteren Funktionalität zu testen und stellt außerdem die Haupt-Mechanik des Spiels dar. Für das Bewegen eines Charakters gibt es in Unity verschiedene Ansätze, die für unterschiedliche Situationen besser geeignet sind. Zwei der am meisten verwendeten Beispiele sind hierbei die sogenannten *Character Controller* - Komponente von Unity und das Steuern des Charakters über eine *Rigidbody* - Komponente. Zu Beginn wurde versucht in einer Testszene eine eigene Version der Bewegung über den *Rigidbody* zu implementieren. Hier entstanden Schwierigkeiten beim Anbinden der Kamera für die Egoperspektive und das Übersetzen der Tastatur-Inputs in Bewegungen. Nach kurzer Recherche wurde die *Character Controller* - Komponente als neue Grundlage gewählt, da diese neben einer vereinfachten Anbindung von der Bewegungssteuerung auch eine interne Abhandlung für Bodenerkennung und Kollisionen besitzt. Der einzige ermittelte Nachteil dieser Komponente ist, dass die Implementierung von physikalisch korrekten Verhalten, aufgrund des fehlenden *Rigidbody*s, deutlich komplexer wird. Für die Umsetzung der konzipierten Testkammer, welche sich an anderen Puzzle-basierten Videospielen orientiert, war dies allerdings nicht notwendig. Um den *Character Controller* zu nutzen, muss ein eigenes Skript erstellt werden, welches dann die mitgelieferten Methoden des *Character Controller*'s aufruft.

Um dieses Skript umzusetzen, wurde zunächst ein *GameObject* mit dem Namen *Player-/PlayerCamera-Container* angelegt. Dieses beinhaltet zu diesem Zeitpunkt, neben einer primitiven Kapsel zur Identifikation der Blick- und Laufrichtung in Tests, eine Kamera, den *Character Controller* und die Skripte *CharacterControllerMovement* und *PlayerCameraMovement*. Letzteres Skript ist hierbei für die Übersetzung der Mausposition auf dem Bildschirm in Rotation der Kamera und somit Blickrichtung des Spielers zuständig. Da beide Skripte voneinander abhängig sind, wurden sie innerhalb dieses *Gameobjects* gruppiert, um ein manuelles Bewegen des Spielers zusammen mit seinen Funktionalitäten während des Aufbaus der Testkammern zu ermöglichen. Das *CharacterControllerMovement* - Skript ist für die Abhandlung sämtlicher über die Tastatur getätigten Inputs und die Wirkung der Schwerkraft

zuständig. Der *Character Controller* bringt eine interne Methode zur Abfrage der Kollision mit dem Boden mit sich, jedoch konnte diese nicht fehlerfrei implementiert werden. Eine Recherche ergab, dass diese Methode unter verschiedenen Umständen nicht fehlerfrei arbeitet und eine eigene Komponente zum Abfragen der Kollision eingearbeitet werden sollte. Dies ist notwendig, damit das Skript später entscheiden kann, ob ein Sprung ausgeführt wird oder nicht, wenn der Spieler die entsprechende Taste drückt. Diese Überprüfung wurde also über eine Unity interne Methode namens *Physics.CheckSphere()* abgehandelt, welche Kollisionen mit einer vordefinierten *Sphere* überprüft und ein entsprechendes Signal zurück gibt. Die *Sphere* wurde so konfiguriert, dass sie sich am unteren Ende der Spielerfigur befindet und einen minimal größeren Radius als die Kapsel besitzt. Als nächstes werden die Inputs des Spielers in Bewegungen umgewandelt. Unity gibt hierbei standardmäßig vor, dass die für Videospiele üblichen Eingabemöglichkeiten über die Tasten W, A, S und D oder die Pfeiltasten als Inputs auf der horizontalen und vertikalen Achse behandelt werden. Diese werden abgefragt, mit einer selbst definierten Bewegungsgeschwindigkeit multipliziert und in Bewegungsvektoren umgerechnet. Diese müssen anschließend nur noch der *Character Controller* internen Methode *Move()* überreicht werden und die Bewegung des *Gameobjects*, auf dem das Skript liegt, wird ausgeführt.

Das gleiche gilt für das Springen. Hier wird der Input der Leertaste abgefangen, welche in Unity als *Jump* Taste definiert ist. Befindet sich der Spieler auf dem Boden und wird eine Eingabe registriert, folgt eine Beschleunigung der Spielfigur auf der Y-Achse. Da der *Character Controller* keinen *Rigidbody* für die Abhandlung von physikalischen Kräften mit sich bringt, musste eine weitere Anweisung implementiert werden, welche dauerhaft die selbst definierte Schwerkraft auf der Y-Achse wirken lässt. Den letzten Teil dieses Skriptes bildet die Anweisung, welche die lokale Rotation von der *PlayerCamera* abfragt und auf die Rotation der Kapsel überträgt. Auf die gleiche Art und Weise holt sich das *PlayerCameraMovement* - Skript die Position der Kapsel und passt die der Kamera an. Diese Form der Implementierung wurde gewählt, da sich in Tests herausgestellt hat, dass es Verzögerungen und Ruckler gibt, wenn die Kamera dem Spieler als *Child* untergeordnet ist und die Anpassung der Position über die Hierarchie erfolgt.

4.3. Aufheben von Gegenständen: Raycast und Pickup

Eine weitere wichtige Grundmechanik ist das Aufheben von Objekten aus der Umgebung. Ohne diese Fähigkeit wäre der Spieler nicht in der Lage, einen Großteil der Rätsel zu lösen. Für diesen Vorgang ist das Pickup - Skript zuständig. Dieses kann aufhebbare Gegenstände in die Hand des Spielers befördern. Bevor dieser Vorgang jedoch ausgeführt werden kann, muss dem Skript zunächst vermittelt werden, ob ein dafür vorgesehener Gegenstand vor dem Spieler liegt oder nicht. Auch hier wurden unterschiedliche Lösungsansätze konzipiert. Zum einen besteht die Möglichkeit, an die Sichtlinie der Kamera einen Collider anzuhängen, welcher dann bei Kollision mit einem Schlüsselobjekt ein positives Signal abgibt. Zum anderen kann ein Raycast von der Kamera ausgeführt werden, mit demselben Zweck, ein positives Signal beim Auftreffen zu senden. Nach Recherche in der Unity Dokumentation hat sich herausgestellt, dass bei einem Raycast angegeben werden kann, welche Layer er bei der Suche nach Kollisionen ignorieren soll. Somit ist ein Raycast im Vergleich zu einem Collider deutlich Performance-orientierter und einfacher zu konfigurieren. Daraufhin wurde allen aufhebbaren Gameobjects das Layer "PickUps" verliehen und das Raycast Skript angelegt. Da die Information über mögliche greifbare Gegenstände auch vom ButtonPress - Skript genutzt werden sollte, wurde der Raycast in ein separates Skript ausgelagert. Das Raycast Skript wurde so angelegt, dass es durch den Strahl erkennt, ob ein interagierbares Objekt vor dem Spieler liegt und zu welchem Typ es gehört. Es unterscheidet zwischen aufhebbaren Objekten und Knöpfen und sendet nur dann ein positives Signal, wenn eines dieser Objekte 2 Meter oder näher am Spieler ist. Um dem Spieler das Ausrichten zu erleichtern, wurde ein einfaches Fadenkreuz auf die Kameraebene gelegt.

Wenn der Spieler nun vor einem Objekt steht, welches er aufheben kann, empfängt das Pickup - Skript das entsprechende Signal des Raycasts und bewegt das Objekt in die Hand des Spielers, wenn dieser die Taste "E" drückt. Die Hand des Spieler ist hierbei definiert durch ein leeres Gameobject vor dem Spieler etwa in Höhe der Brust. Als nächstes wird die Gravitation für dieses Objekt ausgeschaltet, damit es an dieser Position bleibt. Der Gegenstand kann nun durch die Level bewegt werden. Damit der Spieler das aufgehobene Objekt ordnungsgemäß sehen kann, werden in dem Moment, wenn die entsprechende Taste gedrückt wird, sämtliche Rotationen des Objektes auf Null gesetzt. Um zu ermöglichen, dass das Objektsich korrekt mit

dem Spieler mitbewegt, wird es für die Dauer des Haltens dem Hand - Gameobject als Child zugewiesen. Lässt der Spieler es wieder los, wird das vorhergehende Parent wieder eingesetzt. Aufgrund der Tatsache, dass einige Gegenstände im Spiel rund sind, ist es möglich, dass diese sich rollen oder sich drehen wenn der Spieler sie aufhebt. Beim Aufheben wird also zusätzlich jegliche Beschleunigung und Rotationsbeschleunigung des Objektes auf Null gesetzt. Um nun zu verhindern, dass erneut Kräfte auf das Gehaltene Item einwirken, oder dieses in einer Wand stecken bleibt, wird der `isKinematic` Boolean auf `true` gesetzt. Dies bewirkt, dass ab sofort keine Kräfte oder Collider mehr auf das Gameobject einwirken. Wird das Objekt wieder abgelegt, wird diese Einstellung rückgängig gemacht. Als letzter Schritt nach dem Aufheben wird die Hand über einen Boolean als belegt ausgewiesen, damit der Spieler nicht in der Lage ist, zwei Gegenstände gleichzeitig zu tragen. Sollten die Testkammern zukünftig um weitere Level erweitert werden, müssen einfach nur alle Gegenstände, welcher der Spieler aufheben können soll, dem PickUps Layer zugewiesen und mit einem RigidBody und Collider versehen werden.

4.4. Interaktion mit Druckplatten und Knöpfen: Push, ButtonPress und Lever

Neben den tragbaren Gegenständen besteht die Haupt-Interaktionsmöglichkeit des Spielers mit der Welt darin, verschiedene Druckplatten und Knöpfe auszulösen. Diese können verschiedene Formen besitzen und lösen ihrerseits die unterschiedlichsten Funktionen aus. Bei den Druckplatten werden hauptsächlich zwei Typen unterschieden. Es gibt Druckplatten, welche einmalig auslösen, wenn der Spieler sie betritt und Druckplatten, welche ihre Funktion nur solange auslösen, wie sich ein Objekt auf ihnen befindet. Um diesen Typ dauerhaft zu aktivieren und im Level fort zu schreiten, muss der Spieler in der Lage sein, Objekte aus der Welt auf diesen Druckplatten zu platzieren. Neben der Möglichkeit einen Gegenstand mit Hilfe des PickUp - Skripts darauf abzulegen, soll dem Spieler noch die Fähigkeit verliehen werden, bewegliche Objekte aus der Kammer zu verschieben. Wie bereits zuvor erwähnt, besitzt der Character Controller keinen eigenen RigidBody, ist also in der Theorie nicht in der Lage, andere Objekte physikalisch zu beeinflussen. Um diese Spielerfähigkeit zu ermöglichen, musste also eine alternative Umsetzung gefunden werden. Hier wurde eine interne Methode des Character Controllers genutzt. Mit

Hilfe von `OnControllerColliderHit()` kann ähnlich wie bei normalen Collidern abgefragt werden, ob das `GameObject`, auf dem er sich befindet, mit einem anderen zusammen trifft. Ist dies der Fall, wird wie bei einem Raycast ein `hit`, also ein Treffer, ausgegeben. Als nächstes greift nun das Skript auf den `Rigidbody` des getroffenen Objektes zu. Ist kein `Rigidbody` vorhanden, wird die Ausführung des Skripts beendet, ohne das etwas passiert. Das gleiche gilt für alle getroffenen Objekte, die sich in einem bestimmten Winkel unter dem Spieler befinden. So wird sichergestellt, dass keine Objekte unter dem Charakter verschoben werden. Wird allerdings ein `GameObject` getroffen, welches der Spieler verschieben kann, wird dessen `Rigidbody` abgespeichert. Zusätzlich wird aus der Bewegungsrichtung des Spielers zum Zeitpunkt der Kollision ein Vektor berechnet. Dabei wird die Bewegung auf der Y-Achse ignoriert, um zu vermeiden, dass Objekte nach oben in die Luft gestoßen werden. Der so errechnete Vektor wird nun mit der vorgegebenen Schubkraft multipliziert und als Beschleunigung auf das zu schiebende Objekt übertragen und ermöglicht es dieses Objekt an den gewünschten Ort in der Kammer zu bewegen.

Nach der Umsetzung des `Push` - Skripts wurde als nächste die Funktionalität der Druckplatten implementiert. Zu Beginn sollte hierfür ein eigenständiges Skript angelegt werden. Im Laufe der Arbeit konnte jedoch festgestellt werden, dass die Druckplatten und die Knöpfe, je nachdem welche Funktion sie erfüllten, viele einheitliche Inputs von anderen `GameObjects` benötigten. Es wurde also nach kurzer Entwicklungszeit, dass eigenständige `PressurePlate` - Skript entfernt und die enthaltenen Anweisungen in das `ButtonPress` Skript übernommen. Das Skript wurde so eingerichtet, dass im Inspector eingestellt werden kann, ob es sich um einen `Button` oder eine `PressurePlate` handelt und welche Funktion diese erfüllen soll. Beim Start der Anwendung prüft das Skript also zunächst, welcher der beiden Optionen es zugewiesen wurde. Demnach lädt es die entsprechende Animation, die abgespielt werden soll, wenn das Objekt aktiviert wird. Ist der `Button` oder die `PressurePlate` für das Öffnen einer Tür zuständig, wird als nächstes das entsprechende `Lock` - Skript (engl. Schloss) der Tür geladen. Die Abhandlung des `Buttons` zum Start der Anwendung ist hiermit zunächst abgeschlossen. Im Fall der `PressurePlate` wird weiterhin noch unterschieden, ob es eine Druckplatte ist, die einmalig eingedrückt wird, oder permanent gehalten werden muss. Ist letzteres der Fall, wird zusätzlich die Animation für das Schließen der Tür geladen, da diese abgespielt werden muss, wenn sich die Druckplatte wieder nach oben bewegt.

Im Fall der PressurePlate wird mit Hilfe von `OnTriggerEnter()` geprüft, ob sich ein Objekt in den Collider oberhalb der Druckplatte bewegt. Wenn ein Objekt registriert wird, spielt das Skript die Animation für die gedrückte Platte ab und unterscheidet anschließend Fall-sensitiv, welche Funktion ausgelöst wird. Der Fall wird hierbei über eine Texteingabe im Inspector definiert. Je nachdem, ob sich die PressurePlate beim Freigeben wieder nach oben bewegen soll oder nicht, wird die entsprechende Funktion ausgeführt und ein Boolean mit der Bezeichnung `platePressed`, zur Identifikation des Statuses der Druckplatte auf `true` gesetzt. Soll die Druckplatte aktiviert bleiben, wenn der Spieler sie verlässt, wird der Boolean auf `false` belassen. Anhand der Anweisungen können hier drei Typen unterschieden werden: Druckplatten, die ein Lock öffnen, eine bestimmte zugewiesene Animation eines anderen Objektes abspielen oder als Ablenkung dienen und keine Funktion ausführen. Die genutzte switch-Anweisung lässt sich beliebig um weitere Fälle erweitern, sollte die Testkammer ausgebaut werden. Wenn der Collider, der die Platte nach unten drückt, diese wieder verlässt, wird `OnTriggerExit()` ausgelöst. Hier werden alle Anweisungen beschrieben, die ausgeführt werden sollen, wenn sich die Platte wieder nach oben bewegt. Daher wird zunächst geprüft, ob `platePressed` auf `true` oder `false` steht. Wenn die Druckplatte beim Verlassen wieder nach oben fahren soll, induziert durch `true`, dann wird die entsprechende Animation abgespielt. Anschließend wird mit einer weiteren switch - Anweisung wieder Fall sensitiv unterschieden, welche Anweisungen ausgeführt werden sollen. Je nach case werden zum Beispiel Animationen für das Schließen einer Tür oder eines Gitters abgespielt oder es passiert nichts.

Die Buttons werden auf eine ähnliche Art und Weise abgehandelt wie die PressurePlates. Hier ist allerdings eine weitere Interaktion vom Spieler und die Abfrage des hit aus dem Raycast - Skript notwendig. Zunächst wird also über die Ausgabe des Raycast überprüft, ob der Spieler einen Button ansieht und sich nah genug an diesem befindet, um ihn auszulösen. Anschließend kann der Spieler über die Taste "E" den Knopf betätigen und es wird zunächst die Animation für den gedrückten Knopf abgespielt. Hier ist wichtig, dass das Skript außerdem noch überprüft, ob der hit das gleiche Gameobject getroffen hat, auf dem auch das ButtonPress - Skript liegt. Wird diese Unterscheidung nicht vorgenommen, werden alle Buttons in der Szene gleichzeitig gedrückt. Nun wird, erneut über eine switch - Anweisung, geprüft, welche Funktion der Button auslöst. Auch hier können Knöpfe unterschieden werden, welche nur einmal betätigt werden müssen und Knöpfe, die mehrfach verwendet werden sollen. Realisiert wird dies dadurch, dass die nur einmal zu drückenden Knöpfe, nach

ihrer Aktivierung ihr eigenes ButtonPress - Skript inaktiv schalten. Anderweitig ist auch hier eine Einteilung in Typen möglich. Es existieren Buttons, die andere Gameobjects aktiv und inaktiv schalten, spezifische Animationen abspielen und Schlösser öffnen können. Natürlich gibt es auch Buttons, die zur Ablenkung dienen und keine Funktion ausführen. Die switch - Anweisung wurde auch hier gewählt, um ein modulares Erweitern des Skripts und der Funktionen zu erleichtern.

Das Lever Skript stellt eine später erarbeitete Variation des Button Skripts dar. Es funktioniert auf dieselbe Art und Weise und wurde nur aus Gründen der Übersichtlichkeit auf ein separates Skript ausgelagert. Im aktuellen Zustand der Testkammer - Anwendung ist das Lever - Skript nur mit zwei spezifischen Funktionen gefüllt. Sollte das Projekt in der Zukunft jedoch mit umfangreicheren Kammern erweitert werden, würde das Button - Skript sehr schnell überladen und unübersichtlich werden.

4.5. Verlassen der Kammern: Lock und Portal

Die Herausforderung in der Anwendung besteht darin, einen Raum mit puzzleartigen Sequenzen zu verlassen. Dabei wird jeweils ein Tor mit einem darin befindlichen Portal präsentiert, welches der Spieler zunächst über eine Mechanik öffnen muss, um die Kammer zu verlassen. Ist die Tür geöffnet, transportiert das Portal den Spieler in den nächsten Raum. Im Skript-Kontext bedeutet dies, dass es verschiedene Möglichkeiten geben muss, auf den Status des geschlossenen Tores zuzugreifen und diesen zu verändern. In der Regel bedeutet dies, dass der Spieler ein bestimmtes Objekt an eine bestimmte Stelle befördern muss. Wird der richtige Schlüssel (hier abstrakt zu verwenden) in die Nähe dieser Position getragen, wird er automatisch von Lock - Skript erkannt, korrekt ausgerichtet und das Tor geöffnet. Es ist also für die Funktionalität des Skriptes notwendig, dass dieses in der Lage ist, das Schlüsselobjekt aus der Hand des Spielers zu entfernen. Aus diesem Grund wird zum Start der Anwendung zunächst das PickUp - Skript vom Spieler Gameobject, sowie die Animationen für das Öffnen der Tür und die Ruheposition des Schlüssels geladen. Neben diesen Komponenten, die für jede Kammer benötigt werden, wird zusätzlich noch das Gameobject Crowbar sowie dessen Animation vom Skript eingeholt.

Über die öffentlichen Variablen kann jedem Lock - Skript individuell zugeteilt werden, welche Schlüssel es akzeptieren soll, welche Lampe beim Öffnen der Tür umgeschaltet werden soll und ob es durch einen Knopf oder eine Druckplatte geöffnet

wird. Das Skript besitzt unterschiedliche Boolean Variablen, welche je nach Art der Öffnung auf true gesetzt werden und somit eine Reihe unterschiedlicher Anweisungen ausgeführt werden. Zu Beginn wurde die Abhandlung direkt in `OnTriggerEnter()` implementiert, jedoch stellte sich aufgrund der eingebauten Knöpfe die Notwendigkeit dar, von außerhalb des Skriptes auf den Status der Tore zugreifen zu können. Aus diesem Grund wird, wenn ein eintretender Collider registriert wird, zunächst geprüft, ob dieser zu einem als Schlüssel angegebenen Gameobject gehört oder nicht und anschließend der entsprechende Boolean auf true gesetzt. Alternativ setzt einer der, in derselben Kammer wie das Lock platzierten, Knöpfe die Booleans um. Hier tritt außerdem noch ein weiterer Sonderfall auf. Die in den Kammern vorkommenden Podeste akzeptieren teilweise geometrische Primitive als Schlüssel. Da sich die Podeste physiologisch von den normalen Locks dahingehend unterscheiden, dass keine der Form des Schlüssel angepassten Löcher existieren, müssen diese auch falsche Schlüssel akzeptieren können. Das Skript ordnet also das Objekt als neues Child der Ruheposition zu, setzt mögliche Rotationen zurück und setzt außerdem die `isKinematic` Eigenschaft des Rigidbodys auf true, um zu verhindern, dass es vom Spieler aus Versehen vom Podest gestoßen wird. An dieser Stelle wird kein Boolean umgesetzt und das Tor bleibt verschlossen. Anschließend wird noch der `itemHeld` Boolean des `PickUp` Skriptes zurück gesetzt, um das Aufheben eines neuen Gegenstandes zu ermöglichen.

Ist einer der Booleans auf true gesetzt, findet als nächstes die Abhandlung der Toröffnung statt. Hier wird unterschieden zwischen dem Öffnungsvorgang durch die Crowbar oder einem regulären Schlüssel, wobei Buttons als reguläre Schlüssel definiert werden. Ist ein Button die Quelle des Signals, wird an dieser Stelle die Animation für das Öffnen der Tür ausgelöst, das Material der Lampe auf ein strahlendes Grün gesetzt und der Boolean anschließend wieder auf false gesetzt, damit die Animation nur einmalig abgespielt wird. Wird hingegen ein Schlüssel benutzt, passiert im Bezug auf das Tor das Gleiche, nur wird zusätzlich das Schlüssel-Objekt wie die falschen Primitive abgehandelt und im Schloss platziert. Im Spezialfall der Crowbar wird dieses Objekt zunächst ähnlich wie die Schlüssel an die Ruheposition des Lock bewegt und dieser als Child untergeordnet. Hierbei werden dieselben Eigenschaften der Crowbar verändert wie bei einem normalen Schlüssel-Objekt. Die Animation für das Öffnen des Tors wird allerdings mit Hilfe eines Timer verzögert gestartet und zusätzlich noch die eigene Animation der Crowbar abgespielt. Das Skript prüft als nächstes, ob die Animationen vollständig abgelaufen sind und setzt danach die

Eigenschaften der Crowbar wieder zurück, damit diese von der Gravitation erfasst werden und auf den Boden fallen kann.

Ist ein Tor erst einmal geöffnet, kann das sich darin befindliche Portal betreten werden. Die Teleportation des Spielers wird ab diesem Zeitpunkt über das Portal - Skript geregelt. Um die modulare Erweiterung der Kammern einfach zu halten, besitzt jede einzelne einen, am Beginn des Raumes platzierten, Spawnpoint. Dieser ist definiert als die Stelle, an der der Spieler erscheint, wenn er in diesen Raum hinein teleportiert wird. Jedes Portal - Skript hat eine öffentliche Variable, in der das Ziel eingetragen werden kann. Hier wird also jeweils der Spawnpoint der nachfolgenden Kammer abgelegt. Betritt der Spieler nun das Portal wird über `OnTriggerEnter()` das eintreffende Gameobject registriert und die Position dieses Objektes mit der Position des Ziels gleichgesetzt. Ursprünglich war geplant, die Rotation des Spielers noch der Ausgangsrichtung des Portals anzupassen. Dies konnte jedoch aus nicht identifizierbaren Gründen nicht umgesetzt werden. Es besteht die Vermutung, dass die Ausrichtung des Spielers nach der Mausposition die Rotationsangabe im Portal - Skript überschreibt, dies konnte jedoch nicht umgangen werden. Da die Kammern allerdings alle in einer geraden Linie aufgereiht sind, besteht in der aktuellen Form kein Bedarf daran, den Spieler neu auszurichten.

5. Evaluation

Im folgenden Kapitel sollen die Daten aus den Testreihen aufbereitet und analysiert werden. Wie in der Konzeption beschrieben, sollte überprüft werden, welche optischen Reize sich für die Markierung von entscheidenden Level-elementen eignen und wie sich diese auf instinktive Handlungen von erfahrenen Spielern auswirken. Dabei werden die erwarteten Ergebnisse mit den tatsächlichen verglichen und eventuelle Abweichungen und Unstimmigkeiten untersucht. Die Erkenntnisse werden, soweit möglich, mit bestehenden Studien verglichen. Es soll außerdem eine Aussage über Wirkungsweise und Effektivität spezifischer optischer Reize und deren Anwendbarkeit im Leveldesign getroffen werden. Hier wird gleichzeitig auch dargelegt, ob und wie stark die optischen Reize das instinktive Handeln der erfahrenen Spieler beeinflusst haben. Außerdem werden Anmerkungen der Probanden über zu schwierige oder unverständliche Elemente aufgeführt und eventuelle Fehler in der Anwendung vermerkt. Im Anhang befinden sich sämtliche während der Tests erstellten Dokumente mit anonymen numerischen Bezeichnungen für die Probanden, sowie die in der Auswertung entstandenen Vergleichstabellen und Grafiken.

Allgemein gilt zunächst zu sagen, dass die Tests zum größten Teil erfolgreich verliefen. Bei einer einzelnen Person musste der Durchlauf von Kammer 2 abgebrochen werden, weil das benötigte Schlüsselement sich außerhalb des spielbaren Bereiches bewegt hat. Der Test wurde hier mit der nächsten Kammer fortgesetzt. Grund dafür war, dass keine akkurate Beurteilung der Aufmerksamkeitsverteilung mehr möglich war, nachdem die Person die Elemente der Kammer bereits gesehen hatte. In drei Fällen wurde der Test aufgrund der überschrittenen 10 Minuten Marke beendet. Spezifisch passierte dies zweimal in Kammer 5 und einmal in Kammer 6. Ein Abbruch in Kammer 5 lässt sich auf die moderate Farbsehschwäche von Proband G3P2 zurückführen, da hier die Reihenfolge der Farben eine entscheidende Rolle spielte. Die zwei weiteren Abbrüche passierten bei Probanden der Gruppe 1 (keine bis wenig Erfahrung). Hier wurde im Fall Kammer 5 die Puzzlelogik nicht verstanden und im Fall Kammer 6 der Knopf am Portal nicht als solcher erkannt. Grund für das

Verständnisproblem in Kammer 5 war, nach Angaben der Testperson, vermutlich fehlendes Feedback für den Status der einzelnen Knöpfe. Für die Schwierigkeiten des Probanden in Kammer 6 konnte die ähnliche Form des Knopfes mit dem Stromkasten aus dem vorherigen Raum als Ursache identifiziert werden. In Kammer 5 sorgte ein fehlerhaft abgebildeter Schatten bei einzelnen Probanden für Verwirrung, der Test konnte allerdings nach einer kurzen Erklärung seitens des Betreuers fortgeführt werden.

Unter 3.1 wurde die Anforderung gestellt, dass alle Probanden unabhängig von ihrer Kategorisierung in der Lage sein sollten, die Kammern in relativ gleichen Zeitintervallen, im Vergleich zu den anderen Teilnehmern, lösen zu können. Das Ziel war hier, die optischen Hinweise so zu setzen, dass unerfahrene Probanden eine nahezu gleiche Spielerfahrung haben wie die Probanden, welche viele Puzzle Elemente instinktiv lösen können. Um eine quantifizierbare Aussage treffen zu können, wurde bei allen Probanden die benötigte Zeit für die einzelnen Kammern gemessen. Im Zuge der Auswertung wurden dann die Mittelwerte, sowie Varianz und Standardabweichung für die Kammern bestimmt (Siehe Anhang Abbildung A.1.1). In der Gegenüberstellung der Rohdaten (Siehe Anhang Abbildung A.1.5, A.1.6) zeigt sich bereits, dass bis auf wenige statistische Ausreißer, die benötigten Zeiten innerhalb von Gruppe 1 und 2 nicht stark voneinander unterscheiden. Gruppe 3 bietet ein ähnliches Bild, jedoch sind diese Probanden in der Regel um teilweise mehr als eine Minute schneller als die der anderen Gruppen. Die minimalen Unterschiede zwischen Gruppe 2 und Gruppe 1 lassen sich zum Großteil auf den Umgang mit der Steuerung zurückführen. Probanden der Gruppe 1 prüfen hier regelmäßiger die Position ihrer Hand. Weiterhin ist zu bemerken, dass die meisten Probanden aus dieser Gruppe die vorgesehenen Wege exakt verfolgt haben und zum Abstieg von höheren Ebenen meist die Treppen genutzt haben. Teilnehmer aus Gruppe 2 und 3 haben die Wegfindung optimiert. Dies bedeutet, dass zum Beispiel aufgrund fehlender Mechaniken wie Fallschaden oder gezielt gesetzten Barrieren, die Probanden von höheren Ebenen nach unten gesprungen sind, um Zeit zu sparen. Bezieht man nur die tatsächliche benötigte Zeit für das Lösen der Puzzleelemente in Betracht, kann man davon ausgehen, dass alle Probanden vergleichbare Zeiten zum Bewältigen der Herausforderung benötigt haben.

Im Verlauf der Befragungen hat sich herausgestellt, dass von den eingesetzten optischen Reizen vor allem Farb- und Formunterschiede besonders schnell von den Probanden erfasst wurden. Formunterschiede bezieht sich hier vor allem auf die Auf-

fälligkeit einer Unterbrechung in erkannten regelmäßigen Mustern oder bei der Anordnung von gleichen Objekten. Beispiele aus den Testkammern sind hier die Wände mit gleichen Primitiven und einer Kugel in Kammer 3 oder die Fußabdrücke auf dem regelmäßigen Muster der Bodenplatten in Kammer 6. Diese werden nahezu unabhängig von Größe und Position im gesamten Sichtfeld erkannt. Einzelne Teilnehmer haben sogar, durch Fehler im Aufbau entstandene, Unterschiede in den Texturen der Baublöcke erkannt. Dieser Befund deckt sich mit den Merkmalen der präattentiven Wahrnehmung und Erkenntnissen aus anderen wissenschaftlichen Publikationen. Vor allem der starke Einfluss von Farbunterschieden und -kontrasten auf Wahrnehmung und Aufmerksamkeit konnte nachgewiesen werden [SF20],[MSEN06].

Die im Spiel platzierten Lichtquellen zur Markierung von Orientierungspunkten (in Kammer 2 und Kammer 5) hingegen wurden von fast allen Probanden nicht bemerkt. Spezifisch haben nur zwei von neun Probanden die Lichtquelle in Kammer 2 und nur ein Proband die Lichtquelle in Kammer 5 bemerkt. Auch hier decken sich die Erkenntnisse mit denen anderer Publikationen. Bei der Frage nach dem Einfluss der Lichtquellen auf die Entscheidungsfindung kam von vielen Testpersonen die Nachfrage, welche Lichtquelle gemeint sei [SF20]. Nach der Wahrnehmungstheorie gehören Helligkeits-Unterschiede und vor allem Hell-Dunkel Kontraste allerdings zu den präattentiv wahrgenommenen Merkmalen. Ein möglicher Grund könnte sein, dass Lichtquellen und deren Einfluss auf die Umgebung schwer realistisch umzusetzen sind. Um den Effekt von Helligkeiten in der realen Welt zu replizieren, müssen physikalisch korrekte Reflexionen, Schatten und Farbänderungen simuliert werden. In der hier beschriebenen Version der Testkammer wurden nur minimale Anpassungen an der Beleuchtung der Welt und der Szenen vorgenommen und damit ein potentiell benötigtes Detail übergangen. Weiterhin lässt sich feststellen, dass der Effekt dieses Merkmals stark von der allgemeinen Helligkeit der Umgebung abhängig ist. Lichtquellen wirken hauptsächlich als Attraktor, wenn die ansonsten zur Verfügung stehende Helligkeit der Szene nicht ausreicht, um alle Objekte zu erkennen.

Zusammenfassend ist zu bemerken, dass alle präattentiv wahrgenommenen Merkmale als optische Hinweise oder Markierungen eingesetzt werden können. Hier ist jedoch zu beachten, dass viele zusätzliche Umgebungsfaktoren ebenfalls die Wahrnehmung beeinflussen. Somit ist je nach Wahl des Merkmals ein unterschiedlich starker Detailgrad notwendig, um den gewünschten Effekt zu erzielen. Für die gezielte Anwendung im Leveldesign als Attraktoren ist es also notwendig, die gegebenen Umstände zu analysieren und dementsprechend das Merkmal auszuwählen. Die einfachste Vari-

ante stellt hierbei klar das Einbinden von Farbwechseln und Unterbrechungen in optischen Mustern dar. Zusätzlich soll hier noch bemerkt werden, dass je komplexer der Detailgrad, der dem Spieler präsentierten Szene ist, desto schwieriger ist es, Elemente einzuarbeiten, die sich tatsächlich nur in einem einzigen Merkmal unterscheiden (Voraussetzung für präattentive Wahrnehmung). Auch im Bezug auf den Detailgrad sind Farbunterschiede am einfachsten umzusetzen.

Bei der Abfrage, ob die Probanden (nach eigener Einschätzung) ein Puzzle instinktiv oder basierend auf den gegebenen optischen Hinweisen gelöst haben, ergaben sich zum Teil unerwartete Aussagen. Nur ein einzelner Proband aus Gruppe 3 hat angegeben, alle präsentierten Herausforderungen, basierend auf dem über Jahre in Videospiele gewonnenen Instinkt, gelöst zu worden. Hier ist zu bemerken, dass die Person eine Präferenz für Videospiele aus dem Genre Puzzle und Adventure besitzt. Die übrigen zwei Probanden, aus der Kategorie der erfahrenen Spieler, haben bei Kammer 3 die Lösung über die gestellten Hinweise hergeleitet. Weiterhin hat auch eine Person aus Gruppe 1 nach eigener Angabe sämtliche Puzzle instinktiv gelöst. Sowohl die erste als auch zweite Kammer wurden von allen Teilnehmern als instinktiv gelöst aufgelistet. Die Probanden der Gruppe 2 haben, bis auf die abgebrochene Kammer 2 bei G2P1, alle Kammern bis auf die letzte instinktiv lösen können. (siehe Anhang Abbildung A.1.3) Aus diesen Erkenntnissen lassen sich mehrere Aussagen, sowohl über Instinkt basiertes Spielen als auch über die Wissenschaftlichkeit der konzipierten Testumgebung, ableiten. Zum einen kann festgestellt werden, dass der Anteil der instinktiven Handlungen nicht in allen Fällen proportional mit der insgesamt gesammelten Videospieleerfahrung zusammenhängt. Stattdessen spielen hier Faktoren eine Rolle, die im Rahmen der Untersuchungen aufgrund des geplanten Umfangs nicht einbezogen wurden. Dies können Komponenten der Spielspsychologie und Humanpsychologie sowie schlicht und einfach gewonnene Erfahrungen und soziales Umfeld der Probanden sein. Zum anderen sind die Rahmenbedingungen für eine solch komplexe Thematik zu gering gesteckt. Für ein aussagekräftiges Ergebnis wäre es notwendig, eine deutliche größere Anzahl an Probanden zu testen. Zusätzlich müssten Tests, die das allgemeine Ausmaß der instinktbasieren Handlungen der Probanden einschätzen, den eigentlichen Versuchen in der Testumgebung vorgezogen werden.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem Beginn der Arbeit wurde die Hypothese aufgestellt, dass sich bestimmte, immer wieder auftretende, Elemente von erfolgreichen Videospiele auf bestimmte optische Reize und deren geschickte Platzierung in der Welt zurückführen lassen. Unter Videospiele-Enthusiasten gibt es viele Beispiele von Anwendungen des so genannten Gamersense auf ebendiese Elemente. Es wird behauptet, dass Personen mit viel Videospieleerfahrung diese Bausteine instinktiv erkennen und dementsprechende Handlungen ausführen. Da sich diese über alle bekannten Genres von Videospiele ausbreiten, muss es eine entsprechende Grundlage geben. Diese Arbeit hat sich also zum Ziel gesetzt, eine virtuelle Testumgebung zu erschaffen, in welcher gezielt versucht wird diese elementaren Bausteine zu ermitteln und zu klassifizieren. Weiterhin wurde die Behauptung aufgestellt, dass diese Elemente so geschickt in einem Spiel verbaut werden können, dass alle Konsumenten unabhängig von ihrer Erfahrung mit Videospiele die gestellten Herausforderungen bewältigen können.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurde zunächst ein grundlegendes Verständnis für die Aufnahme und Verarbeitung von visuellen Reizen durch den Menschen geschaffen. Außerdem wurden essentielle Methodiken des Level Designs von Videospiele erarbeitet, welche dabei helfen sollen die Testumgebung entsprechend eines tatsächlichen Videospiele zu konzipieren.

Die Testumgebung stellte sich im Laufe der Analyse als nicht ausreichend heraus um die gewählte Problematik akkurat zu beschreiben. Sollten zukünftige Iterationen des Projektes geplant werden müssen zusätzlichen Recherchen angestellt werden.

Literaturverzeichnis

- [Ale13] Kerstin Alexander: *Kompendium der visuellen Informationen und Kommunikation*, Springer Vieweg, 2 Aufl., 2013, ISBN 9783642354496.
- [Baa87] Hugo A. Baar: *Schmerzbehandlung in Praxis und Klinik*, Springer, Berlin, Heidelberg, 1 Aufl., Jan. 1987, ISBN 9783540165637.
- [JF06] Peter A. Frensch Joachim Funke: *Handbuch der allgemeinen Psychologie - Kognition*, Bd. 5, Hogrefe Verlag, 2006.
- [MSEN06] Su Yan Magy Seif El-Nasr: *Visual Attention in 3D Video Games*, in *Proceedings of the 2006 symposium on Eye tracking research applications*, S. 22–es, Jun 2006.
- [MSEN09] David Milam Magy Seif El-Nasr: *Design Patterns to Guide Player Movement in 3D Games*, in *Proceedings of 2009 SIGGRAPH*, Aug 2009.
- [NAC09] Jane B. Reece Neil A. Campbell: *Biologie*, Pearson, The address, 8 Aufl., Juni 2009, ISBN 9783827372871.
- [NW12] Claus Chr. Liebman Norbert Welsch: *Farben, Natur, Technik und Kunst*, Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, 3 Aufl., Juni 2012, ISBN 9783827428462.
- [PB17] Dominik Sinner Peter Bühler, Patrick Schlaich: *Visuelle Kommunikation*, Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2017.
- [PT06] Hans-Otto Karnath Peter Thier: *Neuropsychologie*, Springer Berlin, 2 Aufl., 2006, ISBN 9783540284482.
- [Rog14] Scott Rogers: *Level Up! The Guide to Great Video Game Design*, Wiley, 2 Aufl., Mai 2014, ISBN 9781118877166.
- [SF14] Frank Müller Stefan Frinks: *Biologie der Sinne*, Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, 1 Aufl., 2014, ISBN 9783827422736.

- [SF20] Robert Manthey Christian Roschke Rico Thomanek Marc Ritter Stefanie Fröh, Manuel Heizing: *Investigating the Influence of Optical Stimuli on Human Decision Making in Dynamic VR-Environments*, in *Virtual, Augmented and Mixed Reality*, S. 453–467, Springer International Publishing, Jul 2020.
- [Tot16] Christopher W. Totten: *Level Design: Processes and Experiences*, Routledge, 1 Aufl., 2016, ISBN 9781498745055.
- [UA17] Helmut Leder Ulrich Ansorge: *Wahrnehmung und Aufmerksamkeit*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2017.

Anhang

A. Analysedokumente

A.1. Auswertung der aufgenommenen Daten

Auswertung benötigte Zeit für Kammerdurchlauf in Minuten (00:00:00)								
Kammer	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
Proband								
G1P1	03:00:00	04:20:00	04:39:00	03:15:00	03:46:00	01:39:00	01:00:00	03:04:00
G1P2	00:30:00	03:19:00	01:11:00	03:18:00	03:40:00	nicht gelöst	01:37:00	00:40:00
G1P3	02:46:00	03:39:00	10:00:00	03:41:00	nicht gelöst	04:30:00	03:34:00	02:22:00
G2P1	00:55:00	Abbruch, Bug	03:21:00	06:57:00	02:44:00	02:16:00	00:55:00	01:27:00
G2P2	00:35:00	01:12:00	02:58:00	02:10:00	03:14:00	00:56:00	00:45:00	01:22:00
G2P3	00:41:00	01:08:00	03:30:00	02:56:00	03:33:00	01:30:00	01:17:00	01:47:00
G3P1	00:18:00	00:43:00	04:00:00	00:30:00	01:37:00	01:12:00	00:16:00	01:13:00
G3P2	00:22:00	01:19:00	03:14:00	00:34:00	03:00:00	01:08:00	00:45:00	01:40:00
G3P3	00:24:00	00:46:00	03:28:00	02:04:00	01:36:00	00:33:00	00:25:00	00:47:00
Schnitt	01:03:27	01:49:33	04:02:20	02:49:27	02:34:27	01:31:33	01:10:27	01:35:47
Varianz	00:02:46	00:05:19	00:14:40	00:09:17	00:01:52	00:03:49	00:02:26	00:01:25
Standardabweichung	00:59:35	01:21:54	02:17:03	01:48:58	00:48:36	01:09:20	00:55:48	00:42:37
Darstellung in mm:ss.msms								
schnellste Zeit								

A2 Abbildung A.1.1.: Auswertung benötigte Zeit für Kammerdurchlauf in Minuten

Einschätzung des Schwierigkeitsgrades der Kammern									
Kammer	Kammer 1	Kammer 2	Kammer 3	Kammer 4	Kammer 5	Kammer 6	Kammer 7	Kammer 8	
Proband									
G1P1	1	3	2	2	4	4	1	3	
G1P2	3	4	3	6	5	10	4	3	
G1P3	1	2	5	3	10	3	3	3	
G2P1	1	Abbruch, Bug	4	5	2	4	3	4	
G2P2	1	3	4	3	4	2	2	5	
G2P3	1	3	5	4	4	3	2	4	
G3P1	1	2	6	3	2	2	1	4	
G3P2	1	3	4	1	10	2	2	4	
G3P3	1	1	3	2	3	1	1	2	
					G3P2 Deuteranomalie				
Schnitt	1,222222222	2,625	4	3,222222222	4,888888889	3,444444444	2,111111111	3,555555556	

Abbildung A.1.2.: Auswertung Einschätzung des Schwierigkeitsgrades der Kammern

Auswertung instinktbasierter Handeln		1		2		3		4		5		6		7		8	
		instinktbasier gelöst	Hinweisbasis														
Kammer																	
Proband																	
G1P1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
G1P2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
G1P3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
G2P1	x	Abbruch	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
G2P2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
G2P3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
G3P1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
G3P2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
G3P3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

A.1. AUSWERTUNG DER AUFGENOMMENEN DATEN

Auswertung spezifische Fragen				
Kammer / Frage	Anzahl Ja	Anzahl Nein	Bemerkungen / spezifische Angaben	Mehr als die Hälfte positiv
Kammer 1				
Farbe Schlüssel = Farbe Schloss ?	8	1	1 Person Mittlerer	x
Kammer 2				
umgefallene Säule?	9	0	1 Person nicht als umgekippte Säule erkannt (Pro) 1 Person dachte gehört zur Ästhetik (Mitte)	x
kein Schloss passend zum ersten sichtbaren Key?	5	4	1 Person fiel es auf, dachte probiert trotzdem (Anfänger)	x
Lampe auf der Seite der Kammer mit dem Richtigen Schlüssel leuchtet?	2	7	1 Person (Mitte)	
Farbe Schlüssel = Farbe Schloss?	8	0	1 Person erlebte Gamebreaking Bug, Abbruch vor Entdeckung des roten Schlosses	x
Kammer 3				
Anzahl Podeste = Anzahl Primitive?	8	1	1 Person (Mitte)	x
Kugel im linken Wandkonstrukt?	7	2	1 Person (Mitte)	x
Kugel im rechten Wandkonstrukt?	4	5	Alle Bereiche, mehr Anfänger	
Kugel auf der Säule hat ähnliche Farbgebung wie bewegliche Primitive?	5	4	Alle Bereiche	x
Kammer 4				
Lampe in einem Portal leuchtet nicht?	9	0		x
Portalür ist schief / geöffnet?	2	7	1 Person (Pro) 1 Person (Anfänger)	
keine Schlüssel oder Primitive mit Farbe wie Portale ?	8	1	1 Person (Pro) - Farbenblindheit	x
Brechstange direkt zu Beginn?	4	5	Erkannt: 2 Personen (Pro) 1 Person (Mitte) 1 Person (Anfänger)	
Farbe des kaputten Portals?	9	0		x
Kammer 5				
Farbe der Stangen = Farbe Knöpfe?	9	0		x
Stangen werden von links beleuchtet? -> Reihenfolge	1	8	1 Person (Pro)	
aktivierte Knöpfe ändern Farbe?	9	0	Farbwechsel fallen sehr stark auf	x
Strom für Portal fehlt?	3	6	1 Person (Mitte) hat den Knopf vorher gedrückt	
Kammer 6				
Strom aus (Lampe)?	5	4	Nicht erkannt: 1 Person (Pro) 2 Personen (Mitte) 1 Person (Anfänger)	x
Kabelführung?	9	0		x
Fußabdruck Treppe?	6	3	2 Personen (Pro) Treppe eher gesehen 1 Person (Mitte)	x
Druckplatten gehen rein?	6	3	2 Personen (Anfänger)	x
Fußabdruck Druckplatte?	9	0		x
Kammer 7				
Kratzer?	8	1	1 Person (Pro) geschoben, bevor gesehen	x
Kammer 8				
Eingerückte Wand?	7	2	2 Personen (Mitte)	x
Textur eingerückte Wand?	6	3	nicht erkannt: 3 Personen (Mitte)	x
Kratzer ?	6	3	2 Personen (Pro) 1 Person (Anfänger)	x
Gesamt (Hinweise, mit über 50% Erkennung)				21/27

Abbildung A.1.4.: Auswertung spezifische Fragen

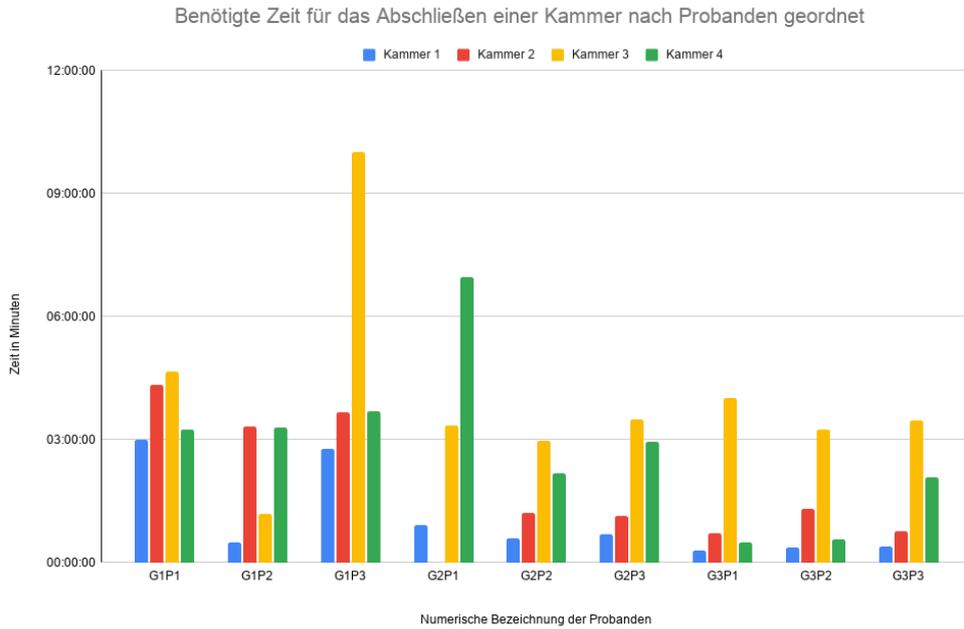


Abbildung A.1.5.: Diagramm Durchlaufzeit K1-K2-K3-K4

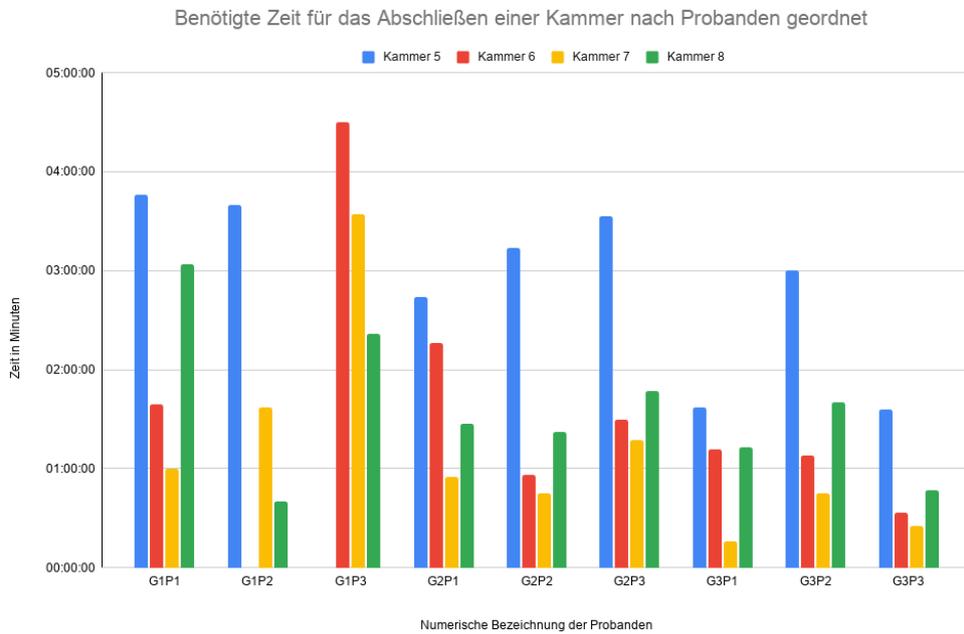


Abbildung A.1.6.: Diagramm Durchlaufzeit K5-K6-K7-K8

B. Konzeptionsdokumente

B.1. Kammergrundrisse

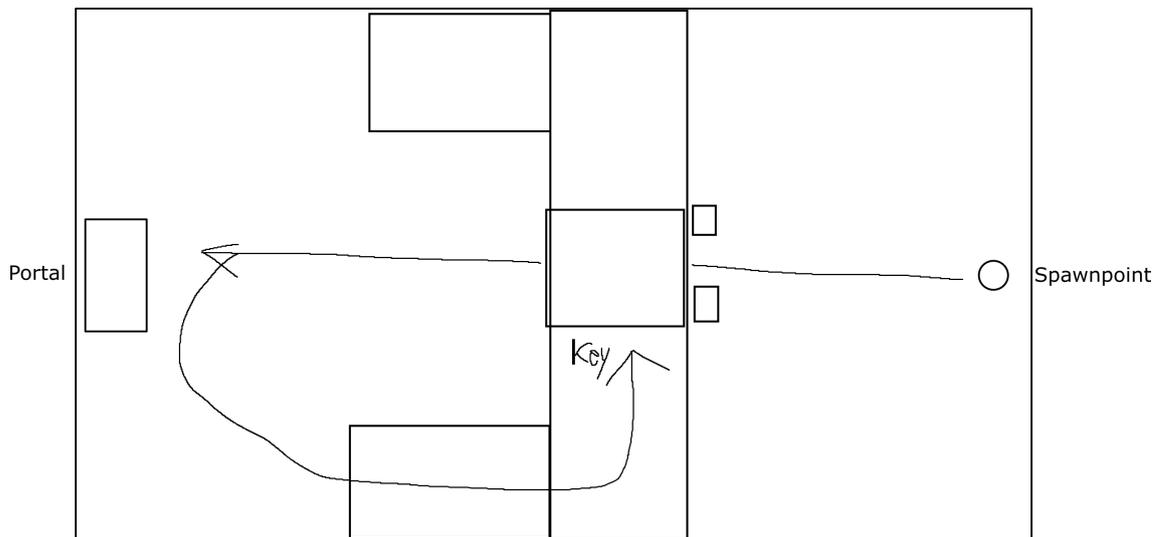


Abbildung B.1.1.: Konzept Kammer 1

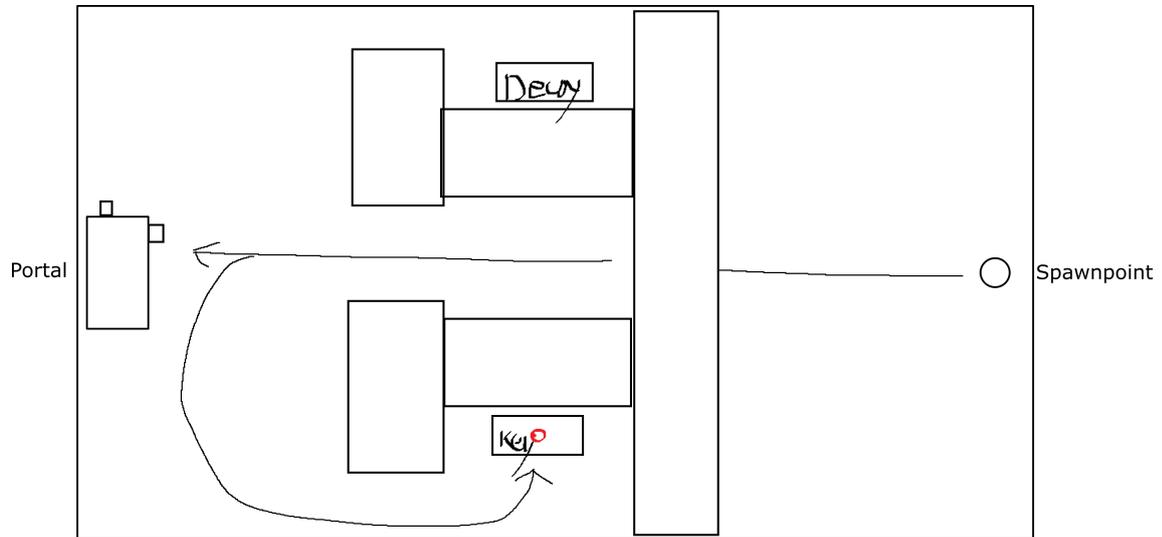


Abbildung B.1.2.: Konzept Kammer 2

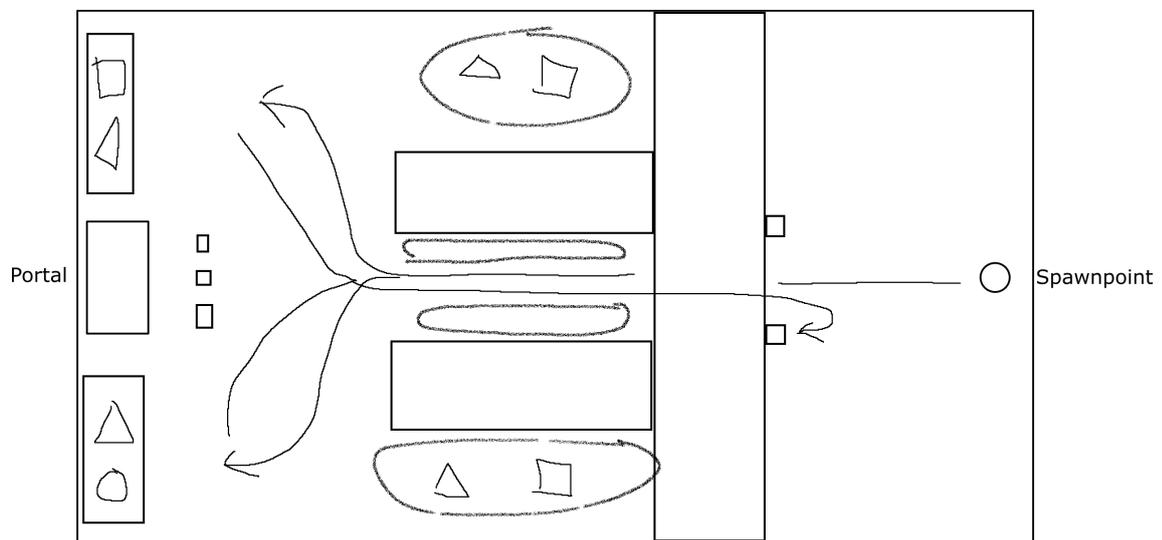


Abbildung B.1.3.: Konzept Kammer 3

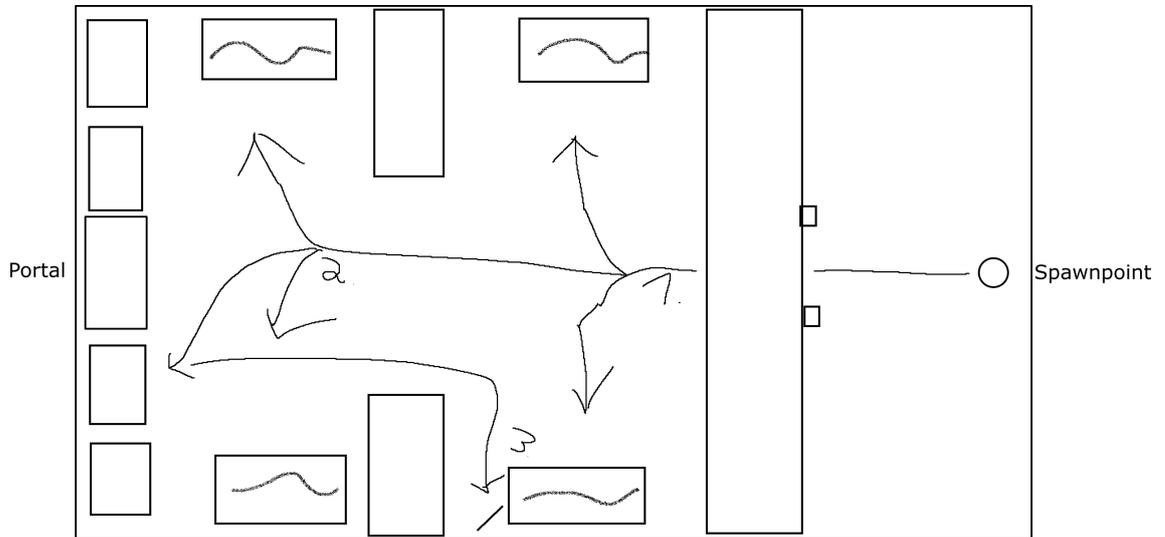


Abbildung B.1.4.: Konzept Kammer 4

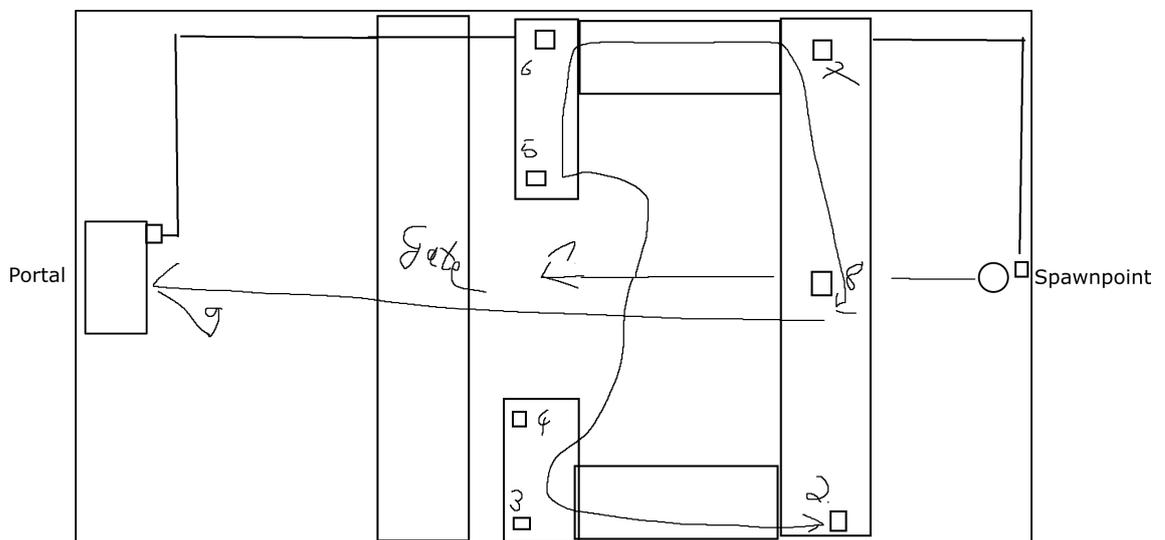


Abbildung B.1.5.: Konzept Kammer 5

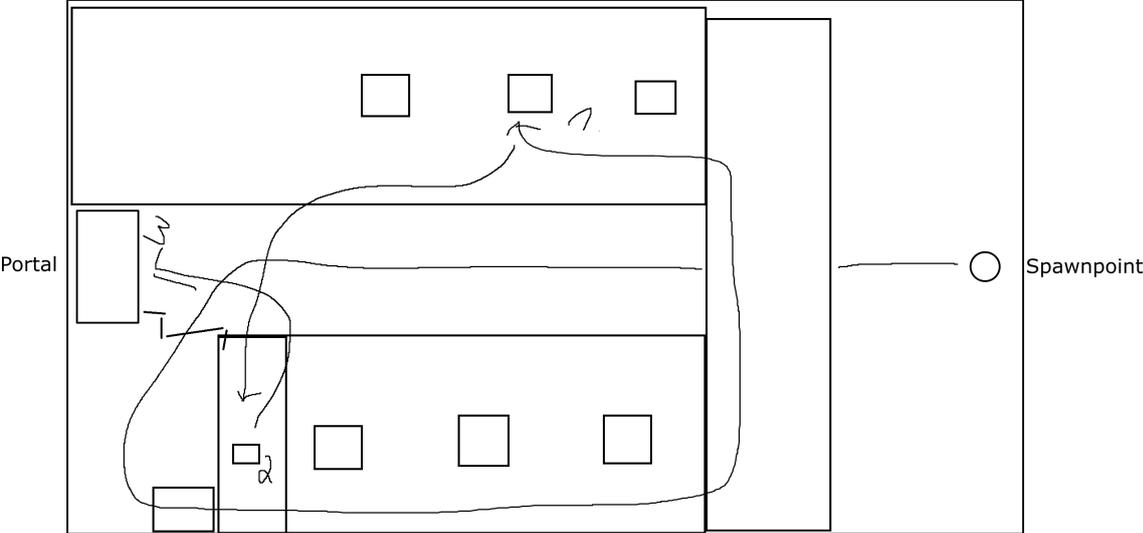


Abbildung B.1.6.: Konzept Kammer 6

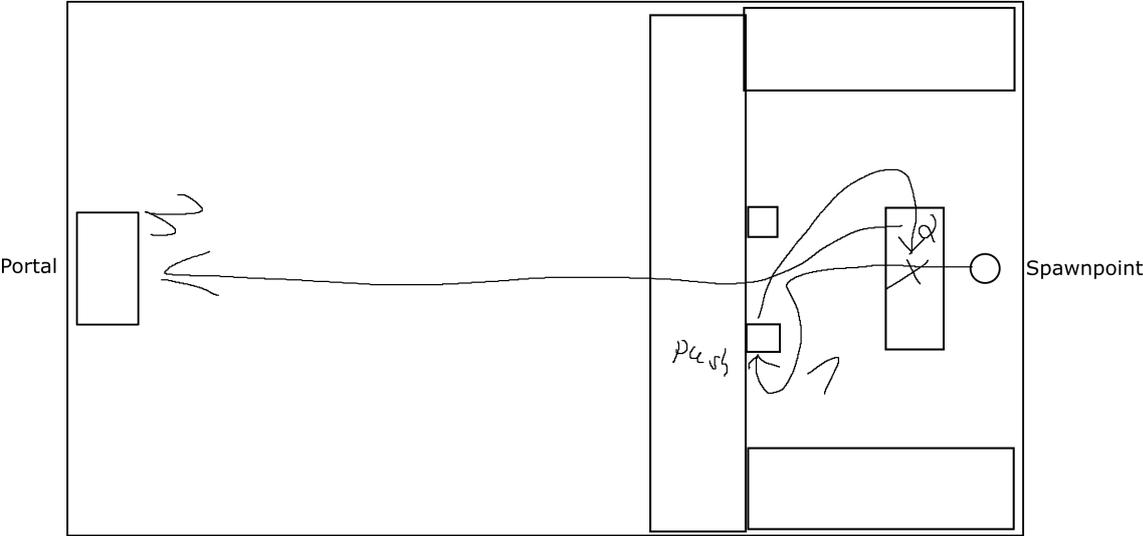


Abbildung B.1.7.: Konzept Kammer 7

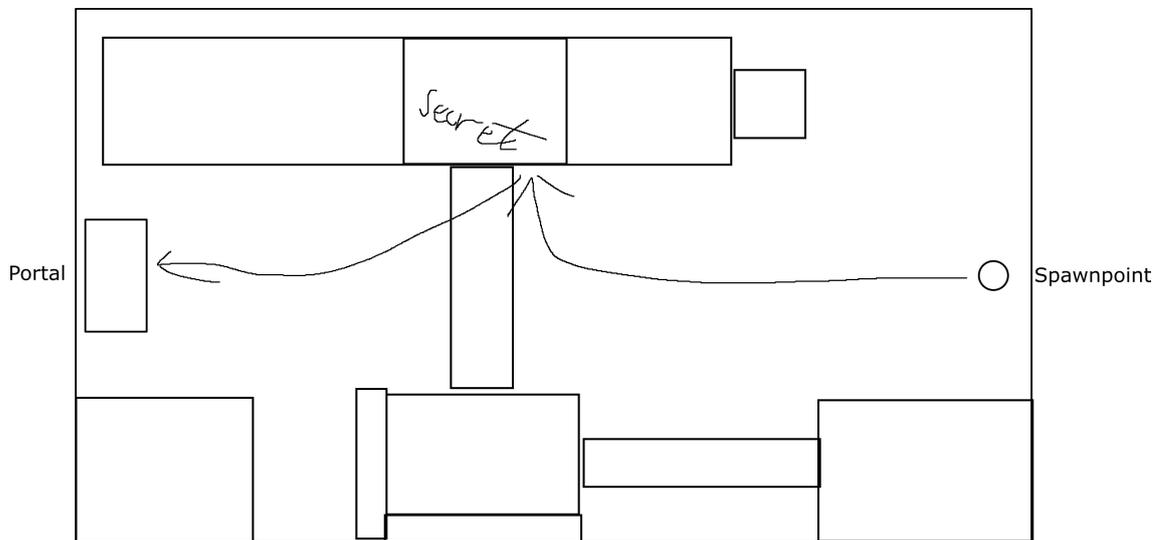


Abbildung B.1.8.: Konzept Kammer 8

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, daß ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt, nicht anderweitig zu Prüfungszwecken vorgelegt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Sämtliche wissentlich verwendete Textausschnitte, Zitate oder Inhalte anderer Verfasser wurden ausdrücklich als solche gekennzeichnet.

Mittweida, den 26. November 2020

Felix Aderhold