



**HOCHSCHULE
MITTWEIDA**

University of Applied Sciences

Fakultät Angewandte Computer- und Biowissenschaften

Professur Medieninformatik

Bachelorarbeit

Einarbeitung visueller Störfaktoren in ein bestehendes 2D-Spiel
zur Evaluation deren Einflusses auf die Spielerfahrung

Simon Lauckner

Mittweida, den 16. Dezember 2022

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christian Roschke

Zweitprüfer: M. Sc. Manuel Heinzig

Lauckner, Simon

Einarbeitung visueller Störfaktoren in ein bestehendes 2D-Spiel zur Evaluation deren
Einflusses auf die Spielerfahrung

Bachelorarbeit, Fakultät Angewandte Computer- und Biowissenschaften
Hochschule Mittweida — University of Applied Sciences, Dezember 2022

Name: Lauckner, Simon

Studiengang: Medieninformatik und Interaktives Entertainment

Seminargruppe: MI18w1-B

English Title: Incorporation of visual disruptive factors into an existing 2D game for evaluation of their influence on the gaming experience

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung und Motivation	1
1.1	Aufgabenbeschreibung	1
1.2	Zielstellung und Aufbau der Arbeit	1
1.3	Erläuterung der Ausgangslage	2
2	Grundlagen	5
2.1	Definition digitaler Spiele	5
2.2	Biologische Grundlagen der visuellen Wahrnehmung	10
2.2.1	Licht und dessen Eigenschaften	10
2.2.2	Aufbau und Funktionsweise des Auges	11
2.3	Grundlegende Sachkenntnisse zur visuellen Wahrnehmung	14
2.3.1	Kognition	14
2.3.2	Wahrnehmung	16
2.3.3	Aufmerksamkeit	20
2.3.4	Visuelle Aufmerksamkeit	24
3	Visuelle Störfaktoren	31
3.1	Grundlagen zu visuellen Störfaktoren	31
3.1.1	Definition visueller Störfaktoren	31
3.1.2	Lenken und Beeinflussen der Aufmerksamkeit im Rahmen des Experiments	32
3.2	Sammlung und Auswahl möglicher Störfaktoren	34
3.2.1	Begründung der Wahl der Störfaktoren	34
3.2.2	Aufschlüsselung der gewählten Störfaktoren	36
4	Implementierung	43

4.1	Herleitung der Konzeption des Experiments	43
4.2	Bestandsaufnahme und Anforderungen an das Spiel	46
4.2.1	Ursprungsfassung des Spiels	46
4.2.2	Anforderungen an das Spiel	48
4.3	Implementierung allgemeiner Änderungen im Spiel	49
4.3.1	Modifizierte Elemente	50
4.3.2	Neu hinzugefügte Elemente	51
4.4	Implementierung der erarbeiteten visuellen Störfaktoren	52
5	Evaluation	57
5.1	Einschränkungen der Befragung	57
5.2	Wahl von Befragungsart und Befragungsmethodik	59
5.3	Zu berücksichtigende Faktoren beim Spielen des Spiels	61
5.4	Ergebnisse des Experiments	62
5.4.1	Methodik der Auswertung	63
5.4.2	Ergebnisse der Umfrage	64
5.4.3	Ergebnisse der Spielerleistungs-Erfassung	66
5.4.4	Gegenüberstellung von Spielerfahrung und Spielerleistung	67
5.5	Auswertung der Daten sowie Schlussfolgerungen	68
6	Zusammenfassung und Ausblick	73
	Literaturverzeichnis	I
A	Grafiken zur biologischen Funktionsweise des menschlichen Seh- nes	A1
A.1	Aufbau des Auges	A1
A.2	Aufbau des Sichtfeldes	A2
B	Grafiken zur Konzeption des Spiels	A3
B.1	Einteilung des 2D-Spiels in Ebenen	A3
B.2	Überlegungen bezüglich für die Aufmerksamkeitsbeeinflussung geeig-	
	neten Eigenschaften	A6
B.3	Überlegungen zur Frequenzwahl des Flackerns	A8

C Grafiken zur Implementierung	A9
C.1 UML-Klassendiagramme der Level	A9
C.2 Flussdiagramme wichtiger Quellcode-Auszüge	A14
C.3 Screenshots der Level	A17
D Grafiken zur Auswertung der gesammelten Daten	A21
D.1 Grafiken zur Ergebnisvisualisierung der Umfrage	A21
D.2 Grafiken zur Ergebnisvisualisierung der Spielerleistungen	A31
D.3 Grafiken zur Gesamtauswertung der Daten	A33

1. Einführung und Motivation

Innerhalb dieses Kapitels soll der Rahmen der Arbeit abgesteckt werden, indem eine Aufgabenbeschreibung formuliert und Zielstellung sowie Aufgliederung der Arbeit erläutert werden. Schließlich soll die Ausgangslage, insbesondere im Hinblick auf das zum Durchführen des Experimentes genutzte 2D-Spiel *SkyInvaders*, dargestellt werden.

1.1. Aufgabenbeschreibung

Im Rahmen dieser Arbeit soll es darum gehen, verschiedene visuelle Störfaktoren innerhalb von Computerspielen dahingehend zu untersuchen, inwiefern sie die Spielerfahrung von Spielenden beeinflussen. Hierzu soll zunächst Grundlagenrecherche betrieben und die Klärung wichtiger Begrifflichkeiten vorgenommen werden. Mithilfe der gewonnenen Kenntnisse sollen visuelle Störfaktoren definiert und durch das Modifizieren eines bestehenden 2D-Spiels praktisch umgesetzt werden. Besagtes 2D-Spiel soll Testpersonen zum Spielen zur Verfügung gestellt werden, wobei das Spiel selbst Daten über die Spielweise sammelt und die Spieler nach dem Testende über einen Fragebogen Rückmeldung zu ihren Spielerfahrungen geben können. All diese Informationen sollen schließlich evaluiert werden, um den Einfluss verschiedener visueller Störfaktoren auf die Spielerfahrung genauer zu beschreiben.

1.2. Zielstellung und Aufbau der Arbeit

Die zentrale Zielstellung der Arbeit lautete, mittels eines modifizierten 2D-Computerspiels die Einflüsse verschiedener visueller Störfaktoren auf die Spielerfahrung der Spieler zu erheben und diese einzuordnen.

Im Folgenden soll der Aufbau der vorliegenden Arbeit erläutert werden. Nach einer kurzen Einführung sowie dem Herausarbeiten der Zielstellung in Kapitel 1 soll es in Kapitel 2 darum gehen, das nötige Grundlagenwissen zum Thema zu sammeln und einzuordnen. Mithilfe der dort zusammengetragenen Informationen sollen im darauffolgenden Kapitel 3 die entsprechenden visuellen Ablenkungsfaktoren in Bezug auf Bildschirminhalte definiert, spezifiziert und genauer beschrieben werden. Besagte Störfaktoren gilt es schließlich im genutzten 2D-Spiel zu implementieren. Dieser Vorgang wird in Kapitel 4 näher beschrieben: Nicht nur werden die Anforderungen und bereits vorhandenen Features des Spiels **SkyInvaders** aufgelistet, es wird die gesamte Modifizierung des Spiels in Bezug auf allgemeine Änderungen am Spiel und die neu implementierten, visuellen Störfaktoren dokumentiert. Das so variierte Spiel wurde nach der Fertigstellung der Modifikationen unterschiedlichen Versuchspersonen dargeboten, die es spielen und danach einen Fragebogen zur Erhebung der Spielerfahrung ausfüllen sollten. Die mittels dieser Befragung erhobenen Antwortdaten wurden zusammen mit den beim Spielen durch das Spiel erhobenen Daten genutzt, um in Kapitel 5 nach der erfolgten Auswertung der Informationen entsprechende Schlussfolgerungen im Bezug auf die zentrale Fragestellung der Arbeit zu treffen. Schließlich werden die gewonnenen Erkenntnisse in Kapitel 6 zusammengefasst präsentiert und ein möglicher Ausblick formuliert.

1.3. Erläuterung der Ausgangslage

Neben Unterlagen aus bereits absolvierten Modulen des Studiengangs “Medieninformatik und Interaktives Entertainment”, insbesondere Vorlesungsmaterialien aus dem Modul “Mensch-Maschine-Interaktion”, standen zahlreiche Onlineangebote verschiedener Verlage und Institutionen, wie etwa “Springer Link” [oSN22], “IEEE” [IEE] oder “ResearchGate” [Res], zur Verfügung. Die Nutzung dieser Dienste ermöglichte die Einsicht in eine Vielzahl von Quellen, welche die Wissensgrundlage für die vorliegende Arbeit bildeten. Die Quellen- und Wissensverwaltung wurde mithilfe von “Citavi” durchgeführt. Dieses Programm konnte durch einen Studentenzugang der Hochschule Mittweida genutzt werden.

Des Weiteren ist bei der Beschreibung der Ausgangslage für diese Arbeit auch das bereits vorliegende Spiel **SkyInvaders** aufzuzählen. Dieses wurde mit der auf Java

basierenden Entwicklungsumgebung **Processing** erstellt und diente in seiner ursprünglichen Form als praktischer Beleg im Modul “Game Programming”. Es handelt sich hierbei um ein kleines 2D-Spiel, das Elemente aus dem Spielklassiker “Space Invaders” und “TANKS” aufgreift. Der Spieler steuert einen kleinen Panzer und muss als dessen Kommandant möglichst viele der bunten Alien-Blobs abschießen, die versuchen, den Boden zu erreichen. Diese Blobs haben verschiedene Größen, unterschiedliche Farbintensitäten (je nach übrigen Trefferpunkten) und weichen den Geschossen des Panzers, die eine ballistische Flugbahn besitzen, dank einer Heatmap bis zu einem gewissen Grad aus. Trifft ein Blob den Boden, werden dessen Trefferpunkte von denen des Bodens abgezogen. Das Spiel endet, wenn die Trefferpunkte des Bodens den Wert Null erreichen. Auf Wunsch kann sich der Spieler eine Textdatei im Spielordner generieren lassen, die verschiedene Daten zur eben gespielten Runde beinhaltet, wie etwa die erreichte Punktzahl und einen daraus resultierenden Rang. Eine genauere Beschreibung der ursprünglichen Spielversion befindet sich im Abschnitt 4.2.1.

SkyInvaders als mithilfe von **Processing** erstelltes Spiel eignete sich aus mehreren Gründen als Basis für die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Versuche. Zunächst war das Spiel in seinen Grundzügen vorhanden und funktionstüchtig, was die nötige Implementationsarbeit verringerte. Aufgrund der vorherigen Arbeit an **SkyInvaders** war bereits eine gewisse Vertrautheit mit **Processing** und dem Spielcode des Spiels vorhanden; zudem basiert **Processing** auf der objektorientierten Programmiersprache “Java”, die durch ihre Anwendung innerhalb des Studiengangs “Medieninformatik und Interaktives Entertainment” ebenfalls bereits bekannt war. **Processing** selbst ist auf das Programmieren visueller Effekte und Kunst ausgelegt [WA05], was einer Nutzung bei Untersuchungen visueller Faktoren entgegenkam. Zudem war es möglich, die fertigen Level als unter Windows, Linux und Mac ausführbare Dateien zu kompilieren und die zum Ausführen benötigte “OpenJDK 17” direkt mitzuliefern, was das Spiel ohne großen Aufwand portabel machte.

2. Grundlagen

Im zweiten Kapitel der Arbeit sollen zunächst einige wichtige Begrifflichkeiten und Grundlagenkenntnisse gesammelt werden. Zuerst soll sich mit der Definition des Begriffs *Spiel* auseinandergesetzt werden, wobei spezieller auf dessen Subkategorien *Computerspiel* bzw. *Videospiel* eingegangen werden soll. Darauf folgen theoretische Betrachtungen bezüglich der biologischen Komponenten und Faktoren visueller Wahrnehmung beim Menschen. Schließlich werden weitere Sachkenntnisse und Grundlageninhalte bezüglich der visuellen Wahrnehmung zusammengetragen, welche essentiell für die Definition der im Spiel umzusetzenden visuellen Störfaktoren sein werden.

2.1. Definition digitaler Spiele

Der Begriff des *Spiels* bzw. des *Spielens* ist wohl jedem Menschen von Kindheit an vertraut. Dennoch lohnt es sich, das Spiel ein wenig genauer zu definieren, um Unklarheiten vorzubeugen. Die Begriffe *Computerspiel*, *digitales Spiel* und *Videospiel* werden im Text synonym verwendet, da die generellen Eigenschaften ebendieser behandelt werden.

Eine zentrale Komponente beim Spiel ist der Mensch: Dem Spiel wird nicht nur eine kulturstiftende Wirkung bescheinigt, es findet sich auch in den verschiedensten Lebensbereichen wie Kunst, Recht oder Philosophie wieder. [TW10, S. 38] Eine mögliche Herangehensweise an die Definition des Spielbegriffs bestünde darin, ihn mithilfe gebräuchlicher Gegenbegriffe durch dessen Negierung herzuleiten. Das Spiel wäre somit eine Begrifflichkeit, welche Dingen wie etwa *Zwang*, *Arbeit* oder *Ernst* entgegengesetzt ist. Bei der Nutzung dieses Vorgehens bliebe allerdings das Problem bestehen, dass diese Art der Definition im Einzelfall keine kategorisch geordnete Abgrenzung zwischen Tätigkeiten erzeugt, die nicht-spielerischer oder spielerischer

Natur sind. [Haa03, S. 416] Aufgrund dessen erscheint eine Definition anhand von mehreren Eigenschaften zweckdienlicher.

Im Folgenden soll der Begriff des *Spiels* dann als gegeben begriffen werden, wenn die folgenden Merkmale ausgemacht werden können [Haa03, S. 416]:

- *Freiwilligkeit der Tätigkeit* – das Spiel ist in keiner Weise durch äußere oder innere Zwänge bestimmt;
- *Zweckfreiheit* – das Spiel besitzt einen ihm eigenen Sinn und dient keinem außerhalb liegenden, festgelegten Zweck;
- *Lustbetontheit* – das Spiel ruft bei der Ausführung meist Zerstreuung, Freude und weitere positiv konnotierte Affekte hervor;
- *Ambivalenz und Risiko* – das Spiel kann durch den Spieler erfolgreich oder nicht erfolgreich gespielt werden, wobei daraus resultierende Konsequenzen geringer Natur sind;
- *Entrücktheit* – das Spiel lässt den Spieler im Spielgeschehen aufgehen, für ihn “verfliegt die Zeit”;
- *Virtualität und Fiktionalität* – das Spiel bewegt sich auf einer von der Realität losgelösten Ebene;
- *Unproduktivität* – das Spiel dient nicht dem Erschaffen von materiellen, realweltlichen Gütern, vielmehr ist es als ein Ereignis episodischer Natur zu verstehen, das losgelöst aus der zieldefinierten, “normalen” Lebensgestaltung existiert;
- *Spontaneität bzw. Kreativität* – das Spiel ermöglicht es dem Spieler, bei Handlungsabläufen, welche er selbstbestimmt vornehmen kann, einen hohen Grad an Freiheit vorzufinden und zu nutzen, was auch Handlungen ohne Sanktionen ermöglicht, die der Spieler sonst so nicht tätigen würde (im Sinne des “Ausprobierens”);
- *Beliebigkeit* – das Spiel besitzt Regeln, wenngleich diese willkürlich, da ohne einen Zwang von außen, definiert sind.

Diese Merkmale werden im Spiel kombiniert, wodurch sich zeitlose, “grundlegende Motivations-Anreizmuster für Spieler” [Haa03, S. 416] bilden.

Doch Spiele sind nicht auf das Analoge beschränkt: Das Spiel in seiner Ästhetik, seiner Bedeutung und seiner Geschichte ist eng mit Technik (worunter natürlich auch das Digitale der Computerwelt zählt) und deren Fortschreiten verbunden [TW10, S. 33]. Computerspiele als digitale Spiele verbinden das *Spiel* als menschliche Komponente und den *Computer* als *pars pro toto* für Technologie in den Bereichen der Kommunikation und Information, wodurch sie als ein “bedeutsames, massenhaftes Phänomen der radikalen Moderne” [TW10, S.35] eingeordnet werden können. Doch die Verbindung zwischen Spiel und Computertechnik geht sogar noch weiter: Mittlerweile wird eine Wechselwirkung zwischen der Fortentwicklung der Computertechnologie und der Fortentwicklung der Spiele angenommen, welche besagt, dass beide Prozesse einander vorantreiben. [TW10, S. 35] Seit ihrem ersten Auftauchen sind digitale Spiele immer weiter in die Mitte der gesellschaftlichen Aufmerksamkeit gerückt und immer bedeutender im Alltag vieler Menschen geworden. Sie dienen nicht nur mehr als Hobby oder Mittel der Entspannung, sondern erfahren auch Nutzung im beruflichen Umfeld, wie etwa als gefahrenfreie und umfassend anpassbare Testumgebung beim Einüben von Aufgaben und Arbeitsabläufen. Auch die ökonomische Bedeutung von digitalen Spielen hat erheblich an Volumen gewonnen, wovon etwa Online-Auktionen für Ingame-Gegenstände oder Milliardeneinnahmen aus Mikrotransaktionen und Spiele-Merchandise zeugen. [TW10, S. 36]

Kurz zusammengefasst lassen sich Computerspiele bzw. digitale Spiele als elektronische Spiele definieren, in deren Rahmen der Mensch mit einem User Interface interagiert, das ihm Rückmeldung in Form von akustischen, visuellen oder audiovisuellen Signalen gibt. Digitale Spiele besitzen, da sie eine Unterkategorie des allgemeinen Begriffs *Spiel* darstellen, ebenfalls dessen Merkmale und Eigenschaften. Sie werden im Normalfall gegen menschliche Mitspieler oder den Computer selbst gespielt. Das Gameplay des digitalen Spiels setzt sich hierbei zusammen aus einem Kontingent an Spielregeln und einer Gewinnbedingung. Es stellt den wichtigsten Kernpunkt eines jeden Spiels dar, weshalb die Qualität des Gameplays oft mit höherer Wichtigkeit bewertet wird als Dinge wie erzählte Geschichte oder grafische Darstellung. [MCWC13, S. 82] Dennoch ist die Spielgrafik ein nicht unwesentlicher Bestandteil der Spielerfahrung – höhere Auflösung, bessere Darstellung von Licht und immer natürlicher wirkende Animationen etwa lassen Spiele interessanter und räumlich erfahrbarer werden [LM03, S. 487].

Digitale Spiele sind im Bezug auf das, was der Spieler auf dem Bildschirm sieht, meist aus drei zentralen Ebenen aufgebaut [DCL22, S. 4]:

1. Einem **Hintergrund**, der meist für den Spieler unerreichbar ist und mit dem oft nicht direkt interagiert werden kann (beispielsweise Landschaften oder Wände);
2. dem **Spielebene**, auf welcher der Spieler handelt und auf der sich die Objekte befinden, mit denen der Spieler interagieren kann (beispielsweise die Spielfigur, Hindernisse oder Feinde);
3. dem **Vordergrund**, der über Spielebene und Hintergrund liegt und weitere, für den Spieler wichtige Kontextinformationen (wie etwa Lebensanzeigen oder einen Kontostand) beinhalten kann.

Zudem sei auf eine Besonderheit digitaler Spiele hingewiesen, welche die Eigenschaft der Existenz von Spielregeln betrifft: Digitale Spiele können die Einhaltung von Regeln aufgrund ihres statischen, auf Code und Algorithmen basierenden Aufbaus im Hintergrund sehr exakt prüfen, ein Aufweichen von Regeln (man denke etwa an die beim beliebten Kartenspiel “Uno” oft üblichen Hausregeln) ist nicht möglich. Diese Regelstarrheit wird teilweise als zentrales Entscheidungsmerkmal für digitale Spiele betrachtet. [TW10, S. 39] Auch der Faktor “Immersion” ist nicht unbedeutend, wenn es darum geht, digitale Spiele vom allgemeinen Spielbegriff abzugrenzen. Zwar ist Immersion auch dem analogen Spiel nicht fremd, die technischen Möglichkeiten und Gegebenheiten digitaler Spiele in den Bereichen Haptik, Optik und Akustik vermögen deren Immersionslevel allerdings auf höhere Ebenen zu bewegen. [TW10, S. 43]

Des Weiteren sind digitale Spiele von ihren analogen Pendanten hinsichtlich der Interaktionsgeschwindigkeit verschieden. Spiele sind im Allgemeinen interaktiv, was eine sich bis zum Spielende dauerhaft wiederholende Wechselwirkung zwischen Spiel und Spielendem bzw. Spielenden bezeichnet – reagiert der Spieler auf den aktuellen Status des Spiels, verändert sich dieser, was eine erneute Reaktion auf die veränderten Gegebenheiten erforderlich macht. Die von Konsolen, Computern und Smartphones zur Verfügung gestellte Rechenleistung ermöglicht eine im Vergleich zum analogen Spiel extrem schnelle, für den Spieler praktisch als zeitgleich wahrgenommene Veränderung der Zustände im Spiel als Reaktion auf Spielereingaben, was in der Folge auch eine höhere Dichte und Geschwindigkeit an Reaktionen seitens des Spielers

verlangt, wenn er das Spiel möglichst erfolgreich bestreiten möchte. So ergibt sich ein deutlich sichtbarer Zugewinn an Handlungsnotwendigkeit und Dynamik im Fall der digitalen Spiele. [TW10, S. 40]

Die *Spielerfahrung* soll, auch wenn es sich um ein auf subjektiven Empfindungen basierendes Konzept handelt, einen zentraler Gegenstand der vorliegenden Arbeit darstellen. Definiert werden soll sie im Rahmen der Ausführungen als die Gesamtheit der Eindrücke, Erkenntnisse und Empfindungen, die Spielende während des Spielens eines (digitalen) Spiels erfahren. Eine positiv geprägte Spielerfahrung ist eines der zentralen Ziele, das von Spieleentwicklern angestrebt wird: Eine spielende Person, der das Spiel gefällt (also eine positive Spielerfahrung durchlebt), wird das Spiel nicht nur ausgiebiger spielen, sondern aufgrund des Wohlempfindens weitere Spiele der Entwickler bzw. der Spielereihe erwerben, möglicherweise innerhalb des Spiels Geld ausgeben (für kosmetische Gegenstände beispielsweise) und auch andere Leute vom Spiel begeistern wollen. Eine negative Spielerfahrung hingegen hätte den genau gegenteiligen Effekt und ist daher unbedingt zu vermeiden.

Für die Spielerfahrung ist der Begriff *Flow* wichtig. Dieser stellt einen der zentralen Gründe dafür dar, dass Menschen Spiele spielen. Es handelt sich um einen als sehr positiv empfundenen Zustand, der sich dadurch auszeichnet, dass Menschen in einer Aktivität förmlich “aufgehen” bzw. von ihr “absorbiert” werden. Dafür, dass eine Flow-Erfahrung gemacht werden kann, müssen drei Bedingungen erfüllt sein: Das Vorhandensein klarer *Ziele*, die *Ausgewogenheit* von Herausforderung und den persönlich wahrgenommenen Fähigkeiten (bzw. deren Wahrnehmung) sowie direkt auf die Handlungen folgende *Rückmeldungen* (“Feedback”). [Bro11, S. 63] Auf die zweite Bedingung – den ausgeglichenen Zustand zwischen Herausforderung und eigenem Können – kann durch irrelevante Wahrnehmungen stark negativ eingewirkt werden. Ablenkende Faktoren, die in digitalen Spielen oft visuell transportiert werden, führen dazu, dass die Spielenden zu stark gefordert bzw. überfordert werden. Infolgedessen kippt die Balance zwischen Können und Herausforderung, die Qualität der Spielerfahrung leidet. Dies hat zur Folge, dass Spielende sich verwirrt oder frustriert fühlen, mit weniger Enthusiasmus spielen oder das Spiel beenden. Um nicht nur die Bindung von Spielern und Spielerinnen an das Spiel, sondern auch das freiwillige Spielen selbst zu ermöglichen, ist daher auf Entwicklerseite ein gut überlegtes Konzept für alles im Spiel Sichtbare unerlässlich – schließlich gilt es, visuelle Störfaktoren so gut wie möglich zu verhindern, um ein positives Spielerlebnis zu erreichen. Da der Sehsinn den wohl zentralsten Informationskanal digitaler Spiele darstellt, soll im Folgenden

auf dessen biologische Funktionsweise eingegangen werden, um die Grundlagen des Sehens beim Menschen durchdringen zu können.

2.2. Biologische Grundlagen der visuellen Wahrnehmung

Das zentrale Sinnesorgan des menschlichen Sehens ist das Auge. Auf dessen Aufbau und Funktionsweise soll in diesem Kapitel zusammenfassend eingegangen werden. Hierbei soll die neurologische Komponente, also das Weiterleiten der Sinnesreize an das Gehirn, allenfalls angerissen werden – im Zentrum der Ausführungen sollen die physiologischen Gegebenheiten der menschlichen Sicht stehen. Daraus resultierende Eigenschaften und Besonderheiten des menschlichen Sehens sollen zu einem späteren Zeitpunkt genauer in Abschnitt 2.3 dargestellt werden.

Das Sehen erfährt in der Psychologie Beschreibung als ein “Prozess, der von den Szenen der externen Welt ein Modell anfertigt, so dass das Individuum in der Lage ist, sich darin zurechtzufinden” [Erh08, S. 9], wobei Verknüpfungen im menschlichen Gehirn das Beschreiben dieses Modells übernehmen. Mithilfe solcher gebildeten Modelle kann das Visualsystem des Menschen die gigantische Informationsflut, die dauerhaft durch das Auge auf den Menschen einwirkt, in Sekundenbruchteilen aufnehmen und prozessieren. [Erh08, S. 9]

2.2.1. Licht und dessen Eigenschaften

Licht ist definiert als “eine Form elektromagnetischer Strahlung, die durch Schwingungen elektrisch geladener Teilchen zustande kommt” [HKMS11, S. 53]. Licht ist keineswegs eine konstante Strahlung, sondern besteht bereits bei dem Ausgehen von einer Lichtquelle aus Wellen mit verschiedenen Längen. Das Licht, welches letztlich für das menschliche Auge sichtbar ist, stellt nur einen Bruchteil der Lichtstrahlung dar und besitzt eine Wellenlänge von minimal 400 nm bzw. von maximal 700 nm. Je nach Wellenlänge des Lichts wird dieses vom menschlichen Auge als anders gefärbt wahrgenommen, wobei der Eindruck von Farbe – wie später noch eingehender behandelt werden soll – durch die Verarbeitung des ins Auge fallenden Lichts zustande kommt. [HKMS11, S. 54] Die Länge dieser mit den Augen verarbeiteten Wellen

(und somit auch die wahrgenommene Farbe) wird von zwei Faktoren beeinflusst: Der Zusammensetzung der Wellen in Bezug auf ihre initiale Wellenlänge beim Verlassen der Lichtquelle sowie den reflektierenden Oberflächen eigenen, physikalischen Absorptionseigenschaften. Je nachdem, welchen Teil der Lichtwellen eine Oberfläche aufnimmt, wird ein anderer Teil zurückgeworfen, was einer anderen Farbe entspricht, die mit dem Auge wahrgenommen werden kann. Eine generell hohe Lichtabsorption erzeugt die Wahrnehmung einer dunkleren Oberfläche, niedrigere Absorption lässt die Fläche heller erscheinen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass für die Farbwahrnehmung die Wellenlängen-Verteilung innerhalb des (wahrgenommenen) Lichtes grundlegend ist. Ein Farbeindruck entsteht allerdings erst dann, wenn das reflektierte Licht ins menschliche Auge fällt, dort auf die Netzhaut-Rezeptoren trifft, die für unterschiedliche Wellenlänge besonders empfindlich sind, und im Anschluss eine Verarbeitung der dadurch generierten Reizsignale erfolgt. [HKMS11, S.76-77] Auf das menschliche Auge und seine Besonderheiten soll nachfolgend eingegangen werden.

2.2.2. Aufbau und Funktionsweise des Auges

Die Bestandteile des menschlichen Auges und deren Aufgaben sollen nachfolgend erläutert werden. Eine entsprechende Abbildung, die der Veranschaulichung dienen soll, lässt sich im Anhang A.1.1 finden.

Die *Hornhaut*, auch *Kornea* genannt, ist ein transparenter Bestandteil des Auges. Wenn Licht die Hornhaut passiert, wird es zum ersten Mal gebündelt und so für die weitere Verarbeitung vorbereitet. Zudem dient sie dem Schutz des Auges, da dort befindliche Nervenenden bei Schmerz oder Berührung dafür sorgen, dass sich das Auge zum Schutz vor Verletzungen schließt. Anschließend erreicht das Licht die *Iris*, eine Muskelstruktur mit einem *Pupille* genannten Loch mit einem Durchmesser zwischen 2 mm und 8 mm darin. Diese ist dafür verantwortlich, durch Änderung der Pupillengröße die einfallende Lichtmenge zu regulieren und die Tiefenschärfe der Sicht anzupassen. Die *Linse* ist der nächste wichtige Teil des Auges, den das einfallende Licht passieren muss, nachdem es zusätzlich zu Hornhaut und Iris eine zwischen Linse und Kornea befindliche Versorgungsflüssigkeit durchquert hat. Gleichsam der Hornhaut auch ist die Linse transparent, kann aber durch die an ihr anliegenden Ziliarmuskeln in ihrer Form verändert werden. Dieser als *Akkommodation* bezeichnete Vorgang ist wichtig, um die zentralen Abbildungseigenschaften des menschlichen

Sehorgans an die aktuellen Seh- und Sichtbedingungen anpassen zu können. Der *Glaskörper* stellt den nächsten Teil des Auges dar, den das Licht nach der Linse passieren muss. Der Glaskörper nimmt circa 80 % des Augen-Gesamtvolumens ein und ist angefüllt mit einer durchsichtigen Flüssigkeit. Schließlich erreicht das Licht die Netzhaut. Alle Abbildungseigenschaften des Auges, die das Licht zuvor passiert, müssen unabhängig von der momentanen Wahrnehmungssituation dergestalt angepasst sein bzw. eingestellt werden, dass ein möglichst scharfes, aber zugleich gekrümmtes, zweidimensionales und auf dem Kopf stehendes Bild der gesehenen Situation auf die Netzhaut projiziert wird [HKMS11, S. 54-55]

Die Netzhaut, auch mit dem Fachbegriff *Retina* bezeichnet, ist ein zentraler Teil des Auges. Auf sie fällt das Licht, nachdem es Iris und Linse passiert hat. Die Retina ist mit *Photorezeptoren* genannten Zellen besetzt, welche auf Licht reagieren. Eine hohe Konzentration dieser Sehzellen befindet sich in der *Fovea centralis*, zu Deutsch auch *Sehgrube*. [BSS17, S. 13] Damit ist sie der Bereich der Retina, mit dem am schärfsten gesehen wird. Die Photorezeptoren lassen sich in zwei Arten unterteilen: In *Zapfen*, von denen etwa 7 Millionen auf der Netzhaut verteilt sind, und *Stäbchen*, deren Anzahl auf der Retina mit um die 120 Millionen deutlich größer ausfällt. Beide Arten von Sehzellen haben eine spezielle Aufgabe, welche die andersartigen Zellen nicht übernehmen können. Die Zapfenzellen sind für die Farbwahrnehmung zuständig, wobei sie sich in drei Kategorien einteilen lassen: Entweder sind sie für die Farbe Rot, Grün oder Blau empfindlich (genau genommen sprechen alle Zapfen bei jeder Wellenlänge an, nur eben mit unterschiedlicher Intensität [HKMS11, S. 77], was hier allerdings der Einfachheit halber durch eine eindeutige Farbzuzuordnung umschrieben werden soll). Nur mithilfe von Zapfen kann der Mensch also lediglich diese drei Farben sehen – die Wahrnehmung aller anderen Farbtöne entsteht im Gehirn, wo das Sehzentrum die eingehenden Signale verarbeitet und interpretiert. Stäbchenzellen hingegen sind ausschließlich für die Helligkeitswahrnehmung einsetzbar. Je nach der vorhandenen Beleuchtung wird eine andere Zellenart primär genutzt: Ist wenig Licht vorhanden, sind vorrangig Stäbchen aktiv, bei ausreichendem Licht hingegen werden vor allem Zapfen genutzt. Das Sehen von Farben ist also sehr stark an vorherrschende Lichtverhältnisse und auch von der Menge an Licht, die das Auge erreicht, abhängig. [BSS17, S. 13] Beide Rezeptorzelltypen, Stäbchen und Zapfen, liegen in der letzten Schicht der Netzhaut, hinter einer mit Bipolarzellen, amakrinen Zellen und Horizontalzellen besetzten Schicht. [HKMS11, S. 57-58] Diese dienen der Unterschiedsverstärkung beim Aktivieren von nebeneinander liegenden Rezeptoren

(horizontale Zellen), zur Kontrastwahrnehmung und zur Bereitstellung zeitlichen Auflösungsvermögens (amakrine Zellen) sowie der Informationsvermittlung zwischen den beiden zuvor genannten Zellarten (bipolare Zellen). [HKMS11, S. 58] An der Stelle, wo alle Nervenfasern der Retina zusammenlaufen, gebündelt werden und als *optischer Nerv* aus dem Auge austreten, liegen auch die Blutgefäße des Auges an. Da an diesem Punkt keine Sehzellen auf der Retina liegen, nennt man diesen auch *blinden Fleck*. [HKMS11, S. 56]

Um scharfes Sehen zu ermöglichen, bedient das menschliche Auge sich einer bestimmten Vorgehensweise. Von den etwa 180° horizontal und den ungefähr 120° vertikal, die das Gesichtsfeld aufspannt, wird nur ein Bruchteil von 1,5° sowohl in der Vertikalen als auch in der Horizontalen scharf gesehen. [BSS17, S. 14] Der Außenbereich des menschlichen Sichtfeldes hingegen wird immer unschärfer und kann vorrangig Hell-Dunkel-Unterschiede wahrnehmen. Die dortige *periphere Wahrnehmung* ist für andere Eigenschaften, wie etwa Bewegungen, sehr viel empfindlicher. [Ros21b, S. 3] Auch auf das Wahrnehmen von Kontrasten ist sie abgestimmt. Letztlich wird sie vorrangig genutzt, um den durch die Fovea ermöglichten, scharfen Sichtbereich auf wichtige, informative Stimuli zu lenken. [Dom20, S. 543] Welche Reize dies sein können, damit soll sich zu einem späteren Zeitpunkt befassen werden. Nur in dem kleinen Teil des inneren Sichtfeldes kann das menschliche Auge also detailliert Eigenschaften wie Farbe und Form von betrachteten Dingen wahrnehmen [HE12, S. 1170]. Dieser geringe Sichtbereich ist nochmals in zwei Teile unterteilt, wie sich gut in der im Anhang A.2.1 befindlichen Grafik am Beispiel des Lesens von Text erkennen lässt: Im Zentrum der Sehgrube sind die Sehzellen besonders dicht angeordnet, was zu einem Bereich besonderer Wahrnehmungsgüte im Sichtfeld führt, der als *analytischer Bereich* (eng.: “analytical area”) bezeichnet wird. Hier ist die Detailwahrnehmung sehr ausgeprägt und das wahrgenommene Bild besonders scharf. Dieser Bereich wird vom *Aufmerksamkeitsbereich* (eng.: “awareness area”) umschlossen, in welchem Sehschärfe und Detailwahrnehmung bereits absinken. Außerhalb dieses Bereiches wiederum ist die zuvor erwähnte periphere Wahrnehmung tätig. [Cha07, S. 180] Für das Betrachten von Details wird der Blick auf diese gerichtet, um sie scharf sehen zu können. Das Gehirn erhält alle zuvor einzeln aufgenommenen Blickfeld-Teile und verschmilzt diese zu einem Gesamteindruck, wobei dieses Verschmelzen nicht in der optischen Wahrnehmung, die durch das Sehen entsteht, wiedergegeben wird. [BSS17, S. 14] Um Details in einem größeren Feld wahrnehmen zu können, nutzen die menschlichen Augen während des wachen Erlebens einen Zyklus aus

Fixationen und *Sakkaden*. Während einer Fixation steht das Auge still und erlangt Detailinformationen über das angesehene Objekt. Eine Sakkade hingegen ist eine sehr kurze Spanne, während der das Auge zwar blind ist, sich aber schnell auf einen neuen Punkt im Blickfeld ausrichtet. Sakkaden verhindern unter anderem, dass die Lichtrezeptoren ermüden [Erh08, S. 12]. Dieser Kreislauf aus Sakkade und Fixation läuft ohne gesonderte menschliche Aufmerksamkeit sekundlich zwischen drei und vier Mal ab, was Sehen zu einem extrem dynamischen Prozess macht. [HE12, S. 1170]

Nach all diesen Ausführungen bleibt angesichts von Komplexität und Präzision des Auges lediglich zusammenfassend festzustellen, dass menschliches Auge und Gehirn im Zusammenspiel “das beste bisher bekannte Bildverarbeitungs- und Mustererkennungssystem” [Erh08, S. 15] darstellen. Welchen Prinzipien die visuelle Wahrnehmung des Menschen auf kognitiver Ebene folgt, soll im Folgenden genauer aufgezeigt werden.

2.3. Grundlegende Sachkenntnisse zur visuellen Wahrnehmung

In diesem Kapitel soll der Schwerpunkt darauf liegen, grundlegende Begriffe und Annahmen zu Wahrnehmung, Aufmerksamkeit und Kognition zusammenzutragen und zu erläutern. Hierbei soll der Fokus auf den visuellen Part der Begrifflichkeiten gelegt werden, wenngleich einige allgemeine Erklärungen der Begriffe kaum vermeidbar sind. Es sei zudem angemerkt, dass die beschriebenen und genutzten Annahmen zur menschlichen Wahrnehmung immer noch Subjekte der Forschung sind, weshalb sich ihre Relevanz in Zukunft ändern könnte – hier sollen sie als Grundlagen der Materie betrachtet werden.

2.3.1. Kognition

Kognition bezeichnet den Verarbeitungsvorgang des sogenannten Gesamteindruckes durch den Menschen. Dieser setzt sich zusammen aus allen möglichen Reizen, die der Mensch als Wahrnehmungsgrundlage und entsprechend auch als Quelle von Informationen über seine Sinnesorgane aufnimmt. Die Kognitionspsychologie betrachtet

den Menschen entsprechend als ein Informationsverarbeitungssystem. [Ros21c, S. 1] Kognitive Prozesse, wie beispielsweise das Erkennen von Schriftzeichen, finden im menschlichen Kurzzeitgedächtnis statt. Sie bestehen aus kognitiven Elementaroperationen, die in Form eines *recognize-act*-Kreislaufes ihre Funktion versehen. Der *recognize*-Teil entspricht dem Vorgang, eine benötigte Einheit aus dem Langzeitgedächtnis zu aktivieren, während durch den *act*-Teil die besagte Einheit im Kurzzeitgedächtnis für die Kognitivprozesse verfügbar gemacht wird. Der Mensch kann jedoch trotz dieses Aufbaus nicht mehrere Kognitivprozesse, die er bewusst kontrolliert, parallel ausführen – lediglich die serielle Ausführung der Prozesse nach dem “Einer-nach-dem-anderen”-Prinzip ist möglich, weshalb auch von der *Enge des Bewusstseins* gesprochen wird. Allerdings kann der Mensch automatische Kognitivprozesse durchaus parallel zueinander ausführen, wie etwa das Erkennen von bereits bekannten Verkehrsschildern beim Autofahren. Automatische Kognitivprozesse können mittels Übung aus bewusst kontrollierten Kognitivprozessen entstehen und benötigen durch ihren höheren Automatisierungsgrad die kontrollierten Kapazitäten des Kurzzeitgedächtnisses, die zur Verarbeitung genutzt werden können, deutlich weniger bzw. überhaupt nicht mehr. [Ros21d, S. 1-2] Dennoch bleibt der kognitive Apparat ein Konzept mit begrenzten Kapazitäten bzw. Ressourcen. [Ros21e, S. 1] Diese Begrenzung äußert sich unter anderem im Begriff der *kognitiven Arbeitslast*. Diese beschreibt den Aufwand, den der menschliche Geist betreiben muss, wenn eine Aufgabe mentaler Natur zu erledigen ist – je größer der Aufwand an Ressourcen, desto weniger Kapazitäten bleiben frei für andere Dinge und Vorgänge. [MSB⁺17, S. 1] Die kognitiven Ressourcen sind also begrenzt. Sie werden, wenn mehrere Aufgaben zu erledigen sind, unter diesen aufgeteilt – diese Aufteilung ist abhängig davon, wie viele Ressourcen gerade frei verfügbar sind und wie groß der Ressourcenverbrauch der einzelnen Aufgabe ist. [BH14, S. 850] Das Level an nötiger kognitiver Arbeitslast wird unter anderem durch externe Faktoren, wie die Anforderungen der zu bewältigenden Aufgabe oder die Arbeitsumgebung, beeinflusst. So hat etwa der Grad an *Salienz* bzw. *Hervorhebung* (eng.: “saliency”) von Reizen großen Einfluss darauf, wie viele geistige Ressourcen genutzt werden müssen, um Informationen zu verarbeiten. [MSB⁺17, S. 1] Die Begriffe *Salienz* bzw. *salient* werden im weiteren Verlauf der Ausführungen durchaus bedeutsam sein. Sie beschreiben die Eigenschaft von Reizen, sich von ihrer Umgebung abzuheben, und geben zudem an, wie stark dieses Hervorstechen ausgeprägt ist. [Bak20, S. 65] Daher kann auch von einem lokal auftretenden Kontrast gesprochen werden, der sowohl durch eine einzelne Wahrnehmungsdimension (beispielsweise Bewegung) als auch durch mehrere Wahrneh-

mungsdimensionen (etwa Farbe und Bewegung) zustande kommen kann. [JGQ08, S. 3] Auch interne, personenbezogene Faktoren nehmen Einfluss auf die kognitive Arbeitslast, etwa der Grad an Motivation, die Stimmung oder die Strategie, die zum Lösen der Aufgabe angewandt wird. [Vil15, S. 16] Die kognitive Arbeitslast ist zudem durch die Menge an zeitgleich verarbeiteten Informationen in dauernder Schwankung begriffen. [MST⁺16, S. 60] Die dargestellte Limitation der Kognitionsressourcen ist ein Grund für die Selektionsfunktion der Aufmerksamkeit, die in diesem Kapitel ebenfalls beleuchtet werden soll. [HL21, S. 169] Zuvor gilt es jedoch, Wahrnehmung als die Aufmerksamkeit einschließende Instanz genauer zu erläutern.

2.3.2. Wahrnehmung

Der Begriff der *Wahrnehmung* ist sehr eng verknüpft mit dem Begriff der *Aufmerksamkeit*. Wahrnehmung selbst ist als ein direkt stattfindender Vorgang zu verstehen, der im Normalfall ohne wahrnehmbare, zusätzliche Bemühungen erfolgt und unmittelbarer Natur ist. Allerdings werden durch die menschliche Wahrnehmung keine exakten, genauen Abbildungen der umgebenden Realität erzeugt – was wir beispielsweise als Farbe wahrnehmen, ist genau genommen lediglich Licht einer bestimmten Wellenlänge, das in unser Auge eingedrungen ist. Daher kann man Wahrnehmung auch als eine vom menschlichen Hirn erzeugte Konstruktion bezeichnen. Diese Konstruktion ist allerdings stets so beschaffen, dass sie für den Menschen “Sinn ergibt”. Die Wahrnehmung ist also ein Organisations- und Interpretationsprozess, der die von den Augen und anderen Sinnesorganen aufgenommenen Sinneseindrücke verarbeitet. [HKMS11, S. 3-5] Folgende Grundeigenschaften dieses Prozesses können unterschieden werden [Abb19, S. 6]:

- *Verallgemeinerung und Bedeutsamkeit* meinen, dass der Mensch zu verstehen vermag, was er wahrnimmt;
- *Objektivität* als Beschreibung dessen, dass das mentale, durch die Wahrnehmung entstandene Abbild eines Objektes auch als ein real existierendes Objekt erkannt wird;
- *Integrität* bedeutet, dass eine stabile, sichere Verbindung zwischen individuellen Eigenschaften und Anzeichen von Geschehnissen besteht;

- *Struktur* als Bezeichnung dafür, dass der Mensch Objekte durch eine stabile, sichere Verbindung ihrer Komponenten erkennen kann;
- *Selektivität* bedeutet, dass aus einer Vielzahl von Reizen in Form von Ereignissen und Objekten gewählt wird;
- *Stetigkeit* als Beschreibung dafür, dass Objektqualitäten unverändert wahrgenommen werden, dasselbe Ereignis jedoch auf unterschiedliche Art und Weise wahrgenommen werden kann.

In diesen Wahrnehmungsprozess hat der Mensch selbst jedoch keinen Einblick, kognitiv kontrolliert werden kann er ebenfalls nicht oder nur kaum. Die Wahrnehmung funktioniert demnach als eine von anderen Teilen des kognitiven Systems, wie beispielsweise dem Gedächtnis, abgeschottete Komponente. [HKMS11, S. 3-5] Sie reagiert mit Vorliebe auf Veränderungen, was die aktive Natur der Wahrnehmung unterstreicht, ist aber somit auch abhängig von durchgeführten Handlungen – ohne aktives Schweifen-Lassen des Blicks wäre das Suchen nach einem versteckten Gegenstand nahezu unmöglich. Für das richtige Durchführen von Aktionen, wie dem genannten Suchbeispiel etwa, ist es wiederum bedeutsam, dass die Wahrnehmung diejenigen Informationen, die aktuell wichtig sind, zu passenden Zeitpunkten bereitzustellen vermag. [HKMS11, S. 21-22]

Visuelle Wahrnehmung

Bedingt durch das begrenzte Sichtfeld des Menschen ist dessen Wahrnehmung selektiv. Es wird davon ausgegangen, dass die visuelle Wahrnehmung absichtsgeleitet, also von momentan verfolgten Zielen und Aufgaben abhängig ist. Von außen her wahrgenommene Reize werden nicht einfach passiv “entgegenommen”, sondern es werden aktiv die Informationen, die bestimmten Anforderungen genügen, gesammelt. Beim Wahrnehmen seiner Umwelt bedient sich der Mensch meist an folgendem Ablaufmuster: Es werden “wichtig” erscheinende Objekte im Sichtfeld gewählt, deren genereller Aufbau und Aussehen schnell überblicksmäßig erfasst wird. Im Anschluss daran wird von dieser groben Übersicht zur weiteren, genaueren visuellen Verarbeitung der zuvor ausgewählten Objekte übergegangen, woraufhin deren Einzelheiten genauer voneinander unterschieden werden. [SX10, S. 1555] Visuelle Wahrnehmungsfertigkeiten (eng.: “visual perception skills”) umfassen das Verarbeiten von über das Auge wahrgenommenen sensorischen Daten durch deren Identifikation mit anschließender

Organisation sowie einen entsprechenden, abschließenden Interpretationsvorgang. Sie sind unter anderem wichtige Grundwerkzeuge für das Lesen, mathematische Fähigkeiten sowie das Zusammenbringen von visuellen Wahrnehmungen mit den Wahrnehmungen anderer Sinne. [BCT⁺14, S. 1] Somit kann die visuelle Wahrnehmung als die Fähigkeit definiert werden, visuelle Reize zu verstehen und diesen entsprechend zu handeln. [AMN19, S. 309]

Objektwahrnehmung

Das Erkennen von Objekten spielt eine wichtige Rolle in der alltäglichen Wahrnehmung der Umwelt. Zunächst nahm man an, dass dieser Vorgang über eine Vielzahl *geistiger Schablonen* ablaufen würde, indem der Mensch alle Objektschablonen mit seinen Wahrnehmungen vergleiche. Jedoch vermochte diese Theorie sich nicht zu halten, da praktisch eine unendliche Zahl von Schablonen benötigt werden würde, bisher unbekannte Objekte nicht erkannt werden könnten und da auf diese Art Objekte, die beispielsweise rotiert wurden, nicht wiedererkennbar wären. Die sogenannte *Merkmalsanalyse* (eng.: “feature analysis”) geht als Alternativtheorie davon aus, dass die Objekterkennung mithilfe von Merkmalen bzw. deren Kombinationen realisiert wird. Von diesen Merkmalen wird angenommen, dass sie voneinander unterscheidbar sind. Jedoch reicht das alleinige Sammeln der einzelnen Eigenschaften nicht aus – alle Merkmale müssen zu einem Objekt “zusammengesetzt” werden. Die genaue Funktionsweise dieser Merkmalsintegration konnte bisher noch nicht umfassend erklärt werden. Das *Bindungsproblem* beschäftigt sich mit dieser Fragestellung und versucht so zu erklären, wie in verschiedenen Hirnarealen verarbeitete Merkmale im Geist zu einem einzelnen Objekt zusammengefasst werden. Eine Annahme ist, dass die Position eines Objektes das bestimmende Merkmal ist, über das die an diesem Ort gelegenen bzw. wahrgenommenen Merkmale zusammengeführt werden. Neurophysiologisch konnten Hinweise gefunden werden, dass die Merkmalsbindung dadurch entsteht, dass verteilte Verbände von Neuronen sich zeitlich synchronisieren – das Gehirn scheint in der Lage zu sein, all die durch Sinneseindrücke wie Hören und Sehen erzeugten Neuralaktivitäten zusammenzufassen und diese Repräsentation dem “inneren Auge” zu präsentieren. [Bak20, S. 40-42]

Präattentive und attentive Wahrnehmung

Die Wahrnehmung ist nicht ausschließlich vom Gesehenen abhängig, alles Wahrgenommene ist auch das Ergebnis des eigenen Wissens, des Kontextes und der gestellten Erwartungen. [MMBG06, S. 775] In Bezug auf das menschliche Sehen ist die Wahrnehmung in zwei Kernbereiche aufteilbar, die im Folgenden erläutert werden sollen. Den ersten Teilbereich stellt die *präattentive Wahrnehmung* dar. Sie geschieht, ohne Abhängigkeit davon, wie viele Reize präsentiert werden, sehr schnell. Zudem ist sie dafür zuständig, bestimmte Informationen, die über das Sehen wahrgenommen werden, bereits im dem menschlichen Auge eigenen Nervensystem zu verarbeiten. [Ros21b, S. 6] Präattentive Wahrnehmung geschieht in einer Zeitspanne, die weniger als 200ms bzw. 250ms lang ist – da eine Augensakkade länger benötigt, ist ein einzelner Blick ausreichend, um präattentive Eigenschaften wahrnehmen zu können. [HE12, S. 1171] Diese dem Gehirn und somit auch der Aufmerksamkeit “vorgeschalte” Art der Wahrnehmung kann im Bereich des Visuellen etwa Farben, Bewegungen, Größe, Bewegungsrichtung, Orientierung, räumliche Tiefe, Krümmung oder simple Formen erkennen. [Ros21b, S. 6-7] Suchvorgänge, bei denen das zu suchende Objekt sich durch ein einzelnes Merkmal von den restlichen Objekten unterscheidet, gehen mit ihrer Hilfe sehr schnell vonstatten, da das Zielobjekt den Suchenden visuell förmlich “anzuspringen” scheint, weshalb man auch von einer *Popout-Suche* spricht. [KM17, S. 115] Zwar hat man zwischenzeitlich die Feststellung treffen können, dass auch in dieser frühen Phase visueller Wahrnehmung Aufmerksamkeit eine wichtige Rolle spielt, dennoch bleibt der Begriff *präattentiv* als Beschreibung für die hohe Wahrnehmungsgeschwindigkeit und -einfachheit, wenn es darum geht, bestimmte visuelle Eigenschaften wahrzunehmen, bestehen. [HE12, S. 1170-1171] Die für präattentive Aufmerksamkeit notwendigen Ressourcen sollen im Rahmen dieser Arbeit vernachlässigt werden, um ihren im Vergleich zur attentionalen Aufmerksamkeit geringeren Umfang hervorzuheben. Die präattentive Wahrnehmung ist, allen Vorteilen zum Trotz, durch ihre Spezialisierung auf je ein einzelnes Merkmal zugleich eingeschränkt – mit Merkmalskombinationen vermag sie nicht umzugehen. Hierfür bedarf es der *attentiven Wahrnehmung*, die Aufmerksamkeit benötigt. [Ros21b, S. 6-7] Nur wenige Aufgaben, wie etwa das Erkennen der generellen Stimmung einer gesehenen Szene, können wahrgenommen werden, ohne dass Aufmerksamkeit nötig ist. Aufgrund dessen stellt Aufmerksamkeit in den meisten Fällen einen ersten, zentralen Schritt im Wahrnehmungsablauf dar. [MMBG06, S. 775] Eine genauere Definition von Aufmerksamkeit soll daher in Abschnitt 2.3.3 vorgenommen werden.

Verarbeitung des Wahrgenommenen

Die Verarbeitung von wahrgenommenen Reizen und Eindrücken nutzt zwei Wege: *Bottom-up-Prozesse* und *Top-down-Prozesse*. Diese beiden Möglichkeiten sollen hier kurz beleuchtet werden. *Bottom-up-Prozesse* sind *datengeleitete* Vorgänge: Eine Wahrnehmungsleistung höherer Komplexität wird bei ihnen vollbracht, indem sie simple Mustermerkmale nutzen und dabei nicht auf Gedächtnisinformationen zurückgreifen. [HKMS11, S. 24] Die erzeugten Muster werden dann dergestalt enkodiert, dass sie auch von Kognitionsprozessen, die später durchgeführt werden, sinnvoll erkannt werden können. [Bak20, S. 18] Bottom-up-Prozesse sind unabhängig von der ausgeführten Aufgabe, schnell und stark beeinflusst vom Grad der Hervorhebung (*Salienz*), der den Informationen zugeordnet ist. [EZM09, S. 1] Sie können als parallel ablaufende Verarbeitung von Stimuli, die abhängig von ihrer Salienz gewählt wurden, beschrieben werden. [LBF05, S. 910] Mit ihrer Hilfe kann der Mensch beispielsweise eine Landschaftsszene in Sekundenbruchteilen kategorisieren und einordnen. [HKMS11, S. 24] *Top-down-Prozesse* unterscheiden sich vom zuvor erläuterten Arbeitsweg vor allem dadurch, dass sie *begriffsgesteuert* sind und entsprechend vorhandene Gedächtnisinhalte während der Verarbeitung nutzen. [HKMS11, S. 24] Im Vergleich zu Bottom-up-Prozessen sind sie etwas langsamer, durch menschlichen Willen gesteuert und abhängig von der zugehörigen Aufgabe. [EZM09, S. 1] Sie verarbeiten Stimuli seriell. [LBF05, S. 910] Beide Prozesse werden genutzt, um die Aufmerksamkeit des Menschen beim Betrachten seiner Umwelt zu lenken [WLMB⁺14, S. 2457] und sind daher eng mit ihr verknüpft.

2.3.3. Aufmerksamkeit

Müsste man den sehr weiten, komplexen Begriff *Aufmerksamkeit* in wenigen Worten zusammenfassen, könnte diese Definition in etwa wie folgt lauten: Unter Aufmerksamkeit versteht man all die Mechanismen, welche es dem Menschen ermöglichen, aus allen verfügbaren Informationen die aktuell relevantesten zu selektieren und unwichtige Daten außen vor zu lassen. [HKMS11, S. 7-8] Dies umfasst sowohl unwillentliche als auch willentliche, kontrollierte Mechanismen [HL21, S. 167]. Somit dient die Aufmerksamkeit als eine Art Filter, ähnlich wie die in ihrer Leistung begrenzten Sinnesorgane – sie ist selektiv [HKMS11, S. 15]. Aufmerksamkeit lässt sich durch den Menschen bewusst steuern und auf Elemente in der Umwelt ausrichten, etwa

auf Objekte, auf deren Eigenschaften oder auf Orte. Die Funktionsweise dieses Ausrichtungsvorgangs und dessen Kriterien werden unter dem Begriff *selektive Aufmerksamkeit* zusammengefasst, der innerhalb dieses Kapitels ebenfalls genauer betrachtet werden soll. [HKMS11, S. 8] Dennoch kann menschliche Aufmerksamkeit auch unbewusst stattfinden. [HL21, S. 169] Gern wird die sogenannte *Lichtkegelmetapher der Aufmerksamkeit* benutzt, um die angenommene Funktionsweise der Aufmerksamkeit verbildlicht zu beschreiben: Analog zu einem realen Lichtkegel, der zur Beleuchtung eines definierten Orts genutzt wird, verarbeitet die menschliche Aufmerksamkeit jene Orte und dort befindliche Reize, die zentral durch Aufmerksamkeit “beleuchtet” werden, schneller und exakter als anders gelegene Stimuli. Angemerkt sei, dass einige Annahmen der Theorie kontrovers diskutiert werden; dennoch soll sie hier als Anhaltspunkt für das geistige Bild von Aufmerksamkeit dienlich sein. [KM17, S. 109] Es ist wichtig, zu erwähnen, dass die Richtung der Aufmerksamkeit nicht identisch mit der Richtung des Blicks ist [AL17, S. 75], auch wenn eine starke Verknüpfung zwischen ihnen existiert [BTD12, S. 52]. Aufmerksamkeit ist sehr bedeutsam für das Erledigen von Aufgaben, da sie dafür sorgt, dass Informationen nicht verloren gehen, die zum Bewältigen der Aufgaben nötig sind [PPRS20, S. 46]. Messbar ist Aufmerksamkeit an sich nicht, sie kann höchstens auf der Grundlage hergeleiteter Indikatoren abgeschätzt werden. Bei Studien mit Aufmerksamkeitsbezug bedient man sich daher oft der Messung der Leistungen bei durchgeführten Aufgaben oder von körperliche Indikatoren, um von diesen auf die Aufmerksamkeit zu schließen. [Fer14, S. 50-51]

Arten der Aufmerksamkeit

Die *selektive Aufmerksamkeit* definiert sich im Bereich des Visuellen dadurch, dass der Mensch lediglich bestimmte Teile und Aspekte seiner aktuellen Umgebung wahrnimmt und andere Faktoren und Geschehnisse praktisch “ausblendet”. [Ros21d, S. 1] So nimmt beispielsweise der Spieler beim intensiven Spielen eines digitalen Actionspiels vorrangig den Bildschirm und die dortigen Geschehnisse wahr, während er Dinge wie etwa die Wanduhr neben dem Bildschirm kaum bis überhaupt nicht beachtet. Genereller formuliert lässt sich die selektive Aufmerksamkeit als Auswahlinstanz beschreiben, der die Rolle zufällt, aus einer Menge an Aufgaben die wichtigste auszuwählen und die Aufmerksamkeit auf diese zu lenken. Dies ist besonders wichtig, wenn man von einer begrenzten Verarbeitungskapazität des Gehirns in Bezug auf Informationen ausgeht. [PPRS20, S. 47] Beeinflusst werden kann die Selektivität

der Aufmerksamkeit durch zwei verschiedene Arten von Faktoren. Die erste Art von Faktor stellen *externe Faktoren* dar, welche die physikalischen Eigenschaften wahrgenommener Reize darstellen: Neuartigkeit, Intensität, Häufigkeit des Erscheinens und Komplexität. Unter der zweiten Art von Faktor werden hingegen spezielle, auf die wahrnehmende Person bezogene Informationen verstanden, etwa der eigene Name, der auch aus einem entfernter stattfindenden Gespräch herausgehört werden kann, obwohl man nicht Teil des Gesprächs ist und sich eigentlich mit einer anderen Person unterhält (auch bekannt als *Cocktailparty-Phänomen*). [Abb19, S. 11-12] Die Selektivität der Aufmerksamkeit kann sich in zwei Ausprägungen zeigen: *Positive Abstraktion* beschreibt, dass in einer Situation Merkmale hervorgehoben werden, die für die aktuelle Aufgabe relevant sind, während *negative Abstraktion* meint, dass für die Aufgabe nicht relevante Merkmale ausgesondert werden. [HKMS11, S. 15]

Von *fokussierter Aufmerksamkeit* wird gesprochen, wenn der Mensch sich über eine vergleichsweise kurze Zeitspanne vollkommen auf einen einzelnen Reiz bzw. Stimulus konzentriert. Ein Beispiel hierfür wäre etwa ein Reaktionstest, bei dem man ein herunterfallendes Lineal so schnell wie möglich auffangen muss, sobald ein Testpartner es fallen lässt. [Fer14, S. 50]

Die *geteilte Aufmerksamkeit* ist die Beschreibung dafür, dass der Mensch seine Aufmerksamkeit anstelle auf eine einzelne Sache auch auf mehrere Dinge zugleich zu verteilen vermag. [Ros21d, S. 1] Dies kann sowohl gewollt (beim Telefonieren und gleichzeitigem Notieren etwa) als auch ungewollt (beispielsweise durch das sichtbare Auftauchen einer Mail-Benachrichtigung, während man telefoniert) geschehen. Hierdurch werden die Grenzen der menschlichen Aufmerksamkeit aufgezeigt, was oft mit Überforderung und dadurch verursachten Fehlern endet. Allerdings kann der Mensch durch Planung, Organisation und Übung die negativen Auswirkungen der Aufmerksamkeitssteilung zumindest mildern. [HKMS11, S. 9]

Anhaltende Aufmerksamkeit (eng.: “sustained attention”) ist die Art von Aufmerksamkeit, die bei Aufgaben zur Anwendung kommt, die einige Zeit zur Erledigung in Anspruch nehmen. Das Hirn versucht dabei, sich dauerhaft auf die ausgeführte Aufgabe zu konzentrieren. [PPRS20, S. 47]

Unter *alternierender Aufmerksamkeit* (eng.: “alternating attention”) versteht man die wechselnde Aufmerksamkeitswidmung zwischen Aufgaben, beispielsweise beim Wechsel der Aufmerksamkeit vom Fernseher zum Klingeln des Weckers. [PPRS20, S. 47]

Verteilung der Aufmerksamkeit

Die zuvor unter dem Punkt *geteilte Aufmerksamkeit* angemerkte Begrenzung der menschlichen Aufmerksamkeit ist ein nicht unwesentlicher Bestandteil der Forschung zum Thema Aufmerksamkeit. Es wurden verschiedene Modelle formuliert, welche diese Grenzen erklären sollen. Eine Auswahl von Modellen soll hier in aller Kürze erläutert werden.

Beim Arbeiten an mehreren Aufgaben unter geteilter Aufmerksamkeit lässt sich eine Verteilung der Aufmerksamkeit nach dem *Alles-oder-Nichts-Prinzip* in Betracht ziehen. Hierbei wird angenommen, dass im menschlichen Kognitionssystem ein einzelner Verarbeitungskanal existiert, der einer strukturellen Begrenzung seiner Kapazität unterliegt und somit zu einem Zeitpunkt lediglich von einem Prozess nutzbar ist. [HKMS11, S. 205]

Die *Attenuationstheorie der Aufmerksamkeit* hingegen wurde als Reaktion auf Untersuchungen formuliert, die diesem zuvor beschriebenen “Entweder-Oder“-Filterprinzip deutlich Grenzen und widerlegbare Annahmen aufzeigten. Sie besagt, dass auch Informationen, die eigentlich nicht direkt beachtet werden, abgeschwächt weitergeleitet und bearbeitet werden können. Diese trotz ihrer Abschwächung verarbeiteten Informationen haben das Potential, direkt beachtete Informationen in deren Interpretation zu beeinflussen. [KM17, S. 108] Es kann also von einem Filter gesprochen werden, der eine gewisse Flexibilität aufweist. Es findet kein komplettes Abblocken der als unwichtig eingestuften Signale statt, sodass, wenn Bedarf bestehen sollte, auf die ansonsten verworfenen Signale zugegriffen werden kann, sollten diese sich doch als wichtig herausstellen. [Bak20, S. 72]

Die beiden vorgestellten Theorien gehen davon aus, dass die Selektion der als relevant betrachteten Stimuli im Prozess der Informationsverarbeitung vergleichsweise früh geschieht. Jedoch wird auch eine später angelegte Selektion theoretisiert, bei der sämtliche Reize einer vollständigen semantischen Verarbeitung unterzogen werden, bevor die Selektion derjenigen Reize, die als relevant eingestuft werden, geschieht. Der sogenannte *Eriksen-Flanker-Effekt* wird zur Untermauerung dieser Auffassung angeführt: Er zeigt, dass eigentlich irrelevante Stimuli vom Menschen kaum ignoriert werden können, wenn diese in der Nähe von Stimuli auftreten, die beachtet werden sollen. Eine solche Versuchsanordnung führte dazu, dass Probanden unter Verzögerung auf die relevanten Stimuli reagierten. Letztlich hat sich nach einiger Forschung

in diesem Bereich ein allgemeiner Konsens gebildet – es wird angenommen, dass der Selektionszeitpunkt flexibel angesetzt ist und somit abhängig von Anforderungen der Aufgabe und gegebener Situation früher oder später erfolgen kann. Auch die Möglichkeit einer modular aufgebauten Aufmerksamkeit, die mit unterschiedlich spezialisierten Ressourcen arbeitet, wurde formuliert. [Bak20, S. 73-75] In diesem Bereich werden sicherlich noch einige weitere Theorien aufgestellt werden, hier soll aber von der Flexibilität des Selektionszeitpunktes ausgegangen werden.

Laut der *Theorie der multiplen Ressourcen* (eng.: “Multiple Resource Theory”) können Aufgaben wiederum solange gleichzeitig ausgeführt werden, wie sie sich in ihrer Art benötigter Ressourcen unterscheiden, also nicht dasselbe Paar von Reiz und Antwort nutzen. Hiermit kann beispielsweise ausgeführt werden, dass gleichzeitiges Bearbeiten einer auditiven und einer visuellen Aufgabe weniger Überschneidungen zwischen den zugewiesenen Ressourcen erzeugt als das gleichzeitige Erledigen zweier visueller Aufträge. [Fer14, S. 49]

2.3.4. Visuelle Aufmerksamkeit

Eingangs der Ausführungen zur *visuellen Aufmerksamkeit* sei angemerkt, dass mit derselben stets die menschliche visuelle Aufmerksamkeit gemeint ist, da derselbe Begriff auch in anderen Bereichen wie der Robotik Verwendung findet, dort jedoch unter Umständen nicht mit den folgenden Informationen übereinstimmen könnte.

Es existieren verschiedene Arten von Aufmerksamkeit, innerhalb dieser Arbeit allerdings ist die *perzeptuelle Aufmerksamkeit* (eng.: “attention for perception”) als wichtigste Art zu betrachten. Diese stellt einen Auswahlprozess dar, bei dem eine Teilmenge an Informationen selektiert wird, um weiterverarbeitet zu werden. Bezogen auf den visuellen Sinneskanal äußert sich dies darin, dass der Mensch den Blick auf etwas ausrichtet, ihm also *visuelle Aufmerksamkeit* zukommen lässt. [MMBG06, S. 774] Diese stellt eine wichtige Eigenart des menschlichen Sehapparates dar [NKO⁺19, S. 1939] und kann in verschiedener Stärke von unterschiedlichen Eigenschaften beeinflusst werden. Zu diesen Faktoren zählen etwa Form, Lage, Größe oder Farbe. Auch menschliche Erscheinungsbilder sowie Gesichter ziehen die Aufmerksamkeit an. [EZM09, S. 1] All diese Faktoren können zur Bildung von *regions of interest*, abgekürzt *ROI*, führen. Diese sind ebenfalls wichtig für den Bereich der visuellen

Aufmerksamkeit. Übersetzt bedeutet *region of interest* etwa “Region, die von Interesse ist” und beschreibt Bereiche oder Objekte, welche die Aufmerksamkeit eines Betrachters zu sich ziehen. [EZM09, S. 1] Es existieren allerdings einige Faktoren externer Natur, welche die visuelle Aufmerksamkeit beschränken – hierzu zählen etwa die visuelle Komplexität, die Leuchtdichte und auch die Unterschiede zwischen den menschlichen Individuen. [XPZH22, S. 4973]

Im Bezug auf das Spielen digitaler Spiele kann visuelle Aufmerksamkeit in folgende drei Kategorien aufgeteilt werden: *Zeitliche Verarbeitung*, *Aufmerksamkeitsressourcen* (eng.: “attentional resources”) und *Sichtfeld*. Der Begriff des *Sichtfeldes* wurde bereits in Abschnitt 2.2.2 erläutert, meint hier aber konkreter den Bereich der menschlichen Sicht, um den sich die menschliche Aufmerksamkeit kümmern kann, ohne dass der Mensch willentlich die Augen bewegen muss. *Aufmerksamkeitsressourcen* beschreiben die Gesamtkapazität dessen, was während eines Zeitpunktes vom Menschen verarbeitet werden kann. Unter *zeitlicher Verarbeitung* versteht man, wie gut über Zeit Objekte “im Auge behalten” werden können. [BD20, S. 1]

Es lässt sich feststellen, dass die visuelle Aufmerksamkeit zur Optimierung von Suchaufgaben beiträgt, indem sie aufgabenbezogen aus den verfügbaren Sinnesinformationen nur bestimmte Attribute oder Regionen auswählt, die der zu bewältigenden Aufgabe auch dienlich sind [BZR12, S. 2] – auf diese Selektivität soll im weiteren Verlauf des Textes näher eingegangen werden. Zudem zeigt sich die visuelle Aufmerksamkeit als wirksame Möglichkeit, komplexe Aufgaben in weniger große und komplexe Teilaufgaben zu zerlegen [BZR12, S. 2].

Top-down-Aufmerksamkeit und Bottom-up-Aufmerksamkeit

Da die Aufmerksamkeit, wie bereits erwähnt, eng mit der Wahrnehmung verbunden ist, lässt auch die visuelle Aufmerksamkeit sich durch *Top-down-Faktoren* und *Bottom-up-Faktoren* beeinflussen. [Fer14, S. 50] Entsprechend spielen bei der Lenkung der Aufmerksamkeit sowohl die durch Gedächtnisinhalte unbeeinflussten (Bottom-up) als auch die durch solche beeinflussten (Top-down) Wahrnehmungen eine Rolle. Hierdurch lässt sich eine weitere Aufteilung visueller Aufmerksamkeit an der Art und Weise, wie Aufmerksamkeit auf im Sichtfeld befindliche Orte oder Objekte ausgerichtet wird, vornehmen. *Endogene* Aufmerksamkeitsausrichtung meint die willentliche Orientierung der Aufmerksamkeit [JGQ08, S. 3] - somit unterliegt diese der

Steuerung durch Top-down-Faktoren [BTD12, S. 50]. *Exogene* Aufmerksamkeitsausrichtung hingegen beschreibt die unwillkürliche Umorientierung der menschlichen Aufmerksamkeit. Beide Arten der Aufmerksamkeitslenkung sind von besonderer Bedeutung für die *visuelle Suche* bzw. für die *geführte Suche*, auf die zu einem späteren Zeitpunkt genauer eingegangen werden soll. [JGQ08, S. 3]

Exogene Reize besitzen die Fähigkeit, die endogene, willentlich durchgeführte Reizverarbeitung durch plötzliches Auftreten zu unterbrechen und sich in der Verarbeitungspriorität vor endogene Reize zu stellen. Dies ermöglicht es dem Menschen, schnell auf neu auftretende Reize aus der Umgebung zu reagieren, die von Bedeutung sein könnten. Ein unerwartet heranfliegender Ball, den man aus den Augenwinkeln wahrnimmt, zieht die Aufmerksamkeit auf sich und ermöglicht so ein Ausweichen oder zumindest ein Abblocken, auch wenn man gerade eigentlich in einem Buch gelesen hat. [HKMS11, S. 186] Faktoren, die exogene Aufmerksamkeitsausrichtung auslösen, sind Dinge, die ein hohes Maß an Hervorhebung bzw. Salienz aufweisen und somit die Aufmerksamkeit gleichsam “einfangen” [Fer14, S. 50] – sie ist also stark mit der *Bottom-up-Wahrnehmung* verknüpft [BI13, S. 187]. Entsprechend ist sie also an Reize gebunden und geschieht passiv. [BTD12, S. 50] Aufgrund dessen sollte die Salienz als Beschreibung für Bottom-up-Einflüsse genutzt werden. [LCN13, S. 4] Willentlich gelenkte Aufmerksamkeit ist hinsichtlich der einsetzbaren Ressourcen begrenzt [Fer14, S. 50]. *Bottom-up-gesteuerte* Aufmerksamkeit entnimmt simple Eigenschaften, wie etwa Farbe oder Intensität, aus den visuell gewonnenen Informationen. Der *Top-down-gesteuerten* Aufmerksamkeit fällt die Aufgabe zu, die untereinander konkurrierenden visuellen Reize zu modulieren. [BZR12, S. 2] Visuelle Aufmerksamkeit kann also zusammenfassend als ein interaktiv ablaufender Prozess verstanden werden, der sowohl durch Top-down-Verarbeitungsmechanismen als auch durch Bottom-up-Verarbeitungsmechanismen Beeinflussung erfährt. [LBF05, S. 910]

Selektive visuelle Aufmerksamkeit

Die *selektive visuelle Aufmerksamkeit* verknüpft die visuelle Aufmerksamkeit mit- samt ihrer Eigenschaften (Beeinflussung durch Bottom-up wahrgenommene Stimuli sowie Top-down bekanntes Wissen [LBF05, S. 910]) besonders eng mit dem Merkmal der Selektivität. Zur Beschreibung derselben haben sich innerhalb der Forschung

drei Kernansätze herauskristallisiert, die an dieser Stelle zusammengefasst erläutert werden sollen.

Der erste Kernansatz begreift die selektive visuelle Aufmerksamkeit als *ortsbasiert* [HKMS11, S. 184]. Hierbei wird bei einem ersten Teilansatz auf die bereits erwähnte Lichtkegelmetapher zurückgegriffen, sodass man sich die selektive visuelle Aufmerksamkeit als an bestimmten Orten konzentriert vorstellen kann – Reize an Orten, die vom “Aufmerksamkeits-Lichtkegel” erfasst werden, erfahren schnellere und bessere Verarbeitung als Reize von anderen Orten. [HKMS11, S. 184]

Der zweite Kernansatz begreift die selektive visuelle Aufmerksamkeit als *objektbasiert* [HKMS11, S. 184]. Es wird angenommen, dass die Aufmerksamkeit im Sichtfeld nicht auf abstrakt definierte Orte ausgerichtet wird, sondern dass die Ausrichtung auf Objekte an bestimmten Orten erfolgt. Im Unterschied zur ortsbasierten Aufmerksamkeit kann sie nicht auf einen Ort zur selben Zeit, sondern auf ein Objekt zur selben Zeit gerichtet sein – nicht die Größe des “Aufmerksamkeits-Lichtkegels” definiert die Grenzen der Aufmerksamkeit, sondern die Konstante des einzelnen Objektes. [HKMS11, S. 188-189] Es wird davon ausgegangen, dass der Mensch, wenn er sich einem visuell wahrnehmbaren Objekt zuwendet, mithilfe der Aufmerksamkeit im Normalfall zunächst dessen globale, “grobe” Eigenschaften erfasst, bevor lokale, “feinere” Detailsigenschaften des Objektes wahrgenommen werden. Für diesen Wechsel der Aufmerksamkeit zwischen globalen und lokalen Objekteigenschaften wird ein Zwischenschritt vermutet, der die Umorientierung der Aufmerksamkeit zwischen beiden Stufen regelt. [MMBG06, S. 775]

Im dritten Kernansatz, der auch innerhalb dieser Arbeit als Grundlage dienen soll, wird von *dimensionsbasierter* Aufmerksamkeit ausgegangen [HKMS11, S. 184]. Der objektbasierte Aufmerksamkeitsansatz stößt bei Objekten mit großer Ähnlichkeit an seine Grenzen, da alle Objekte potentiell den selben Grad an Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Die Ausrichtung der visuellen Aufmerksamkeit unter solchen Gegebenheiten wird damit zu erklären versucht, dass Merkmale, die den einander ähnelnden Objekte eigen sind, zur Bestimmung der “Aufmerksamkeits-Anziehungskraft” herangezogen werden. Hierbei wird von *Dimensionen* der Attribute, welche Objekte besitzen, gesprochen. Bei gleichförmigen, aber unterschiedlich gefärbten Luftballons etwa könnte die Farbdimension zur Ausrichtung der Aufmerksamkeit genutzt werden. [HKMS11, S. 189] Ein tiefergehender Ansatz der dimensionsbasierten Aufmerksamkeit, der *Dimensions-Gewichtungs-Ansatz*, nimmt an, dass den verschiedenen

Dimensionen ein bestimmter Anteil an “Aufmerksamkeitsgewicht” aus einem festen Kontingent desselben zugeteilt wird. Das bedeutet, dass nach der Gewichts-zuteilung für eine Dimension die Verarbeitung von Reizen aus allen Objekten, die unter diese bereits gewichtete Dimension fallen, erleichtert ist und dass insgesamt weniger Gewicht für andere Dimensionen übrig bleibt. [MKS15, S. 34] Die dimensionsbasierte visuelle Aufmerksamkeit wird auch von einer in der Forschung breit verwendeten Methode genutzt – gemeint ist die *visuelle Suche*. [HKMS11, S. 189] Diese ist von enormer Bedeutung für das Spielen von digitalen Spielen – schließlich sucht der Spieler stets nach Spielinhalten, sei es nach nutzbaren Gegenständen in einem Point-and-Click-Adventure oder nach gegnerischen Einheiten in einem Echtzeitstrategiespiel. Aufgrund dessen soll die visuelle Suche im Nachfolgenden genauer erläutert werden, nachdem kurz auf einige Eigenheiten der visuellen Aufmerksamkeit eingegangen wurde.

Es existieren bestimmte Faktoren und Umstände, welche die visuelle Aufmerksamkeit auf recht ungewöhnliche Art und Weise beeinflussen können. Eines dieser Phänomene stellt die sogenannte *Unaufmerksamkeitsblindheit* (eng.: “inattentional blindness”) dar [Bak20, S. 63], welche die *verdeckte Aufmerksamkeit* betrifft [LLCK16, S. 400]. Die *verdeckte Aufmerksamkeit* beschreibt eine von außen nicht sichtbare Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf einen Reiz, den der Mensch lediglich in seiner peripheren Sicht wahrgenommen hat. Von *offener Aufmerksamkeit* wird gegenteilig gesprochen, wenn der Mensch sich einem Reiz, der unbeabsichtigt seine Aufmerksamkeit erregt oder auf den er sich mit Absicht fokussieren will, sichtbar zuwendet. Der Fokus der Aufmerksamkeit wird hierbei schneller verschoben, als die zugeordnete Sakkade erfolgt. [BTD12, S. 51-52] Unaufmerksamkeitsblindheit tritt in Erscheinung, wenn der Mensch die besagte Aufmerksamkeit so intensiv auf seine derzeitige Aufgabe ausrichtet, dass Informationen, welche für die Aufgabe nicht relevant sind, förmlich “ausgeblendet” werden [BZW11, S. 153]. Zudem kann sie auftreten, wenn der Mensch an die Grenze seiner Verarbeitungskapazitäten gelangt und daher einer Überlastung unterliegt [HKMS11, S. 194]. Zwar könnten diese Informationen auch wahrgenommen werden, dies jedoch nicht bewusst. [HKMS11, S. 16] Je schwerer die zu absolvierende Aufgabe ist, desto mehr Aufmerksamkeitsressourcen müssen dafür aufgewandt werden, was die freie Ressourcenmenge, die für irrelevante Aspekte zur Verfügung steht, natürlich verringert. [BZW11, S. 153] Auch die *Ähnlichkeit* der irrelevanten Informationen und Ereignisse gegenüber relevanten Dingen spielt eine Rolle beim Ausmaß der Unaufmerksamkeitsblindheit. [MS09, S. 5] Diese kann kon-

sequenterweise auch beim Interagieren mit digitalen Spielen auftreten, da auch diese als Aufgaben bzw. Anhäufung von Aufgaben betrachtet werden können. [BZW11, S. 153]

Visuelle Suche

Die *visuelle Suche* ist ein besonderer Vorgang im Bereich der visuellen Aufmerksamkeit, welcher der Umgebungsexploration dient. Bedient man sich der *Lichtkegelmetapher der Aufmerksamkeit*, die im Vorangegangenen behandelt wurde, lässt sich die visuelle Suche als ein Umherwandern des “Aufmerksamkeits-Lichtkegels” zwischen Positionen im Raum beschreiben. Auch während der visuellen Suche greift die präattentive Wahrnehmung, weshalb beim Suchen nach einem lediglich durch ein einzelnes Merkmal unterschiedliches Objekt in einer Objektgruppe auch die sogenannte *Popout-Suche* vorkommt. Ein Beispiel hierfür wäre das Suchen eines einzelnen weißen Balls in einer Ansammlung schwarzer Bälle – der weiße Ball sticht für den Suchenden visuell hervor. Die schnell vonstatten gehende Popout-Suche besitzt die Besonderheit, dass eine Erhöhung der Gesamtzahl an präsentierten Objekten die benötigte Suchzeit nicht erhöht. Die attentive Wahrnehmung kommt in der visuellen Suche dann zum Einsatz, wenn gezielt nach einem Objekt gesucht werden muss, das mehrere Eigenschaften in sich vereint und sich unter weiteren Objekten, die anders kombinierte Eigenschaften aufweisen, verbirgt. Als Beispiel könnte hier das Suchen nach einem einzelnen, fett gedruckten “E” in einer Anhäufung von “F”- und “E”-Buchstaben dienen, die teils fett gedruckt und teils normal geschrieben sind – hier gilt es mit der Art des Buchstaben und dem Schrifttyp zwei Faktoren richtig zu kombinieren, um das besondere “E” zu finden. Um dies zu erreichen, müssen alle Positionen, an denen Stimuli bzw. Objekte vorhanden sind, durch serielles Vorgehen analysiert, also der Reihe nach durchgesehen werden. Im Gegensatz zur Popout-Suche steigt die nötige Suchzeit der aktiven Suche linear, wenn die Zahl an zu untersuchenden Objekten erhöht wird. [BTD12, S. 49-50]

3. Visuelle Störfaktoren

In diesem Kapitel soll es darum gehen, den Begriff der *visuellen Störfaktoren* innerhalb der vorliegenden Arbeit zu definieren. Daraufhin soll nach einer Ausführung darüber, auf welche Faktoren und Eigenschaften der Wahrnehmung im Rahmen des Experiments abgezielt werden soll, eine Sammlung an potentiell nutzbaren Störfaktoren zusammengetragen werden. Aus dieser Zusammenstellung sollen im Anschluss einige Faktoren zur Umsetzung ausgewählt und deren Wahl begründet werden.

3.1. Grundlagen zu visuellen Störfaktoren

In den vorigen Kapiteln wurde dargelegt, wie das menschliche Sehen funktioniert und wie die Aufmerksamkeit beim Menschen wichtige Informationen aus allen Wahrnehmungen filtert. Um nun die menschliche Aufmerksamkeit und optische Wahrnehmung im Kontext eines Computerspiels stören zu können, muss zunächst definiert werden, was man unter einem *visuellen Störfaktor* zu verstehen hat.

3.1.1. Definition visueller Störfaktoren

Der Begriffsbestandteil *visuell* kann recht eindeutig erklärt werden: Er bedeutet nichts anderes, als dass ein ihm zugeordneter Störfaktor mithilfe der Augen wahrgenommen und so vom Gehirn verarbeitet werden kann, wie es auch andere visuelle Reize interpretiert. Er wird also auch mittels Lichtwellen übertragen, über welche beispielsweise die wahrgenommene Farbe und Helligkeit des Reizes festgelegt ist.

Die Definition des Begriffes *Störfaktor* hingegen gestaltet sich ein wenig aufwändiger. Im Kontext dieser Arbeit soll unter einem Störfaktor ein (visueller) Sinnesreiz verstanden werden, der den Spieler eines Spiels dazu veranlasst, seine Aufmerksamkeit zu seinen Ungunsten zu verschieben. Anders ausgedrückt richtet der Spieler seine

Aufmerksamkeit durch den Einfluss des Störfaktors nicht mehr großteils bzw. alleinig auf eine wichtige Information oder einen Inhalt aus, was ihm einen Vorteil verschaffen würde. Ein Beispiel für eine solche wichtige Information könnte ein neu auf dem Bildschirm erscheinender Gegner sein. Stattdessen richtet er zumindest Teile oder auch einen Großteil seiner Aufmerksamkeitsressourcen freiwillig oder unfreiwillig auf einen Sachverhalt oder ein Geschehen aus, das ihm in seiner aktuellen Situation keinen Vorteil verschafft. Als Beispiel für so eine unnütze Information könnte etwa ein Pop-Up mit Werbung innerhalb eines digitalen Spiels dienen. Hierbei ist zu beachten, dass Störfaktoren immer in Bezug auf den Kontext und die Situation, in dem sie auftreten, zu sehen sind – was in der einen Sekunde unwesentlich ist, kann schon in der nächsten von großer Bedeutung für den Spieler und seinen Erfolg sein.

3.1.2. Lenken und Beeinflussen der Aufmerksamkeit im Rahmen des Experiments

Im vorangegangenen Abschnitt 2.3 wurden die Funktionsweisen und Grundlagen verschiedener Mechanismen und Vorgänge der menschlichen visuellen Wahrnehmung beschrieben und erklärt. Im Folgenden soll es darum gehen, mithilfe dieser zusammengetragenen Kenntnisse herauszufiltern, welche Eigenschaften und Gegebenheiten genutzt werden können, um Störfaktoren zu erstellen.

Ziel der Störfaktoren soll es sein, zusätzlich zur normalen Aufgabe der Probanden (dem Spielen des Spiels) möglichst viele *Aufmerksamkeitsressourcen* zu binden. Dies soll durch das Hervorrufen *geteilter Aufmerksamkeit* bewerkstelligt werden, die sich neben den relevanten Spielreizen auch um die irrelevanten Ablenkungsstimuli kümmern muss. Umgesetzt werden kann dies, indem die ablenkenden Stimuli zusätzlich zum normalen Spielgeschehen in das Spiel eingebaut werden, ohne damit die grundlegenden Spielmechaniken zu verändern.

Allgemein kann festgelegt werden, dass möglichst saliente Eigenschaften bzw. Objekte genutzt werden sollen, um die (selektive) Aufmerksamkeit der Spieler von wichtigen Inhalten auf weniger wichtige zu lenken. Angesichts der Annahme von *dimensionsbasierter Aufmerksamkeit* im Rahmen der Versuche soll sich auf einzelne Wahrnehmungsdimensionen konzentriert werden, um diese miteinander vergleichen zu können und den hohen Mehraufwand, den die Einbeziehung von Merkmalskombinationen mit sich bringen würde, zu begrenzen. Betrachtet man die *visuelle Su-*

che, benötigt die Suche nach einer Kombination von Eigenschaften zwar attentive Wahrnehmung und ist generell schwieriger, was den Schluss zulässt, dass vereinigte Faktoren mehr Ablenkungspotential besitzen; dennoch soll aus dem zuvor genannten Grund auf Eigenschaftskombinationen nach Möglichkeit verzichtet werden.

Es soll nach Möglichkeit auf *Bottom-up-Prozesse* abgezielt werden, da diese sehr stark von der Salienz wahrgenommener Reize abhängig sind. Zwar laufen diese gemeinhin schneller ab und benötigen keine zusätzliche Gedächtnisleistung wie Top-down-Prozesse, dennoch haben sie den Vorteil, dass die Versuchspersonen keine Einflüsse auf sie nehmen können. Somit kann festgelegt werden, dass *exogene Einflüsse* benutzt werden sollen, da diese große Salienz aufweisen und Bottom-up-beeinflusst sind; zudem können diese unwillentlich mit Aufmerksamkeit bedachten Reize endogene Stimuli (also solche, denen willentlich Aufmerksamkeit zugeteilt wird) förmlich überlagern, was sie als Störfaktoren geradezu prädestiniert. Bottom-up-Führung findet zwar nicht nur auf einer Ebene statt, sondern auch auf allen anderen Ebenen eines Spiels [CM22, S. 24], dennoch soll sich hier aus Gründen des Umfangs auf eine Spielebene beschränkt werden. Genauere Angaben hierzu werden in Abschnitt 4.1 getätigt.

Zudem ist ein Abzielen auf die *präattentive Wahrnehmung* zweckdienlich: Zwar benötigt sie kaum Aufmerksamkeit bzw. Aufmerksamkeitsressourcen, der Mensch ist jedoch nicht in der Lage, sich ihrer zu erwehren – das Unterdrücken präattentiver Wahrnehmungen ist nicht möglich. Für das Experiment wäre es zwar von Nutzen, auf die *attentive Wahrnehmung* abzielen, da diese mehr Aufmerksamkeit benötigt; dennoch soll auf die präattentive Wahrnehmung abgezielt werden. Letztere besitzt eine bessere Eignung für das Experiment, da sie saliente Reize nicht einfach auszublenken vermag. Zudem kann angenommen werden, dass präattentiv wahrgenommene Störstimuli mit genügend hoher Salienz zusätzlich attentive Aufmerksamkeit auf sich ziehen könnten, was mit einer erhöhten Ressourcennutzung und Ablenkung einherginge.

Im Folgenden soll der Prozess des Zusammentragens und Selektierens von Störfaktoren für die Durchführung des Experiments behandelt werden.

3.2. Sammlung und Auswahl möglicher Störfaktoren

Es wurde bereits eine Vielzahl von Studien dazu durchgeführt, wie die visuellen Schnittstellen bzw. Darstellungen (eng.: “visual interfaces”) in digitalen Spielen die Spieler hinsichtlich Spielerfahrung oder Spielleistung beeinflussen. [CM22, S. 3] Zum Zweck der Recherche wurden verschiedene wissenschaftliche Ausarbeitungen zu Rate gezogen, um mit deren Hilfe eine Sammlung von Eigenschaften und Vorgängen zu erstellen, die zur Lenkung der Aufmerksamkeit (und somit auch zur Ablenkung) dienlich sein könnten. Die im Rahmen der Recherche ermittelten möglichen Störfaktoren im Bereich der visuellen Darstellung wurden in Tabellenform (siehe Anhang B.2) zusammengetragen. Zudem wurden Überlegungen dazu angestellt, ob und auf welche Weise die gesammelten Störfaktoren für die Durchführung des Experiments geeignet wären. Diese Überlegungen finden sich ebenfalls in Form von Stichpunkten in den tabellarischen Aufzählungen.

Für die Durchführung des Experiments wurden drei Kernfaktoren ausgewählt, die genauer untersucht werden sollten: *Farbe*, *Flackern* und *Bewegung*. Natürlich existieren, wie bereits erwähnt, zahlreiche weitere Faktoren und Vorgänge, die zur Lenkung von Aufmerksamkeit (und somit auch zur Ablenkung) genutzt werden könnten; aus Gründen des Umfangs sowie der Auswertbarkeit soll sich allerdings auf die drei genutzten Faktoren konzentriert werden. Zunächst soll die Wahl dieser Kernfaktoren begründet werden, im Anschluss daran folgen weitergehende Ausführungen über deren Natur und Besonderheiten.

3.2.1. Begründung der Wahl der Störfaktoren

Im Folgenden soll die Wahl der drei zu nutzenden Störfaktoren durch verschiedene Argumente begründet werden.

Begründung der Wahl des Faktors “Farbe”

Für *Farbe* als ersten Faktor spricht eine Vielzahl von Argumenten. Zuerst ist sie nach dem Stand der Erkenntnisse dazu in der Lage, die Leistung von Spielern bei der Interaktion mit einem digitalen Spiel zu beeinflussen. [CM22, S. 4-5] Farben beeinflussen im Rahmen von Mensch-Maschine-Oberflächen das Verhalten von Menschen,

die mit diesen Oberflächen interagieren, und können Aufmerksamkeit anziehen, wenn sie richtig eingesetzt werden. [Gon09, S. 264] Zudem gehört Farbe zu jenen Eigenschaften, die über Bottom-up-Prozesse visuell wahrgenommen werden, auf sie wird unbewusst reagiert – unter anderem fallen helle Farben bei der Betrachtung sehr auf. [MMBG06, S. 774] Dies bedeutet, dass sich die Teilnehmer der potentiellen ablenkenden Wirkung nicht entziehen können dürften, was in einer Beeinflussung der Spielerfahrung resultieren könnte. Im Rahmen einer Studie konnte gezeigt werden, dass vor allem große, einheitlich gefärbte Flächen und eine ausgeprägte Helligkeit hohe Salienz aufweisen [JSW19, S. 134] – mit der Wahl des Hintergrundes als zu nutzende Spielebene steht eine große färbbare Fläche zur Verfügung.

Die verschiedenen Eigenschaften der Farbe, die zu einem späteren Zeitpunkt genauer erläutert werden sollen, besitzen wiederum selbst verschieden gute Eignungen zur Lenkung von Aufmerksamkeit. Wie bereits erwähnt ist die *Helligkeit* von Farbe eine dieser Eigenschaften; sie hat zudem großen Anteil daran, dass visuelle Wahrnehmungen aufgrund von Helligkeitsunterschieden in Ebenen eingeteilt werden können. [GWX21, S. 1200] Es konnte des Weiteren festgestellt werden, dass eine Vielzahl leuchtstarker Farben bzw. auch Farben mit hohem *Sättigungsgrad*, die sich im Sichtfeld befinden, zu negativen Reaktionen von Betrachtern führen können – entsprechend kann gefolgert werden, dass die Farbsättigung das generelle Wohlbefinden beeinflussen kann. [JZL11, S. 2032] Starker Sättigung wird eine Signalwirkung zugeschrieben, die teilweise sogar dazu führen kann, dass andere Inhalte durch gesättigte Farben förmlich “überdeckt” werden [BSS17, S. 82]; auch eine große Auswirkung auf die menschliche Kognition ist eine Eigenschaft der Farbsättigung [JWL10, S. 1].

Farbe lässt sich zudem als Faktor gut im Spiel umsetzen, zumal es in *Processing* einen eigenen Zeichenbefehl für den Hintergrund der Szene gibt – es muss lediglich die gewünschte Farbe übergeben werden. Auch der Fakt, dass Farbe im Alltag zur Lenkung von Aufmerksamkeit genutzt wird (man denke beispielsweise an rote Ampeln), unterstützt die Wahl von Farbe als implementierbarer Ablenkungsfaktor.

Begründung der Wahl des Faktors “Flackern”

Der Faktor des *Flackerns* wurde ebenfalls ausgewählt, da er in der Lage ist, im gesamten menschlichen Sichtfeld Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen, ohne dass Elemente hinzugefügt, unterdrückt oder verzerrt werden müssen. Flackern wird auch

in Szenen mit hoher Dynamik eine hohe Effektivität als Attraktor bestätigt. Zudem kann es von Betrachtenden im Rahmen der Arbeit mit grafischen Benutzeroberflächen als Störung wahrgenommen werden. [WLMB⁺14, S. 2456] Von sich bewegenden Elementen kann Flackern gut differenziert werden, was angesichts der sich auf der Spielebene bewegenden Elemente (zum Beispiel die Spielfigur oder Gegner) eine positive Eigenschaft ist. [WLMB⁺14, S. 2457] Hinweisreize wie etwa Farbwechsel oder Aufblitzen sind dazu fähig, die visuelle Belastung von Nutzern zu erhöhen und folglich auch die Nutzererfahrung zu beeinträchtigen. [HL21, 168] Ein Farbwechsel (als ein solcher kann Flackern auch betrachtet werden) ist in der Lage, die kontrolliert durchgeführte visuelle Suche während eines stattfindenden Selektionsprozesses zu umlaufen. Daraus können eine Verringerung der Verarbeitungszeit sowie eine Einsparung kognitiver Ressourcen erwachsen, dennoch unterstützt diese Tatsache die Annahme, dass Flackern ein salienter Faktor und daher zur Ablenkung geeignet sein dürfte. [JGQ08, S. 11] Zudem wurde Flackern durch das Wechseln der Hintergrundfarbe als gut in `Processing` umsetzbar eingeschätzt.

Begründung der Wahl des Faktors “Bewegung”

Bewegung stellt den dritten Faktor dar, der untersucht werden soll. Dies liegt unter anderem darin begründet, dass schnelle Bewegung (ähnlich wie helle Farben) über Bottom-up-Prozesse der visuellen Aufmerksamkeit verarbeitet wird und der Mensch deshalb unbewusst auf sie reagiert. [MMBG06, S. 774] Durch diese Aktivierung von Bottom-up-Prozessen erweist sich Bewegung als geeigneter Störfaktor. Schließlich kann auch die Tatsache, dass Bewegung bereits aktiv zur Lenkung von Aufmerksamkeit genutzt wird – etwa in Form von sogenannten “Moticons”, also Symbolen auf Desktopoberflächen, die durch das Ausführen einfacher Bewegungen Aufmerksamkeit auf sich ziehen – als Begründung für die Wahl des Faktors *Bewegung* aufgeführt werden. [WLMB⁺14, S. 2457]

3.2.2. Aufschlüsselung der gewählten Störfaktoren

In den folgenden Abschnitten soll es darum gehen, die einzelnen Störfaktoren genauer zu definieren und für das Experiment nutzbare Eigenheiten derselben herauszuarbeiten.

Farbe und ihre Eigenschaften

Einen der ausgewählten Faktoren, die menschliche Aufmerksamkeit zu lenken (und entsprechend auch abzulenken) vermögen, stellt die *Farbe* dar. Bereits im Abschnitt 2.2 wurden einige grundlegende Dinge zu Farbe und ihrer Wahrnehmung behandelt; hier sollen diese Kenntnisse ausgeweitet werden.

Farbe ist zunächst als subjektiv zu betrachten, da es sich um eine menschliche Empfindung handelt. Sie ist nicht, wie man intuitiv meinen will, eine Eigenschaft, die uns umgebenden Objekten physikalisch innewohnt. Stattdessen resultiert sie aus der mit den Augen möglichen Wahrnehmung und Interpretation von elektromagnetischen Wellen, die in den häufigsten Fällen von Oberflächen reflektiert worden sind.

Physikalisch lässt sich ein Farbreiz durch die ihm zugeordnete Wellenlänge beschreiben. Im Bereich der Wahrnehmung ist es allerdings zweckdienlicher, sich der psychologischen Definition von Farbe zu bedienen. Ein Farbeindruck lässt sich ihr entsprechend mithilfe von drei Kerneigenschaften bzw. *Dimensionen* beschreiben, die im Folgenden genauer erläutert werden sollen. [HKMS11, S. 80]

Die erste Dimension stellt der *Farbton* dar, der dem Farbeindruck entspricht. [HKMS11, S. 80] Dieser wird auch als *Hue* bezeichnet (abgekürzt mit “H”). Unter der Annahme, dass alle Farben maximal gesättigt sind, bilden die unterschiedlichen Farbton-Werte die Farben nach, die in Farbkreisen bzw. im Regenbogen auffindbar sind. [Ros21b, S. 3] Der Farbton resultiert aus der Wellenlänge, die das wahrgenommene Licht besitzt. [Abb19, S. 53]

Die zweite Dimension wird *Sättigung* genannt und benennt den Weißanteil, der in einem Farbreiz vorliegt. [HKMS11, S. 80] Abgekürzt wird sie mit “S”. Je geringer der Sättigungs-Wert ist, desto mehr gerät die betrachtete Farbe ins Graue. [Ros21b, S. 3] Entsprechend kann die Sättigung auch als der Grad an Abweichung betrachtet werden, den eine beliebige Farbe mit einem Hue-Wert von einem Grauton derselben Helligkeit besitzt. Daher ist sie auch ein wichtiges Indiz dafür, wie lebendig eine Farbe auf den Menschen wirkt. Auf *Farbemotionen* (eng.: “color emotions”), die durch Farbkombinationen oder einzelne Farben ausgelöst werden, hat die Sättigung zusammen mit der Helligkeit große Einflussnahme: Gesättigte Farben können gut visuell wahrgenommen werden und ein Gefühl von Stärke und Aktivität vermitteln, während Farben, die kaum oder mittelmäßig gesättigt sind, weniger gut sichtbar sind und zu Empfindungen von Schwermut (eng.: “gloominess”) und Negativität führen

können. Diese Darstellung kann jedoch als stark vereinfacht bezeichnet werden, da neben den Farbdimensionen auch menschlichen Eigenheiten und andere Einflüsse die Verbindung von Emotionen und Farbe beeinflussen; trotzdem soll sie an dieser Stelle genügen. [JWL10, S. 1] Farben mit hoher Sättigung weisen einen ausgeprägten Signalcharakter auf und eignen sich daher gut dafür, Aufmerksamkeit auf etwas zu lenken. [BSS17, S. 82] Große Oberflächen und Lichtquellen, die Farben mit hoher Sättigung nutzen, können bei Menschen zu Kopfschmerzen führen, vor allem die Farbe Rot zeigt diese Auswirkung. [Wil15, S. 7]

Die dritte Dimension, die *Helligkeit*, beschreibt, wie groß die Lichtintensität des Farbreizes ist. [HKMS11, S. 80] Im Englischen wird dieser Wert auch *Value* genannt (abgekürzt mit "V"). Der größtmögliche Wert von Helligkeit sorgt für ein Übergleiten der Farbe in Weiß, gegenteilig führt der Minimalwert an Helligkeit zum Übergang in Schwarz. [Ros21b, S. 3] Diese Dimension lässt sich als Beschreibung der Intensität der Lichtwellen (die physikalische Messung derselben erfolgt als *Leuchtdichte* [HKMS11, S. 68]) erklären – höhere Intensität der Wellen ist äquivalent zu größerer Helligkeit. Helligkeit ist ein wichtiger Faktor, wenn es darum geht, visuelle Szenen im Rahmen der Interaktion mit Mensch-Maschine-Schnittstellen in Ebenen wie Vordergrund und Hintergrund aufzuteilen. [GWX21, S. 1200] Dementsprechend ist Helligkeit ein wichtiger Faktor, wenn es darum geht, Kontraste zu erzeugen – nicht nur die Leuchtdichte reflektierten Lichtes beeinflusst die Helligkeitswahrnehmung, sondern auch Unterschiede der Helligkeit zwischen verschiedenen Flächen. Die so erzeugten Kontraste sind für Konturwahrnehmung von Objekten wichtig. Dies schlägt sich beispielsweise im Begriff des *Ganzfeldes* nieder: Ein Sichtfeld ohne verschiedene Helligkeiten bzw. Kontraste verhindert Wahrnehmung einfach – ein Beispiel wäre eine völlig homogene Nebelwand. Der Effekt der *Helligkeitskonstanz* hingegen beschreibt, dass die Wahrnehmung der Helligkeit von Objektoberflächen auch bei Änderungen der Beleuchtung konstant bleibt; so wird ein weißes Stück Papier stets weiß erscheinen, wenn man die Beleuchtungsumstände variiert. Die Helligkeitskonstanz kann dadurch gesichert werden, dass das menschliche Visualsystem nicht allein das Licht und seine Intensität zur Auswertung nutzt, sondern auch den Umgebungskontext (also die Helligkeit in der Umgebung) mit einbezieht. [HKMS11, S. 67-69]

Mithilfe dieser drei Dimensionen lässt sich der *HSV-Farbraum* aufspannen, mit dem Farbzusammensetzungen mathematisch beschrieben werden können.

Verschiedene Farben interagieren untereinander [HKMS11, S. 81-82]. Diese gegenseitigen Einwirkungen werden unter dem Begriff *Kontraste* zusammengefasst und können auch zur Einflussnahme auf die Aufmerksamkeit – und somit auch auf die Spielerfahrung – genutzt werden. Da sich hier jedoch auf die Eigenschaften einzelner Farben konzentriert werden soll, sollten diese Farbwechselwirkungen lediglich kurz Erwähnung finden.

Farben werden von Menschen unterschiedlich wahrgenommen. Dies liegt nicht nur an eventuellen biologischen oder medizinischen Unterschieden, sondern die Farbwahrnehmung wird ebenfalls durch das kulturelle Umfeld und eigens gemachte Erfahrungen bestimmt [BSS17, S. 76], wobei der kulturelle Hintergrund vergleichsweise wenig Einfluss nimmt [JWL10, S. 1]. Die Unterschiedlichkeit der Farbwahrnehmungen liegt unter anderem auch im menschlichen Auge begründet. Über große Distanzen können verschiedene Farben, um ein Beispiel zu nennen, unterschiedlich einfach wahrgenommen werden: Rot wird am einfachsten identifiziert, darauf folgt Grün, danach Gelb und schließlich Weiß – mit der einfachen Erkennbarkeit von Rot kann etwa die Verwendung dieser Farbe bei Warn- und Verkehrsschildern begründet werden. [SX10, S. 1555] *Warme Farben*, wie etwa Rot, Gelb oder Orange, werden allgemein mit Freundlichkeit und Nähe assoziiert; *kalte Farben*, wie Blau und Violett, haben die Wirkung von Distanziertheit und Sachlichkeit. [BSS17, S. 82] Rot und Gelb stellen in sich bereits saliente Farben dar. [BZW11, S. 158] Reine Farben, warme Farben und Farben mit hoher Luminanz werden als *herankommende Farben* (eng.: “advance color”) eingestuft und werden durch relativ große Wellenlängen erzeugt. Beispiele für solche Farben sind Gelb, Orange und Rot. Das Gegenteil bilden die *zurücktretenden Farben* (eng.: “retreat color”), zu denen beispielsweise die im Vergleich kurzwelligeren Farben Violett, Blau und Grün zählen. Die Benennung geht hierbei auf das subjektive Empfinden von Menschen angesichts dieser Farben zurück. Kalte, graue und “tote” Farben rufen gegenteilig das Gefühl hervor, dass die Farbe sich zurückzieht. Entsprechend ist es möglich, herankommende Farben für das Hervorheben von Informationen oder für vordergründige Objekte zu nutzen, während zurücktretende Farben oft mit Hintergründen assoziiert werden – Farben vermögen also auch Szenen zu unterteilen. [ZW09, S. 1876-1877]

Flackern und dessen Eigenschaften

Flackern kann allgemein als ein zeitgebundenes, durch hohen Kontrast gekennzeichnetes Muster definiert werden [GA20, S. 3]. Spezifischer kann Flackern als zeitabhängige Änderungen der Helligkeit, die schnell aufeinander ablaufen, beschrieben werden. [Wil15, S. 6] Vorübergehende Änderungen der Luminanz bzw. Helligkeit haben sich als sehr wirkstarke Auslösestimuli exogener Art herausgestellt [KM17, S. 110], was eine gute Eignung von Flackern als Störfaktor bedeutet. Wahrnehmbar sind solche Veränderungen bei niedrigen Frequenzen. [Wil15, S. 6] Flackern besitzt zwei Parameter, mittels deren es beschrieben und beeinflusst werden kann: Die zuvor erwähnte Frequenz und die Amplitude. [WLMB⁺14, S. 2457] Die Betrachtung von Flackern kann Unwohlsein hervorrufen, vor allem dann, wenn die Frequenz des Flackerns sich in der Mitte des Wahrnehmungsbereiches des Menschen befindet [GA20, S. 3] – sogar Anfälle können durch diesen Faktor ausgelöst werden [Wil15, S. 6]. Flackern kann den visuellen Hirnkortex massiv stimulieren [GA20, S. 3] und daher *visuellen Stress* hervorrufen [GA20, S. 2]. Ein salientes Aufblitzen (eng.: “salient flashing”) besitzt die Fähigkeit, die visuelle Belastung eines betrachtenden Individuums zu erhöhen und somit die Nutzererfahrung zu stören [HL21, S. 168] – da Flackern als ein Aufblitzen durch Farbwechsel bzw. Wechsel der Farbeigenschaften eingestuft werden kann, ist es möglich, eine ähnliche Wirkung von Flackern anzunehmen. Flackern kann als ein Faktor eingestuft werden, der im gesamten Sichtfeld die Aufmerksamkeit von Betrachtern auf sich ziehen kann, auch in Szenen, die einen Grad an Dynamik aufweisen [WLMB⁺14, S. 2456].

Bei Menschen, die von photosensitiver Epilepsie betroffen sind, kann Flackern mit einer Frequenz zwischen 4 Hz und 60 Hz Anfälle auslösen. Zudem kann es bei betrachtenden Personen zu Kopfschmerzen führen. Die Wahrscheinlichkeit für Kopfschmerzen und Anfälle ist bei einer Frequenz, die zwischen 15 und 20 Hertz liegt, am höchsten. [Wil15, S. 8]

Verschiedene Eigenheiten des Flackerns sorgen dafür, dass es gut zur Lenkung von Aufmerksamkeit genutzt werden kann. So konnte experimentell gezeigt werden, dass blinkende Zielobjekte ohne große Mühe von sich bewegenden, ablenkenden Objekten unterschieden werden können [WLMB⁺14, S. 2457], obwohl Bewegung ebenfalls einen salienten Faktor bildet. Auch Unterschiede zwischen Flackervorgängen mit unterschiedlichen Frequenzen können sehr einfach ausgemacht werden, wenn das Flackern in kohärenten Phasen geschieht [WLMB⁺14, S. 2457].

Bewegung und deren Eigenschaften

Bewegung kann vom Menschen adaptiv wahrgenommen werden, was ihm das Überleben ermöglicht. Bewegungswahrnehmung unterstützt zudem bei der Erkennung von Objekten, beim Wahrnehmen räumlicher Verhältnisse und beim Steuern der eigenen Bewegungen. Sie ist allerdings nicht davon abhängig, dass sich das Bild von Objekten auf der Retina selbst bewegt – auch wenn der Mensch ein sich bewegendes Objekt mit den Augen verfolgt, wird dessen Bewegung wahrgenommen, wenngleich dessen retinales Bild konstant bleibt. Objekte, die sich selbst nicht bewegen, aber das Sichtfeld durchqueren, werden als im Stillstand befindlich wahrgenommen. [HKMS11, S. 85-86] Die menschliche Wahrnehmung ist also sehr gut darin, den Kontext der Umgebung in die Bewegungswahrnehmung einzubeziehen. Die Wahrnehmung von Bewegungen kann außerdem dabei behilflich sein, Objekte zu identifizieren – Bewegungsmuster oder Geschwindigkeit etwa sind Bewegungsinformationen, die zum Wiedererkennen von Dingen genutzt werden können. [HKMS11, S. 92]

Neuronen, die für Bewegungserscheinungen empfindlich sind, werten sowohl die Richtung der Bewegung als auch ihre Geschwindigkeit aus. Jedoch treten diese Neuronen nicht nur bei realen Bewegungen, wie einem fallenden Ball, in Aktion, sondern es kann auch dazu kommen, dass sogenannte *Scheinbewegungen* wahrgenommen werden. Diese können von den beteiligten Wahrnehmungskomponenten nicht von realen Bewegungsvorgängen unterschieden werden. Diese Scheinbewegungen bezeichnen eine visuelle Täuschung, die entsteht, wenn eine kontinuierlich ablaufende Bewegung eines gesehenen Objektes wahrgenommen wird, obwohl es sich genau genommen nicht um dasselbe Objekt, sondern um zwei gleiche Objekte handelt, die in einem bestimmten zeitlichen und räumlichen Abstand voneinander dargestellt werden. Auf Scheinbewegungen basieren praktisch alle Bewegtbildmedien wie beispielsweise Filme – in der menschlichen Wahrnehmung werden die schnell aufeinander folgenden Bilder als Bewegungsmuster zusammengebaut, es entsteht ein Eindruck von Bewegung. [HKMS11, S. 88]

Bewegung ist ein Faktor, der durch Bottom-up-Prozesse wahrgenommen werden kann, sie wird also entsprechend schnell und ohne aktives Zutun verarbeitet. [MMBG06, S. 774] Somit kann eine gute Eignung von Bewegung als Störfaktor festgestellt werden, zumal die Wichtigkeit der Bewegungswahrnehmung für das Überleben impliziert, dass der Mensch Bewegungen gut wahrnehmen kann, sie also einen salienten Faktor darstellen.

4. Implementierung

Nach der erfolgten genaueren Aufschlüsselung der gewählten Störfaktoren soll nun die Implementierung derselben in das 2D-Spiel **SkyInvaders** betrachtet werden. Zu Beginn dieses Kapitels soll die Konzeption des Versuchsaufbaus erläutert und begründet werden. Darauf sollen ein kurzer Umriss des bereits vor Beginn der Implementierung vorhandenen Funktionsstandes des Spiels sowie eine Anforderungsanalyse folgen. Danach sollen zunächst allgemeine Änderungen, die in **SkyInvaders** umgesetzt wurden, beschrieben werden, bevor eine Erklärung der Implementierung der gewählten visuellen Störfaktoren folgt. Wichtig ist hierbei, dass **SkyInvaders** bzw. “das Spiel” stets die Sammlung aller acht umgesetzten Level beschreibt, sofern nicht anders angegeben.

4.1. Herleitung der Konzeption des Experiments

Der Aufbau eines Spiels aus verschiedenen Ebenen, wie in Abschnitt 2.1 beschrieben, bedeutet auch, dass jegliche Störfaktoren theoretisch in jeder dieser Ebenen auftreten könnten. Um den Umfang dieser Arbeit einzugrenzen, wurde lediglich die Hintergrundebene als Quelle von Störfaktoren betrachtet. Diese Auswahl geschah anhand der Überlegungen, die im Anhang B.1.4 tabellarisch dargestellt sind. Neben dieser Tabelle befinden sich im Anhang B.1 auch Screenshots des Spiels **SkyInvaders**, welche die Aufteilung des Spiels in Ebenen visualisieren. Natürlich können auch Spielebene und Vordergrundebene Störfaktoren beinhalten, dennoch wurde im Rahmen des Experiments lediglich der Hintergrund in die Versuche einbezogen.

Das erste Level, das die Teilnehmer spielen sollten (**Level 1**), wurde vor allem als Einstiegslevel konzipiert: Die Testpersonen sollten zunächst das Spiel und seine Mechaniken kennenlernen, bevor sie Level mit integrierten Störfaktoren in Angriff nehmen würden. Auf diese Weise sollte eine potentiell schlechtere Leistung im ersten Level mit Störfaktoren (**Level 2**) verhindert werden, die möglich gewesen wäre,

wenn die Spieler und Spielerinnen direkt in diesem Level eingestiegen wären. Der Hintergrund des ersten Levels war in Anlehnung an den realen Himmel in einem helleren Blauton gehalten, der sich aus folgenden Farbeigenschaften zusammensetzte: Einem Farbwert von 200, einer Sättigung von 63 sowie einer Helligkeit von 100. Die Sättigung wurde auf einen relativen Mittelwert gesetzt, um eine Ausgeglichenheit der Sättigung in Bezug auf die darauffolgenden Level zu erreichen, was im nächsten Absatz genauer erklärt werden soll. Der maximale Helligkeitswert wurde gewählt, um die Farbe himmelsähnlich und ansprechend wirken zu lassen. Somit ergab sich für das erste Level eine Hintergrundfarbe, die sich durch den Hexwert `#5EC9FF` darstellen lässt.

Die darauffolgenden drei Level implementierten den statischen Störfaktor *Farbe*. Hierbei war es notwendig, sich auf eine der drei Farbeigenschaften (*Farbwert*, *Sättigung*, *Helligkeit*) zu beschränken, um die Umsetzbarkeit des Experiments durch Begrenzung des Implementierungs-, Durchführungs- und Auswertungsaufwandes zu gewährleisten. Aufgrund der in Abschnitt 3.2.2 dargestellten Eigenschaften der Sättigung wurde diese als zu untersuchender Subfaktor der Farbe ausgewählt. Schließlich fand eine weitere Eingrenzung statt, in deren Rahmen eine dreiteilige Abstufung des Sättigungsgrades beschlossen wurde. Alle Level, mit deren Hilfe die Auswirkungen der Farbsättigung untersucht werden sollten, bekamen für den Hintergrund eine Helligkeit von 100 und einen Farbwert von 25 zugeteilt. Das durch den Farbwert erzeugte Orange im Hintergrund wurde gewählt, da es sich deutlich vom Blau des ersten Levels abhob, als Mischung von Rot und Gelb hohe Salienz aufwies und ein Gefühl des Näherkommens erzeugen sollte. Level 2 erhielt einen niedrigen Farbsättigungsgrad von 25, bei Level 3 wurde der Sättigungswert auf 63 festgelegt, Level 4 wurde die maximale Sättigung von 100 zugewiesen. Das Setzen des niedrigsten Sättigungswertes bei 25 mag ungewöhnlich erscheinen, ein Wert von 0 hätte allerdings den gesamten Hintergrund in Weiß erscheinen lassen – der Spieler sollte trotz niedriger Sättigung die eigentliche Farbe erkennen können. Ein Vergleich der bei Orange-Tönen mit höherer Sättigung erreichten Ergebnisse mit denen eines weißen Hintergrundes erschien nicht zielführend. Aus dieser Wahl des Minimalwertes resultierte auch die Wahl des mittleren Sättigungswertes, da 63 als am nächstliegenden zum Mittelwert zwischen 25 und 100 kalkuliert wurde. Level 2 erhielt somit den Farb-Hexwert `#FFDABF`, Level 3 den Farb-Hexwert `#FFA15D` und Level 4 den Farb-Hexwert `#FF6A00`.

Die anschließenden Spielabschnitte, **Level 5** und **Level 6**, dienten der Untersuchung des dynamischen Faktors *Flackern*. Beide Level nutzten hierbei Hintergrundfarben mit einem Farbwert von 200 und einer Sättigung von 63. Den beiden genutzten Blautöne wurde jedoch ein deutlich erkennbarer Helligkeitsunterschied zugewiesen. Dieser wurde dadurch umgesetzt, dass der hellere Farbton einen Helligkeitswert von 100 erhielt, während der dunklere lediglich einen Helligkeitswert von 80 zugewiesen bekam. Somit ergab sich für das hellere Blau der Farb-Hexwert **#5EC9FF**, das dunklere Blau erhielt den Farb-Hexwert **#4BA1CC** zur Darstellung. **Level 5** implementierte ein gleichmäßiges Flackern mit einer gleichbleibenden Frequenz von 16,7 Hertz. Dieser Wert liegt am nächsten an der ursprünglich angepeilten Frequenz von 20 Farbwechseln pro Sekunde, der aufgrund der in Abschnitt 3.2.2 erläuterten starken Wirkung gewählt worden war. Durch die Kopplung der Farbwechsel-Funktionalitäten an die Bildrate des Spiels (50 Bilder in der Sekunde) konnte die Frequenz von 20 Hertz nicht umgesetzt werden, weshalb die nächstgelegene mögliche Frequenz (dargestellt im Anhang B.3.1) genutzt wurde. Neben dem gleichmäßigen Flackern im soeben beschriebenen Level wurde in **Level 6** unregelmäßiges Flackern als Störfaktor implementiert, da vermutet wurde, dass dessen Störpotential größer als das von gleichmäßigem Flackern sein könnte. Es wurde gemutmaßt, dass Probanden sich nicht so gut an das Flackern gewöhnen können würden, wenn dessen Frequenz Änderungen unterliegen würde. Es wurden drei Frequenzen ausgewählt, zwischen denen das Level regelmäßig wechseln sollte: 25 Wechsel pro Sekunde als höchstmögliche Frequenz unterhalb der Bildrate des Spiels, 1 Farbwechsel pro Sekunde als niedrigste Frequenz sowie 12,5 Wechsel pro Sekunde als Mittelwert zwischen den beiden genannten Extremausprägungen. Diese sehr unterschiedlichen Frequenzen sollten sicherstellen, dass der Frequenzunterschied von den Versuchspersonen würde bemerkt werden können.

In **Level 7** und **Level 8** sollten die Auswirkungen des dynamischen Faktors *Bewegung* auf die Versuchspersonen getestet werden. Als Hintergrundfarbe wurde hier erneut der Farb-Hexwert **#5EC9FF** genutzt. Während in **Level 7** ein geringer Grad an Dynamik durch sich langsam und gleichmäßig vorbeiziehende Wolken im Hintergrund implementiert werden sollte, wurden in **Level 8** Helikopter-Silhouetten mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten, Flugwinkeln und -richtungen für einen höheren Grad an Dynamik als Implementationsziel festgelegt. Unter *Dynamik* soll hier die Gesamtheit von Bewegungsvariation, -geschwindigkeit und -frequenz verstanden werden.

4.2. Bestandsaufnahme und Anforderungen an das Spiel

Zunächst sollen in diesem Abschnitt die Eigenschaften und Funktionalitäten der ursprünglichen Version von `SkyInvaders` erläutert werden, welche als Grundlage für die Implementation der Störfaktoren diente. Danach sollen die Anforderungen an das Spiel umrissen werden.

4.2.1. Ursprungsfassung des Spiels

Die Grundlage für die verschiedenen Level ist also das bereits vorliegende, ausführbare `SkyInvaders`-Programm. Bei dieser Ursprungsversion von `SkyInvaders` (2020 erstellt in `Processing 3.5.4` und im Rahmen der Implementierung bearbeitet mit `Processing 4.0.1`) handelt es sich um ein 2D-Spiel mit simplen Formen und einem einfachen Spielprinzip. Diese Grundversion des Spiels soll im Folgenden beschrieben werden.

In `SkyInvaders` steuern die Spielenden den Spielcharakter (einen kleinen Panzer) aus der Seitenperspektive. Das Fahren des Panzers nach links oder rechts wird über die Tastatur gesteuert. Mithilfe der Mausbewegung kontrollieren die Spielenden das zum Zielen genutzte Fadenkreuz, der Abschuss von Projektilen wird durch das Drücken und Halten der linken Maustaste bewerkstelligt. Zusätzlich ist es möglich, die Spielgeschwindigkeit über zwei Tasten in 50-Prozent-Schritten zu erhöhen oder zu verringern. Ein simples HUD in Form von grau hinterlegten Rechtecken mit dynamischem Schriftinhalt wird im unteren Siebtel des Spielfensters dargestellt, sodass es den Himmel (und somit auch herunterfallende Gegner) nicht verdecken kann. Die darüber kommunizierten Werte sind die aktuelle Punktzahl (links), die momentane Spielgeschwindigkeit (mittig) und der HP-Wert des Bodens (rechts). Auch das Fadenkreuz, das den normalen Mauscursor ersetzt, kann als HUD-Element gewertet werden.

Die Geschosse, welche Spielende während des Spielens abfeuern, sind Partikel, deren Flugbahn unter Berücksichtigung der Schwerkraft berechnet wird: Sie fliegen nicht unendlich weit in einer geraden Linie, sondern beschreiben im Flug eine Kurve und

fallen schließlich wieder nach unten. Die Schusskraft (und somit auch Schussreichweite und -geschwindigkeit) können Spielende durch die Positionierung des Fadenkreuzes beeinflussen – je weiter das Fadenkreuz vom Panzer entfernt ist, desto mehr Schusskraft wird für jeden Schuss aufgewandt.

Die Aufgabe der Spielenden ist es, die am oberen Fensterrand erscheinenden Gegner in Form von bunten Kreisen (im Folgenden “Blobs” genannt) abzuschießen, bevor diese den Boden erreichen. Die Blobs sind ebenfalls Partikel, die zwischen einem und drei Treffer aushalten und eine vom Spiel verwaltete Heatmap nutzen, um den Projektilen des Spielers zu einem gewissen Grad auszuweichen. Die Gegner fliegen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten auf den Boden zu und nutzen dabei verschiedene Flugwinkel, fallen also nicht nur vertikal nach unten. Je nach der Anzahl der ihnen eigenen Trefferpunkte werden die Blobs in einer anderen Abstufung eines Rottens eingefärbt – werden sie von Geschossen getroffen, werden ihre Trefferpunkte um den Wert 1 herabgesetzt und ihr Farbton wird heller, um dem Spieler Feedback zu geben. Wenn der Spieler die Trefferpunkte eines Blobs auf den Wert 0 bringt, verschwindet dieser und die Spielenden erhalten Punkte – je größer der besiegte Blob, desto mehr Punkte werden dem Punktestand hinzugefügt. Erreicht ein Blob jedoch den Boden, verschwindet er zwar, aber der Boden, auf dem auch der Panzer als Spielfigur fährt, verliert an Strukturpunkten – je größer der kollidierte Gegner war, desto mehr Schaden erleidet der Boden.

Das Spielziel besteht darin, möglichst viele Punkte durch das Zerstören von Blobs zu erhalten, bevor das Spiel endet, weil der Boden keine Strukturpunkte mehr besitzt. Es gibt somit keine Gewinnbedingung im eigentlichen Sinne – das wiederholte Spielen und Erreichen höherer Punktzahlen steht im Zentrum. Eine möglichst lange Rundenzeit ist natürlich dem potenziellen Punktegewinn zuträglich, wird aber nicht vom Spiel erfasst oder gesondert vergütet. Ist eine Runde vorbei, wird den Spielenden ein Abschlussfenster im Spiel präsentiert. In diesem Fenster werden die während des Spielens erreichten Leistungen, wie erreichte Punkte und dergleichen, noch einmal in Textform angezeigt. Außerdem wird Spielenden die Möglichkeit dazu gegeben, zu entscheiden, wie sie fortfahren wollen. Die erste Option wird durch das Klicken auf einen roten Button gewählt und besteht darin, eine neue Spielrunde zu beginnen, ohne die Ergebnisse der abgeschlossenen Runde zu speichern. Die zweite Option besteht darin, die erbrachten Leistungen in Form einer Textdatei im Spielverzeichnis abzuspeichern und im Anschluss daran eine neue Runde zu starten; hierfür muss ein grüner Knopf angeklickt werden. Für jede abgespeicherte Runde wird eine neue Text-

datei erstellt. Durch Integration von Spieldatum und -zeit wird sichergestellt, dass alle erzeugten Dateien einzigartige Namen besitzen und keine Datei durch das Spiel überschrieben werden kann. Vom Spiel erfasste und darstellbare sowie speicherbare Parameter sind Datum und Uhrzeit der gespielten Runde, erfolgreiche Abschlüsse von Blobs, die dadurch erreichten Punkte sowie ein Spielerrang, der anhand der Punktzahl zugewiesen wird.

4.2.2. Anforderungen an das Spiel

Um eine möglichst gute und zielführende Umsetzung des Experiments zu gewährleisten, sollte die Neuumsetzung von **SkyInvaders** in verschiedenen Levels einige Anforderungen erfüllen, die im Folgenden dargestellt werden sollen.

Zunächst sollte das Spiel natürlich dazu in der Lage sein, visuelle Störfaktoren darzustellen. Dies mag bei einem digitalen Spiel, dessen Informationsaustausch mit dem Spieler zum Großteil über den Bildschirm als visuelles Anzeigegerät geschieht, trivial erscheinen. Dennoch erwies sich **SkyInvaders** auf der Grundlage von **Processing** als gut geeignet für diese Aufgabe, da das Spiel vergleichsweise gut modifizierbar und übersichtlich war, was unter anderem auch aus der Vertrautheit mit dem Spielcode resultierte. Zudem ist **Processing** mit dem Hintergedanken entwickelt worden, das Programmieren von Kunst sowie visuellen Darstellungen und Effekten zu ermöglichen [WA05] – daher konnte dem Spiel eine gute Eignung für die Durchführung von Untersuchungen mit einem Schwerpunkt auf visuellen Faktoren zugeschrieben werden.

Des Weiteren musste das Spiel auf den Computern der Testpersonen gespielt werden können. Auch diese Anforderung konnte **SkyInvaders** erfüllen, da das fertige Projekt durch **Processing** in eine wahlweise unter Windows, Linux oder MacOS ausführbare Datei kompiliert werden konnte. Dies bot den Vorteil, dass die Versuchspersonen weder **Processing** noch Java auf ihren Rechnern einrichten mussten, um die Level spielen zu können.

Außerdem war es wichtig, dass das Spiel möglichst wenig Anspruch an die Hardware der Testpersonen stellte. Dies war insofern von Bedeutung, dass durch eine niedrige Leistungshürde zum Einen potentiell mehr Versuchspersonen die verschiedenen Level spielen konnten und dass zum Anderen sämtliche Level möglichst flüssig spielbar waren, was Verzerrungen bei den Ergebnissen vermeiden und die Spielmotivation

aufrecht zu halten half. `SkyInvaders` konnte dieser Anforderung Genüge tun, da es sich um ein simples, vergleichsweise kleines 2D-Spiel handelte, bei dem keine aufwändigen Grafikoperationen wie das Rendern von 3D-Modellen vonnöten waren.

Natürlich ist es auch von Bedeutung, dass das Spiel, das die Teilnehmer spielen sollten, möglichst gut verständlich war. Es darf angenommen werden, dass `SkyInvaders` auch diese Bedingung erfüllte. Begründen lässt sich diese Annahme wie folgt: Das Spiel besaß eine übersichtliche Zahl an Steuerungsoptionen, ein intuitives Spielprinzip (“Schießen und Durchhalten”) und nahm Anleihen am Spieleklassiker “Space Invaders”, was bei spielaffinen Testpersonen von Bedeutung gewesen sein könnte. Zudem erhielten alle Versuchspersonen sowohl eine ausformulierte Spielanleitung als auch verschiedene schriftliche Hinweise im Bezug auf das Spiel und hatten die Möglichkeit, sich bei Problemen und Fragen direkt an den Autor dieser Arbeit zu wenden.

4.3. Implementierung allgemeiner Änderungen im Spiel

An dieser Stelle sollen kurz die verschiedenen allgemeinen Änderungen aufgezeigt werden, die abseits der direkten Implementation visueller Störfaktoren am Spiel vorgenommen wurden, um die Nutzererfahrung zu verbessern und verschiedene Funktionalitäten, etwa zum Zweck der Auswertung von Spieldaten, hinzuzufügen. Es soll sich auf Änderungen und Anpassungen konzentriert werden, die von jedem Level bzw. vom Großteil der Level genutzt werden. Hierbei kann man `Level 1` sozusagen als “Standardlevel” betrachten, auf dem alle weiteren Level aufbauen. Alle im Folgenden aufgeführten Änderungen sind – sofern nicht anders angegeben – im jeweiligen Hauptsketch der Level (benannt nach dem Muster `SkyInvadersLvl[Zahl]`), der zugleich das Äquivalent einer “Main-Klasse” in einem Java-Programm darstellt, zu finden.

Die Änderungen am Spielcode, die im Rahmen der Bachelorarbeit durchgeführt wurden, sind jeweils mit “(\$-Kommentaren)” versehen, sodass man sie mithilfe einer Textsuche schnell finden kann.

4.3.1. Modifizierte Elemente

Es wurden einige kleinen Verbesserungen, Fehlerbehebungen und Optimierungen umgesetzt, die zwar nicht das Spielerlebnis beeinflussen, das Spiel aber runder erscheinen lassen. Hierzu zählen etwa das Anpassen des Spieletitels je Level sowie das vereinheitlichte Kommentieren des Quellcodes.

Die Möglichkeit zur Anpassung der Spielgeschwindigkeit durch die Spielenden per Tastendruck wurde aus dem Spiel entfernt. Dies sollte möglichst einheitliche Spielvoraussetzungen für alle Versuchspersonen schaffen, was bedeutsam für die Vergleichbarkeit der Testergebnisse war. Das mittlere HUD-Element, das zuvor zur Anzeige der Spielgeschwindigkeit genutzt wurde, enthielt nun den jeweiligen Namen des aktuellen Levels.

Auch die Blobs wurden einer Anpassung unterzogen: Die nach unten fallenden Gegner hielten nun standardmäßig immer zwei Treffer aus, bevor sie besiegt waren. Diese Maßnahme sollte helfen, die Ergebnisse der Versuchspersonen weniger von einer auf Zufall basierenden Generierung der Blobs durch das Spiel abhängig zu machen, was einer besseren Vergleichbarkeit zugute kommen sollte. Des Weiteren verfärbten sich Blobs nun nicht mehr, wenn sie getroffen worden waren. Zwar ist dies als dem Spielerfeedback abträglich erkennbar, dennoch war es von Wichtigkeit. Farbänderungen und ähnliche Störfaktoren spielten später in eigenen Leveln eine Rolle, weshalb die Farbvariation der Blobs als Einfluss zu entfernen war. Zudem wurde die Außenlinie der Kreise, mit deren Hilfe die Blobs im Spiel dargestellt wurden, ein wenig dicker gezeichnet, um sich trotz verschiedener Hintergrundfarben und -inhalte noch genügend vom Hintergrund abzuheben. Aus demselben Grund wurde die Farbfüllung der Gegner auf ein helles Grau geändert – durch dessen Kontrast zur schwarz gezeichneten Außenlinie sollte die Abhebung vom Hintergrund unabhängig von dessen Farbe sichergestellt werden. Auch die Größe der Blobs wurde, ebenso wie die Punktzahl pro besiegttem Blob, angepasst – jeder Blob besaß nun dieselbe Größe, um die Lenkung der Aufmerksamkeit durch den Faktor *Größe* möglichst gering zu halten. Das Besiegen eines Gegners erhöhte den Punktestand der Spielenden stets um 5 weitere Punkte. Hierdurch war die erreichbare Punktzahl weniger von einer zufallsgesteuerten Gegner-Generierung und mehr vom Können der Testpersonen bestimmt. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass diese Maßnahmen für eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse getroffen wurden.

Außerdem wurden die vorhandenen Funktionalitäten zur Dateierstellung durch das Spiel verändert und erweitert. In seiner ursprünglichen Form war `SkyInvaders` dazu in der Lage, an einem fixen Ort (dem Verzeichnis, in welchem die ausführbare Spieldatei abgespeichert war) nach jeder gespielten Runde eine Zusammenfassung der Leistungen der Spielenden in Form einer separaten Textdatei zu generieren. In der überarbeiteten Version des Spiels hingegen speicherte das Spiel verschiedene Leistungsinformationen der Versuchspersonen je Level in Form einer einzelnen Textdatei ab. Sollte die Ergebnisdatei nicht schon existieren, wurde diese angelegt, bevor das erste Ergebnis hineingeschrieben wurde. Die erfassten Leistungsdaten, aus denen die Ergebnisse bestanden, waren Datum und Uhrzeit der Runde, die Anzahl besiegter Gegner, die erreichte Punktzahl, das entsprechende Abzeichen für die Spielenden sowie die Rundendauer in Sekunden. Zudem wurde die Spielerleistung in der Runde kalkuliert, indem berechnet wurde, wie viele Punkte pro Sekunde die Testperson erzielen konnte. Hierfür wurde die erreichte Punktzahl durch die Rundendauer dividiert. Das Ergebnis dieser Berechnung wurde mit der Einheit `PpS` (“Punkte pro Sekunde”) versehen und im Ergebnisdokument ausgegeben. Spielte eine Versuchsperson dasselbe Level mehrmals, wurden die Leistungsdaten stets in der dem Level zugeordneten Textdatei angehängt. Zur Umsetzung dieser Funktionalität wurde Code genutzt, der in einem `Processing`-Forum zu finden war [For15]; dies ist auch im Spielcode als Kommentar vermerkt. Die Textdatei speicherte das Level in seinem jeweiligen Speicherordner ab. Die so generierten Daten konnten nach dem Ende des Spielens zur Auswertung der Spielergebnisse per E-Mail an den Autor dieser Arbeit gesendet werden.

Das Fenster, welches den Spielenden nach dem Rundenende angezeigt wurde, erfuhr ebenfalls eine Überarbeitung: Der dargestellte Text nahm nun Bezug auf implementierte Neuerungen und die Ergebnisse der Runde wurden stets in die jeweilige Ergebnis-Textdatei geschrieben, wenn die Testperson einen der beiden vorhandenen Buttons betätigte.

4.3.2. Neu hinzugefügte Elemente

Eine der völlig neu implementierten, allgemeinen Funktionalitäten in `SkyInvaders` stellte die Zeiterfassung der Rundendauer innerhalb eines Levels dar. Diese nutzte neben der in `Processing` vorgegebenen Möglichkeit, sich die seit dem Start

der Anwendung vergangene Zeit in Millisekunden ausgeben zu lassen, Boolean-Variablen als “Schalter”, um Anfang und Ende einer Runde in Relation zum Spielstart zu bestimmen und daraus innerhalb der Methode `calculateRoundTimeLvl()` die Rundenauer zu errechnen.

In der ursprünglichen Version von `SkyInvaders` wurde für die zur Erzeugung der Gegner genutzte `random()`-Methode kein Seed übergeben, weshalb jeder Spieldurchgang durch die anders erfolgende Gegner-Generierung einzigartig gestaltet wurde. Um die einheitliche Erzeugung von Gegnern und Ablenkungsfaktoren (`Level 7` sowie `Level 8` nutzen zur Realisierung derselben ebenfalls die `random()`-Funktion) für alle Versuchspersonen gleich und somit vergleichbar zu gestalten, wurde jedem Level ein eigener dreistelliger Seed zugewiesen. Der Seed eines Levels kann in den UML-Diagrammen der Level als öffentlicher Integer-Wert mit dem Namen `seed` innerhalb der nach dem Muster `SkyInvadersLvl[Zahl]` benannten Klassen eingesehen werden. Sämtliche UML-Diagramme befinden sich im Anhang C.1. Gelbe Markierungen innerhalb der Grafiken kennzeichnen die Teile des Codes, die für das jeweilige Level einzigartig sind.

Zudem wurden neben Getter-Methoden für Tages- und Uhrzeitangaben in Textform zwei Methoden mit dem Namen `convertMStoS()` und `convertMStoSfloat()` implementiert. Die Aufgabe dieser Methoden bestand darin, die ihnen übergebenen Zeitabschnitte von Millisekunden in Sekunden umzuwandeln und als String bzw. als Float-Wert auszugeben.

4.4. Implementierung der erarbeiteten visuellen Störfaktoren

Im Folgenden soll die Umsetzung der visuellen Störfaktoren innerhalb der einzelnen Level, die von den Versuchspersonen gespielt werden konnten, erläutert werden. Die hier beschriebenen Vorgänge und Abläufe fanden jeweils innerhalb der als Gameloop-Methode dienenden `draw()`-Methode des Levels statt, wurden also (der Bildwiederholrate des Spiels entsprechend) 50 Mal in der Sekunde ausgeführt. Für jedes Level wurde ein Screenshot angefertigt, der den enthaltenen Störfaktor abbilden soll - diese Bildschirmfotos sind im Anhang C.3 einsehbar.

Level 1 wurde ohne weitere Störfaktoren umgesetzt, da es zur Einführung der Spielenden dienen sollte. Die darauffolgenden Spielabschnitte Level 2, Level 3 und Level 4 waren mit sehr geringem Aufwand umsetzbar, da dem `background()`-Befehl jeweils lediglich eine andere Farbe in Form eines als Integer gespeicherten Hexcodes übergeben werden musste.

Die Implementierung des gleichmäßigen Flackerns der Hintergrundfarbe in Level 5 konnte durch die Kopplung des Farbwechsels an die Anzahl vom Spiel bereits gezeichneter Bilder (Frames) realisiert werden. Ursprünglich war geplant, die Frequenz des Flackerns an die verstrichene Zeit zu koppeln, was jedoch verworfen wurde. Der Grund für diese Änderung lag darin, dass der Aufruf der notwendigen Methoden durch die unterschiedlich langen Berechnungszeiten zwischen den einzelnen Bildern nicht für die gewünschte Anwendung passend ausfiel – je nach zu bearbeitenden Anweisungen war die Zeit bis zum nächsten Aufruf der Methoden mal länger, mal kürzer, was das Gesamtkonzept der Zeitkopplung ausschloss. Innerhalb jedes Bildes wurde mittels einer dedizierten Methode `frameSwitch()` überprüft, ob die Gesamtzahl an seit dem Levelstart gezeichneten Bildern ohne Rest durch eine gegebene Zahl teilbar sei. Im Falle dieses Levels wurde die Zahl “3” gewählt, um die gewünschte Frequenz erreichen zu können. War ein Teilen der Bildzahl durch “3” ohne Rest möglich, wurde ein Wechsel der Hintergrundfarbe vorgenommen – war die aktuell genutzte Farbe dunkler, wurde sie durch eine hellere ersetzt, eine hellere aktuelle Farbe hingegen wurde von einer dunkleren abgelöst. Mittels einer Boolean-Variable, die sich beim Wechsel der Farbe ebenfalls änderte, wurde verhindert, dass die Farbe im selben Bild hätte zwei Mal gewechselt werden können. Schließlich wurde der Hintergrund der Spielszene mit der gewählten Farbe dargestellt. Ein Flussdiagramm zum Ablauf dieses Auswahlvorganges sowie der entsprechende Quellcode-Abschnitt können im Anhang C.2.1 betrachtet werden.

Das darauffolgende Level 6 bediente sich grundsätzlich derselben Methodik, um die Farbe des Hintergrundes zu verändern. Allerdings wurde vor den Teil des Quellcodes, in dem die Farbänderung durchgeführt wurde, die Methode `frequencyChange()` aufgerufen. Diese veränderte alle fünf Sekunden (hier geprüft über das fünfmalige Ablaufen-Lassen von 50 im Spiel gezeichneten Bildern) die für das Flackern genutzte Frequenz. Alle drei Frequenzen, die implementiert wurden, wurden mithilfe eines Arrays umgesetzt, durch das beim Wechsel der Frequenz iteriert wurde. Nach der regelmäßig stattfindenden Änderung der Farbwechsel-Frequenz wird der Farbwechsel des Hintergrundes selbst in der momentan genutzten Frequenz durchgeführt. Ein

Flussdiagramm zum Ablauf dieser Funktionalität sowie der entsprechende Auszug aus dem Quellcode befinden sich in Anhang C.2.2.

In **Level 7** wurden langsam im Hintergrund vorbeiziehende Wolken als Störfaktor implementiert. Diese wurden in der `draw()`-Methode nach dem Hintergrund gezeichnet, um die Wolken über diesem darzustellen. Hierfür wurde die Methode `updateClouds()` verwendet. Sämtliche Wolken wurden mithilfe der für dieses Level angelegten Klasse `Cloud` umgesetzt. Ein fixes Array von vier `Cloud`-Objekten wurde in der `setup()`-Methode, die beim Start des Level ein Mal aufgerufen wurde, erzeugt – jede dieser Wolken wurde initial an einer anderen Position außerhalb des für den Spieler sichtbaren Teils des Spielfensters erzeugt. Bei jedem Aufruf der `updateClouds()`-Methode – also 50 Mal in der Sekunde – wurde jede im Array enthaltene Wolke um eine in der Integer-Variablen `cloudVel` festgehaltene Distanz nach rechts verschoben und anschließend das Bild der Wolke im Spiel gezeichnet, sodass die Wolken sich von links nach rechts über den Hintergrund bewegten. Erreichte eine Wolke eine x-Position, an der sie nicht mehr für den Spieler sichtbar war, wurde sie auf ihre ursprüngliche Startposition zurückgesetzt und begann erneut, sich von links nach rechts zu bewegen. Hierdurch ergab sich für alle Versuchspersonen dasselbe Muster an gleichmäßig schnell fliegenden Wolken. Ein Flussdiagramm, das diesen Ablauf veranschaulicht, sowie der entsprechende Abschnitt im Quellcode sind im Anhang C.2.3 einsehbar.

Level 8 nutzte verschiedenartig im Hintergrund fliegende Helikopter-Silhouetten, um unregelmäßige Bewegungen als Störfaktor darzustellen. Als Vorlage für das Hubschrauber-Abbild diente eine frei auf der Plattform “Pixabay.com” verfügbare Grafik [OV16]. Das Zeichnen des Helikopters in der `draw()`-Methode wurde (analog zu den Wolken im vorherigen Level) direkt nach der Darstellung des Hintergrundes vorgenommen. Zudem wurde eine weitere Klasse `Helicopter` angelegt, um das gezeigte Fluggerät umzusetzen. Der Helikopter wurde initial in der `setup()`-Methode außerhalb des sichtbaren Spielfensters erzeugt. Innerhalb der `draw()`-Methode wurde, solange sich der Helikopter im sichtbaren Spielfensterbereich befand, die Position des Helikopters unter Nutzung der gegebenen Parameter aktualisiert, um dessen Bewegung umzusetzen. Stets dann, wenn der Helikopter eine bestimmte Distanz von der linken oder der rechten Fensterseite entfernt war, wurde das besagte Fluggerät wieder neu positioniert. Hierfür wurde auf Zufallsbasis entweder die rechte oder die linke Fensterseite ausgewählt, um als neue Startposition des Helikopters zu dienen. Die Flugbahn des Hubschraubers stellte stets eine Gerade dar, die sich mit einer

linearen Funktion der Form $y = f(x) = m * x + n$ beschreiben ließ. Aufgrund dessen wurde nach der Seitenwahl ein zufälliger Wert für m zwischen $m = -0,350$ und $m = 0,250$ festgelegt, um den Helikopter mal leicht aufwärts, mal ein wenig abwärts fliegen zu lassen; der Wert für n betrug stets $n = 199$. Im Anschluss an diesen Vorgang wurde der Helikopter je nach zuvor gewählter Startposition anders ausgerichtet: Sollte der Hubschrauber auf der rechten Fensterseite erscheinen und nach links fliegen, wurde seine x-Position leicht außerhalb des rechten Fensterrandes gesetzt, das angebrachte Bild des Helikopters zur Verwendung markiert und die passende Ausrichtung festgelegt. Bei einer Wahl der linken Fensterseite wurde die x-Position ein wenig außerhalb des linken Fensterrandes gesetzt und das zur neuen Flugrichtung passende Bild zur Verwendung festgelegt, ebenso die neue Ausrichtung. Unabhängig von der vorangegangenen Positionierung wurde daraufhin eine y-Position als Integer-Variable zwischen $y = 150$ und $y = 550$ als Starthöhe des Helikopters zufällig gewählt. Im Abschluss daran wurde, ebenfalls auf Zufall basierend, eine neue Fluggeschwindigkeit in Form einer Float-Variable *heliVel* zwischen $heliVel = 5.0$ und $heliVel = 15.0$ ausgewählt. Schließlich wurde die Bewegung des Hubschraubers mit all den neu generierten Parametern realisiert. Dieser beschriebene Ablauf wurde in Form eines Verlaufsdiagramms visualisiert, das sich im Anhang C.2.4 befindet und dem auch der zugehörige Quellcode-Auszug beigefügt wurde.

Im folgenden Kapitel sollen die Ergebnisse des mithilfe der implementierten Level durchgeführten Experiments sowie deren Auswertung im Mittelpunkt stehen.

5. Evaluation

Im vorliegenden Kapitel soll das Experiment, im Rahmen dessen die Probanden das modifizierte 2D-Spiel **SkyInvaders** spielen sollten, ausgewertet werden. Einleitend sollen zunächst einige Einschränkungen der Befragungen aufgelistet sowie eine kurze Begründung von Befragungsmethodik und -art gegeben werden. Daraufhin soll auf die Faktoren eingegangen werden, die es von den Probanden beim Spielen zu beachten galt. Schließlich sollen die Ergebnisse des Spiels zusammengefasst und aufbereitet werden sowie Schlussfolgerungen aus den erhaltenen Daten gezogen werden.

5.1. Einschränkungen der Befragung

Das bereits eingehend beleuchtete Experiment und die dazugehörige Teilnehmerbefragung im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurden den Umständen entsprechend so genau und realitätsnahe wie möglich gestaltet und durchgeführt. Dennoch existierten einige Einschränkungen und Faktoren, die sowohl das Experiment als auch dessen Auswertung zu einem gewissen Grad in Bezug auf Relevanz und Anwendbarkeit begrenzten. Diese sollen hier aufgeführt werden.

Zunächst ist im Bezug auf das Spiel **SkyInvaders** selbst feststellbar, dass sowohl Generierung als auch Verhalten der Gegner immer noch zu einem gewissen Grad zufallsbehaftet waren. Dies war jedoch durch den Zweck der Abwechslung gedeckt: Die immer gleichen Verhaltensmuster von Gegnern in jedem Level hätte einen Gewöhnungseffekt bei den Testpersonen hervorgerufen. Dies hätte dazu führen können, dass weniger motivierte Versuchspersonen gelangweilt würden oder dass motiviertere Testpersonen diese Muster verinnerlichen und so durch Lernen signifikant bessere Ergebnisse hätten erzielen können. Der Spielfaktor von **SkyInvaders** war eine wichtige Komponente, die auch ein Stück weit im unterschiedlichen Gegnerverhalten

ihren Ausdruck fand, weshalb dieses beibehalten wurde. Jedoch wurde die Gegner-Erzeugung durch die Nutzung unterschiedlicher Seed-Werte in jedem Level so angepasst, dass die Ergebnisse aller Teilnehmer vergleichbar wurden.

Das Erfassen subjektiver Empfindungen durch eine Umfrage, unter anderem durch die Nutzung des semantischen Differentials, kann kritisch hinterfragt werden, stellte aber den bestmöglichen Weg dar, um Feedback der Testpersonen zu sammeln und die Ergebnisse einheitlich auswertbar zu gestalten. Dies verdeutlicht die Komplexität dieses mit Subjektivität behafteten Themenfeldes.

Natürlich sind auch die verschiedenen spielexternen Faktoren und Umgebungsbedingungen (wie etwa Tagesstimmung oder Beleuchtung), denen die Testpersonen ausgesetzt waren, Variablen, welche sich nicht messbar vereinheitlichen ließen. Dies lag vorrangig daran, dass das Experiment nicht von jeder Versuchsperson am selben Ort durchgeführt wurde, sondern dass jede Testperson die verschiedenen Level des Spiels dort spielen konnte, wo es ihr beliebte. Diese Ungenauigkeit ist als der Preis für die Durchführung des Experiments mit einer größeren potentiellen Zielgruppe ohne einen Vor-Ort-Versuchsaufbau zu sehen. Mithilfe von genauen Anweisungen an die Spieler sollten die Umgebungsbedingungen beim Spielen so gut wie möglich vereinheitlicht werden, um die Aussagekraft der Ergebnisse zu erhöhen. Zudem konzentriert sich diese Arbeit vorrangig auf spielintern auftretende Faktoren – spieleexterne Störfaktoren werden nicht eingehender erfasst bzw. betrachtet, wenngleich sie ebenfalls eine große Rolle im Bezug auf die Verteilung menschlicher Aufmerksamkeit spielen dürften.

Des Weiteren ließe sich auch die begrenzte Zahl von 15 Versuchspersonen kritisieren, da mehr Teilnehmer eine höhere Allgemeingültigkeit der Untersuchungen bedeuten hätten. Eine geringe Anzahl an Teilnehmern vermag schließlich Abweichungen innerhalb der Ergebnisse des Experiments zu verursachen [GWX21, S. 1204] und so die Allgemeingültigkeit der aus dem Versuch gewonnenen Kenntnisse zu beeinträchtigen. Da die Umfrage allerdings auf Freiwilligkeit beruhen sollte, war dieser Faktor nur sehr begrenzt beeinflussbar.

Auch der Fakt, dass die Testpersonen mit jedem gespielten Level das Spielprinzip besser verinnerlicht und aufgrund dessen potentiell bessere Ergebnisse erzielt haben könnten, sei hier aufgeführt. Im Bereich der digitalen Action-Spiele zeigte etwa ein Experiment, dass Personen, die solche Spiele öfter gespielt hatten, in einer Zielschieß-Aufgabe bessere Leistungen erbringen konnten als ihre weniger spielerfahrenen Mit-

probanden – generalisiert lässt sich daraus ableiten, dass Spielerfahrung und Affinität für digitale Spiele die darin gezeigte Performance beeinflussen können [CM22, S. 2]. Selbiges dürfte auch für das mithilfe von **SkyInvaders** durchgeführte Experiment gelten. Lernen und Anpassung stellen jedoch normales, kaum beeinflussbares Spielverhalten dar und sollen somit als Gegebenheit betrachtet werden.

5.2. Wahl von Befragungsart und Befragungsmethodik

In diesem Abschnitt soll kurz erläutert werden, nach welchen Prinzipien die von den am Experiment Teilnehmenden ausgefüllte Umfrage erstellt wurde. Aufgrund der Covid-19-Situation, einer besseren Arbeitssituation sowie einer potentiell größeren Menge an Teilnehmern wurde sich für eine Online-Umfrage über den Dienst “Survio.com” [OUD] entschieden.

Es sei erwähnt, dass sämtliche Testergebnisse anonymisiert wurden, weshalb auf einzelne Versuchspersonen mithilfe von Nummern der Form “#[Zahl]” referenziert wird. Diese Nummern werden sowohl im Text als auch in den im Anhang befindlichen Tabellen und Diagrammen verwendet.

Fragen allgemeiner Natur wurden an den Beginn des Fragebogens gestellt. Dies geschah, um Kontextinformationen der Befragten zu erhalten und ihre späteren Antworten in Relation zu den erreichten Ergebnissen setzen zu können. [Ros21a, S. 1] Zuerst wurde der reale Name der Versuchsperson oder alternativ ein Deckname erfasst, um die Spielleistungs-Ergebnisse später der Testperson zuordnen zu können. Im Anschluss daran wurde nach dem ungefähren Alter sowie nach der wöchentlich mit digitalen Spielen verbrachten Zeit gefragt. Dies geschah, um die allgemeine Aussagekraft der Ergebnisse feststellen zu können. Danach sollten die Versuchspersonen angeben, ob sie von gesundheitlichen Einschränkungen wie Epilepsie oder Problemen mit dem Sehsinn betroffen waren; diese Angaben wurden bei der Auswertung berücksichtigt. Schließlich waren die Versuchspersonen angehalten, mit einigen Wörtern ihre Spielumgebung zu beschreiben. Diese Angaben wurden genutzt, um einschätzen zu können, ob die Ergebnisse und Angaben der Versuchspersonen zur Auswertung tauglich waren.

Auf diesen allgemeinen Fragenblock folgten die Frageblöcke für die einzelnen Level. Diese wurden nach der angestrebten Spielreihenfolge der Level (numerisch aufsteigend) hintereinander angeordnet, sodass die Versuchspersonen sie passend bearbeiten konnten. Jeder Level-Frageblock wurde nach demselben Schema aufgebaut. Zuerst fand eine Abfrage statt, ob das betreffende Level aus gesundheitlichen oder anderen Gründen übersprungen worden war. War dies der Fall, konnte direkt mit dem Frageblock zum darauffolgenden Level fortgefahren und die Fragen zum übersprungenen Level konnten ignoriert werden. War das Level gespielt worden, sollten die Testpersonen mit der Beantwortung der Fragen beginnen. Innerhalb der Frageblöcke sollten die Testpersonen ihre Spielerfahrungen für jedes Level bewerten. Die Spielerfahrung wurde hierbei aus folgenden Unterpunkten zusammengesetzt: Dem *Spielgefühl* der Testpersonen im Allgemeinen, dem konkreteren Einfluss des präsentierten *Störfaktors*, der *Gewöhnungsmöglichkeit* in Bezug auf den Störfaktor sowie dem Grad an *Immersion*, der durch den Störfaktor hervorgerufen wurde. Sämtliche Unterpunkte fragten nach den subjektiven Eindrücken und Empfindungen der Testpersonen und waren auf alle Level anwendbar, die Störfaktoren enthielten. Dies stellte die Vergleichbarkeit der Antworten sicher.

Der Aufbau eines solchen Frageblocks soll im Folgenden erläutert werden. Zuerst sollte das *Spielgefühl* im Level bewertet werden, um das subjektive Allgemeinempfinden auswerten zu können. Das Spielgefühl wurde in vier Kriterien aufgeschlüsselt: Das Wohlbefinden in seiner Gesamtheit, das Wohlbefinden über den Verlauf des Levels hinweg, den Grad an Anspannung sowie den Grad an Herausforderung während des Spielens. Hierauf folgte die Bewertung des *Störfaktor-Einflusses*, der in die folgenden drei Faktoren unterteilt wurde: Grad an Unterstützung, Grad an Ablenkung und Grad an Verärgerung durch den Störfaktor. Danach war es Aufgabe der Testpersonen, zu bewerten, wie gut die *Gewöhnung* an den Störfaktor funktionierte – Hintergrund dieser Abfrage war, dass ein Faktor, an den man sich gewöhnen kann, im Anwendungsfall weniger gravierend negativ auffallen dürfte als ein Faktor, der weniger bzw. keine Gewöhnung zulässt. Zudem sollte im Anschluss der durch den Störfaktor erzeugte Grad an *Immersion* bewertet werden, da ein immersionsfördernder Faktor wohl weniger störend wahrgenommen werden dürfte. Schließlich konnten die Versuchspersonen freiwillig die Möglichkeit nutzen, ein kurzes Feedback zum gespielten Level in Schriftform zu geben. Besagtes Feedback ist in gekürzter Form in den Tabellen unter Anhang D.1 einsehbar, wobei darauf geachtet wurde, den Sinn der Aussagen möglichst originalgetreu beizubehalten. Dies trug dem Grundsatz, offene

Fragen möglichst an das Ende eines Fragebogens zu stellen, Rechnung [Ros21a, S. 2].

Das Format, in dem die Fragen innerhalb des Fragebogens an die Teilnehmer gestellt wurden, wurde bewusst gewählt. Hierbei handelte es sich um die Antwortform des *semantischen Differentials*. Da die Spielerfahrung ein in höchstem Maße subjektives Thema ist, erschien die Nutzung beschreibender Adjektive (die durch das semantische Differential möglich wurde) als gute Möglichkeit, um den Empfindungen Ausdrucksmöglichkeiten zu geben. Die Nutzung von sieben wählbaren Zwischenwerten für das semantische Differential hat sich zu einem gewissen praktischen Standard für Fragebögen entwickelt. [Ros21a, S. 3] Im Rahmen dieser Umfrage wurde mit neun Zwischenstufen ebenfalls eine ungerade Anzahl an Antwortmöglichkeiten implementiert. Da der neutrale Wert [0] bedingt durch die Nutzung von "Survio.com" nicht entfernbar war, wurden die Versuchspersonen gebeten, diesen Wert nach Möglichkeit nicht zu nutzen. Dies lag darin begründet, dass die Testpersonen eine, und sei es auch nur leichte, Tendenz zu einem der dargebotenen Adjektive wählen sollten, was im Falle eines so subjektiven Themas zweckdienlich erschien.

5.3. Zu berücksichtigende Faktoren beim Spielen des Spiels

Um die Einflüsse von spieleexternen Faktoren während des Experiments möglichst gering zu halten und die Ergebnisse vergleichbar zu gestalten, wurden die Testpersonen gebeten, einige Gegebenheiten vor dem Spielen sicherzustellen. Diese wurden ihnen in der Spielanleitung mitgeteilt.

Zunächst wurden die Testpersonen gebeten, die unterschiedlichen Level dann zu spielen, wenn sie sich ausgeruht und bereit fühlten. Während des Spielens waren sie angehalten, sich bequem hinzusetzen, wurden jedoch gebeten, sich zuvor aufmerksam die Spielanleitung durchzulesen. Sehhilfen wie Brillen durften genutzt werden, solange sie die Farbwahrnehmung nicht verfälschten.

Es galt zu beachten, dass Reflexionen von Umgebungslicht durch den Bildschirm sowie Blendungen [OB92, S. 1825] die Wahrnehmung von Farben und Spielgeschehen beeinflussen können, weswegen die Testteilnehmer und Testteilnehmerinnen dazu

angehalten wurden, Lichtquellen in der Umgebung, die zu solchen Spiegelungen führen könnten, nach Möglichkeit zu deaktivieren. Mögliche visuelle Ablenkungen, die während des Experiments außerhalb des Spiels stattfinden hätten können, sind des Weiteren etwa Inhalte auf Zweitbildschirmen oder auftauchende Benachrichtigungen des Betriebssystems [CGC16, S. 4830]. Aufgrund dessen wurden die Testpersonen gebeten, Zweitbildschirme und Benachrichtigungen für die Dauer des Versuches zu deaktivieren. Natürlich hätten Unterschiede im Bildschirm-Equipment der Testteilnehmer Verschiebungen in der Helligkeits- und Farbwahrnehmung erzeugen können, etwa wenn verschiedene Arten von Monitoren verwendet wurden [Ros21f, S. 3] – dies soll hier vernachlässigt werden.

Der Kontrastumfang von Computerbildschirmen kann durch externen Lichteinfall wie etwa Sonnenstrahlen verringert werden. [Ros21f, S. 3] Dies ließ sich natürlich nicht für alle Teilnehmer während einer Online-Umfrage abgleichen bzw. einbeziehen. Daher wurden die Testpersonen gebeten, die groben Umgebungszustände beim Spielen eines jeden Levels anzugeben, um starke Abweichungen erkennen und bei der Auswertung berücksichtigen zu können. Zudem wurde den Versuchspersonen nahe gelegt, eine leichte Abdunklung des Zimmers vorzunehmen und möglichst alle Level unter denselben Bedingungen zu absolvieren.

Die Wahrnehmung dessen, was als gute Leuchtkraft (gemessen in Candela pro Quadratmeter) bei Bildschirmen betrachtet werden kann, ist von Mensch zu Mensch verschieden [OB92, S. 1827]. Dennoch wurden die Testteilnehmer dazu angehalten, ihre Bildschirme auf etwa 50 % der maximalen Helligkeit einzustellen, um die Ergebnisse trotz Unterschieden zwischen verschiedenen konstruierten Bildschirmen besser vergleichbar zu gestalten. Auch die Bildschirmgröße sowie der Sichtwinkel auf den Monitor hätten Nutzer in Spielsituationen subjektiv und emotional beeinflussen können [WLT11, S. 4128]. Dies hätte sich natürlich potentiell auf Spielerleistungen und Spielerfahrung auswirken können, sollte hier aber aufgrund der Konzeption des Experiments als ortsunabhängig durchführbar vernachlässigt werden.

5.4. Ergebnisse des Experiments

Die Umfrage wurde, wie bereits erwähnt, über die Online-Plattform “Survio.com” umgesetzt. Die Fragen wurden innerhalb der Umfrage nummeriert, um sie den Antworten zuordnen zu können, die in den im Anhang hinterlegten Tabellen aufgelistet

sind. Besagte Tabellen und sämtliche Diagramme, die zur Auswertung genutzt werden (einsehbar unter Anhang D.1), wurden mithilfe von “Microsoft Excel” erstellt. Die beim Spielen der verschiedenen Level erfassten Spielerleistungsdaten wurden auf demselben Weg zunächst als Tabellen umgesetzt und schließlich in Diagramme überführt – diese Daten sind im Anhang D.2 zu finden.

5.4.1. Methodik der Auswertung

Die Auswertung der Spielerfahrung wurde dadurch ermöglicht, dass die Testpersonen mithilfe des für die gestellten Fragen genutzten semantischen Differentials Punktzahlen vergeben konnten, um ihr subjektives Empfinden auszudrücken. Je kleiner die vergebene Punktzahl (minimal -4), desto negativer wurde das Abgefragte empfunden. Ein hoher Wert (maximal 4) hingegen stellte eine positive Einstellung gegenüber dem Abgefragten dar. Die vergebenen Punktzahlen wurden in Tabellen zusammengefasst und in Diagrammen visuell abgebildet – all diese Darstellungen sind im Anhang D.1 zu finden. Für jedes Level wurde die durchschnittlich vergebene Punktzahl errechnet und zusammen mit der entsprechenden Standardabweichung in den Tabellen angegeben. Auch die einzelnen, zuvor beschriebenen Unterpunkte *Spielgefühl*, *Störfaktor*, *Gewöhnung* und *Immersion* wurden ausgewertet und ihre Durchschnitts-Punktzahlen sowie Standardabweichungen errechnet.

Es ist wichtig zu erwähnen, dass das erste zu spielende Level keinen dedizierten Störfaktor besaß und daher lediglich das Spielgefühl bewertet werden konnte. In Konsequenz dessen konnten in diesem Level weit weniger Punkte vergeben werden als in den restlichen Spielinstanzen; der Vollständigkeit halber wird das erste Level dennoch in Diagrammen, in denen es eine Rolle spielt, berücksichtigt.

Die Spielerleistungen, welche als durch die Level erzeugte Textdateien vorlagen, wurden mit den Ergebnissen der Umfrage in Bezug gesetzt. Dies geschah, um herauszufinden, ob die Störfaktoren lediglich die subjektive Spielerfahrung beeinflussten, ohne auf die Performance der Spielenden einzuwirken, oder ob es durch weniger positive Spielerfahrungen zu negativen Auswirkungen auf die Leistungen kam. Die dafür nötigen Daten wurden vom Spiel gesammelt, welches aus diesen die Leistung in Punkten pro Sekunde (abgekürzt: PpS) errechnete und in den von den Testpersonen zur Verfügung gestellten Textdateien abspeicherte. Die Versuchspersonen waren dazu angehalten, jedes Level mehrmals zu spielen. Zur Auswertung der Leistungen

wurden jeweils die ersten zwei gespielten Runden genutzt. Das Ergebnis der ersten Runde sollte repräsentieren, wie die Leistung beim erstmaligen Kontakt mit dem Störfaktor war, das Ergebnis der zweiten Runde ließ die Beschaffenheit der Leistung erkennen, wenn die Testpersonen den Störfaktor bereits kannten. Das Errechnen des Durchschnittes aus den beiden Rundenwerten sollte beide Fälle abdecken und so die Aussagekraft der Auswertungsergebnisse erhöhen. Wurde nur eine Runde des Levels gespielt, wurde die Leistung dieser Runde als Durchschnitt angenommen. Sämtliche auswertbaren Ergebnisse der Testpersonen sind in den Tabellen und Balkendiagrammen im Anhang unter D.2 dargestellt. Für jedes Level wurden der Gesamtdurchschnitt der erbrachten Leistungen sowie die Standardabweichung kalkuliert. Die Gegenüberstellung der Spielerleistungen mit den für die Spielerfahrung vergebenen Punkten erfolgte in einem Verbunddiagramm, das sich im Anhang D.3.1 befindet.

5.4.2. Ergebnisse der Umfrage

Es nahmen insgesamt 15 Testpersonen an der Umfrage teil. Jedoch mussten die Ergebnisse zweier Testpersonen bei der Auswertung gestrichen werden: Versuchsperson #10 nutzte einen Zweitbildschirm während des Spielens, bei Testperson #15 funktionierte das Spiel nicht ordnungsgemäß. Dies ist unter Anhang D.1.1 festgehalten. Versuchsperson #03 ließ aufgrund gesundheitlicher Einschränkungen Level 5 (gleichbleibendes Flackern) sowie Level 6 (Flackern mit wechselnder Frequenz) aus, was bei der Auswertung entsprechend berücksichtigt wurde. Versuchsperson #15 brach Level 6 (Flackern mit wechselnder Frequenz) aufgrund des als zu extrem empfundenen Flackerns ab, die entsprechenden Daten wurden also nicht verwertet.

Die Altersverteilung der Testpersonen wurde in einem in Anhang D.1.2 einsehbaren Kreisdiagramm festgehalten. Es wurde auf eine Einteilung der Personen in Altersgruppen zurückgegriffen, um die Angaben verwertbar zu gestalten und die Aussagekraft der Ergebnisse hinsichtlich des Alters zu beurteilen. Es ist ersichtlich, dass der Hauptanteil der Versuchspersonen zwischen 18 und 25 Jahren alt war. Als wahrscheinlicher Grund hierfür kann die Verbreitung der Umfrage über den Kommunikationsdienst "Discord", v.a. auf von Studenten genutzten Servern, angenommen werden. Für den Altersbereich zwischen 25 und 35 Jahren fand sich eine Testperson, ebenso konnte eine Versuchsperson mit einem Alter über 35 Jahren gewonnen wer-

den. Teilnehmer im Kindesalter wurden nicht herangezogen. Das Experiment wurde also vor allem von jungen Erwachsenen bestritten.

Auch die wöchentlich mit digitalen Spielen verbrachte Zeit der Versuchspersonen wurde in einem Kreisdiagramm visualisiert, welches in Anhang D.1.3 einsehbar ist. Es wurde eine Aufteilung in Spielzeitgruppen genutzt, um die Aussagekraft der Ergebnisse hinsichtlich des potentiellen Übungsgrades beurteilen zu können. Gemessen an der zuvor betrachteten Alterserfassung sind die Ergebnisse dieser Abfrage recht gleichmäßig verteilt – es sind sowohl Vielspieler als auch Wenigspieler sowie zwischen den beiden Extrema verortete Testpersonen zu finden. Entsprechend kann man die Umfrageergebnisse bezüglich der Spielzeit der Versuchspersonen als ausgeglichen bezeichnen.

Die unter Anhang D.1 angelegten Balkendiagramme zeigen sehr deutlich, dass sich die Spielerfahrung der verschiedenen Testpersonen stark voneinander unterschied. Zuerst soll der Einzelfaktor *Spielgefühl*, visualisiert durch das unter Anhang D.3.1 befindliche Diagramm, betrachtet werden. Das Ergebnis der Umfrage ist in Bezug auf diesen Einzelfaktor sehr deutlich: Für Level 5 (gleichbleibendes Flackern) wurde eindeutig die geringste Punktzahl vergeben, darauf folgt Level 6 (Flackern mit wechselnder Frequenz) und schließlich Level 4 (stark gesättigte Hintergrundfarbe). Das beste Spielgefühl konnte in Level 7 (gleichmäßige Bewegung) erreicht werden, in Level 2 (gering gesättigte Hintergrundfarbe) das zweitbeste und in Level 3 (mittelmäßig gesättigte Hintergrundfarbe) das drittbeste. Die größte Standardabweichung ergab sich in Level 8 (unregelmäßige Bewegung), die geringste wiederum in Level 7 (gleichmäßige Bewegung).

Die Umfrageergebnisse für den zweiten Einzelfaktor, den *Störfaktor* an sich, werden durch das Diagramm in Anhang D.3.2 visualisiert. Recht deutlich zeigt sich, dass der Störfaktor in Level 5 (gleichbleibendes Flackern) am wenigsten Zuspruch fand, gefolgt von Level 6 (Flackern mit wechselnder Frequenz) und Level 4 (stark gesättigte Hintergrundfarbe). Der am besten aufgenommene Störfaktor befand sich in Level 2 (gering gesättigte Hintergrundfarbe), worauf mit etwas größerem Abstand Level 3 (mittelmäßig gesättigte Hintergrundfarbe) und danach Level 7 (gleichmäßige Bewegung) folgen. Die größte Standardabweichung für den Einzelfaktor konnte in Level 3 (mittelmäßig gesättigte Hintergrundfarbe) festgestellt werden, die kleinste Standardabweichung kam in Level 2 (gering gesättigte Hintergrundfarbe) zustande.

Der nächste Einzelfaktor, *Gewöhnung*, wird ebenfalls durch ein Diagramm veranschaulicht, dass sich in Anhang D.3.3 betrachten lässt. Interessanterweise besitzt lediglich Level 5 (gleichbleibendes Flackern) einen negativen Durchschnittswert – somit kann gleichmäßiges Flackern als der Faktor identifiziert werden, an den sich die Versuchspersonen am schlechtesten gewöhnen konnten. Darauf folgen Level 4 (stark gesättigte Hintergrundfarbe) und Level 6 (Flackern mit wechselnder Frequenz), wenngleich beide Level positive Punktedurchschnitte aufweisen. In Level 2 (gering gesättigte Hintergrundfarbe) fiel den Testpersonen die Gewöhnung mit Abstand am leichtesten, darauf folgen Level 3 (mittelmäßig gesättigte Hintergrundfarbe) und Level 7 (gleichmäßige Bewegung). Die größte Standardabweichung wurde in Level 5 (gleichbleibendes Flackern) erreicht, die kleinste hingegen in Level 2 (gering gesättigte Hintergrundfarbe).

In Betrachtung des Einzelfaktors *Immersion*, visualisiert durch ein Diagramm im Anhang (D.3.4), wurde deutlich, dass in Level 5 (gleichbleibendes Flackern) die geringste Immersion erreicht werden konnte; mit großem Abstand folgten darauf Level 4 (stark gesättigte Hintergrundfarbe) und Level 6 (Flackern mit wechselnder Frequenz). Die beste Punktzahl für die Immersion konnte Level 2 (gering gesättigte Hintergrundfarbe) erreichen, nach welchem sich Level 7 (gleichmäßige Bewegung) und Level 3 (mittelmäßig gesättigte Hintergrundfarbe) einreihen. In Level 7 (gleichmäßige Bewegung) wurde zudem die größte Standardabweichung innerhalb des Einzelfaktors erreicht, Level 4 (stark gesättigte Hintergrundfarbe) hingegen war mit der geringsten Standardabweichung besetzt.

5.4.3. Ergebnisse der Spielerleistungs-Erfassung

Die von den Testpersonen in den verschiedenen Leveln erbrachten Leistungen wurden in zwei in Anhang D.2.1 und Anhang D.2.2 befindliche Tabellen zusammengefasst. Das ebenfalls dort befindliche Diagramm (siehe Anhang D.2.3) veranschaulicht die durchschnittlich erreichten Ergebnisse. Das Level, in dem die größte durchschnittliche Spielerleistung erbracht wurde, ist Level 7 (gleichmäßige Bewegung), auf das mit recht geringem Abstand Level 8 (unregelmäßige Bewegung) und Level 6 (Flackern mit wechselnder Frequenz) folgen. Die niedrigste Spielerleistung wurde in Level 1 (Standardlevel) erreicht, wobei dies in den fehlenden Fragen zu Störfaktor, Gewöhnung und Immersion begründet liegt; die nächst-niedrigen Leistungen wur-

den in Level 2 (gering gesättigte Hintergrundfarbe) und Level 4 (stark gesättigte Hintergrundfarbe) erfasst.

5.4.4. Gegenüberstellung von Spielerfahrung und Spielerleistung

Die beiden im Rahmen des Experiments erfassten Datensammlungen – die für die Spielerfahrung im Durchschnitt vergebenen Bewertungspunkte und in den Levels durchschnittlich erreichten Punkte pro Sekunde – wurden in einem Verbunddiagramm einander gegenübergestellt, um eventuelle Abhängigkeiten und Beziehungen ausfindig machen zu können. Dieses Diagramm kann in Anhang D.3.5 betrachtet werden. Im Bezug auf die Spielerfahrung kann festgestellt werden, dass die geringste, durchschnittlich vergebene Gesamtpunktzahl eindeutig in Level 5 (gleichbleibendes Flackern) erreicht wurde. Hierauf folgt mit einer etwa halb so starken Negativ-Ausprägung Level 6 (Flackern mit wechselnder Frequenz), an das sich Level 4 (stark gesättigte Hintergrundfarbe) anschließt. Die beste Spielerfahrung wiederum konnte der Punktvergabe zufolge in Level 2 (gering gesättigte Hintergrundfarbe) erreicht werden; Level 3 (mittelmäßig gesättigte Hintergrundfarbe) und Level 7 (gleichmäßige Bewegung) folgen mit ihren gleich ausgeprägten Punktzahlen darauf.

Wird die durchschnittliche Spielerleistung betrachtet, kann festgestellt werden, dass diese sich in einem Bereich zwischen 2,5 PpS und 3,2 PpS bewegt. Ihren niedrigsten Wert erreichte die Leistung in Level 1 (Standardlevel), der Höchstwert ist in Level 7 (gleichmäßige Bewegung) verortet. Der Gesamttrend der Leistung über die Level hinweg kann als recht deutlich steigend bezeichnet werden. Lediglich ein Mal fand ein vergleichsweise gering ausgeprägter Rückgang der Leistung im Vergleich zum vorhergehenden Level statt: In Level 4 (stark gesättigte Hintergrundfarbe).

Die Standardabweichungen bei der Punktvergabe für die Spielerfahrung wurde in einem Diagramm dargestellt, dass sich in Anhang D.3.6 befindet. Es zeigt sich, dass die Ergebnisse sich in Level 6 (Flackern mit wechselnder Frequenz) am umfangreichsten vom kalkulierten Durchschnitt unterscheiden, mit nur wenig Abstand folgt darauf Level 3 (mittelmäßig gesättigte Hintergrundfarbe). Die geringste Standardabweichung wurde in Level 1 (Standardlevel) erzielt, gefolgt von Level 2 (gering gesättigte Hintergrundfarbe).

5.5. Auswertung der Daten sowie Schlussfolgerungen

Als Level, dessen Störfaktor die größten negativen Reaktionen hervorrief, kann eindeutig Level 5 (gleichbleibendes Flackern) ausgemacht werden, auf welches Level 6 (Flackern mit wechselnder Frequenz) folgt. Somit sind die beiden Level mit der schlechtesten Spielerfahrung diejenigen, die Flackern beinhalten. Dieses Ergebnis schlug sich auch in den freiwillig verfassten Feedback-Texten nieder: Das Flackern in Level 5 wurde als “extrem” und “Schock” bezeichnet, wie aus der Befragungstabelle für Level 5 (siehe Anhang D.1.12) hervorgeht. Auf Grundlage dieses Ergebnisses kann der generelle Störfaktor *Flackern* als der Faktor mit dem größten Störpotential ausgemacht werden. Betrachtet man den Faktor *Farbe*, so wird ersichtlich, dass eine stark gesättigte Hintergrundfarbe einen deutlichen negativen Einfluss auf die Spielerfahrung nehmen konnte, während niedrig und mittelmäßig gesättigte Hintergrundfarben vergleichsweise positiv aufgenommen wurden. In Bezug auf den generellen Störfaktor *Bewegung* zeigte sich, dass Level 8 (unregelmäßige Bewegung) eine schlechtere Spielerfahrung bot als Level 7 (gleichmäßige Bewegung). Dies lässt die Schlussfolgerung zu, dass gleichförmige, “ruhigere” Bewegungen (geringere Dynamik) weniger Ablenkung und somit weniger negativen Einfluss auf die Spielerfahrung hervorrufen als variierende, schneller verlaufende Bewegungen (höhere Dynamik).

Die hohen Werte für die errechnete Standardabweichung in jedem Level verdeutlichen erneut die Unterschiedlichkeit der Spielerfahrungs-Empfindungen, welche die Versuchspersonen in allen Leveln hatten, und weisen somit auf die Subjektivität der Spielerfahrung hin. Zudem deuteten neben den durch die Testpersonen vergebenen Punktzahlen auch deren optionale schriftliche Anmerkungen auf diesen Fakt hin. Als Beispiel hierfür können einige Feedback-Texte für Level 3 (mittelmäßig gesättigte Hintergrundfarbe), die in der dem Level zugeordneten Bewertungstabelle (siehe Anhang D.1.8) zu finden sind, als Beispiele dienen: Während Testperson #08 die Sättigung der Hintergrundfarbe als angenehm und spielfördernd empfand, fühlte sich Versuchsperson #04 durch den Kontrast zwischen der Hintergrundfarbe und dem dunklen Blau der Projektile gestört. Interessant ist, dass der Störfaktor *Kontrast*, obgleich er nicht implementiert oder abgefragt wurde, mehrmals von den Testpersonen erwähnt wurde – in den Anmerkungen zu Level 1 (Standardlevel), Level 3 (mittelmäßig gesättigte Hintergrundfarbe) und Level 4 (stark gesättigte Hintergrundfarbe) findet er sich wieder. Dies wird aus den entsprechenden Tabel-

len unter D.1 ersichtlich. Somit kann *Kontrast* als ein weiterer, die Spielerfahrung umfassend beeinflussender Faktor angenommen werden.

Abschließend sollen einige Vermutungen und Theorien formuliert werden, weshalb die beschriebenen Ergebnisse auftraten. Wie im zusammenfassenden Verbunddiagramm unter Anhang D.3.5 gesehen werden kann, passen sich die durchschnittlich erreichten Spielerleistungen nicht den durchschnittlich vergebenen Punkten für die Spielerfahrung an. Stattdessen beschreiben die Spielerleistungen einen recht stabilen Aufstieg im Verlauf des Experiments. Lediglich in zwei Leveln sank die Durchschnittsleistung im Vergleich zum vorherigen Level ab: In **Level 4** (stark gesättigte Hintergrundfarbe) und **Level 8** (unregelmäßige Bewegung). Daraus kann abgeleitet werden, dass die Störfaktoren kaum bis keinen Einfluss auf die Leistung im Spiel zu haben scheinen. Hierbei gilt es allerdings die vergleichsweise kurze Spieldauer und die (im Vergleich zu komplexeren Spielen) simple Aufgabenstellung zu beachten; längere Spieldauer und komplexere Spielaufgaben könnten potentiell andere Ergebnisse hervorbringen.

Die für **Level 1** (Standardlevel) vergebene, niedrige Durchschnitts-Punktzahl für die Spielerfahrung rührt von der alleinigen Abfrage des Spielgefühls her, da dem Level aufgrund seiner Konzeption als Einführungslevel ein eigener Störfaktor fehlte. Der Subfaktor der Spielerfahrung wurde dennoch mit den restlichen Leveln verglichen.

Die für **Level 2** (gering gesättigte Hintergrundfarbe), **Level 3** (mittelmäßig gesättigte Hintergrundfarbe) und **Level 4** (stark gesättigte Hintergrundfarbe) gesammelten Daten lassen den Schluss zu, dass eine Zunahme des Sättigungsgrades der verwendeten Hintergrundfarbe das Spielerlebnis negativ beeinflusst. Der Grund dafür dürfte in der entsprechend höher werdenden Salienz der Farbe liegen.

In **Level 5** (gleichbleibendes Flackern) und **Level 6** (Flackern mit wechselnder Frequenz) beeinflusste der Faktor *Flackern* die Spielerfahrung der Versuchspersonen am umfangreichsten negativ – sogar Spielabbrüche kamen vor (siehe Anhang D.1.12). Neben der starken Aktivierung des Hirnkortexes [GA20, S. 3], wie erwähnt in Kapitel 3.2.2, dürfte ein Grund für die negative Spielerfahrung ein starkes Ablenkungspotential des Flackerns sein. Dieses Potenzial könnte damit begründet werden, dass durch den ständigen, hochfrequenten Farbwechsel mehrmals in der Sekunde Veränderungen auftreten. Da die menschliche Wahrnehmung, wie erwähnt in Kapitel 2.3.2, sehr stark auf Veränderungen reagiert [HKMS11, S. 21], wird sie förmlich von diesen “angezogen” – es kommt zu Ablenkung und somit zu einem

negativen Einfluss auf die Spielerfahrung. Zudem veränderte sich durch das Flackern des kompletten Spielhintergrundes ein großer Teil der Spielumgebung, was das Übersehen des Störfaktors fast unmöglich gemacht haben dürfte. Interessanterweise wurde gleichmäßiges Flackern (wie in Level 5) negativer bewertet als ein Flackern mit wechselnder Frequenz (genutzt in Level 6). Dies könnte darin begründet liegen, dass Level 5 eine gleichbleibende, dafür recht hohe Frequenz nutzte. In Level 6 kam zwar auch eine Hintergrundwechsel-Frequenz vor, die sogar höher als die in Level 5 war, jedoch könnten Phasen mit niedrigerer Frequenz als “Ruhepausen” gedient haben, wie Versuchsperson #08 in der entsprechenden Bewertungstabelle (siehe Anhang D.1.14) mutmaßte.

Level 7 (gleichmäßige Bewegung) erhielt zusammen mit Level 3 (mittelmäßig gesättigte Hintergrundfarbe) die zweithöchste durchschnittliche Punktzahl für die Spielerfahrung. Betrachtet man Level 7, so kann vermutet werden, dass die im Level vorhandenen Wolken als Elemente wahrgenommen wurden, die der Spielwelt mehr Glaubwürdigkeit und Lebendigkeit verliehen. Diese Annahme stützt sich auf Bemerkungen von Testperson #08 zum Level, die in Anhang D.1.16 dargestellt sind. Zudem ist der Störfaktor hier recht stark von der Realität inspiriert, was einen krassen Gegensatz zum Faktor des Flackerns darstellt. Die gleichmäßigen, einheitlichen Bewegungen und die entsprechend niedrigere Dynamik beeinflussten die Spielerfahrung anscheinend kaum zum Negativen. Die höhere Dynamik in Level 8 (unregelmäßige Bewegung) hingegen wurde als die Spielerfahrung beeinträchtigender empfunden. Dies könnte damit zu begründen sein, dass die Bewegungen des Helikopters weniger vorhersehbar als die der Wolken gestaltet worden waren, weshalb weniger Gewöhnung stattgefunden haben dürfte. Zudem nahmen einzelne Versuchspersonen an, dass der Helikopter aktiv in das Spielgeschehen eingreifen würde (siehe Anhang D.1.18). Diese Vermutung dürfte zusätzlich dazu geführt haben, dass dem Fluggerät vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt wurde.

Es kann kritisch betrachtet werden, dass in Level 8 (unregelmäßige Bewegung) verschiedene potentielle Störfaktoren kombiniert wurden. So wurden *Geschwindigkeit*, *Ausrichtung*, *Form* und *Größe* von andersartigen Objekten zur Implementierung des Levels genutzt. Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung lassen sich jedoch als Voraussetzungen für das Stattfinden von Bewegung feststellen, während die Helikopter als andersartige Objekte mit dem Hintergrund eines digitalen Spiels gerechtfertigt werden können, die in das Setting des Spiels passen (Angriff von Blobs, gegen die das Militär vorgehen muss). Die Variation von Flugwinkeln und -geschwindigkeit sollte der Erhöhung der Dynamik innerhalb des Levels dienlich sein.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Es steht außer Frage, dass die Untersuchungen lediglich drei der vielen möglichen Störfaktoren abzudecken vermochten, weshalb weitere Untersuchungen diesbezüglich von Nutzen sein dürften. Zudem wurden die Störfaktoren ausschließlich im Hintergrund des Spiels umgesetzt, die Auswirkungen der Faktoren auf anderen Spielebenen bedürften ebenfalls genauerer Überprüfung. Es dürfte des Weiteren bei der Durchführung des Experimentes vermutlich auch zu Quereffekten gekommen sein, bei denen mehrere potentielle Störfaktoren zusammen gewirkt haben – diese Einflüsse untereinander standen jedoch nicht im Fokus der Versuchsreihe.

Es kann gesagt werden, dass trotz allem aussagekräftige Ergebnisse erreicht und ausgewertet werden konnten. Das durchgeführte Experiment vermochte die Subjektivität der Spielerfahrung durch die großen Unterschiede der für diese vergebenen Punktzahlen aufzuzeigen. Bemerkenswerterweise zeigte sich, dass die als verwirrende Elemente konzipierten Störfaktoren teilweise einen positiven Einfluss auf die Immersion der Testpersonen zu nehmen vermochten.

Die Ergebnisse des Versuches demonstrierten, dass anhaltendes Flackern in Spielen unbedingt vermieden werden sollte. Dies dient nicht nur einer besseren Spielerfahrung, sondern verhindert auch die Gefährdung von Spielenden mit Epilepsie oder ähnlichen photosensitiven Krankheitsbildern. Im Bezug auf die Farbgebung konnte festgestellt werden, dass eine hohe Sättigung die Spielerfahrung negativ zu beeinflussen vermag, was entsprechend bei der Gestaltung von Spielwelten berücksichtigt werden sollte. Im Hintergrund stattfindende Bewegungen mit niedriger Dynamik zeigten weniger negativen Einfluss auf die Spielerfahrung als Bewegungen höherer Dynamik. Hierbei wird gemutmaßt, dass diese Beeinflussung der Spielerfahrung auch stark von der Beschaffenheit sich bewegender Objekte abhängig ist – eine Wolke stellt ein gewohntes, womöglich Ruhe ausstrahlendes Objekt dar, andere Objekte könnten auf Spielende anders wirken.

Schlussendlich sind alle untersuchten Störfaktoren von vielen Gegebenheiten und Umständen abhängig. Der gewünschte Artstil des Spieles kann beispielsweise die Nutzung von mehr oder weniger gesättigten Farben vorschreiben. Leveldesign, das gewünschte Spielerlebnis und weitere Dinge können ebenfalls Einfluss darauf nehmen, wie wahrscheinlich das Auftreten der Störfaktoren im Spiel überhaupt ist.

Das ungewollte Auftreten potentieller visueller Störfaktoren sollte nach Möglichkeit während der Entwicklung digitaler Spiele nicht ignoriert werden, da es die Spielerfahrung bedeutend zu beeinträchtigen vermag. Um dies zu verhindern, ist es wichtig, nicht nur auf das Feedback von Spieltestern und Spieltesterinnen zu hören, sondern bereits während der Entwicklung aktiv nach solchen Fehlern zu suchen und sie zu beheben. Allerdings besteht die Möglichkeit, störende Effekte gezielt einzusetzen und etwa den Spieler in einem Level zusätzlich visuell zu belasten, um zum Beispiel die Immersion zu erhöhen. Hierbei muss im Rahmen des Game Designs eine wohlüberlegte Abwägung zwischen den Kosten (d.h. einer womöglich negativen Beeinflussung der Spielerfahrung) und dem angestrebten Nutzen (etwa einer erhöhten Immersion) stattfinden. Das zentrale Ziel einer jeden Spielentwicklung – das Erstellen eines guten Spieles, das Menschen gern spielen – ist die Auseinandersetzung mit diesen Überlegungen wert.

Die Subjektivität der Spielerfahrung führt dazu, dass eine Gruppe von Spielenden ein Element als störend wahrnimmt, während eine andere Gruppe es sogar als anregend empfindet. Die Entscheidung darüber, ob ein solches Element im Spiel verbleibt oder nicht implementiert wird, liegt stets bei den Entwicklern. Allerdings könnte es unter bestimmten Umständen möglich sein, sich für einen Mittelweg zu entscheiden und bestimmte potentielle Störfaktoren so zu gestalten, dass die Spieler sie anpassen können. In einem Spiel, in welchem die Spielfigur durch dunkle Gänge mit flackernden Lampen gesteuert werden muss, könnte im Spielmenü etwa eine Option eingebaut werden, mit deren Hilfe man flackernde Lichtquellen im Spiel deaktivieren oder deren Intensität anpassen kann. Auf diese Art und Weise würde den Spielenden mehr Entscheidungsfreiheit über ihr Spielerlebnis gegeben, was im Allgemeinen zu begrüßen ist und das Spiel für beide Gruppen jeweils am besten spielbar gestaltet.

Visuelle Störfaktoren stellen nur eines von vielen Hindernissen auf dem Weg zu einem guten Spiel dar – aufgrund dessen gilt es, ihnen Beachtung zu schenken und sie in Planung und Umsetzung von Spielen sinnvoll einzubeziehen.

Literaturverzeichnis

- [Abb19] Iftikhar B. Abbasov: *Psychology of Visual Perception*, Amazon Digital Services LLC, Januar 2019, ISBN ASIN: B07MPXKLQ7.
- [AL17] Ulrich Ansorge und Helmut Leder: *Wahrnehmung und Aufmerksamkeit*, Springer Wiesbaden, 2. Aufl., 2017, ISBN 978-3-658-12911-8.
- [AMN19] Ada Alevizaki, Nikos Melanitis und Konstantina Nikita: *Predicting Eye Fixations Using Computer Vision Techniques*, in *Proceedings of 2019 IEEE 19th International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE)*, S. 309–315, 2019.
- [Bak20] Peter M. Bak: *Wahrnehmung, Gedächtnis, Sprache, Denken*, Springer Berlin, Heidelberg, 1. Aufl., 2020, ISBN 978-3-662-61774-8.
- [BCT⁺14] Maricia P. A. Balayan, Vanessa V. B. Conoza, Jasmine M. M. Tolentino, Rowena C. Solamo und Rommel P. Feria: *On evaluating skillville: An educational mobile game on visual perception skills*, in *Proceedings of 2014 The 5th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA)*, S. 69–74, 2014.
- [BD20] Madeleine Brodbeck und Paul Dupuis: *The Short-Term Effects of Action and Non-Action Video Game Play on Attention*, *Intersect: The Stanford Journal of Science, Technology, and Society* (Vol. 14, No. 1, 2020), S. 1–13, Dezember 2020.
- [BH14] Cristina Bahm und Stephen Hirtle: *Textual Directions and Cognitive Workload*, in *iConference 2014 Proceedings*, S. 850–852, März 2014.
- [BI13] Ali Borji und Laurent Itti: *State-of-the-Art in Visual Attention Modeling*, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Bd. 35(1):S. 185–207, 2013.

- [Bro11] Daire Ó. Broin: *Using a Criteria-Based User Model for Facilitating Flow in Serious Games*, in *2011 Third International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications*, S. 63–69, 2011.
- [BSS17] Peter Bühler, Patrick Schlaich und Dominik Sinner: *Visuelle Kommunikation*, Springer Vieweg Berlin, Heidelberg, 1 Aufl., 2017, ISBN 978-3-662-53769-5.
- [BTD12] Christian Bellebaum, Patrizia Thoma und Irene Daum: *Neuropsychologie*, VS Verlag für Sozialwissenschaften Wiesbaden, 1 Aufl., 2012, ISBN 978-3-531-16827-2.
- [BZR12] Alcides X. Benicasa, Liang Zhao und Roseli A. F. Romero: *Model of top-down / bottom-up visual attention for location of salient objects in specific domains*, in *Proceedings of 2012 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, S. 1–8, 2012.
- [BZW11] Matthias Bernhard, Le Zhang und Michael Wimmer: *Manipulating attention in computer games*, in *Proceedings of 2011 IEEE 10th IVMS Workshop: Perception and Visual Signal Analysis*, S. 153–158, 2011.
- [CGC16] Leana Copeland, Tom Gedeon und Sabrina Caldwell: *Mitigating distractions during online reading: An explorative study*, in *Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, S. 4830–4835, 2016.
- [Cha07] Terry Chappell: *Work Instructions: Doing It Right the First Time*, in *Proceedings of 2007 32nd IEEE/CPMT International Electronic Manufacturing Technology Symposium*, S. 180–186, 2007.
- [CM22] Loïc Caroux und Axelle Mouginé: *Influence of visual background complexity and task difficulty on action video game players' performance*, *Entertainment Computing*, Bd. 41, März 2022.
- [DCL22] Maxime Delmas, Loïc Caroux und Céline Lemercier: *Searching in clutter: Visual behavior and performance of expert action video game players*, *Applied Ergonomics*, Bd. 99, Februar 2022.
- [Dom20] Veronika Domova: *Guiding the Operator's Attention Among a Plurality of Operator Workstation Screens*, in *Proceedings of 2020 25th IEEE*

- International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, Bd. 1, S. 541–548, 2020.
- [Erh08] Angelika Erhardt: *Einführung in die Digitale Bildverarbeitung*, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 1. Aufl., 2008, ISBN 978-3-519-00478-3.
- [EZM09] Ulrich Engelke, Hans-Jürgen Zepernick und Anthony Maeder: *Visual attention modeling: Region-of-interest versus fixation patterns*, in *Proceedings of 2009 Picture Coding Symposium*, S. 1–4, 2009.
- [Fer14] Alois Ferscha: *Attention, Please!*, *IEEE Pervasive Computing*, Bd. 13(1):S. 48–54, 2014.
- [For15] Processing Forum: *Processing 2.x and 3.x Forum*, Juli 2015, abgerufen am 16. Oktober 2022; Nutzung des Antwort-Kommentars des Nutzers “akenaton”.
URL <https://forum.processing.org/two/discussion/11883/how-to-append-a-text-to-a-file.html>
- [GA20] Carlyn P. Gentile und Geoffrey K. Aguirre: *A neural correlate of visual discomfort from flicker*, *bioRxiv*, 2020.
- [Gon09] Chao Gong: *Human-Machine Interface: Design Principles of Visual Information in Human-Machine Interface Design*, in *Proceedings of 2009 International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics*, Bd. 2, S. 262–265, 2009.
- [GWX21] Siyu Gao, Haiyan Wang und Chengqi Xue: *The Effects of Brightness Difference on Visual Perception of Characters*, in *Proceedings of 2021 22nd IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, Bd. 1, S. 1200–1204, 2021.
- [Haa03] Henning Haase: *Spiel*, Kap. 3, S. 416–421, J.B. Metzler Stuttgart, Stuttgart, 1. Aufl., 2003.
- [HE12] Christopher Healey und James Enns: *Attention and Visual Memory in Visualization and Computer Graphics*, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Bd. 18(7):S. 1170–1188, 2012.

- [HKMS11] Herbert Hagedorf, Joseph Krummenacher, Hermann-Josef Müller und Torsten Schubert: *Allgemeine Psychologie für Bachelor: Wahrnehmung und Aufmerksamkeit. (Lehrbuch mit Online-Materialien)*, Springer Berlin, Heidelberg, 1. Aufl., 2011, ISBN 978-3-642-12709-0.
- [HL21] Eugene Hwang und Jeongmi Lee: *Attention Guidance Technique Using Visual Subliminal Cues And Its Application On Videos*, in *Proceedings of 2021 ACM International Conference on Interactive Media Experiences*, S. 167–177, Juni 2021.
- [IEE] IEEE: *IEEE - The world's largest technical professional organization dedicated to advancing technology for the benefit of humanity*, abgerufen am 28. Oktober 2022.
URL <https://www.ieee.org/>
- [JGQ08] Éric Jamet, Monica Gavota und Christophe Quaireau: *Attention guiding in multimedia learning*, *Learning and Instruction*, Bd. 18:S. 135–145, März 2008.
- [JSW19] Wei Jiang, Yanan Su und Shuang Wang: *A Study of Visual Attention Elements with Experiment Analysis Based on Composition*, in *Proceedings of 2019 IEEE/ACIS 18th International Conference on Computer and Information Science (ICIS)*, S. 130–135, 2019.
- [JWL10] Xiao-Feng Jiang, Shan-Shan Wang und Guo-Lian Liu: *Study on Cognition of Clothing Color Based on Saturation*, in *Proceedings of 2010 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering*, S. 1–4, 2010.
- [JZL11] Liang-kui Jiang, Jin-yi Zhi und Feng Liu: *Color saturation preference of train's seat based on visual comfort*, in *Proceedings of 2011 IEEE 18th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, Bd. Part 3, S. 2032–2035, 2011.
- [KM17] Joseph Krummenacher und Hermann Müller: *Aufmerksamkeit*, S. 103–151, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2017, ISBN 978-3-642-53898-8.

- [LBF05] Kangwoo Lee, Hilary Buxton und Jianfeng Feng: *Cue-guided search: a computational model of selective attention*, *IEEE Transactions on Neural Networks*, Bd. 16(4):S. 910–924, 2005.
- [LCN13] Patrick Le Callet und Ernst Niebur: *Visual Attention and Applications in Multimedia Technologies, Proceedings of the IEEE (Volume 101, Issue 9, September 2013)*, Bd. 101(9):S. 2058–2067, 2013.
- [LLCK16] Yi-Chieh Lee, Wen-Chieh Lin, Fu-Yin Cherng und Li-Wei Ko: *A Visual Attention Monitor Based on Steady-State Visual Evoked Potential*, *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, Bd. 24(3):S. 399–408, 2016.
- [LM03] Konrad Lischka und Tobias O. Meißner: *Videospiel*, S. 484–488, J.B. Metzler, Stuttgart, 2003, ISBN 978-3-476-05001-4.
- [MCWC13] David Marshall, Damien Coyle, Shane Wilson und Michael Callaghan: *Games, Gameplay, and BCI: The State of the Art*, *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, Bd. 5(2):S. 82–99, 2013.
- [MKS15] Hermann J. Müller, Joseph Krummenacher und Torsten Schubert: *Aufmerksamkeit und Handlungssteuerung*, Springer Berlin, Heidelberg, 1 Aufl., 2015, ISBN 978-3-642-41824-2.
- [MMBG06] Oge Marques, Liam M. Mayron, Gustavo B. Borba und Humberto R. Gamba: *On the Potential of Incorporating Knowledge of Human Visual Attention into Cbir Systems*, in *Proceedings of 2006 IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, S. 773–776, 2006.
- [MS09] Karen Murphy und Amy Spencer: *Playing video games does not make for better visual attention skills*, *Journal of Articles in Support of the Null Hypothesis*, Bd. 6:S. 1–21, 2009.
- [MSB⁺17] Rwan Mahmoud, Tamer Shanableh, Indu P. Bodala, Nitish V. Thakor und Hasan Al-Nashash: *Novel Classification System for Classifying Cognitive Workload Levels Under Vague Visual Stimulation*, *IEEE Sensors Journal*, Bd. 17(21):S. 7019–7028, 2017.

- [MST⁺16] Rohit Mallick, David Slayback, Jon Touryan, Anthony J. Ries und Brent J. Lance: *The use of eye metrics to index cognitive workload in video games*, in *Proceedings of 2016 IEEE Second Workshop on Eye Tracking and Visualization (ETVIS)*, S. 60–64, 2016.
- [NKO⁺19] Anh-Duc Nguyen, Jongyoo Kim, Heeseok Oh, Haksun Kim, Weisi Lin und Sanghoon Lee: *Deep Visual Saliency on Stereoscopic Images*, *IEEE Transactions on Image Processing*, Bd. 28(4):S. 1939–1953, 2019.
- [OB92] Werner K.E. Osterhaus und Ian L. Bailey: *Large area glare sources and their effect on visual discomfort and visual performance at computer workstations*, in *Conference Record of the 1992 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, Bd. 2, S. 1825–1829, 1992.
- [oSN22] Springer Nature Switzerland AG. Part of Springer Nature: *Providing researchers with access to millions of scientific documents from journals, books, series, protocols, reference works and proceedings.*, September 2022, abgerufen am 29. September 2022.
URL <https://link.springer.com/>
- [OUD] Survio Online-Umfrage-Dienst: *Survio*[®] | *Umfrage erstellen* | *Kostenlose Online Umfrage*, abgerufen am 13. Dezember 2022.
URL <https://www.survio.com/de/>
- [OV16] OpenClipart-Vectors: *Pixabay*, März 2016, abgerufen am 18. November 2022.
URL <https://pixabay.com/de/vectors/flugzeug-heer-fliege-hubschrauber-1293754/>
- [PPRS20] Samira Poudratchi, Kazem Poursalvar, Samad Roohi und Yoones Sekhavat: *Mind Wandering Detection and Application of a Computer Game (Focus) as an Intervention to Return Attention During Readings*, in *Proceedings of 2020 International Serious Games Symposium (ISGS)*, S. 45–50, 2020.
- [Res] ResearchGate: *ResearchGate* | *Find and share research*, abgerufen am 28. Oktober 2022.
URL <https://www.researchgate.net/>

- [Ros21a] Christian Roschke: *Benutzeranforderungen erheben und verstehen*, September 2021, kursinterne Stichpunkt-Seite des Moduls “Mensch-Maschine-Interaktion” auf der Online-Lehrplattform “OPAL”.
- [Ros21b] Christian Roschke: *Informationsverarbeitung und Wahrnehmung*, September 2021, kursinterne Stichpunkt-Seite des Moduls “Mensch-Maschine-Interaktion” auf der Online-Lehrplattform “OPAL”.
- [Ros21c] Christian Roschke: *Informationsverarbeitung und Wahrnehmung*, September 2021, kursinterne Stichpunkt-Seite des Moduls “Mensch-Maschine-Interaktion” auf der Online-Lehrplattform “OPAL”.
- [Ros21d] Christian Roschke: *Kognition und Motorik*, September 2021, kursinterne Stichpunkt-Seite des Moduls “Mensch-Maschine-Interaktion” auf der Online-Lehrplattform “OPAL”.
- [Ros21e] Christian Roschke: *Kognition und Motorik*, September 2021, kursinterne Stichpunkt-Seite des Moduls “Mensch-Maschine-Interaktion” auf der Online-Lehrplattform “OPAL”.
- [Ros21f] Christian Roschke: *Mentale Modelle, Fehler und technische Rahmenbedingungen*, September 2021, kursinterne Stichpunkt-Seite des Moduls “Mensch-Maschine-Interaktion” auf der Online-Lehrplattform “OPAL”.
- [SX10] Yu’an Shu und Xingfu Xiong: *Visual sense and the visual features of design*, in *Proceedings of 2010 IEEE 11th International Conference on Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design 1*, Bd. 2, S. 1555–1558, 2010.
- [TW10] Caja Thimm und Lukas Wosnitza: *Das Spiel - analog und digital*, S. 33–54, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 2010, ISBN 978-3-531-91945-4.
- [Vil15] Jessica Villing: *Towards Dialogue Strategies for Cognitive Workload Management*, Dissertation, University of Gothenburg, Oktober 2015.
- [WA05] Wikipedia-Autoren: *Processing*, Mai 2005, abgerufen am 28. Oktober 2022.
URL <https://de.wikipedia.org/wiki/Processing>

- [Wil15] Arnold J. Wilkins: *Physiological basis for visual discomfort*, in *Proceedings of CIE Manchester*, Juni 2015.
- [WLMB⁺14] Manuela Waldner, Mathieu Le Muzic, Matthias Bernhard, Werner Purgathofer und Ivan Viola: *Attractive Flicker — Guiding Attention in Dynamic Narrative Visualizations*, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Bd. 20(12):S. 2456–2465, 2014.
- [WLT11] Zhiming Wu, Tao Lin und Ningjiu Tang: *How do visual angle and physical screen size affect presence and emotional responses of game players?*, in *Proceedings of 2011 International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet)*, S. 4128–4131, 2011.
- [XPZH22] Jiawei Xu, Seop H. Park, Xiaoqin Zhang und Jie Hu: *The Improvement of Road Driving Safety Guided by Visual Inattentive Blindness*, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Bd. 23(6):S. 4972–4981, 2022.
- [ZW09] Ye Zhang und Jia Wang: *Human-computer interaction design strategy for color identification on multi-media visual interface*, in *Proceedings of 2009 IEEE 10th International Conference on Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design*, S. 1874–1877, 2009.

Anhang

A. Grafiken zur biologischen Funktionsweise des menschlichen Sehsinnes

A.1. Aufbau des Auges

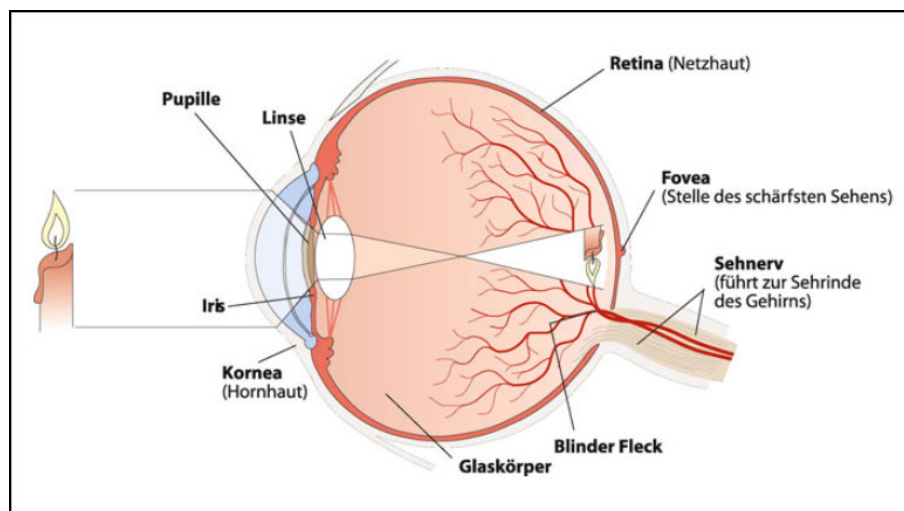


Abbildung A.1.1.: Das menschliche Auge im Querschnitt; Grafik entnommen aus [HKMS11, S. 54].

A.2. Aufbau des Sichtfeldes

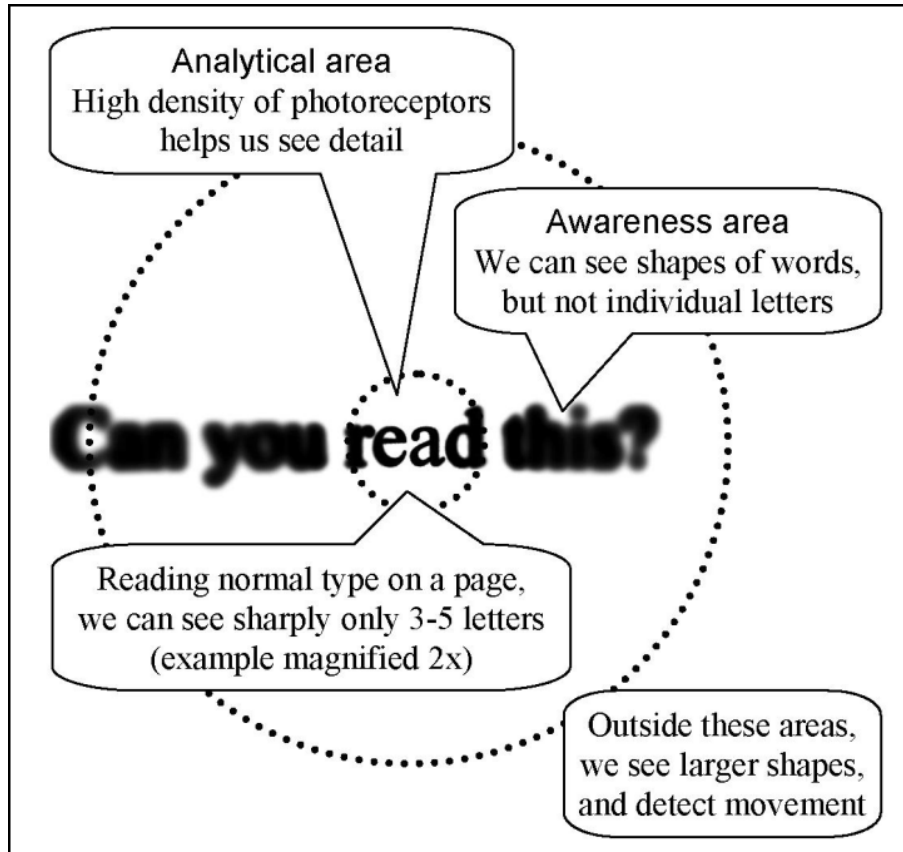


Abbildung A.2.1.: Der Aufbau des scharfen Sichtfeldbereiches; Grafik entnommen aus [Cha07, S. 180].

B. Grafiken zur Konzeption des Spiels

B.1. Einteilung des 2D-Spiels in Ebenen

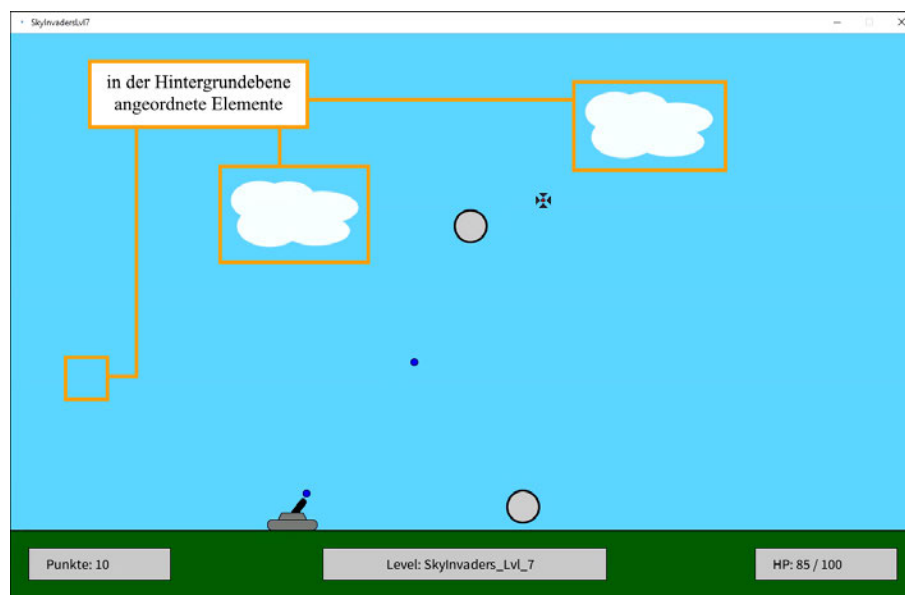


Abbildung B.1.1.: Screenshot von "SkyInvaders" mit Markierungen für in der Hintergrundebene gezeichnete Elemente (Beispielbild).

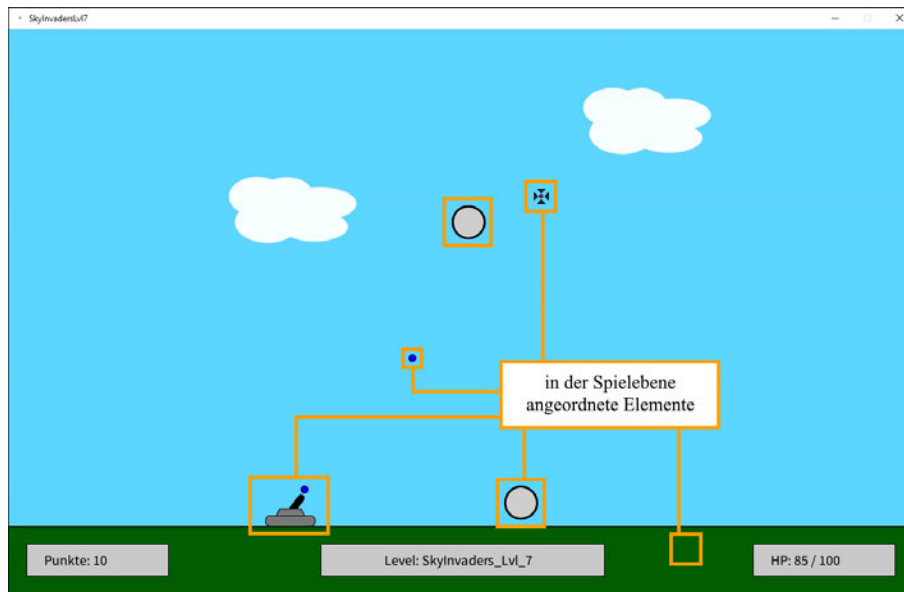


Abbildung B.1.2.: Screenshot von “SkyInvaders” mit Markierungen für in der Spielebene gezeichnete Elemente (Beispielbild).



Abbildung B.1.3.: Screenshot von “SkyInvaders” mit Markierungen für in der Vordergrundebene gezeichnete Elemente (Beispielbild).

B.1. EINTEILUNG DES 2D-SPIELS IN EBENEN

EBENE	VORTEILE	NACHTEILE	ZU BEACHTEN
Hintergrund	<ul style="list-style-type: none"> • große Fläche • Farbänderungen sind gut umsetzbar und haben deutlich sichtbaren Einfluss auf das Gesamtbild des Spiels • dürfte die meiste Zeit im Blick der Teilnehmer sein; hier positionierte Stimuli werden durch ihre Nähe zu wichtigen Spielinhalten (Gegner, eigene Projektile) potenziell eher wahrgenommen 	<ul style="list-style-type: none"> • Farbwechselwirkungen mit Objekten auf der Spiel-Ebene (Gegner, eigene Projektile) sind möglich → sollte durch die Konstanz der Elemente in der Spiel-Ebene größtenteils vernachlässigbar sein; durch neutralere Gegnerfarbe (beispielsweise Grau) können Wechselwirkungen hoffentlich abgeschwächt werden 	<ul style="list-style-type: none"> • Komplexität des Hintergrunds beeinflusst die Spielerleistung [CM2] → je höher die Komplexität, desto mehr Aufwand muss für die visuelle Suche betrieben werden → Komplexität sollte möglichst gleich gehalten werden, auch zwischen den Levels
Spiel-Ebene	-	<ul style="list-style-type: none"> • einige Faktoren („Bewegung“, „Ausrichtung“) können das Gameplay beeinflussen, da sie auf der Spiel-Ebene nur die dort vorhandenen Elemente (Gegner, Spielercharakter, Projektile) beeinflussen können → Gameplay soll unangetastet bleiben, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Umfrage und erfassten Spieldaten sicherzustellen 	-
Vordergrund	<ul style="list-style-type: none"> • UI-Elemente: Störfaktoren wie „Blinken“ oder „Farbwechsel“ wären nahe an in anderen Spielen genutzten Effekten • UI-Elemente: Hintergrund der Elemente bleibt konstant (grüne Grasfläche), daher müssen weniger Wechselwirkungen zwischen Farben einkalkuliert werden • Lenken der Aufmerksamkeit auf UI-Elemente wäre aufgrund einer hohen räumlichen Distanz zum eigentlichen Spielgeschehen im Sinne der Ablenkung 	<ul style="list-style-type: none"> • wahrscheinlich während des Spielens Abtasten des Vordergrunds bzw. der UI-Elemente vor allem mit dem peripheren Sichtfeld (Grund: räumliche Entfernung zwischen dem Luftraum und den UI-Anzeigen) → sinnvolle Faktoren wären „Bewegung“, „Kontraste“ und „Hell-Dunkel-Unterschiede“ (als Unterpunkt der „Kontraste“), da diese im peripheren Sichtfeld gut erfasst werden können → „Kontraste“ wurden für die Implementierung des Versuchs verworfen 	-

■ → für die Implementierung im Spiel genutzte Ebene
■ → für die Implementierung im Spiel nicht genutzte Ebene

Abbildung B.1.4.: Tabelle mit Überlegungen zur Nutzbarkeit der verschiedenen Spielebenen im Rahmen des Experiments.

B.2. Überlegungen bezüglich für die Aufmerksamkeitsbeeinflussung geeigneten Eigenschaften

FAKTOR(EN)	QUELLE(N)	ÜBERLEGUNGEN
Farbe(n) mit HSV-Farbraum (Sättigung, Hellwert, Farbwert)	siehe Kapitel	wurde als gut umsetzbar ausgewählt (ausgeführte Begründungen im entsprechenden Kapitel „Definition visueller Störfaktoren“)
Farbverlauf	[NKO'19]	an sich zwar Unterpunkt des ausgewählten Faktors „Farbe“, jedoch wäre eine Vielzahl an Verläufen möglich, wobei die Wirkungen und Eigenschaften der einzelnen Farben zugleich berücksichtigt werden müssten → nicht gewählt aufgrund des Umfangs und aufgrund dessen, dass bereits einzelne Farben als Faktor gewählt wurden
Kontraste (von Farben untereinander)	[WLMB'14]	Wirkung ist weniger stark im Vergleich zu anderen Faktoren (Bewegung, Flackern); kann sowohl zwischen Farben als auch zwischen verschiedenen Luminanzen existieren; eigentlich gut umsetzbar im Hintergrund und im UI (in beiden Fällen handelt es sich um statische Flächen) → allerdings vor allem Nutzung für Aufteilung des Spielgeschehens; wäre recht umfangreich; lässt sich nicht vollkommen vermeiden [GWX21]
lokaler Zentrum-Umgebungs-Kontrast	[BI13]	lässt sich als Unterpunkt des allgemeinen Faktors „Kontrast“ betrachten, daher ebenfalls nicht gewählt
Textur-Kontrast	[BI13]	keine Nutzung von Texturen in „SkyInvaders“ (lediglich farbige Flächen ohne spezifische Oberflächeneigenschaften); kann als Unterpunkt des allgemeinen Faktors „Kontraste“ betrachtet werden
Form von Objekten	[EZM09]	wäre sehr umfangreich, allein schon aufgrund der Form-Auswahl (Grundformen, komplexere Formen usw.)
Ellipsen	[BI13]	lässt sich als Unterpunkt des allgemeinen Faktors „Form von Objekten“ betrachten, daher ebenfalls nicht gewählt
wichtige Objekte und deren Silhouetten	[JSW19]	lässt sich als Unterpunkt des allgemeinen Faktors „Form von Objekten“ betrachten, daher ebenfalls nicht gewählt
Bewegung / Bewegungsmuster von Objekten	siehe Kapitel	wurde als gut umsetzbar ausgewählt (ausgeführte Begründungen im entsprechenden Kapitel „Definition visueller Störfaktoren“)
optischer Fluss	[BI13] [Netz-Link #1]	bei diesem Faktor wird die Erkennung von Eigenbewegung durch den Teilnehmer einbezogen; kann als Unterpunkt von „Bewegung“ bzw. deren Wahrnehmung kategorisiert werden
Ort	[EZM09]	Ortveränderungen stellen eine Bedingung für den Faktor „Bewegung“ dar und sollen nicht gesondert betrachtet werden
Flackern	siehe Kapitel	wurde als gut umsetzbar ausgewählt (ausgeführte Begründungen im entsprechenden Kapitel „Definition visueller Störfaktoren“)

Netz-Link #1 (optischer Fluss): <https://lexikon.stanzl.eu/21844/optischer-fluss> (Zugriff am 28.11.2022)

→ zur Implementierung ausgewählter Störfaktor
→ nicht zur Implementierung ausgewählter Störfaktor
→ nicht zur Implementierung ausgewählter Störfaktor, der als Subfaktor eines darüber stehenden Faktors betrachtet werden kann

Abbildung B.2.1.: Tabelle mit Überlegungen zur Nutzbarkeit der verschiedenen möglichen Störfaktoren im Rahmen des Experiments (Teil 1).

B.2. ÜBERLEGUNGEN BEZÜGLICH FÜR DIE AUFMERKSAMKEITSBEEINFLUSSUNG GEEIGNETEN EIGENSCHAFTEN

FAKTOR(EN)	QUELLE(N)	ÜBERLEGUNGEN
Leuchtdichte / Luminance	[WLMB*14] [Netz-Link #2]	Luminanz gilt als Maß für die Helligkeit von Monitor-Punkten, welche aber durch die Natur der Umfrage (Online-Test) bei jedem Teilnehmer aufgrund der Hardware unterschiedlich sein kann
Gestaltgesetze	[BSS17]	sehr umfangreich (würden allein schon 12 mögliche Kombinationen darstellen); hoher Umsetzungsaufwand, da die Anordnung der Gegner beeinflussbar sein müsste → wäre ein Eingriff in die Spiel-Ebene, der verhindert werden soll (Gameplay wird beeinflusst); Lehmeinung bezieht sich auf statische Anordnungen, weshalb eine Anwendung auf bewegte Inhalte eventuell schwierig sein dürfte
Schärfe / Verschwimmen-Lassen von unwichtigen Elementen	[WLMB*14]	Änderungen an der Darstellungsschärfe während der Laufzeit ist in Processing möglich, jedoch nur bei aus Bilddateien generierten „Pimages“ → das vorhandene Spiel „SkyInvaders“ arbeitet allerdings mit Processing-Elementen; „Blurring-Map“ zum Legen über das Spielgeschehen würde einen übermäßigen Aufwand bedeuten
Detailverringern unwichtiger Elemente	[WLMB*14]	hier wäre eine Umkehrung des Vorgehens (Detailverringern wichtiger Elemente) notwendig → dies würde einen Eingriff in die Spiel-Ebene bedeuten
Größe	[WLMB*14]	Hintergrund als Fläche ist in seiner Größe kaum sicht- und sinnvoll variierbar; keine variierbaren Elemente in der Standardversion des Spiels
Ausrichtung	[Dom20]	Darstellen eines unterschiedlich rotierten Hintergrundbildes in verschiedenen Levels erscheint wenig sinnvoll; Hintergründe in digitalen Spielen behalten ihre Ausrichtung meist bei
mehrere überlagerte Ausrichtungen	[BI13]	kann als Unterpunkt des Faktors „Ausrichtung“ aufgefasst werden
plötzliches Auftauchen	[Ren03]	kann zu einem gewissen Grad auch in den bereits ausgewählten Faktoren „Flackern“ (wiederholtes, plötzliches Wechseln der gezeigten Farbe) sowie „Bewegung“ (Heraufliegen eines Objektes in den sichtbaren Bereich des Spielfensters) enthalten sein; soll hier nicht gesondert betrachtet werden
Beleuchtung	[BZW11]	„SkyInvaders“ arbeitet in seiner Grundform nicht mit Beleuchtungsberechnung; wäre implementierbar, besäße allerdings Unterfaktoren (Winkel, Position, Intensität, Farbe), deren Kombination die Komplexität und den Umfang potenziell zu groß werden ließen
Komplexität	[CM22]	sehr umfangreicher Faktor, da beeinflussbar durch Menge an gezeigten Einzelementen, Texturierung und weitere Eigenschaften → zahlreiche Kombinationsmöglichkeiten und entsprechend großer Umfang
Hautfarbe, Gesichter	[BI13]	„SkyInvaders“ beinhaltet keine menschlichen Figuren; Wirkung dieser wäre wohl stark von Realismus, Zeichenstil und weiteren Dingen abhängig; hohe Komplexität
horizontale Linien	[BI13]	Darstellung im Spiel wäre möglich, aber nicht realitätsnah im Kontext digitaler Spiele

Netz-Link #2 (Leuchtdichte / Luminance): <https://help.cfi.com/cps/4.7/de-de/GUID-80522CF8-46E0-44BD-A761-3A1ED22B1EA4.html> (Zugriff am 28.11.2022)

→ nicht zur Implementierung ausgewählter Störfaktor
→ nicht zur Implementierung ausgewählter Störfaktor, der als Subfaktor eines darüber stehenden Faktors betrachtet werden kann

Abbildung B.2.2.: Tabelle mit Überlegungen zur Nutzbarkeit der verschiedenen möglichen Störfaktoren im Rahmen des Experiments (Teil 2).

FAKTOR(EN)	QUELLE(N)	ÜBERLEGUNGEN
„Wavelet“ / Wellenform	[BI13]	eine Umsetzung als sichtbarer Faktor im Spiel konnte nicht erschlossen werden
„Gist“ / Bedeutung einer Szene	[BI13] [Netz-Link #3]	sehr subjektive Erfahrung; Bedeutung zu stark abhängig von abstrakten Konzeptionierungen der Probanden, die sich nicht gut zur Auswertung eignen würden
„Center-Bias“ / Voreingenommenheit des Zentrums	[BI13] [Netz-Link #4]	ist ein übergeordnetes Konzept, das schwerlich als konkreter Faktor umgesetzt werden kann
Krümmung	[BI13]	Krümmung als komplexeres Konzept, dessen sinnvolle Umsetzbarkeit im Rahmen eines simplen 2D-Spiels fraglich ist
räumliche Auflösung	[BI13]	weder an der Auflösung des Spiels noch am spielübergreifenden Szenenaufbau sollten große Änderungen vorgenommen werden, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu wahren
Entropie	[BI13] [Netz-Link #5]	Entropie als statistische Möglichkeit, den transportierten Informationsgehalt eines Bildes zu messen (geringere Farbvariation und weniger Vielfalt bedeuten weniger Entropie als eine Vielzahl von Farben und hohe Vielfalt) → würde bedeuten, dass man manche Teile des Spiels mehr oder weniger entropisch gestalten müsste → sehr viele Kombinationen von Faktoren möglich, deren einzelne Wirkungen untereinander zusätzlich berücksichtigt werden müssten; Kontraste als weiterer zu beachtender Faktor
Symmetrie	[BI13]	dynamische Natur von „SkyInvaders“ als Spiel (zufallsbeeinflusste, unterschiedliche Generierung der Gegner, Spieler kann sich bewegen); wird nicht als spielbarer Faktor eingestuft
überdurchschnittliche Salienz	[BI13]	soll nicht als einzelner Faktor, sondern als generelles Ziel betrachtet werden (Nutzen salienter Eigenschaften zur Lenkung der Aufmerksamkeit)
Tiefe	[BI13]	„SkyInvaders“ als 2D-Spiel → keine Tiefe im Sinne der Dreidimensionalität existent; kein Arbeiten mit Licht bzw. Beleuchtung im Spiel → kein Erzeugen von Tiefenillusion dadurch möglich
Szenenwechsel	[MBMA*21]	würde gleichzeitigen Wechsel mehrerer Faktoren (Farben, Kontraste usw.) bedeuten, es sollen jedoch einzelne Faktoren betrachtet werden
Tiefenschärfe	[JSW19]	wurde in der Quelle im Rahmen einer Auswertung als Faktorklasse mit dem geringsten Potenzial dazu, visuelle Aufmerksamkeit zu erzeugen, ermittelt
Seltenheit	[XPZ20]	Gewöhnung an selten auftauchende Objekte könnte stattfinden, da die Teilnehmer die Level mehrmals spielen sollen

Netz-Link #3 („Gist“ / Bedeutung einer Szene): <https://www.k-state.edu/psych/vcl/basic-research/scene-gist.html> (Zugriff am 28.11.2022)

Netz-Link #4 („Center-Bias“ / Voreingenommenheit des Zentrums): <https://psyc.arizona.edu/article.aspx?url=/1771314> (Zugriff am 28.11.2022)

Netz-Link #5 (Entropie): <https://www.ad-lib.io/resources/how-do-color-and-entropy-affect-ad-performance> (Zugriff am 18.11.2022)

→ nicht zur Implementierung ausgewählter Störfaktor

Abbildung B.2.3.: Tabelle mit Überlegungen zur Nutzbarkeit der verschiedenen möglichen Störfaktoren im Rahmen des Experiments (Teil 3).

B.3. Überlegungen zur Frequenzwahl des Flackerns

Farbwechsel nach x Bildern	resultierende Frequenz	Farbwechsel nach x Bildern	resultierende Frequenz
x = 1	50,000 Hz	x = 26	1,923 Hz
x = 2	25,000 Hz	x = 27	1,852 Hz
x = 3	16,700 Hz	x = 28	1,786 Hz
x = 4	12,500 Hz	x = 29	1,724 Hz
x = 5	10,000 Hz	x = 30	1,700 Hz
x = 6	8,333 Hz	x = 31	1,613 Hz
x = 7	7,143 Hz	x = 32	1,563 Hz
x = 8	6,250 Hz	x = 33	1,515 Hz
x = 9	5,556 Hz	x = 34	1,471 Hz
x = 10	5,000 Hz	x = 35	1,429 Hz
x = 11	4,545 Hz	x = 36	1,389 Hz
x = 12	4,167 Hz	x = 37	1,351 Hz
x = 13	3,846 Hz	x = 38	1,316 Hz
x = 14	3,571 Hz	x = 39	1,282 Hz
x = 15	3,333 Hz	x = 40	1,250 Hz
x = 16	3,125 Hz	x = 41	1,220 Hz
x = 17	2,941 Hz	x = 42	1,190 Hz
x = 18	2,778 Hz	x = 43	1,163 Hz
x = 19	2,632 Hz	x = 44	1,136 Hz
x = 20	2,500 Hz	x = 45	1,111 Hz
x = 21	2,381 Hz	x = 46	1,087 Hz
x = 22	2,273 Hz	x = 47	1,064 Hz
x = 23	2,174 Hz	x = 48	1,042 Hz
x = 24	2,083 Hz	x = 49	1,020 Hz
x = 25	2,000 Hz	x = 50	1,000 Hz

Abbildung B.3.1.: Auflistung von bei 50 Bildern pro Sekunde möglichen Flacker-Frequenzen.

C. GRAFIKEN ZUR IMPLEMENTIERUNG

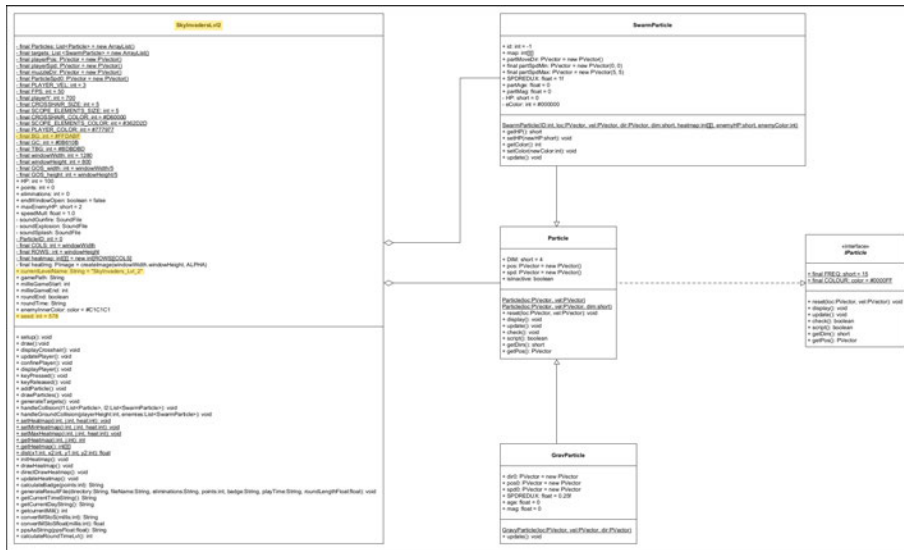


Abbildung C.1.2.: UML-Klassendiagramm des zweiten Levels (niedrige Sättigung der Hintergrundfarbe); erstellt mit “Dia” und “UMLet”.

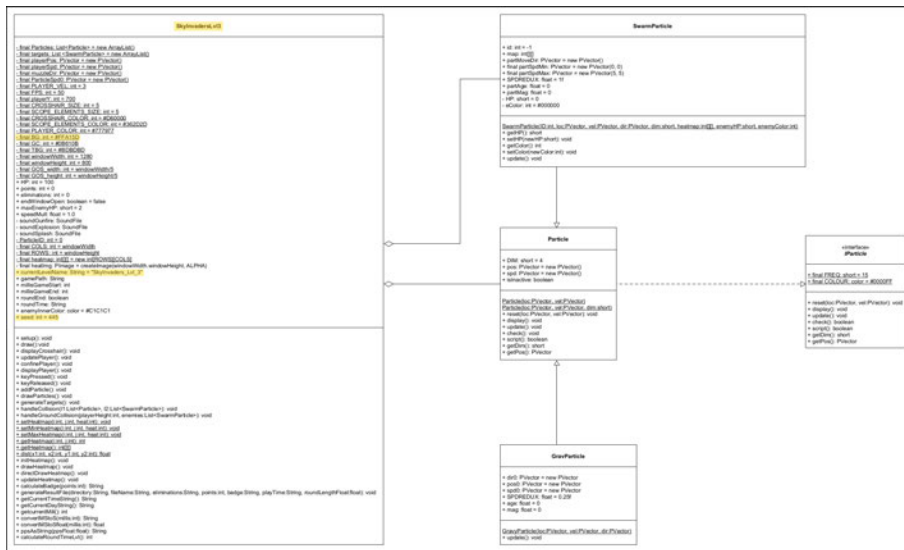


Abbildung C.1.3.: UML-Klassendiagramm des dritten Levels (mittlere Sättigung der Hintergrundfarbe); erstellt mit “Dia” und “UMLet”.

C.1. UML-KLASSENDIAGRAMME DER LEVEL

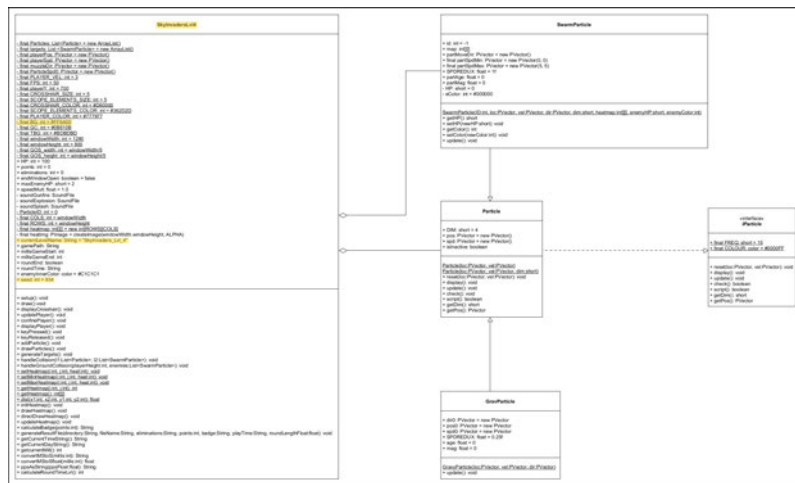


Abbildung C.1.4.: UML-Klassendiagramm des vierten Levels (hohe Sättigung der Hintergrundfarbe); erstellt mit “Dia” und “UMLet”.

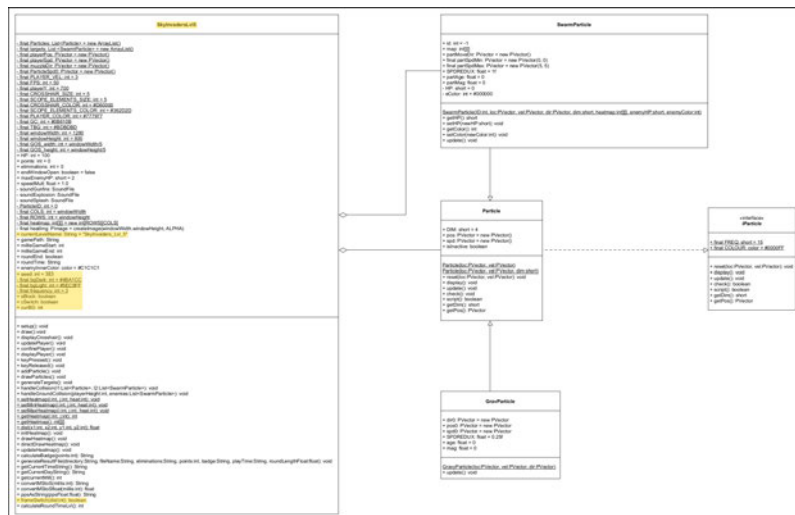


Abbildung C.1.5.: UML-Klassendiagramm des fünften Levels (gleichmäßiges Flackern); erstellt mit “Dia” und “UMLet”.

C.2. Flussdiagramme wichtiger Quellcode-Auszüge

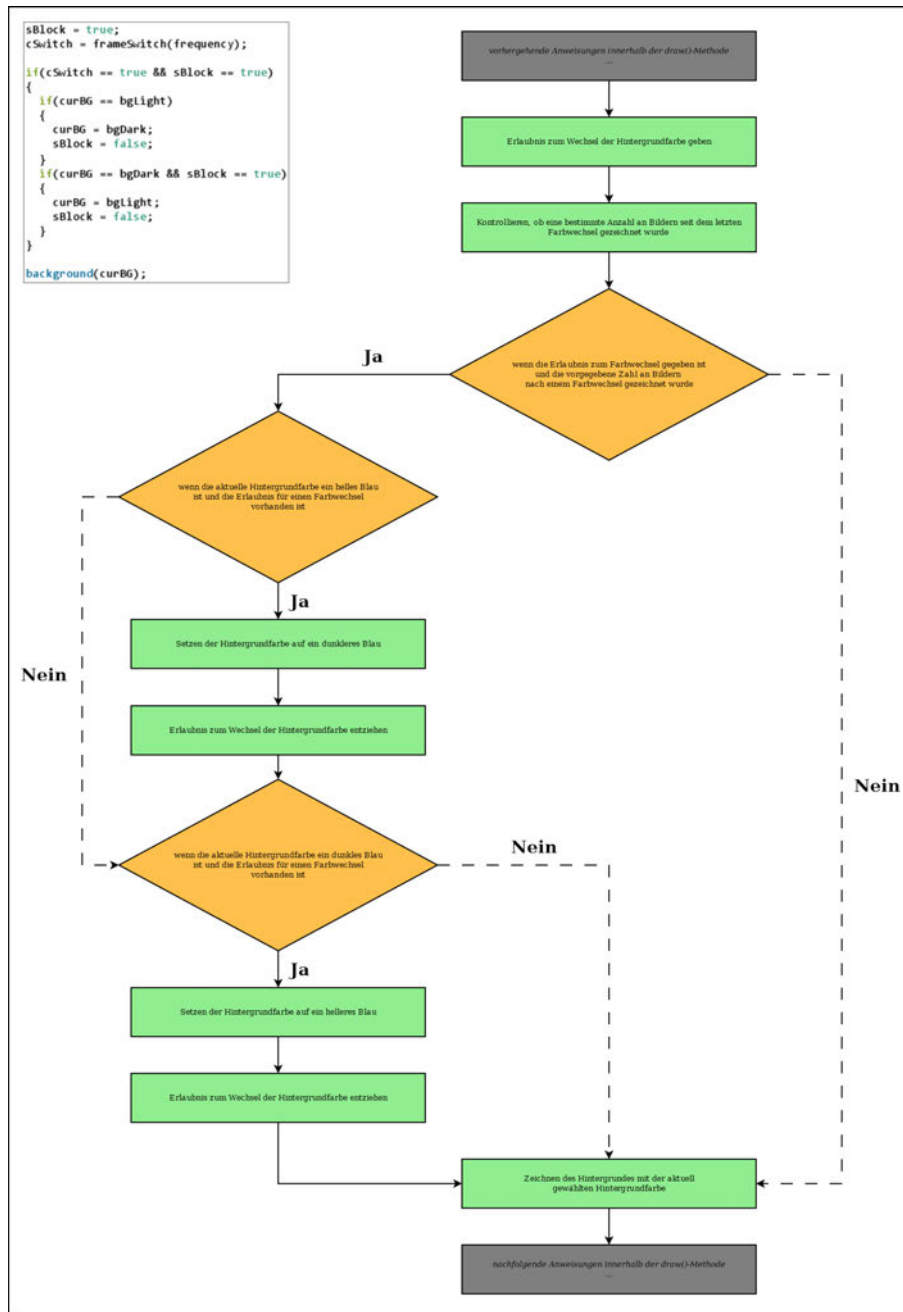


Abbildung C.2.1.: Flussdiagramm für den zu Level 5 gehörenden Quellcode-Auszug mitsamt dem referenzierten Quellcode; erstellt mit "UMLet".

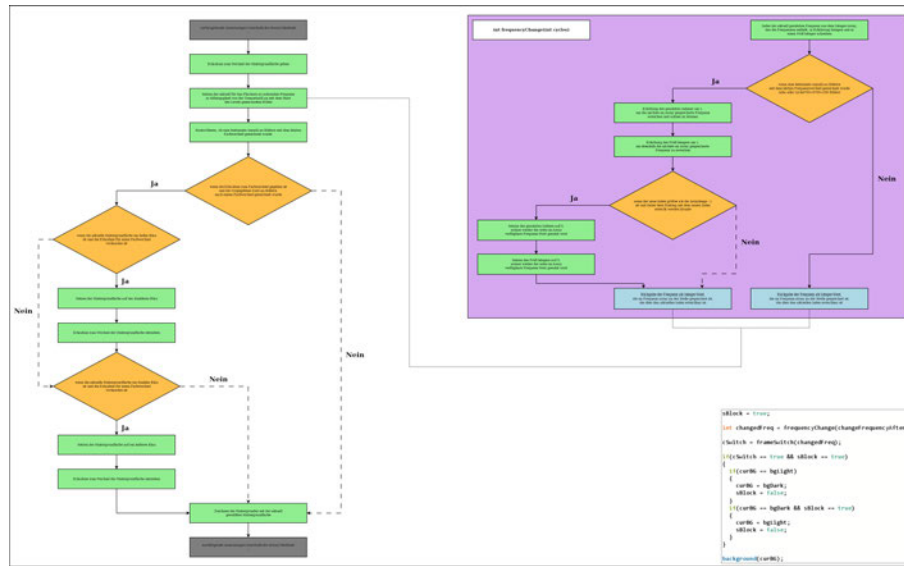


Abbildung C.2.2.: Flussdiagramm für den zu Level 6 gehörenden Quellcode-Auszug mitsamt dem referenzierten Quellcode; erstellt mit “UMLet”.

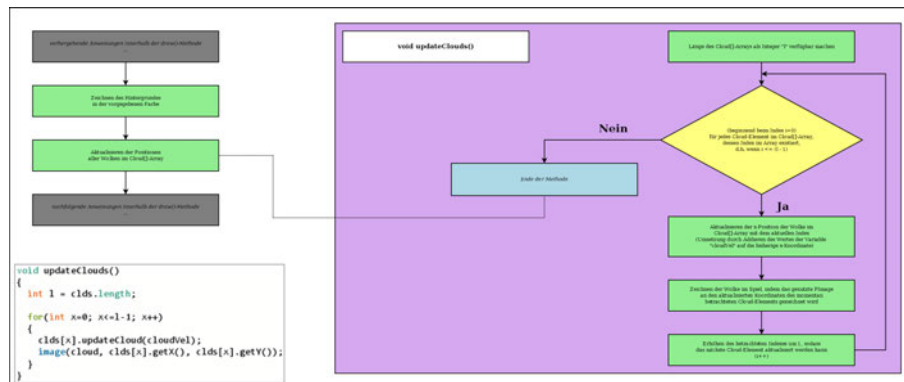


Abbildung C.2.3.: Flussdiagramm für den zu Level 7 gehörenden Quellcode-Auszug mitsamt dem referenzierten Quellcode; erstellt mit “UMLet”.

C. GRAFIKEN ZUR IMPLEMENTIERUNG

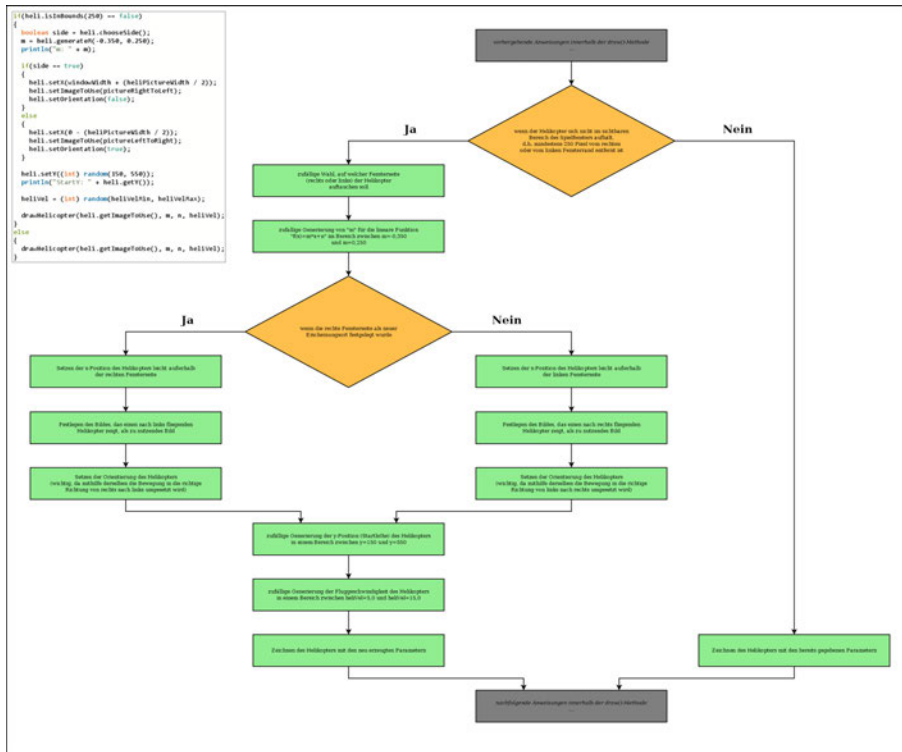


Abbildung C.2.4.: Flussdiagramm für den zu Level 8 gehörenden Quellcode-Auszug mitsamt dem referenzierten Quellcode; erstellt mit "UMLet".

C.3. Screenshots der Level

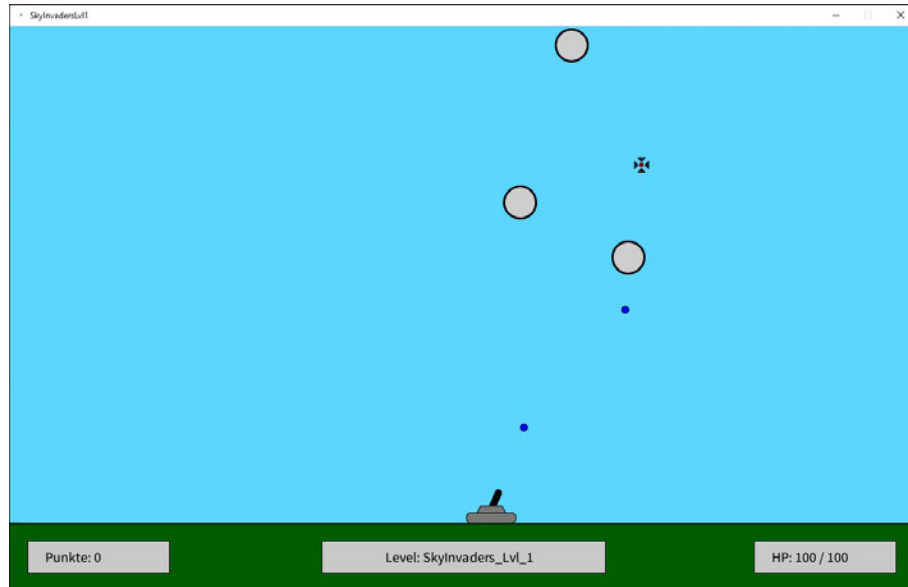


Abbildung C.3.1.: Screenshot des ersten Levels (ohne Störfaktor).

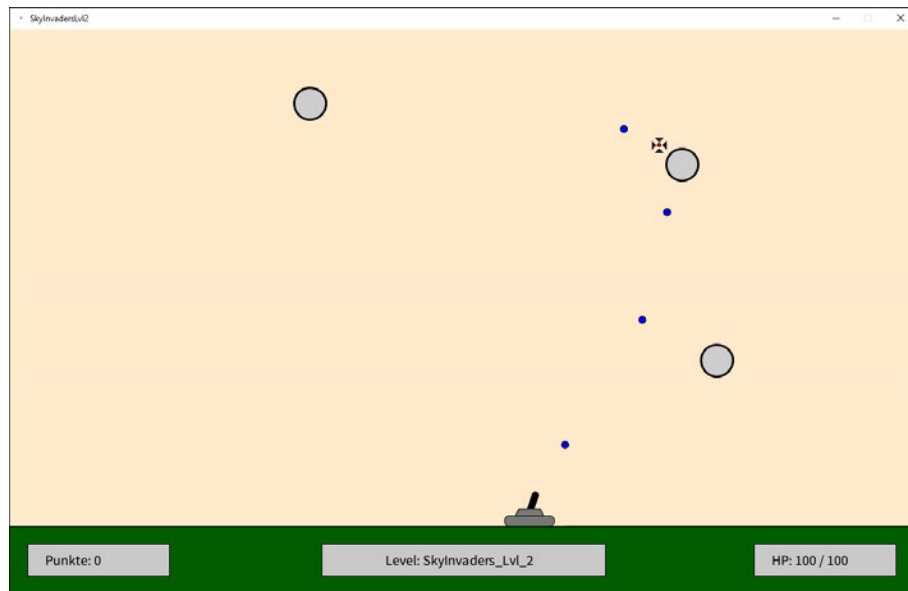


Abbildung C.3.2.: Screenshot des zweiten Levels (niedrige Sättigung der Hintergrundfarbe).

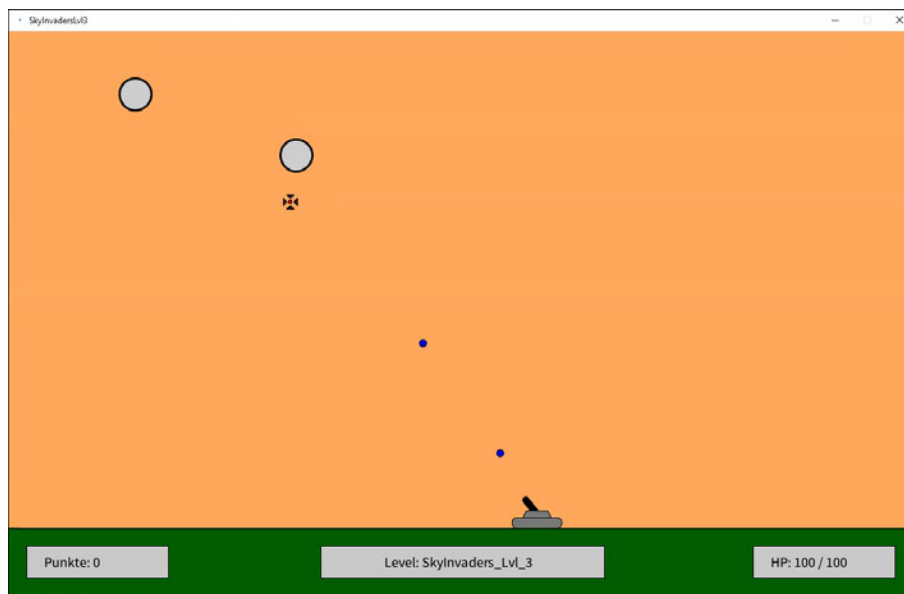


Abbildung C.3.3.: Screenshot des dritten Levels (mittlere Sättigung der Hintergrundfarbe).

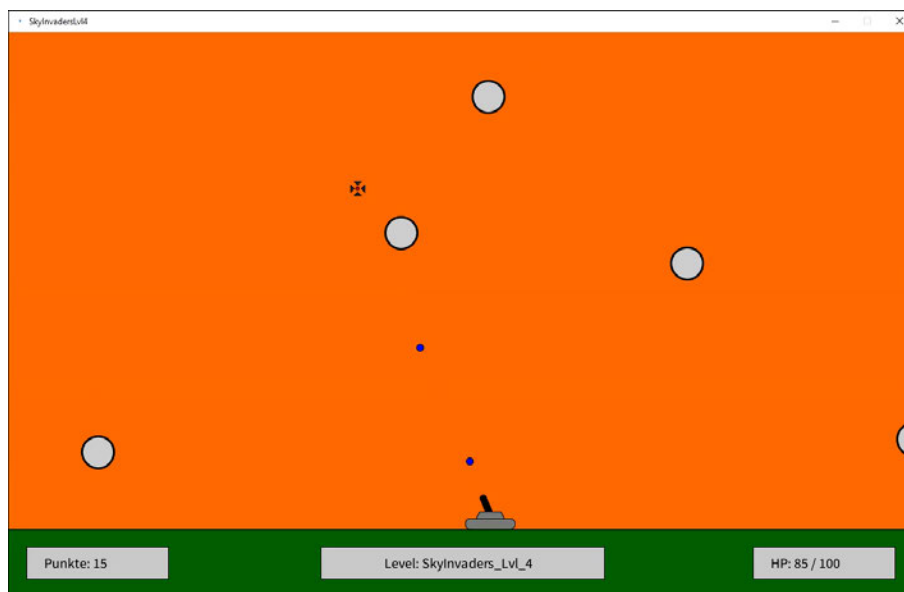


Abbildung C.3.4.: Screenshot des vierten Levels (hohe Sättigung der Hintergrundfarbe).

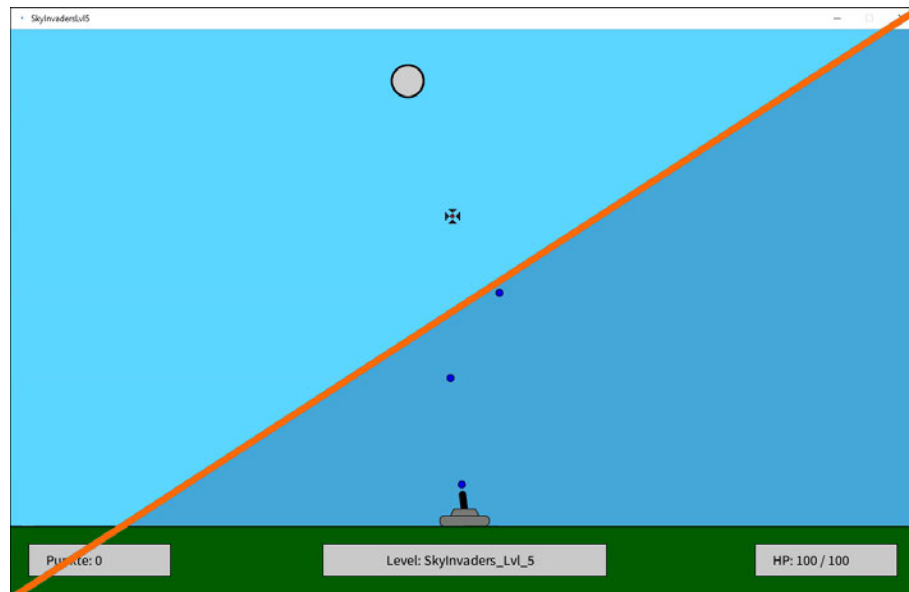


Abbildung C.3.5.: Screenshot des fünften Levels (gleichmäßiges Flackern); zugleich Screenshot des sechsten Levels (sich veränderndes Flackern).

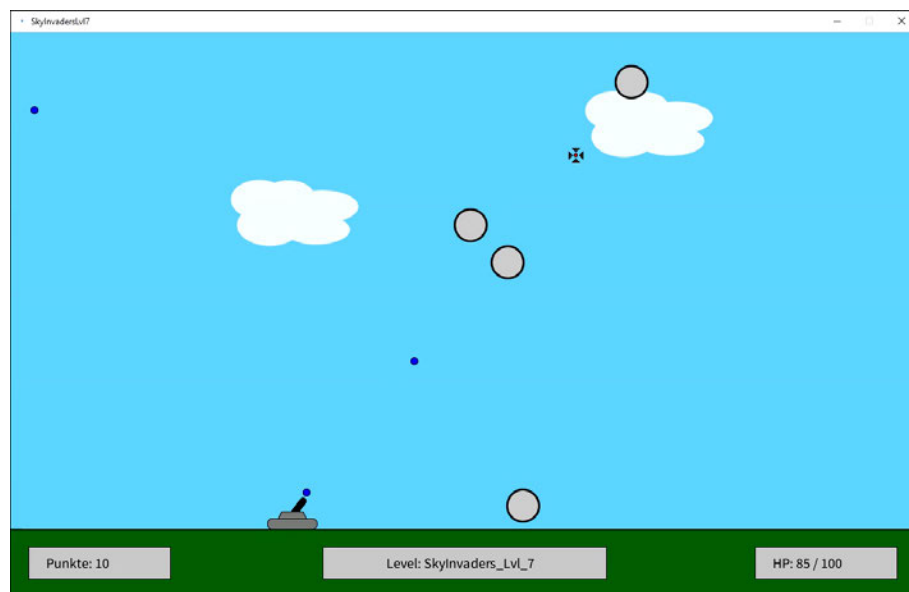


Abbildung C.3.6.: Screenshot des siebten Levels (regelmäßige Bewegungen).

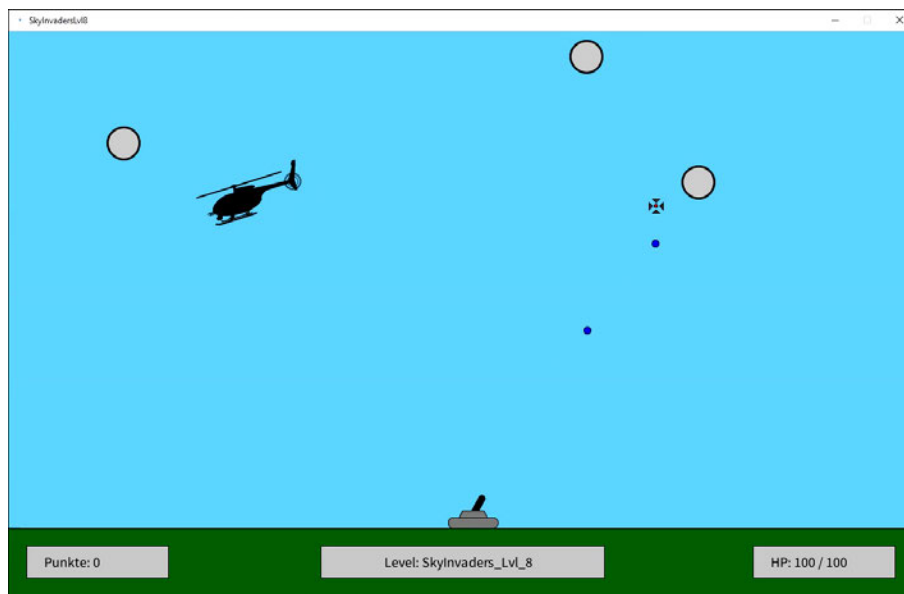


Abbildung C.3.7.: Screenshot des achten Levels (unregelmäßige Bewegungen).

D. Grafiken zur Auswertung der gesammelten Daten

D.1. Grafiken zur Ergebnisvisualisierung der Umfrage

Test-person	Altersgruppe	wöchentliche Spielzeit	gesundheitliche Einschränkungen	Probleme mit dem Sehsinn	Spielumgebung
#01	18-25 Jahre	5-10 Stunden	nein	nein	abends im abgedunkelten Zimmer
#02	18-25 Jahre	5-10 Stunden	nein	nein	abends im abgedunkelten, schwach indirekt beleuchteten Zimmer; Deaktivierung aller weiteren Lichtquellen
#03	18-25 Jahre	15-20 Stunden	ja	nein	vormittags im leicht abgedunkelten Zimmer
#04	18-25 Jahre	10-15 Stunden	nein	nein	gegen 16.00 Uhr im abgedunkelten Zimmer
#05	18-25 Jahre	5-10 Stunden	nein	nein	nachmittags im abgedunkelten Zimmer und unter den in der Anleitung beschriebenen Bedingungen
#06	18-25 Jahre	weniger als 5 Stunden	nein	nein	abends im abgedunkelten Zimmer
#07	18-25 Jahre	mehr als 20 Stunden	nein	nein	abends im Appartement, Schreibtischlampe und Küchenlicht eingeschaltet, keine äußeren Lichtquellen
#08	18-25 Jahre	10-15 Stunden	nein	nein	nachmittags zuhause neben einem Fenster mit zu 85% heruntergelassener Jalousie, gedimmte Lampe hinter dem Probanden (ca. 35%)
#09	25-35 Jahre	10-15 Stunden	nein	nein	abends in einem abgedunkelten Raum sowie unter Verwendung des mitgelieferten, schwarzen Hintergrundbildes
#10	25-35 Jahre	5-10 Stunden	nein	nein	abends im beleuchteten Zimmer, nebenstehender Zweibildschirm mit der Umfrage
#11	18-25 Jahre	mehr als 20 Stunden	nein	nein	nachts im Arbeitszimmer mit abgedunkeltem Hauptlicht (ca. 40%)
#12	18-25 Jahre	weniger als 5 Stunden	nein	nein	abends, relativ dunkel, ungestört
#13	älter als 35 Jahre	mehr als 20 Stunden	nein	nein	gegen 18.00 Uhr mit Deckenlicht, alle Level nacheinander gespielt
#14	25-35 Jahre	5-10 Stunden	nein	nein	19.00 Uhr, draußen Dunkelheit, Deckenlampe eingeschaltet [Spiel nicht fehlerfrei funktionstüchtig]
#15	18-25 Jahre	5-10 Stunden	nein	nein	gegen Mittag bei schummrigen Licht im Arbeitszimmer am Schreibtisch

→ bei der Auswertung berücksichtigte Ergebnisse
 → bei der Auswertung nicht berücksichtigte Ergebnisse
 / → Kennzeichnung für aus verschiedenen Gründen fehlende Angaben

Abbildung D.1.1.: Tabelle zur Darstellung der in der Umfrage getätigten allgemeinen Angaben; erstellt mit "Microsoft Excel".

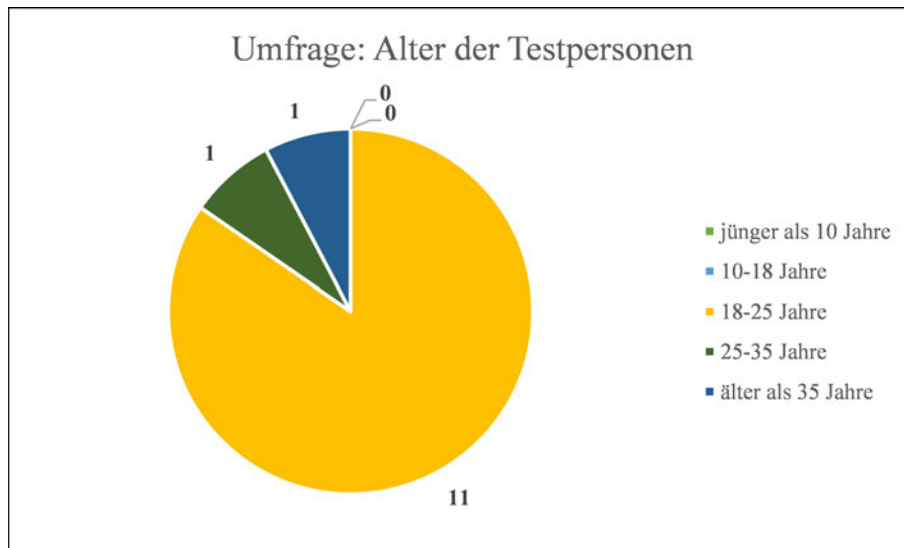


Abbildung D.1.2.: Kreisdiagramm zur Darstellung der Altersverteilung der Testpersonen; erstellt mit "Microsoft Excel".

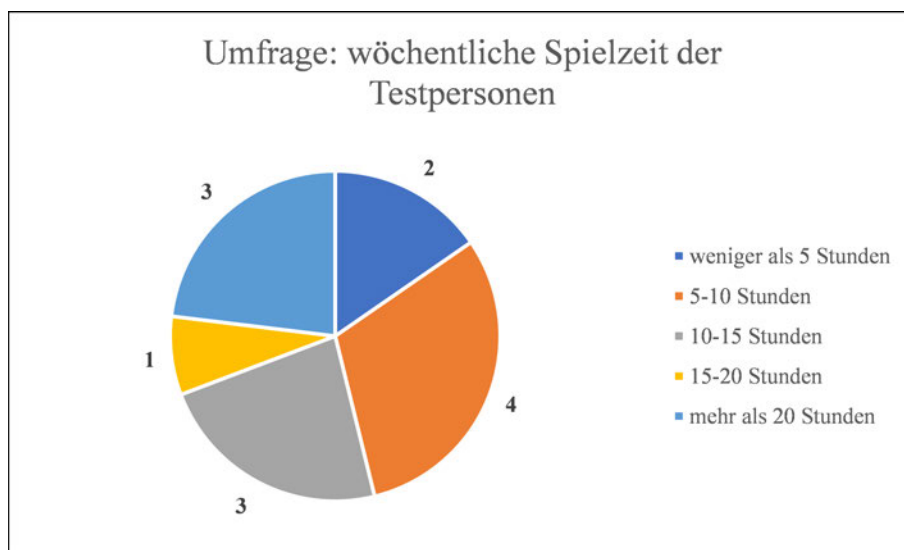


Abbildung D.1.3.: Kreisdiagramm zur Darstellung der wöchentlichen digitalen Spielzeit der Testpersonen; erstellt mit "Microsoft Excel".

D.1. GRAFIKEN ZUR ERGEBNISVISUALISIERUNG DER UMFRAGE

Testperson	[08] Übersprungen?	[09] Spielgefühl				Summe	[10] Feedback	Gesamtsumme
		Wohlsein (gesamt)	Wohlsein (Zeit)	Anspannung	Forderung			
#01	nein	-1	1	-2	1	-1	/	-1
#02	nein	2	1	-1	1	3	/	3
#03	nein	-1	4	-3	-2	-2	/	-2
#04	nein	-1	-2	-1	1	-3	keine visuelle Störung, lediglich die Geräusche im Spiel gefielen nicht	-3
#05	nein	3	4	1	-1	7	/	7
#06	nein	3	3	-1	1	6	man benötigte ein wenig Eingewöhnungszeit, um sich auf das Spiel einzustellen	6
#07	nein	-2	-1	-2	-1	-6	seltsames und unvorhersehbares Flagverhalten der Gegner; Trefferfeedback mangelhaft	-6
#08	nein	2	3	4	3	12	Kontrast und Stil des Levels wurden als etwas anstrengend für die Augen wahrgenommen (Grund: empfindliche Augen bei während des Spielens gegebenen Lichtverhältnissen, Berücksichtigung dessen bei den Angaben); insgesamt aber nicht wirklich unangenehm; mit der Zeit Gewöhnung	12
#09	nein	3	2	1	2	8	/	8
#10	nein	1	4	1	1	7	Auftreten von Soundproblemen und Bugs in Runde 3, daher Spielen von 4 Runden (Vermutung: Hardware-Eigenheiten)	7
#11	nein	1	3	-1	-2	1	/	1
#12	nein	-1	-1	-1	-1	-4	/	-4
#13	nein	0	0	0	0	0	(für alle Level geltend) lediglich Konzentration auf die Gegner, "alles andere" geriet "in den Hintergrund"	0
#14	nein	-4	-4	-4	2	-10	/	-10
#15	nein	-2	-2	-3	-4	-11	Treffen der Gegner als schwer empfunden durch Ausweichen der Gegner (führte zu Frustration) sowie durch Mehrzahl und größere Geschwindigkeit von Gegnern	-11
		Summe für Spielgefühl: 10				Summe zu wertender Gesamtergebnisse: 10		
		Anzahl zu wertender Ergebnisse: 13				Anzahl zu wertender Ergebnisse: 13		
		Durchschnitt für Spielgefühl: 0,769230769				Gesamtdurchschnitt zu wertender Ergebnisse: 0,769230769		
		Standardabweichung für Spielgefühl: 6,091025506				Standardabweichung zu wertender Ergebnisse: 6,091025506		

→ bei der Auswertung berücksichtigte Ergebnisse
 → bei der Auswertung nicht berücksichtigte Ergebnisse
 / → Kennzeichnung für aus verschiedenen Gründen fehlende Angaben

Abbildung D.1.4.: Tabelle zur Darstellung der im Rahmen der Umfrage für Level 1 vergebenen Punkte; erstellt mit "Microsoft Excel".

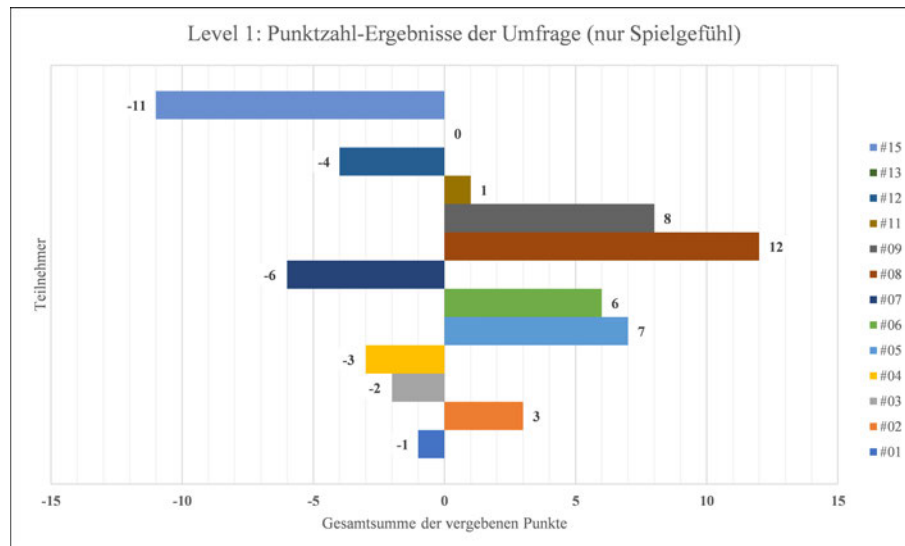


Abbildung D.1.5.: Balkendiagramm zur Darstellung der in Level 1 vergebenen Punkte je Testperson; erstellt mit "Microsoft Excel".

D. GRAFIKEN ZUR AUSWERTUNG DER GESAMMELTEN DATEN

Testperson	[11] Überzeugung?	[12] Spielgefühl					Level 2 (spring geistige Hintergründe)					[14] Gewöhnung	[15] Immersion	[16] Feedback	Gesamtsumme	
		Fluideität (spüren)	Fluideität (Zeit)	Disziplin	Forderung	Summe	Überwindung	Faktor	Ergebnis	Summe						
#01	nein	2	2	-2	-2	1	2	1	1	4	1	1	1	1	1	22
#02	nein	1	2	-2	-2	1	5	2	1	4	9	4	9	4	4	4
#03	nein	-1	1	0	-1	1	0	0	0	0	0	3	0	0	4	
#04	nein	1	1	-2	1	1	1	1	2	4	3	4	3	4	12	
#05	nein	3	4	2	-1	8	3	4	2	9	1	2	1	2	23	
#06	nein	1	2	-2	-1	5	1	-1	1	1	0	1	0	1	10	
#07	nein	-2	-2	-1	-1	-4	1	1	1	3	4	4	1	1	2	
#08	nein	4	2	4	3	13	3	2	4	9	4	3	4	3	29	
#09	nein	2	2	1	1	6	-1	-1	1	-1	1	-2	1	1	4	
#10	nein	1	1	1	1	4	1	1	2	4	3	1	1	1	14	
#11	nein	2	1	-1	-1	1	2	1	2	5	4	3	1	1	16	
#12	nein	1	1	1	1	4	2	2	2	6	3	1	1	1	14	
#13	nein	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	4	
#14	nein	-4	-4	-4	-4	-12	1	1	-2	0	4	-1	1	1	-9	
#15	nein	2	1	-2	-1	0	4	4	4	12	4	4	4	4	20	
		Summe für Spielgefühl: 42					Summe für Stoffklasse: 61					Summe für Gewöhnung: 42	Summe für Immersion: 23	Summe zu wertender Gesamtergebnisse: 167		
		Anzahl zu wertender Ergebnisse: 13					Anzahl zu wertender Ergebnisse: 13					Anzahl zu wertender Ergebnisse: 13	Anzahl zu wertender Ergebnisse: 13	Anzahl zu wertender Gesamtergebnisse: 13		
		Durchschnitt für Spielgefühl: 3,230769231					Durchschnitt für Stoffklasse: 4,692307692					Durchschnitt für Gewöhnung: 3,230769231	Durchschnitt für Immersion: 1,769230769	Gesamtdurchschnitt zu wertender Ergebnisse: 12,81615385		
		Standardabweichung für Spielgefühl: 0,432990769					Standardabweichung für Stoffklasse: 1,508133333					Standardabweichung für Gewöhnung: 1,6492992	Standardabweichung für Immersion: 1,37992321	Standardabweichung zu wertender Ergebnisse: 0,36872117		

■ → bei der Auswertung berücksichtigte Ergebnisse
■ → bei der Auswertung nicht berücksichtigte Ergebnisse
 / → Kennzeichnung für ein verschwindend geringes/Ähnliches Ergebnis

Abbildung D.1.6.: Tabelle zur Darstellung der im Rahmen der Umfrage für Level 2 vergebenen Punkte; erstellt mit "Microsoft Excel".

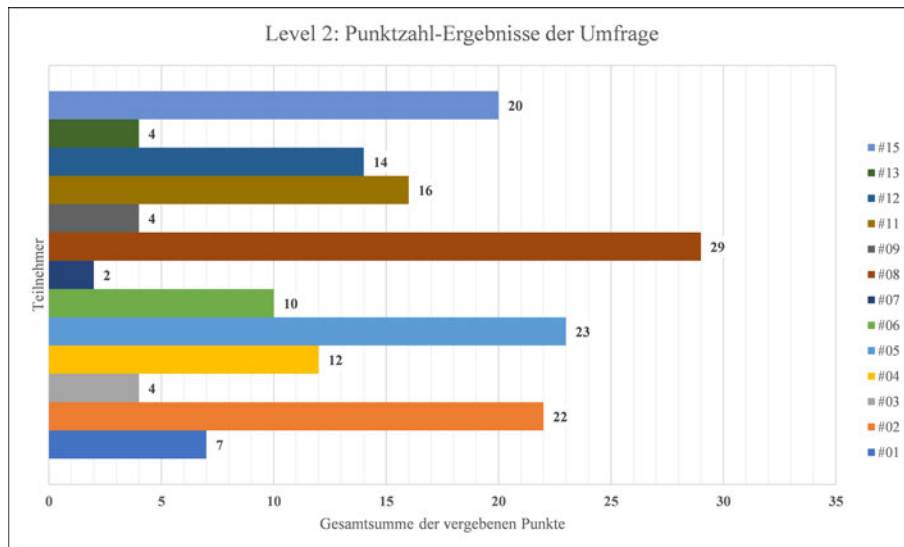


Abbildung D.1.7.: Balkendiagramm zur Darstellung der in Level 2 vergebenen Punkte je Testperson; erstellt mit "Microsoft Excel".

D.1. GRAFIKEN ZUR ERGEBNISVISUALISIERUNG DER UMFRAGE

Testperson	[17] Übergangsw?	[18] Spielgefühl				Level 3 (mitmehrig geprüfte Hintergrundfarbe)				[19] Störfaktor	[20] Gewöhnung	[21] Immersion	[22] Feedback	Gesamtsumme	
		Wahlzeit (gesamt)	Wahlzeit (Zeit)	Angenehm	Forderung	Summe	Unterstützung	Fokus	Erfahrung						Summe
#01	nein	1	1	1	1	4	1	1	1	3	2	1	1	2	
#02	nein	-1	-2	1	1	-1	-1	-1	-1	-4	2	-1	1	-2	
#03	nein	0	0	0	0	0	-1	-2	-2	-5	-1	-1	1	-9	
#04	nein	1	1	-2	1	1	1	-1	-2	-2	1	-1	1	-1	
#05	nein	4	4	3	3	14	4	4	4	12	4	3	1	31	
#06	nein	1	1	1	1	4	2	1	1	4	4	3	1	19	
#07	nein	1	1	-1	1	0	2	1	1	4	4	4	1	14	
#08	nein	4	2	4	3	13	4	4	4	12	4	3	1	32	
#09	nein	-1	1	-1	1	0	-2	-2	-1	-5	-1	1	1	-5	
#10	nein	2	2	2	1	7	3	-1	2	4	4	3	1	18	
#11	nein	-1	-2	1	-2	-4	-1	-2	-1	-4	-3	-1	1	-12	
#12	nein	1	1	1	1	4	1	1	1	3	3	1	1	11	
#13	nein	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
#14	nein	4	4	4	2	14	1	1	-1	1	4	-1	1	4	
#15	nein	2	3	1	-1	5	4	4	4	12	4	4	1	25	
		Summe für Spielgefühl: 38				Summe für Störfaktor: 25				Summe für Gewöhnung: 27		Summe für Immersion: 14		Summe zu wertender Gesamtergebnisse: 104	
		Anzahl zu wertender Ergebnisse: 13				Anzahl zu wertender Ergebnisse: 13				Anzahl zu wertender Ergebnisse: 13		Anzahl zu wertender Ergebnisse: 13		Anzahl zu wertender Ergebnisse: 13	
		Durchschnitt für Spielgefühl: 2,923076923				Durchschnitt für Störfaktor: 1,923076923				Durchschnitt für Gewöhnung: 2,076923077		Durchschnitt für Immersion: 1,076923077		Gesamtdurchschnitt zu wertender Ergebnisse: 8	
		Standardabweichung für Spielgefühl: 4,991081249				Standardabweichung für Störfaktor: 6,545214511				Standardabweichung für Gewöhnung: 2,852582952		Standardabweichung für Immersion: 1,579181589		Standardabweichung zu wertender Ergebnisse: 14,5872526	
		<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> → bei der Auswertung berücksichtigte Ergebnisse → bei der Auswertung nicht berücksichtigte Ergebnisse </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 5px;"> / = Kennzeichnung für aus verschiedenen Gründen fehlende Angaben </div>													

Abbildung D.1.8.: Tabelle zur Darstellung der im Rahmen der Umfrage für Level 3 vergebenen Punkte; erstellt mit "Microsoft Excel".

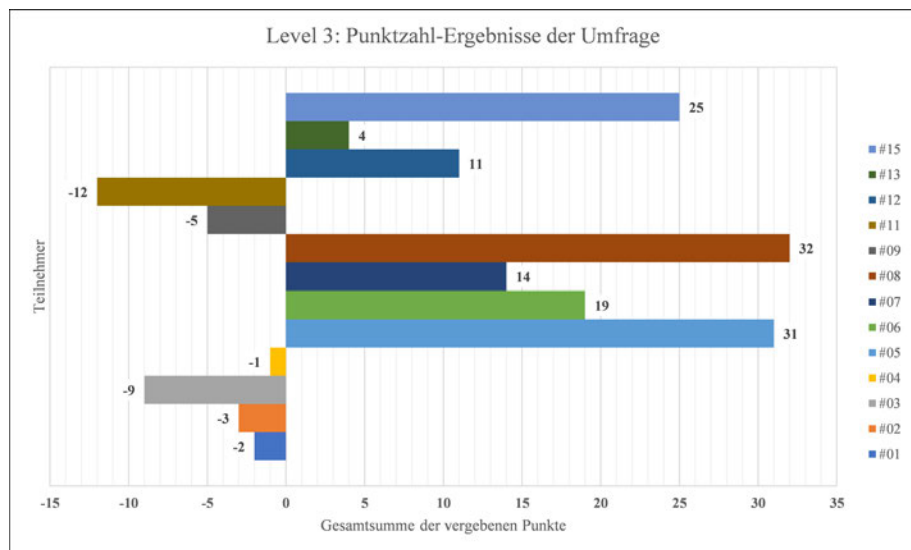


Abbildung D.1.9.: Balkendiagramm zur Darstellung der in Level 3 vergebenen Punkte je Testperson; erstellt mit "Microsoft Excel".

D. GRAFIKEN ZUR AUSWERTUNG DER GESAMMELTEN DATEN

Teilnehmer	[21] Energiepunkt	[24] Spielerföhl					Level 4 (stark geübte Historieprofiler)				[25] Motivation	[26] Gewöhnung	[27] Immersion	[28] Feedback	Gesamtsumme
		Wahlzeit (gesamt)	Wahlzeit (Zeit)	Anpassung	Forderung	Stimme	Entscheidung	Faktor	Erlebnis	Stimme					
#01	nein	1	1	1	1	4	-1	0	0	-4	-3	0	0	0	-2
#02	nein	1	-1	-1	1	0	-1	-1	-1	-4	-3	-1	0	0	-2
#03	nein	-1	-2	-2	-2	-9	-1	-2	0	-5	-2	-1	0	0	-17
#04	nein	-2	-1	-1	2	-6	-2	-1	-4	-7	1	-1	0	0	-13
#05	nein	-1	-2	-1	-2	-6	-1	-1	-2	-6	1	-1	0	0	-16
#06	nein	2	-1	-1	-1	4	-1	-1	-1	-3	-1	1	0	0	1
#07	nein	-2	-1	-1	-1	-9	-1	-2	-2	-7	-4	-1	0	0	-21
#08	nein	1	1	2	1	9	2	1	1	6	3	-1	0	0	17
#09	nein	-1	-1	-1	1	-2	-2	-2	-1	-5	-1	-1	0	0	-9
#10	nein	-1	-1	-1	-1	-6	-1	-1	-1	-3	1	1	0	0	-4
#11	nein	-1	1	1	1	4	1	2	1	4	2	0	0	0	11
#12	nein	1	1	1	1	4	1	2	1	4	2	0	0	0	11
#13	nein	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
#14	nein	-4	-4	-2	-2	-10	1	1	1	3	4	-1	0	0	-4
#15	nein	2	1	1	-1	5	2	1	1	9	4	1	0	0	18
		Summe für Spielerföhl: -18					Summe für Störfaktor: -28				Summe für Gewöhnung: 10	Summe für Immersion: 6	Summe zu wertender Gesamtergebnis: -42		
		Anzahl zu wertender Ergebnisse: 13					Anzahl zu wertender Ergebnisse: 13				Anzahl zu wertender Ergebnisse: 13	Anzahl zu wertender Ergebnisse: 13	Anzahl zu wertender Ergebnisse: 13		
		Durchschnitt für Spielerföhl: -1,384615385					Durchschnitt für Störfaktor: -2,153846154				Durchschnitt für Gewöhnung: 0,769230769	Durchschnitt für Immersion: 0,461538462	Gesamtdurchschnitt zu wertender Ergebnisse: 3,230769231		
		Standardabweichung für Spielerföhl: 5,52793291					Standardabweichung für Störfaktor: 5,637665214				Standardabweichung für Gewöhnung: 2,35811688	Standardabweichung für Immersion: 0,52793291	Standardabweichung zu wertender Ergebnisse: 15,41862725		

■ → bei der Auswertung berücksichtigte Ergebnisse
■ → bei der Auswertung nicht berücksichtigte Ergebnisse
 / → Kennzeichnung für aus verschiedenen Gründen fehlende Angaben

Abbildung D.1.10.: Tabelle zur Darstellung der im Rahmen der Umfrage für Level 4 vergebenen Punkte; erstellt mit "Microsoft Excel".

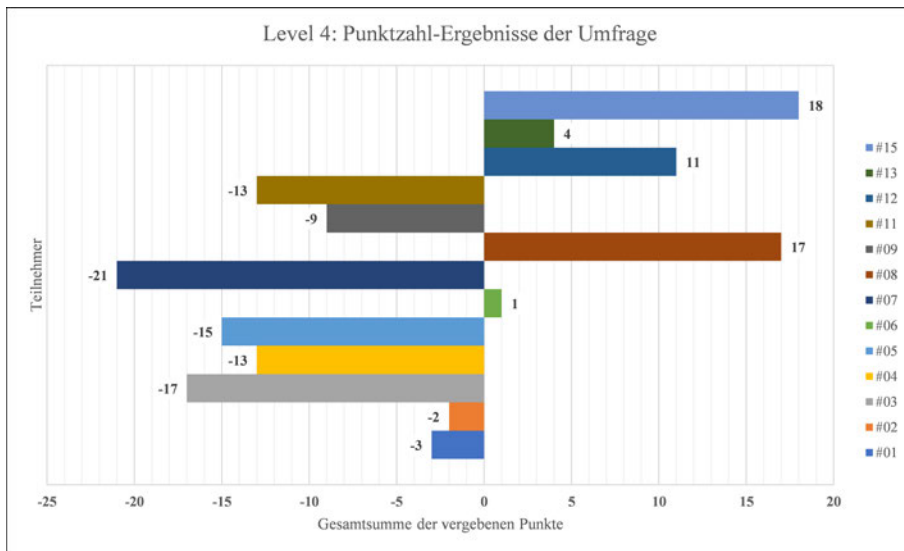


Abbildung D.1.11.: Balkendiagramm zur Darstellung der in Level 4 vergebenen Punkte je Testperson; erstellt mit "Microsoft Excel".

D.1. GRAFIKEN ZUR ERGEBNISVISUALISIERUNG DER UMFRAGE

Testperson	[29] Überraschung?	[30] Spielgefühl					Level 5 (spieltechnisches Flackern)				[32] Gewöhnung	[33] Immersion	[34] Feedback	Gesamtwertung
		Wahlsache (gesamt)	Wahlsache (Zeit)	Angenehmkeit	Forderung	Spannung	Unsicherheit	Fokus	Erfahrung	Spannung				
#01	nein	-2	-2	-2	-2	-8	-2	-2	-2	-8	-4	-8	-28	
#02	nein	-4	-4	-4	-4	-16	-4	-4	-4	-12	-3	-4	-32	
#03	ja	1	1	1	1	4	1	1	1	4	2	1	-7	
#04	nein	-2	1	-2	-2	-4	-2	-2	-2	-4	2	-1	-16	
#05	nein	1	-4	-2	-2	-4	-2	-2	-2	-7	-2	-1	-8	
#06	nein	2	2	-4	1	4	-2	-2	-2	-4	1	-1	0	
#07	nein	-4	1	-2	-1	-4	-4	-3	-1	-8	2	-2	-14	
#08	nein	-3	-1	-1	-1	-4	-4	-3	-4	-11	-3	-4	-26	
#09	nein	-2	2	-2	1	0	1	2	2	5	3	3	11	
#10	nein	-2	-2	-2	-2	-8	-2	-2	-2	-6	1	-2	-14	
#11	nein	-3	-2	1	1	-3	-3	1	-2	-4	2	-1	-6	
#12	nein	-2	1	-1	-1	-3	-2	-2	-2	-4	1	-1	-9	
#13	nein	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4		
#14	nein	-4	-4	-4	2	-10	2	2	1	7	4	3	4	
#15	nein	-4	-4	-3	-2	-13	-4	-2	-4	-10	-4	-4	-31	
		Summe für Spielgefühl: -45					Summe für Nivofaktor: -49				Summe für Gewöhnung: -1	Summe für Immersion: -19	Summe zu wertender Gesamtergebnisse: -154	
		Anzahl zu wertender Ergebnisse: 12					Anzahl zu wertender Ergebnisse: 12				Anzahl zu wertender Ergebnisse: 12	Anzahl zu wertender Ergebnisse: 12	Anzahl zu wertender Ergebnisse: 12	
		Durchschnitt für Spielgefühl: 5,41666667					Durchschnitt für Nivofaktor: 5,75				Durchschnitt für Gewöhnung: 0,08333333	Durchschnitt für Immersion: 1,58333333	Gesamtdurchschnitt zu wertender Ergebnisse: 12,83333333	
		Standardabweichung für Spielgefühl: 5,30877131					Standardabweichung für Nivofaktor: 4,6928818				Standardabweichung für Gewöhnung: 2,79263645	Standardabweichung für Immersion: 1,52407728	Standardabweichung zu wertender Ergebnisse: 13,6120932	

■ → bei der Auswertung berücksichtigte Ergebnisse
■ → bei der Auswertung nicht berücksichtigte Ergebnisse
 / → Kennzeichnung für aus verschiedenen Gründen fehlende Angaben

Abbildung D.1.12.: Tabelle zur Darstellung der im Rahmen der Umfrage für Level 5 vergebenen Punkte; erstellt mit "Microsoft Excel".

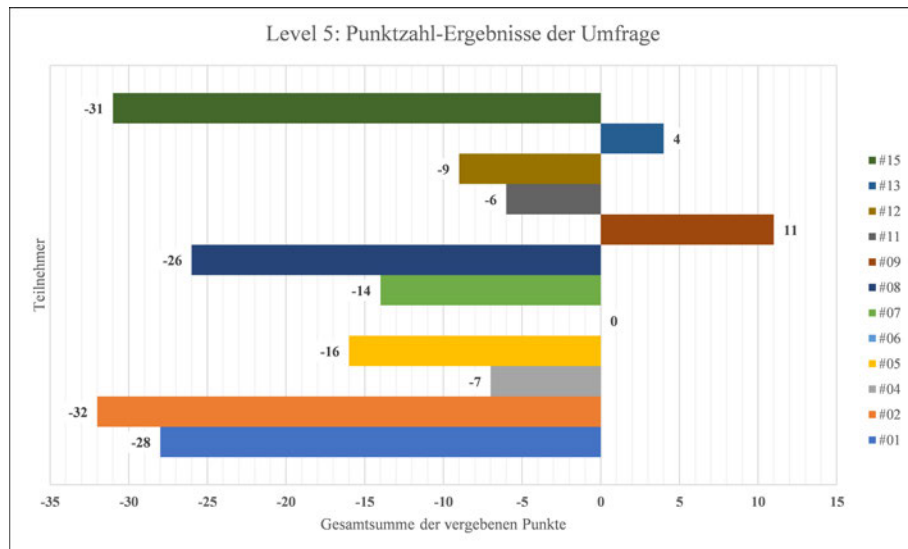


Abbildung D.1.13.: Balkendiagramm zur Darstellung der in Level 5 vergebenen Punkte je Testperson; erstellt mit "Microsoft Excel".

D. GRAFIKEN ZUR AUSWERTUNG DER GESAMMELTEN DATEN

Testperson	[M] Überprüfung	[N] Spielregeln				Level 6 (Flackern mit wechselnder Frequenz)				[O] Gewinnung	[P] Immersion	[R] Feedback	Gesamtsumme	
		Wahlzeit (gesamt)	Wahlzeit (Zeit)	Auswertung	Forderung	Summe	Erwartung	Faktor	Ergebnis					Summe
#01	nein	-2	-2	-2	-2	-8	-2	-2	-2	-6	1	-2	-14	
#02	nein	-2	-2	-2	-2	-8	-2	-2	-2	-10	-1	-2	-22	
#03	ja	-1	-1	-1	-1	-4	-1	-1	-1	-3	1	1	-1	
#04	nein	-1	2	-1	-1	-1	-1	-1	1	-4	2	-1	-1	
#05	nein	-4	-3	-2	-2	-11	-4	-4	-2	-10	-2	-2	-25	
#06	nein	-1	-2	-1	-1	-5	-3	-2	-2	-7	-3	-2	-17	
#07	nein	-2	1	-2	-1	-4	-4	-2	-1	-7	2	2	-7	
#08	nein	-2	1	-2	-1	-2	-2	-1	1	-2	3	-1	-2	
#09	nein	-2	2	1	1	3	2	1	1	6	3	3	17	
#10	nein	-2	-2	-1	-1	-6	-2	-1	-1	-4	1	-2	-10	
#11	nein	-2	1	-2	-2	-6	1	-4	-2	-4	-2	-2	-19	
#12	nein	-2	-2	-4	-2	-9	-4	-2	-2	-10	-1	-2	-22	
#13	nein	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
#14	nein	-4	-4	-4	-2	-10	1	2	1	7	4	4	8	
#15	(ja)	(-4)	(-4)	(-4)	(-4)	(-16)	(-4)	(-4)	(-4)	(-12)	(-4)	(-4)	(-30)	
		Summe für Spielregeln: -36				Summe für Störfaktoren: -41				Summe für Gewinnung: 12	Summe für Immersion: -5	Summe für Feedback: -70		(-30)
		Anzahl zu wertender Ergebnisse: 11				Anzahl zu wertender Ergebnisse: 11				Anzahl zu wertender Ergebnisse: 11	Anzahl zu wertender Ergebnisse: 11	Anzahl zu wertender Ergebnisse: 11		
		Durchschnitt für Spielregeln: -3,27272727				Durchschnitt für Störfaktoren: -3,72727272				Durchschnitt für Gewinnung: 1,09090909	Durchschnitt für Immersion: 0,45454545	Durchschnitt für Feedback: -6,363636		
		Standardabweichung für Spielregeln: 5,6522501				Standardabweichung für Störfaktoren: 5,7098427				Standardabweichung für Gewinnung: 2,5512454	Standardabweichung für Immersion: 1,8272913	Standardabweichung zu wertender Ergebnisse: 1,6312156		

■ → bei der Auswertung berücksichtigte Ergebnisse
■ → bei der Auswertung nicht berücksichtigte Ergebnisse
 / → Kennzeichnung für eine verschobene Grünfeld-Angabe

Abbildung D.1.14.: Tabelle zur Darstellung der im Rahmen der Umfrage für Level 6 vergebenen Punkte; erstellt mit "Microsoft Excel".

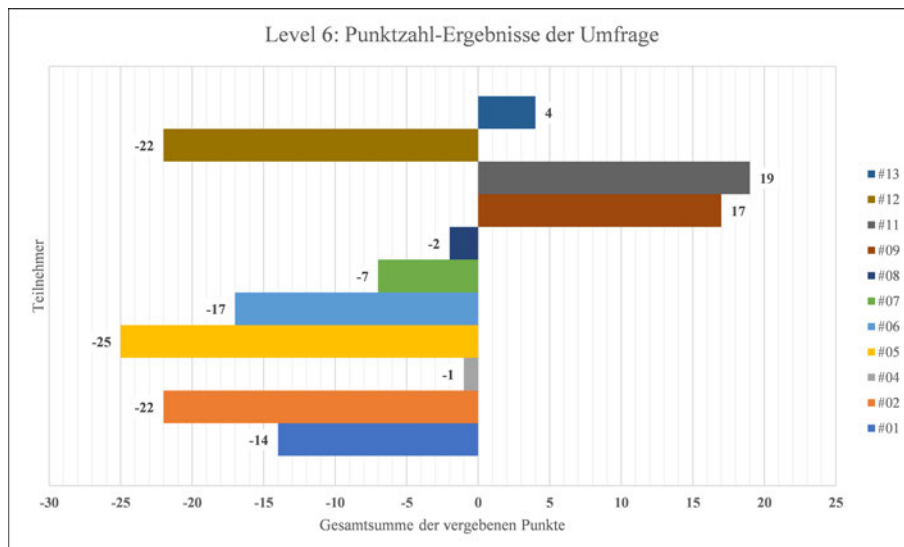


Abbildung D.1.15.: Balkendiagramm zur Darstellung der in Level 6 vergebenen Punkte je Testperson; erstellt mit "Microsoft Excel".

D.1. GRAFIKEN ZUR ERGEBNISVISUALISIERUNG DER UMFRAGE

Testperson	[41] Überraschung?	[42] Spieldiffizilität					Level 7 (gleichzeitige Bewegung)				[44] Gewinnung	[45] Innenresonanz	[46] Feedback	Gesamtsumme																
		Wahrsch. (gesamt)	Wahrsch. (Zeit)	Angenommen	Forderung	Summe	Überstützung	Zufuhr	Erfahrung	Summe																				
#01	nein	4	2	2	-1	5	0	0	0	0	2	2	4	4																
#02	nein	2	1	1	-1	3	-1	-1	1	-1	2	1	2	2																
#03	nein	4	3	-1	-1	5	4	2	4	10	4	4	4	23																
#04	nein	2	2	2	1	7	2	2	3	7	2	3	19	19																
#05	nein	4	4	3	1	12	4	4	3	11	4	4	31	31																
#06	nein	1	1	-1	1	2	-1	-2	-1	-4	1	-1	-2	-2																
#07	nein	2	1	1	1	5	-1	-1	2	0	2	2	9	9																
#08	nein	3	-1	3	-2	3	-1	-4	-1	-8	1	3	-1	-1																
#09	nein	1	-1	-1	1	0	-2	-1	-1	-6	-2	-2	-10	-10																
#10	nein	3	2	2	1	8	-2	-1	4	1	4	2	16	16																
#11	nein	3	2	-1	-2	-1	-1	-1	2	-2	-1	-1	-5	-5																
#12	nein	2	1	1	2	2	-1	-1	2	-4	1	1	1	1																
#13	nein	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4	4																
#14	nein	-4	-4	-4	2	-10	2	2	4	8	4	2	5	5																
#15	nein	3	3	3	1	10	2	3	3	8	4	4	26	26																
		Summe für Spieldiffizilität:					52	Summe für Störfaktor:				11	Summe für Gewinnung:		23	Summe für Innenresonanz:		16	Summe zu wertender Gesamtergebnisse:		104	Anzahl zu wertender Ergebnisse:		13	Gesamtbuchzeit zu wertender Ergebnisse:		8	Standardabweichung zu wertender Ergebnisse:		12,2933329
		Anzahl zu wertender Ergebnisse:					13	Anzahl zu wertender Ergebnisse:				13	Anzahl zu wertender Ergebnisse:		13	Anzahl zu wertender Ergebnisse:		13	Anzahl zu wertender Ergebnisse:		13	Gesamtbuchzeit zu wertender Ergebnisse:		8	Standardabweichung zu wertender Ergebnisse:		12,2933329			
		Durchschnitt für Spieldiffizilität:					4	Durchschnitt für Störfaktor:				0,846153846	Durchschnitt für Gewinnung:		1,769230769	Durchschnitt für Innenresonanz:		1,230769231	Standardabweichung für Gewinnung:		1,686153846	Standardabweichung für Innenresonanz:		2,49240147						
		Standardabweichung für Spieldiffizilität:					3,67621312	Standardabweichung für Störfaktor:				5,95129907	Standardabweichung für Gewinnung:		1,686153846	Standardabweichung für Innenresonanz:		2,49240147												

■ → bei der Auswertung berücksichtigte Ergebnisse
■ → bei der Auswertung nicht berücksichtigte Ergebnisse
 / → Kennzeichnung für aus verschiedenen Gründen fehlende Angaben

Abbildung D.1.16.: Tabelle zur Darstellung der im Rahmen der Umfrage für Level 7 vergebenen Punkte; erstellt mit "Microsoft Excel".

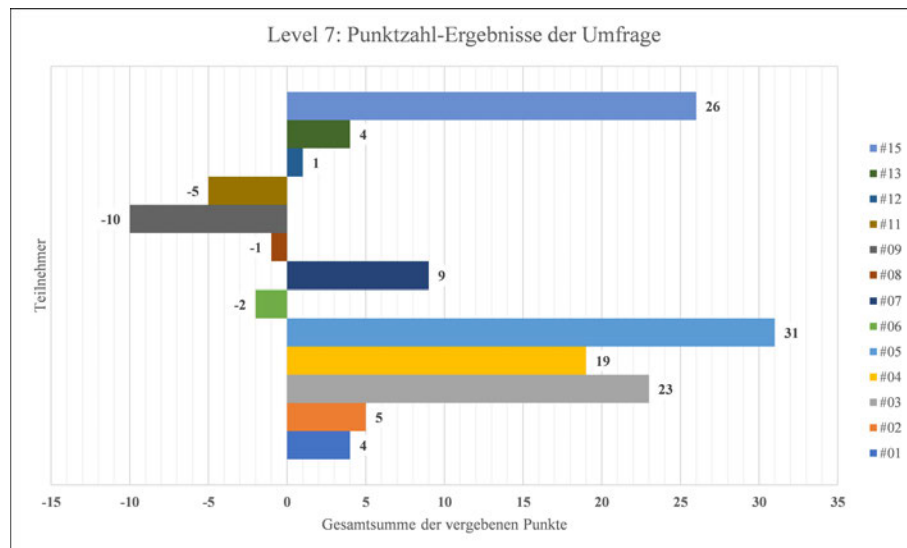


Abbildung D.1.17.: Balkendiagramm zur Darstellung der in Level 7 vergebenen Punkte je Testperson; erstellt mit "Microsoft Excel".

D. GRAFIKEN ZUR AUSWERTUNG DER GESAMMELTEN DATEN

Testperson	[47] Übersprangzeit	[48] Spielgeräteeffekt				Level 8 (tauschpendelnde Bewegung)				[49] Sättigung	[50] Immersion	[51] Feedback	Gesamtsumme
		Faktor 1 (positiv)	Faktor 2 (neg.)	Empassung	Forderung	Summe	Überzeugung	Fokus	Ergebnis				
#01	nein	1	1	1	1	4	1	1	1	3	2	3	7
#02	nein	-2	-2	-2	-2	-8	-2	-2	-2	-6	-2	-2	-10
#03	nein	2	4	-2	-2	2	0	-4	2	-2	0	3	3
#04	nein	1	2	1	1	5	2	-1	2	3	2	2	12
#05	nein	3	4	2	-1	8	-2	-2	-1	-5	2	-1	4
#06	nein	-1	-1	-2	-2	-6	-3	-3	-2	-8	-3	-2	-19
#07	nein	1	-1	-2	-1	-3	-2	-1	1	-1	1	1	-2
#08	nein	4	3	4	3	14	3	-1	4	6	4	2	26
#09	nein	2	2	1	2	7	1	2	2	5	3	2	17
#10	nein	1	-2	1	-2	-2	-2	-2	-2	-7	-1	-1	-11
#11	nein	-2	-2	-2	-2	-8	-2	-2	-2	-8	-2	-2	-12
#12	nein	-1	1	-1	-1	-2	-3	-3	-1	-7	1	-2	-9
#13	nein	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
#14	nein	-4	-4	2	-10	-6	-2	-1	-1	-4	4	-2	-12
#15	nein	2	2	3	1	8	1	-1	-1	-1	2	1	10
		Summe für Spielgeräteeffekt: 21				Summe für Sättigung: -21				Summe für Gewöhnung: 13	Summe für Immersion: 3	Summe zu wertender Gesamtgeräteeffekt: 16	
		Anzahl zu wertender Ergebnisse: 13				Anzahl zu wertender Ergebnisse: 13				Anzahl zu wertender Ergebnisse: 13	Anzahl zu wertender Ergebnisse: 13	Gesamtanzahl zu wertender Ergebnisse: 1.287/9241	
		Durchschnitt für Spielgeräteeffekt: 1,615384615				Durchschnitt für Sättigung: -1,615384615				Durchschnitt für Gewöhnung: 1	Durchschnitt für Immersion: 0,230769231	Standardabweichung zu wertender Ergebnisse: 1,61647106	
		Standardabweichung für Spielgeräteeffekt: 6,46326794				Standardabweichung für Sättigung: 4,71579112				Standardabweichung für Gewöhnung: 1,480346612	Standardabweichung für Immersion: 1,671190797		

■ → bei der Auswertung berücksichtigte Ergebnisse
■ → bei der Auswertung nicht berücksichtigte Ergebnisse
 / → Kennzeichnung für aus verschiedenen Gründen fehlende Angaben

Abbildung D.1.18.: Tabelle zur Darstellung der im Rahmen der Umfrage für Level 8 vergebenen Punkte; erstellt mit "Microsoft Excel".

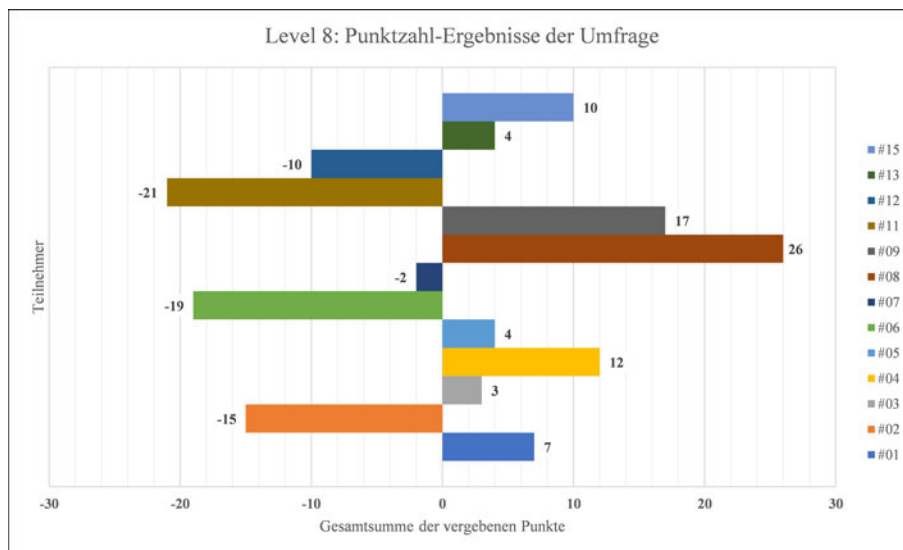


Abbildung D.1.19.: Balkendiagramm zur Darstellung der in Level 8 vergebenen Punkte je Testperson; erstellt mit "Microsoft Excel".

D.2. Grafiken zur Ergebnisvisualisierung der Spielerleistungen

Test-person	Level 1 - Spielerleistung in PpS				Level 2 - Spielerleistung in PpS				Level 3 - Spielerleistung in PpS				Level 4 - Spielerleistung in PpS				
	Runde 1	Runde 2	Summe	Durchschnitt	Runde 1	Runde 2	Summe	Durchschnitt	Runde 1	Runde 2	Summe	Durchschnitt	Runde 1	Runde 2	Summe	Durchschnitt	
#01	0,863428	1,64537	2,508808	1,254404	0,99114	/	0,99114	0,99114	1,19173	/	1,19173	1,19173	1,29322	1,5411	2,83432	1,41621	
#02	3,5443	3,9711	7,5154	3,6077	3,41644	3,92514	7,34158	3,67979	3,5522	3,86469	7,41689	3,799445	3,35255	3,61266	6,96521	3,083605	
#03	0,81258	1,4794	2,29198	1,14599	2,05806	1,46985	3,52791	1,763955	1,32667	/	1,32667	1,32667	0,57853	1,33057	1,90909	0,954545	
#04	1,34476	2,9088	4,25356	2,12678	2,16378	2,9096	5,07338	2,53669	2,43652	3,07673	5,51325	2,756625	3,64464	/	3,64464	3,64464	
#05	3,61571	3,4454	7,06111	3,530555	3,38123	3,78714	7,16837	3,584185	3,71533	3,58208	7,29741	3,648705	3,0557	3,45623	6,51193	3,259965	
#06	2,25219	2,7091	4,96129	2,480645	2,87214	2,8877	5,75984	2,87992	3,32502	3,20301	6,52803	3,264015	2,89897	2,52193	5,42092	2,71046	
#07	2,72953	3,0088	5,73833	2,869165	2,99836	2,94013	5,93849	2,969245	3,73166	3,7633	7,49496	3,74748	3,39254	3,53287	6,92541	3,462705	
#08	2,76102	2,88756	5,14858	2,57429	3,35183	3,54957	6,9014	3,45067	3,3188	3,85462	7,17342	3,58671	3,3013	4,2674	8,0689	4,03445	
#09	3,7577	/	3,7577	3,7577	1,94316	/	1,94316	1,94316	3,56119	/	3,56119	3,56119	3,82775	/	3,82775	3,82775	
#10	1,60106	2,4746	4,07566	2,03783	2,22985	3,08396	5,41381	2,706905	2,36648	2,9611	5,32758	2,66379	3,88418	3,558	7,44218	3,72109	
#11	1,52751	3,12144	5,64895	2,824475	2,623	3,43582	6,05882	3,02941	2,9131	2,82811	5,74121	2,870605	2,79246	3,11787	5,91033	2,955165	
#12	1,9223	2,07193	3,99423	1,997115	1,6742	2,67236	4,34656	2,17328	1,59983	2,51275	4,11258	2,05629	2,01549	1,88057	3,89666	1,94803	
#13	2,09268	1,86333	3,95601	1,978105	2,78868	3,65857	6,15455	3,077275	3,3056	2,72256	6,02816	3,03908	2,52564	2,64913	5,17479	2,587395	
#14	4,00825	3,80292	7,81117	3,905585	4,15842	4,1944	8,35282	4,17641	3,9049	3,85862	7,76352	3,88176	4,2337	0	4,2337	2,11685	
#15	3,00562	2,60161	5,60723	2,803615	2,8019	2,51	5,3119	2,65995	3,45739	3,40101	6,8584	3,4292	3,38951	3,59808	6,98839	3,494195	
		Summe der Durchschnitte: 32,950539				Summe der Durchschnitte: 36,72567				Summe der Durchschnitte: 38,189945				Summe der Durchschnitte: 37,774115			
		zu wertende Ergebnisse: 13				zu wertende Ergebnisse: 13				zu wertende Ergebnisse: 13				zu wertende Ergebnisse: 13			
		Gesamtdurchschnitt: 2,534656846				Gesamtdurchschnitt: 2,825051538				Gesamtdurchschnitt: 2,932688077				Gesamtdurchschnitt: 2,905701154			
		Standardabweichung: 0,796351961				Standardabweichung: 0,788768014				Standardabweichung: 0,849660723				Standardabweichung: 0,914287138			
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> → bei der Auswertung berücksichtigte Ergebnisse PpS → Punkte pro Sekunde </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> → bei der Auswertung nicht berücksichtigte Ergebnisse </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> / → Kennzeichnung für aus verschiedenen Gründen fehlende Angaben </div>																	

Abbildung D.2.1.: Tabelle zur Darstellung der in den verschiedenen Leveln erreichten Spielerleistungen (Level 1 bis Level 4); erstellt mit "Microsoft Excel".

Test-person	Level 5 - Spielerleistung in PpS				Level 6 - Spielerleistung in PpS				Level 7 - Spielerleistung in PpS				Level 8 - Spielerleistung in PpS				
	Runde 1	Runde 2	Summe	Durchschnitt	Runde 1	Runde 2	Summe	Durchschnitt	Runde 1	Runde 2	Summe	Durchschnitt	Runde 1	Runde 2	Summe	Durchschnitt	
#01	1,32507	1,32507	2,65014	1,32507	0,58033	/	0,58033	0,58033	1,77388	/	1,77388	1,77388	1,51574	/	1,51574	1,51574	
#02	3,75809	2,80893	6,56702	3,28351	4,2657	3,93594	8,22164	4,11082	3,89313	3,83188	7,72501	3,862505	3,727	3,5453	7,2722	3,6361	
#03	/	/	/	/	/	/	/	/	1,583	1,92312	3,50612	1,75306	1,44425	1,86482	3,30907	1,654535	
#04	3,40736	3,46426	6,87162	3,43581	3,01023	3,4626	6,47283	3,236415	3,51109	3,14125	6,49234	3,24617	2,5895	3,27091	5,86041	2,930205	
#05	3,80812	3,38667	7,19479	3,597395	3,47337	3,37615	6,85152	3,42576	3,51578	3,8244	7,34018	3,67009	3,56657	3,50307	7,06964	3,53482	
#06	2,75729	3,15391	5,9112	2,9556	2,9217	2,8499	5,7715	2,88575	3,527	2,57027	6,09727	3,048635	2,9977	3,06583	6,06353	3,031765	
#07	3,8596	3,7494	7,609	3,8045	3,77963	3,83324	7,61287	3,806435	3,7913	4,47644	8,26774	4,13387	4,0066	4,16703	8,17363	4,087815	
#08	3,91628	3,6812	7,59748	3,79874	3,9105	3,74546	7,65596	3,82798	3,06209	4,1032	7,16529	3,582645	3,7741	4,0244	7,7985	3,89925	
#09	4,10872	/	4,10872	4,10872	3,8453	/	3,8453	3,8453	3,61358	/	3,61358	3,61358	4,06783	/	4,06783	4,06783	
#10	3,4661	3,4065	6,8926	3,4463	2,62461	3,14136	5,76597	2,882985	3,03033	2,92315	5,95328	2,97664	2,1362	5,27472	2,63736	2,63736	
#11	2,54435	3,39	5,93435	2,967175	3,61699	3,93805	7,55504	3,77752	3,52233	3,56943	7,09176	3,54588	3,74852	3,21159	6,95463	3,477315	
#12	2,22337	2,09999	4,32336	2,16168	2,53189	2,65067	5,1825	2,49125	2,5314	2,79635	5,32775	2,663875	2,5696	2,05068	4,62028	2,31014	
#13	3,23583	2,73619	5,99202	2,99601	2,65874	2,79077	5,44951	2,724725	3,39074	2,9013	6,32204	3,18602	2,98386	3,46298	6,44684	3,22342	
#14	3,7661	/	3,7661	3,7661	3,88958	/	3,88958	3,88958	4,4967	4,04868	8,54538	4,27249	3,4419	3,9926	7,4345	3,717225	
#15	2,80927	/	2,80927	2,80927	/	/	/	/	3,25986	3,72012	6,94998	3,47499	4,21076	3,37655	7,58731	3,793655	
		Summe der Durchschnitte: 37,24348				Summe der Durchschnitte: 34,812285				Summe der Durchschnitte: 41,5522				Summe der Durchschnitte: 41,16259			
		zu wertende Ergebnisse: 12				zu wertende Ergebnisse: 11				zu wertende Ergebnisse: 13				zu wertende Ergebnisse: 13			
		Gesamtdurchschnitt: 3,103623333				Gesamtdurchschnitt: 3,164753182				Gesamtdurchschnitt: 3,196332077				Gesamtdurchschnitt: 3,166353077			
		Standardabweichung: 0,739392488				Standardabweichung: 0,950510464				Standardabweichung: 0,844744563				Standardabweichung: 0,825827345			
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> → bei der Auswertung berücksichtigte Ergebnisse PpS → Punkte pro Sekunde </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> → bei der Auswertung nicht berücksichtigte Ergebnisse </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> / → Kennzeichnung für aus verschiedenen Gründen fehlende Angaben </div>																	

Abbildung D.2.2.: Tabelle zur Darstellung der in den verschiedenen Leveln erreichten Spielerleistungen, (Level 5 bis Level 8); erstellt mit "Microsoft Excel".

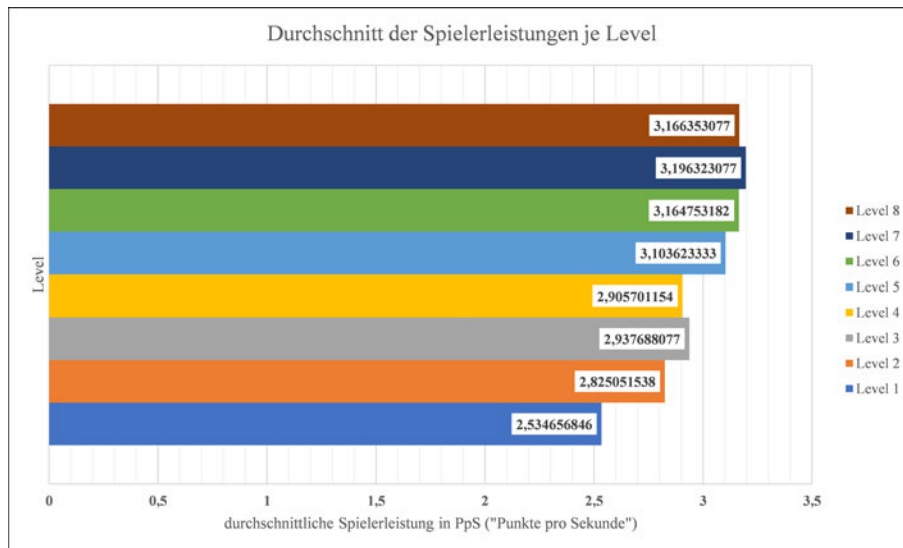


Abbildung D.2.3.: Balkendiagramm zur Darstellung der in den verschiedenen Leveln durchschnittlich erreichten Spielerleistungen; erstellt mit "Microsoft Excel".

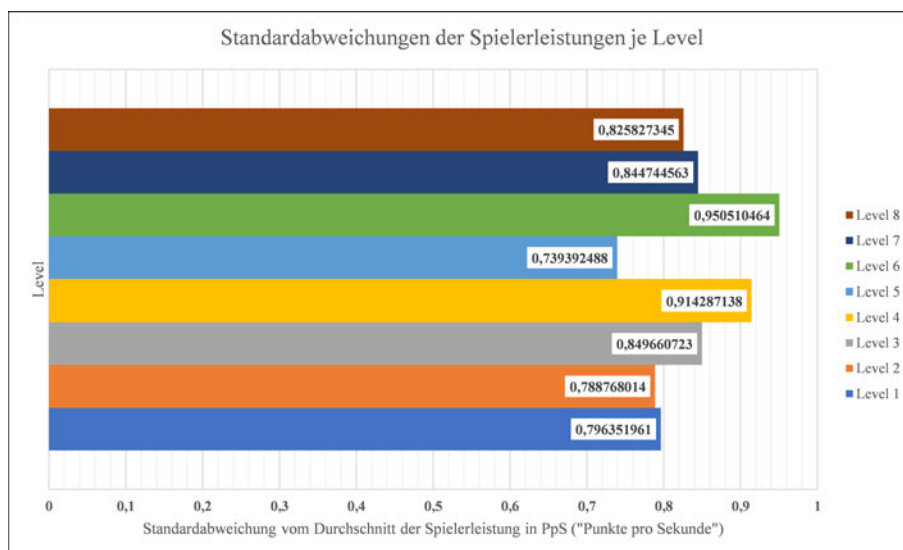


Abbildung D.2.4.: Balkendiagramm zur Darstellung der in den verschiedenen Leveln auftretenden Standardabweichungen der durchschnittlichen Spielerleistungen; erstellt mit "Microsoft Excel".

D.3. Grafiken zur Gesamtauswertung der Daten

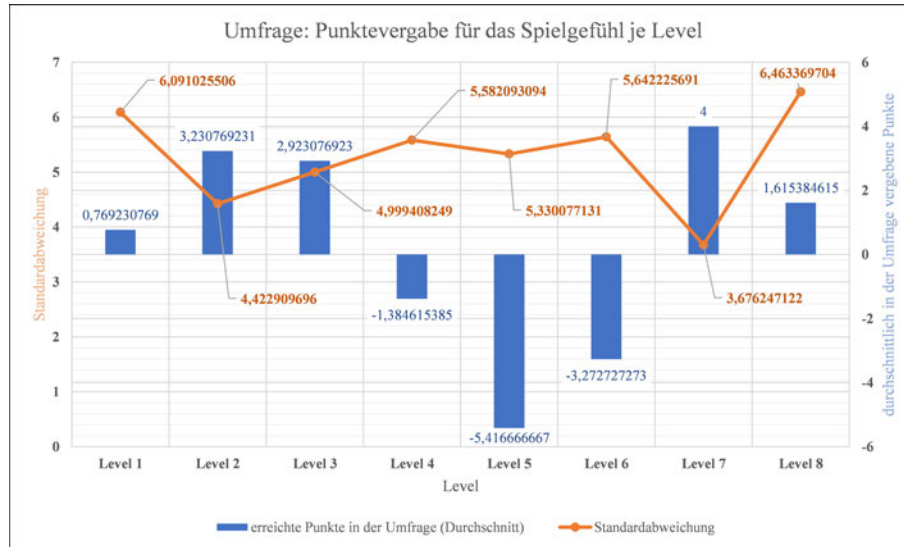


Abbildung D.3.1.: Verbunddiagramm zur Darstellung der für das Spielgefühl in der Umfrage vergebenen Punkte im Durchschnitt sowie deren Standardabweichung; erstellt mit "Microsoft Excel".

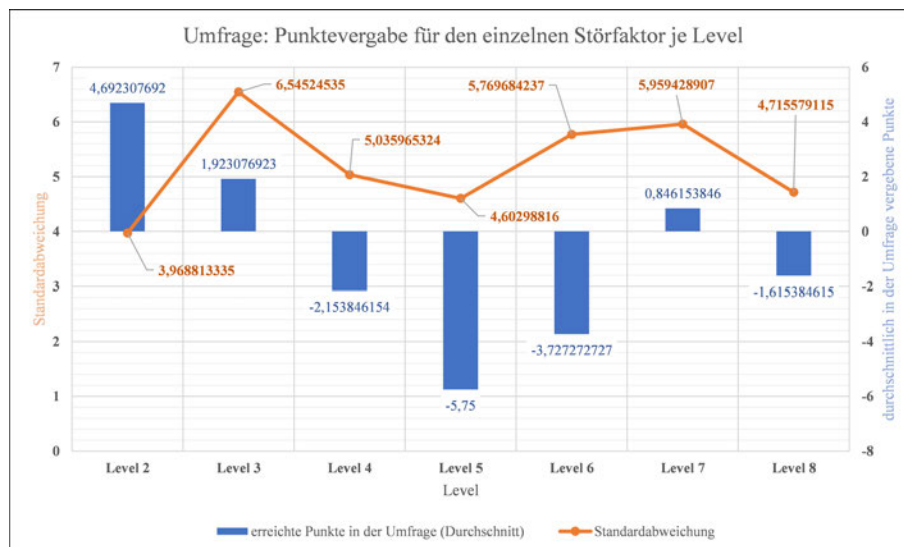


Abbildung D.3.2.: Verbunddiagramm zur Darstellung der für den Störfaktor in der Umfrage vergebenen Punkte im Durchschnitt sowie deren Standardabweichung; erstellt mit "Microsoft Excel".

D. GRAFIKEN ZUR AUSWERTUNG DER GESAMMELTEN DATEN

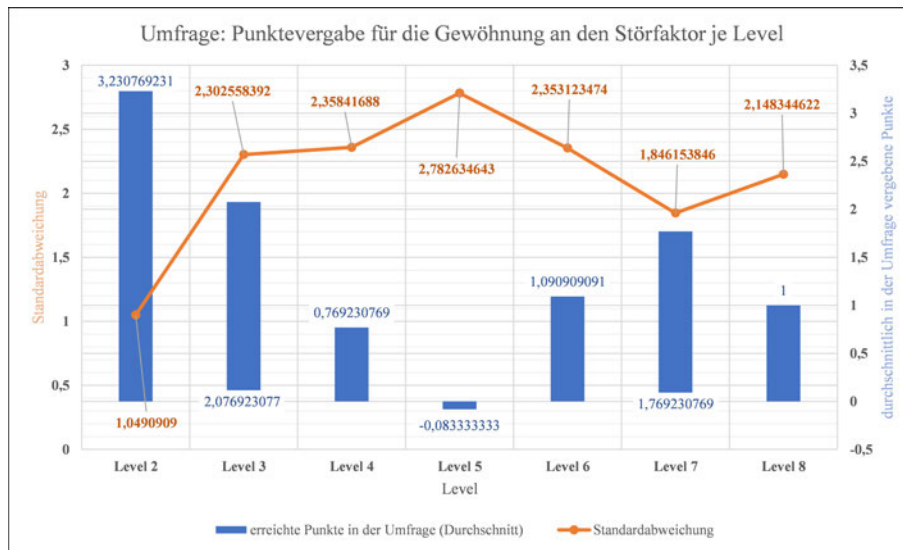


Abbildung D.3.3.: Verbunddiagramm zur Darstellung der für das Gewöhnungspotential in der Umfrage vergebenen Punkte im Durchschnitt sowie deren Standardabweichung; erstellt mit “Microsoft Excel”.

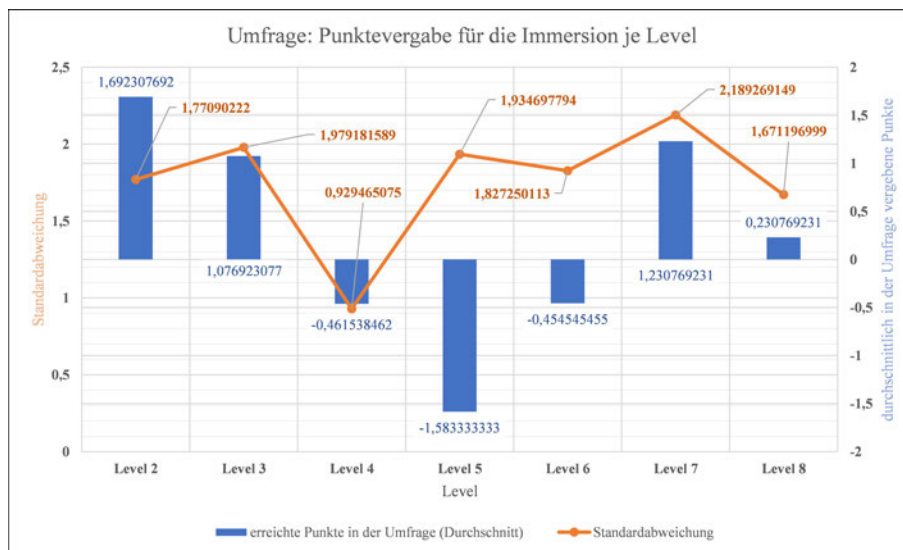


Abbildung D.3.4.: Verbunddiagramm zur Darstellung der für das Immersionspotential in der Umfrage vergebenen Punkte im Durchschnitt sowie deren Standardabweichung; erstellt mit “Microsoft Excel”.

D.3. GRAFIKEN ZUR GESAMTAUSWERTUNG DER DATEN

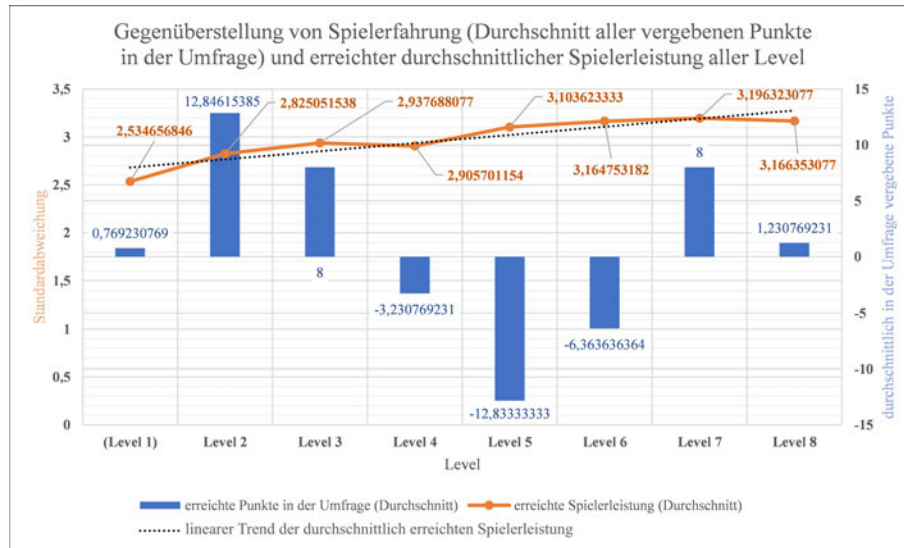


Abbildung D.3.5.: Verbunddiagramm zur Gegenüberstellung der in der Umfrage durchschnittlich vergebenen Punkte und der durchschnittlich erreichten Spielerleistungen je Level; erstellt mit "Microsoft Excel".

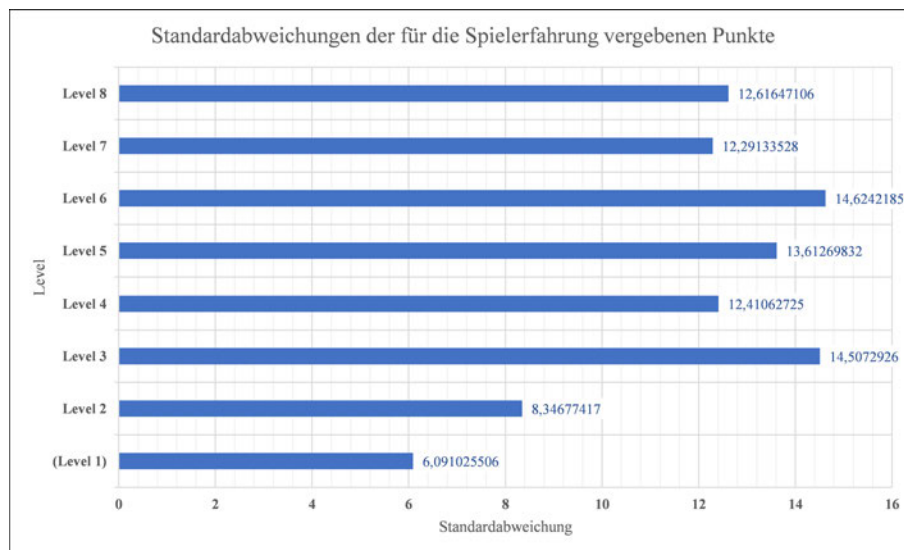


Abbildung D.3.6.: Balkendiagramm zur Darstellung der in den Levels erreichten Standardabweichungen; erstellt mit "Microsoft Excel".

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 16. Dezember 2022

A solid black rectangular box used to redact the signature of the author.

Simon Lauckner