



OTTO VON GUERICKE
UNIVERSITÄT
MAGDEBURG



FAKULTÄT FÜR
INFORMATIK

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Fakultät für Informatik

Institut für Simulation und Graphik

Eine multimodale Neurofeedback-Anwendung
als spielerische Ergänzung zur
ADHS-Therapie

Bachelorarbeit

Autor:

Simon Schröer

1. Prüfer:

Prof. Dr. Christian Hansen

2. Prüfer:

Mareike Gabele (M.A.)

Betreuer:

Mareike Gabele (M.A.)

Magdeburg, 06.05.2019

Inhaltsverzeichnis

Danksagungen	3
Abstract	5
Abkürzungsverzeichnis	7
1 Einführung	9
1.1 Einführung	9
1.2 Motivation	10
1.3 Zielsetzung der Arbeit	10
1.4 Hauptbeitrag der Arbeit	11
1.5 Gliederung der Arbeit	11
2 Grundlagen	13
2.1 Psychologischer Hintergrund	13
2.1.1 ADHS	13
2.1.2 Gehirnwellen	14
2.2 MindWave Headset	14
2.3 SARndbox	15
2.4 Eyetracking	16
3 Verwandte Arbeiten	19
3.1 BCI-Mehrspieler-Videospiele	19
3.2 Neurofeedback-Training für ADHS	19
3.3 Einfluss von Spielelementen	20
4 Konzept	23
4.1 Spielaufbau	23
4.2 Multimodaler Systemaufbau	24
4.3 Nutzung des MindWave Headsets	25
4.4 Nutzung des Eyetrackers	26
4.5 Nutzung der SARndbox	27
5 Implementierung	29
5.1 Spezifikationen der Entwicklungsumgebung	29
5.2 Multimodaler Systemaufbau	29
5.2.1 Server	29
5.2.2 Klient	30
5.2.3 Kommunikation zwischen Server und Hauptprogramm	30
5.3 Implementierung des MindWave Headsets	31
5.4 Implementierung des Eyetrackers	31
5.4.1 Schnittstellen-Subroutine	32

5.4.2	Projektion der Blickpunkte auf die Sandoberfläche	33
5.4.3	Fehlerkompensierung durch Kalibrierung	34
5.5	Implementierung der SARndbox-Interaktion	35
6	Evaluierung	37
6.1	Teilnehmer	37
6.2	Ablauf der Studie	38
6.3	Ergebnisse	39
6.3.1	Benutzerfreundlichkeit	39
6.3.2	Integration der haptischen Komponente	40
6.3.3	Integration des Mehrspieler-Aspektes	41
6.3.4	Vereinbarkeit mit dem Ziel der ADHS-Therapie	41
7	Diskussion	43
7.1	Auswertung	43
7.1.1	Benutzerfreundlichkeit	43
7.1.2	Integration der haptischen Komponente	44
7.1.3	Integration des Mehrspieler-Aspektes	44
7.1.4	Vereinbarkeit mit dem Ziel der ADHS-Therapie	44
7.2	Zusammenfassung	44
7.3	Ausblick	45
	Anhang	47
	Literaturverzeichnis	51
	Selbstständigkeitserklärung	53

Danksagungen

Zunächst möchte ich mich ganz herzlich bei meiner Betreuerin Mareike Gabele bedanken, die mich das ganze Projekt über betreut hat und mir geduldig und hilfsbereit mit Rat und Tat zur Seite stand. Ebenfalls möchte ich mich herzlich bei Thomas Wilde bedanken, der die AR Sandbox zur Verfügung gestellt und damit eines der Kernelement dieser Arbeit beigetragen hat. Weiterhin möchte ich Thomas Rosenburg danken, der das gesamte technische Setup möglich gemacht hat und bei Problemen und Rückfragen immer sofort zur Stelle war. Auch gebührt mein Dank der gesamten Arbeitsgruppe 'Computer Assisted Surgery' der Fakultät für Informatik. Darunter möchte ich mich im Besonderen bedanken bei: Jun.-Prof. Dr. Christian Hansen, der als Leiter der Arbeitsgruppe die gesamte Arbeit beaufsichtigt hat und die nötigen Mittel zur Verfügung stellte; Dr. Maria Luz, die mir geholfen hat die Studie aufzubauen und durchzuführen; Benjamin Hatscher, der das für die Arbeit verwendete Modell des Eyetrackers zur Verfügung stellte und mich bei dessen Implementierung beraten hat.

Darüber hinaus möchte ich den Experten danken, die im Voraus wichtige Fragen zu der Thematik ADHS beantwortet haben und grundlegende Rahmenbedingungen für ein Projekt im Bereich der Neurofeedback-Therapie gesetzt haben. Des Weiteren bedanke ich mich bei allen Probanden der Studie für ihre freiwillige Teilnahme.

Zu guter Letzt möchte ich mich noch bei Familie und Freunden bedanken, die mich über den gesamten Zeitraum der Arbeit unterstützt haben. An dieser Stelle auch nochmal ein besonderes Dankeschön an Elias Kuitert, der sich als Protokollant für die Studie zur Verfügung gestellt hat.

Abstract

Neurofeedback-Anwendungen sind in der ADHS-Therapie eine moderne, medikamentenfreie Alternative zu bisherigen Behandlungsansätzen. Da sich diese aber ausschließlich vor einem Bildschirm abspielen, auf dem über einen langen Zeitraum durch die von einem BCI-Gerät gemessenen Gehirnwellen eine monotone Aufgabe erledigt werden muss, sind die Patienten und besonders Kinder der Altersgruppe von 8 - 14 Jahren häufig gelangweilt und demotiviert, was zu einem schlechteren Lernerfolg führt.

Aus diesem Grund wurde in dieser Arbeit ein Spielprototyp entwickelt, welcher zusätzliches haptisches Feedback durch die Interaktion mit einem AR-Sandkasten ausgestattet mit einem Projektor zur visuellen Darstellung des Spiels auf der Sandoberfläche und einen Mehrspieler-Aspekt in eine kinderfreundliche Neurofeedback-Anwendung integriert. In einer durchgeführten explorativen Nutzerstudie mit Probanden unterschiedlicher Fachgebiete (n=7) hat sich herausgestellt, dass die in dem System kombinierten Modalitäten intuitiv ineinander greifen. Das Konzept der Applikation wurde bei der Evaluation als geeignet für den Einsatz in der ADHS-Therapie eingestuft. Es wurden einige Probleme in Erfahrung gebracht, welche auf Hardware-Limitierungen zurückzuführen sind und sich durch die Verwendung anderer BCI-Geräte und Projektoren beheben lassen.

Insgesamt bietet der Prototyp eine Grundlage für neue patientenorientierte Neurofeedback-Anwendungen, welche eine innovative Alternative zu den herkömmlichen ergänzenden ADHS-Therapiemaßnahmen bilden.

Abkürzungsverzeichnis

- BCI* Ein Brain-Computer-Interface ist eine Schnittstelle zwischen dem menschlichen Gehirn und einem Computer.
- ADHS* Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung ist eine mentale Störung, welche sich unter anderem durch Aufmerksamkeitsschwierigkeiten, Hyperaktivität und Impulsivität charakterisieren lässt.
- HUD* Das Head-Up-Display bezeichnet in Spielen Steuerelemente und Nachrichten, welche unmittelbar auf dem Bildschirm angezeigt werden, ohne das sie Teil der virtuellen Spielwelt sind (z.B. Lebensleisten, Chatnachrichten, etc.).
- FPS* Frames per Second (Bilder pro Sekunde) ist eine Einheit für die Bildwiederholrate, welche die Anzahl der pro Sekunde vom Programm berechneten und dargestellten Bilder beschreibt. Es wird auch als Qualitätskriterium für die Performance eines Programmes verwendet.

1 Einführung

1.1 Einführung

ADHS ist in eine psychische Störung, welche durch ihre weite Verbreitung in allen Altersgruppen relevant ist und besonders bei Kindern aufgrund der sich aus den Symptomatiken ergebenden Probleme beim Lernen und im Sozialleben eine große Problematik darstellt. Zur Therapie dieses Defizits existieren bereits zahlreiche Methoden wie das soziale Kompetenztraining, das Elterntaining und der Einsatz von Medikamenten [KPS⁺11, 21]. Eine vielversprechende und medikamentenfreie Alternative dazu verspricht das Neurofeedback-Training. Bei dieser Art des Trainings werden durch ein Brain-Computer-Interface die Gehirnströme der Patienten mithilfe von Elektroden ausgelesen und an ein Programm geleitet, welches diese auswertet und basierend auf der Beschaffenheit der Gehirnwellen eine Interaktion mit einem Spiel ermöglicht. In der aktuellen Praxis der ADHS-Therapie werden hierfür Spiele für Einzelnutzer verwendet, in denen der Patient mit einer simplen Anwendung auf einem Bildschirm interagiert. Außerdem findet keinerlei haptische Interaktion mit dem Programm statt. Diese Art der Praktizierung des Neurofeedback-Trainings führt dazu, dass die Patienten kein Interesse an der Applikation haben und auch keine soziale Motivation verspüren.

Diese Arbeit setzt sich mit dieser vielseitigen Problematik auseinander und beantwortet dabei folgende Research Questions:

Q1 Kann eine Mehrspieler-Anwendung in dem Training eingesetzt werden, um die Motivation der Spieler zu steigern? Wie kann dieser Mehrspieler-Aspekt aussehen?

Q2 Wie kann die haptische Interaktion das Training erweitern?

Q3 Wie können diese Erweiterungen in einer Systemlösung umgesetzt werden?

Q4 Kann ein solches Spiel in einem realen Therapie-Szenario eingesetzt werden? Wie kann es in den Ablauf integriert werden?

Zu Beantwortung dieser Fragen wurde eine Neurofeedback-Anwendung entwickelt, welche die allgemeine Motivation der Spieler steigern soll, indem es unter anderem die Möglichkeit bietet mit 2 BCI-Geräten gleichzeitig gespielt zu werden. Um den Tastsinn zusätzlich einzubinden verwendet die Applikation als Benutzeroberfläche die Augmented Reality Sandbox [RKH⁺14], eine Applikation, welche durch Abtasten der Oberflächenstruktur eines Sandkastens und einer Projektion auf diese Landschaft eine direkte Manipulation der virtuellen Höhenkarte durch haptische Interaktion mit unmittelbarem visuellem Feedback verbindet.

1.2 Motivation

Die hier betrachtete Zielgruppe der Kinder im Alter von 8 - 14 Jahren unterscheidet sich von erwachsenen Patienten besonders durch die Wichtigkeit des spielerischen Aspekts während der Therapie. Daran anknüpfend ist bei dieser Altersgruppe auch die soziale Komponente ein wichtiger Faktor, welcher durch die potentiell gesteigerte Motivation einen starken Einfluss auf die Effektivität des Neurofeedback-Trainings haben kann [BLL13][PDP⁺11].

Zudem gibt es noch keine Neurofeedback-Spiele, welche es den Patienten ermöglichen losgelöst vom Bildschirm und ohne Virtual Reality Brille mit dem Programm zu interagieren. Auch die haptische Komponente wurde bei dieser Form der ADHS-Therapie bisher außen vor gelassen.

Laut der Selbstbestimmungstheorie von Edward L. Deci und Richard M. Ryan [uED00] ist es das ständige Bestreben der Menschen die drei psychologischen Grundbedürfnisse Autonomie, Kompetenz und soziale Eingebundenheit permanent zu befriedigen, welches bei den ADHS-Patienten durch eine geeignete Therapie erreicht werden kann. Zum einen sind sie bei ausreichender Eindämmung der Symptome nicht mehr von ständiger Betreuung abhängig und es kann durch verbesserte Lernfähigkeit ein höherer Grad an Kompetenz erreicht werden. Des Weiteren führt ein besserer Umgang mit den Einschränkungen durch ADHS auch zu einer höheren Wahrscheinlichkeit einen Anschluss im sozialen Leben zu finden. Dieses stellt eine Möglichkeit dar, um die Therapie für die betroffenen Kinder zu verbessern mit dem Ziel den Einfluss der Störung zu verringern und ihnen somit bessere Chancen für ihr späteres Leben geben zu können.

Aber auch außerhalb der Therapie kann diese Anwendung beim privaten Üben der gelernten Bewältigungsstrategien komplett ohne den Therapeuten verwendet werden, weshalb die Möglichkeit zur intuitiven Nutzung der Applikation notwendig ist.

1.3 Zielsetzung der Arbeit

Das Ziel der Arbeit ist das Erstellen einer BCI-Anwendung zum selbstständigen ADHS-Training für Kinder mit integriertem haptischen Feedback und einer Mehrspieler Option. Diese Anwendung soll zudem in den Trainingsablauf der Therapie dieser Kinder integriert werden. Hierfür wird die fertige Anwendung hinsichtlich verschiedener Kriterien evaluiert, welche sich aus Anforderungen, welche im Vorfeld mit Psychologen diskutiert wurden, ergeben:

- Grundlage für ein langfristig nutzbares System
- Keine Frustration durch Niederlage
- Spielspaß steht im Vordergrund
- Bedienung des Systems ohne Hilfe Dritter
- Multiplayeroption
- Nutzung eines haptischen Systems

1.4 Hauptbeitrag der Arbeit

Diese Arbeit überträgt das Interaktionsparadigma mehrerer gleichzeitiger Nutzer einer Neurofeedback-Applikation auf den Bereich der ADHS-Therapie und fügt diesem Programm zusätzlich eine haptische Komponente durch die SARndbox [RKH⁺14] hinzu. Sie kombiniert verschiedene Technologien in einer Applikation, erstellt dadurch eine neue Interaktionsmöglichkeit und zeigt, dass diese Kombination von Modalitäten technisch möglich ist. Zusätzlich untersucht die Arbeit die Gebrauchstauglichkeit dieses neuen Programmes für unerfahrene Nutzer. Die Resultate geben Aufschluss darüber, wie sinnvoll die Nutzung dieser unterschiedlichen Schnittstellen im Kontext des Neurofeedback-Trainings von ADHS-Patienten ist und gibt somit neue Einblicke in mögliche zukünftige Anwendungen sowohl in der Therapie als auch im selbstständigen Gruppen- und Hometraining.

1.5 Gliederung der Arbeit

Zu Beginn gibt das **Kapitel 1** eine Einführung in diese Arbeit und beschreibt dessen Motivation, Ziele und Beiträge. Daraufhin werden in **Kapitel 2** zunächst die psychologischen Hintergründe der Störung ADHS und der Gehirnwellen erläutert, das hier benutzte BCI-Gerät, der Aufbau und die Funktionsweise der SARndbox, sowie die Technologie hinter dem hier verwendeten Eyetracking.

Anschließend werden in **Kapitel 3** verwandte Arbeiten, welche Grundlagenforschung für diese Arbeit geleistet haben, beschrieben und in Bezug zu diesem Projekt gesetzt. Daraufhin werden das Konzept der entwickelten Applikation in **Kapitel 4** sowie die konkrete Implementierung des Programmes in **Kapitel 5** beschrieben.

Die Ergebnisse der Arbeit werden in **Kapitel 6** dargestellt und diskutiert.

Zum Schluss werden in **Kapitel 7** noch eine Zusammenfassung sowie ein Ausblick auf mögliche Zukunftsarbeit gegeben.

2 Grundlagen

Im folgenden werden Grundlagen, welche notwendig zum Verständnis der weiteren Arbeit sind, gegeben. Zuerst wird der psychologische Hintergrund der Störung ADHS und der Gehirnwellen, welche von dem BCI-Headset ausgewertet werden, erläutert. Anschließend werden nacheinander die Grundlagen der einzelnen Schnittstellen aufgegriffen und beschrieben, sowie deren Funktion in dieser Arbeit. Die für diese Applikation verwendeten Schnittstellen sind das MindWave Headset als BCI-Element dieser Anwendung, welches die Gehirnwellen der Spieler ausliest und dadurch eine Steuerung des Programmes durch Fokus ermöglicht, die AR Sandbox, welches zur haptischen Interaktion des Spielers mit der Anwendung dient und zusätzlich ein Eyetracker, welcher es dem Spieler ermöglicht die Anwendung durch seinen Blickpunkt zu steuern.

2.1 Psychologischer Hintergrund

2.1.1 ADHS

ADHS ist eine emotionale und eine Verhaltensstörung, welche in der Kindheit oder Jugend beginnt und die Fähigkeit zur Selbstregulation der Betroffenen stark einschränkt. Häufig äußert sich diese durch eine geringe Aufmerksamkeit, Impulsivität sowie bei zusätzlich auftretender Hyperaktivität durch körperliche Unruhe [KPS⁺11, 4]. Es ging aus einigen Expertengesprächen, welche im Rahmen der Recherche vor der Entwicklung geführt wurden, hervor, dass an ADHS erkrankte Kinder typischerweise zudem eine geringe Frustrationstoleranz haben, was eine besondere Herausforderung für die Anfertigung von Spielen für diese Zielgruppe darstellt. Weltweit sind von der Störung etwa 5% [KPS⁺11, 3] aller Schulkinder betroffen, was es zu der häufigsten psychiatrischen Erkrankung in dieser Altersgruppe macht. Es lassen sich neben den Nachteilen allerdings auch besondere Stärken [ARPR16], wie zum Beispiel der Hyperfokus feststellen, in welchem die Kinder in einen Flowzustand verfallen, der sie konzentriert an einem Problem arbeiten lässt. Ebenso sind Betroffene auf sozialer Ebene häufig hypersensibel, wodurch sie einen ausgeprägten Gerechtigkeitssinn haben und besonders viel Empathie zeigen. Diese beiden Stärken zu verstehen ist notwendig, um ein Spiel optimal so designen zu können, dass die Anwender maximale Produktivität an den Tag legen und gleichzeitig Spaß an dem Spiel haben, ohne frustriert zu werden.

Diese Arbeit setzt sich in erster Linie mit der Zielgruppe der 8 bis 14-jährigen Kinder und Jugendlichen auseinander. Die Standardtherapie im Neurofeedback-Bereich sieht hier insgesamt 40 Trainingsstunden vor, von denen ein bis zwei Stunden pro Woche in einem Krankenhaus durchgeführt werden.

2.1.2 Gehirnwellen

Jedes Neuron im Gehirn hat ein bestimmtes elektrisches Potential, welches sich durch Stimulation verändert. Die Veränderung dieses Potentials mit der Zeit wird im Folgenden Gehirnwelle genannt. Da Neuronen allerdings zu klein sind, um ohne invasive Eingriffe spezifische einzelne Potentiale zu messen, wird meistens ein gewisser topologischer Bereich zusammengefasst, dessen Gehirnwellen dann ausgelesen werden können. Die Messung der elektrischen Potentiale zu bestimmten Zeitpunkten findet durch an der Kopfhaut befestigte Elektroden, wie bei einem EEG-Gerät, statt [NNS⁺06]. In dieser Arbeit wird die Messung von dem MindWave Mobile 2 [min15] durch eine einzelne EEG-Elektrode gemacht, weshalb die gemessenen Werte keinen verschiedenen topologischen Regionen zugeordnet werden können, sondern einzig und allein in ihrer eindimensionalen Ausprägung interpretiert werden können. Man unterscheidet die Gehirnwellen grundlegend in vier verschiedene Hauptfrequenzbänder [HHK⁺16, 18], wobei sich die genauen Frequenzbereiche je nach Quelle unterscheiden:

- β -Wellen: 13 - 30 Hz
- α -Wellen: 8 - 13 Hz
- θ -Wellen: 4 - 8 Hz
- δ -Wellen: 0,5 - 4 Hz

Auch wenn jedes dieser Frequenzbänder besondere Eigenschaften hat, befasst sich diese Arbeit vorwiegend mit dem α -Frequenzband. Die Intensität der Wellen in diesem Frequenzbereich kennzeichnen einen Wachzustand der Unaufmerksamkeit und Entspannung [HHK⁺16, 18], wodurch der Fokus des Spielers daran ausgelesen werden kann.

2.2 MindWave Headset

Das MindWave Mobile 2 Headset von NeuroSky [min15] ist ein Headset, welches durch einen Sensor über der linken Augenbraue sowie einen Ohrclip verschiedene Daten über den mentalen Zustand des Trägers sammelt. Diese Werte werden von dem Headset interpretiert und in neue, verwertbare Daten umgewandelt. Die von dem Headset ausgegebenen Daten umfassen unter anderem den aktuellen Fokus, das Meditationslevel - also die Entspannung des Trägers - und individuelle Frequenzbänder der Gehirnwellen.

Über eine Verbindung des Headsets mit einem Bluetooth-fähigen Gerät können alle Daten ausgelesen werden, welches in unserem Fall ein gewöhnlicher Linux Computer ist. Für diese Arbeit wird nur das Fokuslevel benötigt, welches eine Zahl zwischen 0 (nicht fokussiert) und 100 (vollkommen fokussiert) ist. Dieser Wert wird im Verlaufe der Arbeit immer wieder auftauchen und stellt den Schlüsselwert für alle Interaktionen des Patienten mit dem Programm über das BCI dar.

Für diese Arbeit wurde das Modell MindWave Mobile 2 von NeuroSky verwendet, da dieses im Vergleich zu anderen BCI-Geräten für den Nutzer leicht anzulegen und zu verwenden ist. Alternative BCI-Geräte (wie das Nielsen EEG Headset [nie16]) haben viele Elektroden, welche auf der Kopfhaut des Patienten befestigt werden müssen, wodurch der Vorbereitungsaufwand für das Spiel zu hoch wäre.



Abbildung 2.1: Das MindWave Mobile 2 Headset

2.3 SARndbox

Die Augmented Reality Sandbox (auch AR Sandbox oder SARndbox) ist ein von Forschern der UC Davis zur Bildung im Bereich der Geologie entwickeltes Werkzeug, welches als haptisches Interface zwischen einem Sandkasten und dem daran angeschlossenen Computer mit der AR Sandbox Software fungiert [RKH⁺14]. Der Nutzer kann durch Manipulation der Sandlandschaft in Echtzeit die interne Höhenkarte verändern, welche wiederum auf den Sand projiziert wird und dadurch unmittelbares visuelles Feedback gibt. Die Grundidee einer verformbaren Oberfläche mit Echtzeit-Projektion wurde bereits 2002 mit Lehm umgesetzt [PRI02]. Zusätzlich dazu hat diese Software eine eingebaute Handerkennung, welche an eine Echtzeit-Implementierung der Navier-Stokes-Gleichungen gekoppelt ist, die es dem Anwender ermöglicht Wasser auf bestimmten Stellen in der Landschaft durch Überhalten einer Hand regnen zu lassen.

Wie in 2.2 zu sehen ist, besteht die AR Sandbox aus einem Grundgerüst mit Sandkasten sowie einem darüber befestigten Projektor und einer Kinect-Kamera, welche auf die Sandoberfläche innerhalb des Kastens gerichtet sind. Sowohl der Projektor als auch die Kinect-Kamera sind mit einem Rechner verbunden, auf dem die AR Sandbox Software ausgeführt wird.

Die Kinect-Kamera erfasst sowohl Tiefen- als auch Farbinformationen der Oberfläche, von denen im originalen Aufbau allerdings nur die Tiefeninformationen verwendet werden. Diese von der Kamera mehrmals in der Sekunde erfasste 3D-Oberflächenstruktur wird an den Rechner mit der AR Software gesendet, welcher eine Höhenkarte aus den Tiefendaten erstellt. Diese Höhenkarte wird anhand eines vorgegebenen Farbschemas eingefärbt und gerendert, um eine visuelle Repräsentation der Oberfläche zu erzeugen. Abschließend wird dieses Bild über den Projektor auf den Sand projiziert, wodurch der Nutzer ein direktes visuelles Feedback über die Veränderungen in der Oberflächenstruktur des Sandes erhält. Der gesamte Code dieses Open-Source-Projektes wurde als Codebasis für die Arbeit genommen und um alle im Hauptteil beschriebenen Funktionen erweitert. Dafür wurden zusätzlich zu den Tiefendaten auch die Farbdaten der Kinect-Kamera akquiriert und der

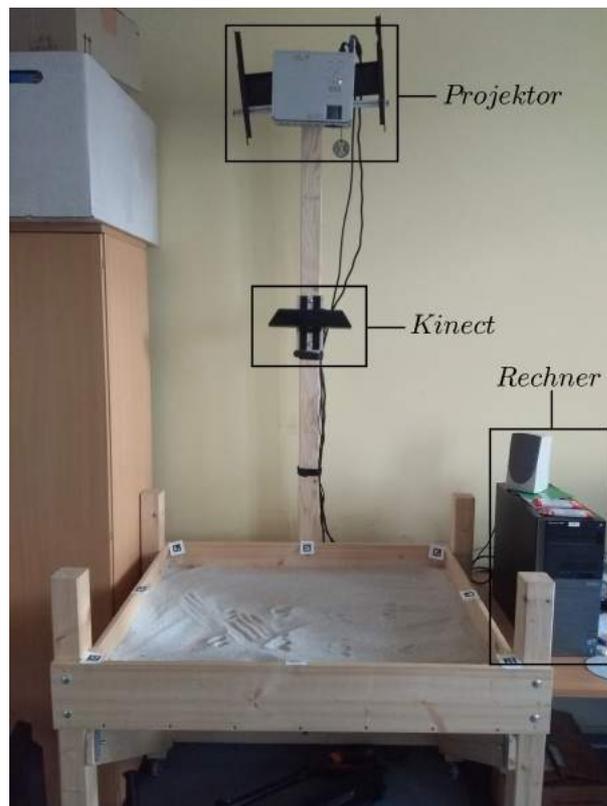


Abbildung 2.2: Der hier benutzte Aufbau der SARndbox

Projektor wird als Hauptdisplay für das gesamte visuelle Feedback der Applikation verwendet.

Ein Grund für die Nutzung der SARndbox in diesem Projekt ist die daraus resultierende Benutzerfreundlichkeit, da Sand als Baumaterial bereits jedem Kind bekannt ist und so automatisch den freien und kreativen Umgang mit dem Spiel fördert.

2.4 Eyetracking

Das hier verwendete Eyetracking benutzt die Open-Source Lösung von Pupil Labs [KPB14]. Diese Eyetracking-Brille ist per Kabel mit dem Hauptrechner verbunden und bestimmt durch zwei eingebaute Kameras den aktuellen Blickpunkt des Trägers.

Die Augenkamera ist auf das rechte Auge des Nutzers ausgerichtet und erfasst die aktuelle Position der Pupille auf dem Bild. Die Weltkamera ist nach vorne ausgerichtet und betrachtet das gesamte Blickfeld des Brillentragenden, in welchem der Blickpunkt festgestellt werden soll. In einem Kalibrierungsverfahren wird die Position der Pupille mit dem Bild der Weltkamera korreliert, wodurch anschließend für beliebige Pupillenpositionen ein Punkt in dem Blickfeld des Nutzers als Blickpunkt berechnet werden kann.

Das Open-Source-Framework bietet dazu noch die Funktion des Surface-Trackings an, welches den berechneten Blickpunkt auf eine Fläche im dreidimensionalen Raum projiziert. Diese Fläche wird durch vorgegebene Marker, welche im Raum zu platzieren sind, festgelegt und von der Weltkamera erfasst. In dieser Arbeit wurde das Surface-Tracking zur Erfassung der Grundfläche des Sandkastens verwendet, sodass eine selbstständige Projektion des Blickpunkts auf die Oberfläche nicht mehr zwingend notwendig war. Die

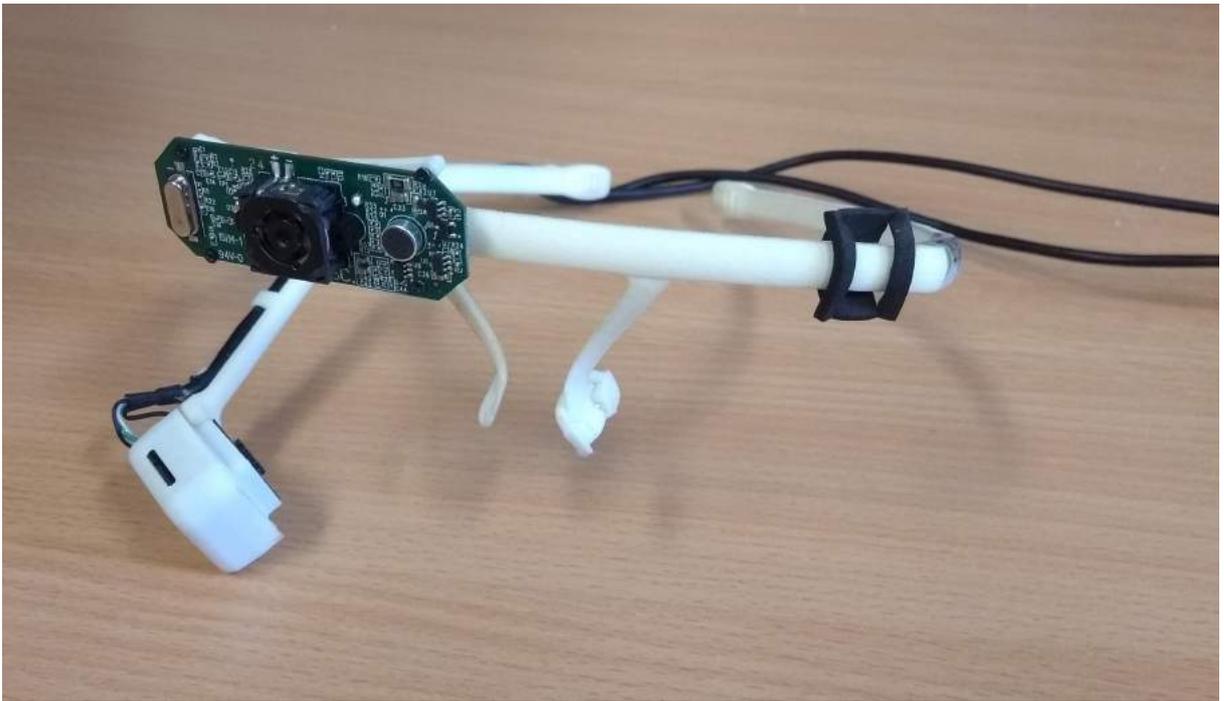


Abbildung 2.3: Der Eyetracker von Pupil Labs

Brille erfasst also sowohl Pupillenposition als auch das Blickfeld des Trägers, schickt die Daten an die Open-Source-Software von Pupil Labs, wo diese Daten korreliert und auf die Sandoberfläche projiziert werden, und gibt schließlich den Blickpunkt des Spielers relativ zur Fläche des Sandkastens aus.

3 Verwandte Arbeiten

Einige der hier verwendeten Paradigmen der Interaktion und der Neurofeedback-Therapie für ADHS-Patienten wurden bereits untersucht, allerdings noch nicht in Form einer einzelnen Applikation zusammengeführt. Diese verwandten Arbeiten lassen sich in drei verschiedene Themengebiete gruppieren.

Zuerst wird eine Arbeit zu BCI-Videospielen mit einer Mehrspieleroption vorgestellt. Anschließend folgt ein Ausschnitt des Themengebietes der Forschungsarbeiten, welche sich mit dem Neurofeedback-Training für ADHS-Betroffene befassen. In dem dritten und letzten Abschnitt wird der Einfluss von Spielelementen auf die menschliche Performance bei digitalen Applikationen vorgestellt.

3.1 BCI-Mehrspieler-Videospiele

Bonnet et al. (2013) [BLL13] zeigten, dass sowohl kollaborative als auch kompetitive Aufgaben bei zwei Spielern in einem BCI-Videospiel gleichermaßen motivations- und leistungsfördernd im Vergleich zu einem Einzelspieler-Szenario wirken. Die Teilnehmer dieses Projektes waren zwischen 23 und 52 Jahren alt. Bei den Ergebnissen zur Leistung und Motivation zwischen einer kollaborativen und kompetitiven Zielsetzung konnten keine signifikanten Differenzen festgestellt werden. Diese Resultate scheinen anzudeuten, dass Menschen bei einer sozialen Komponente jeglicher Art eine Leistungs- und Motivationssteigerung erfahren, welches ein wichtiger Aspekt der hier programmierten Anwendung ist.

Den Nutzern des in dieser Arbeit entwickelten Programmes wird eine leicht asymmetrische Rollenverteilung gegeben. Einer der Spieler ist ausschließlich für das Unterstützen des Hauptcharakters zuständig, wodurch bei den Anwendern möglicherweise eine abweichende Motivations- und Leistungssteigerung vermerkt werden kann.

3.2 Neurofeedback-Training für ADHS

Blandon et al veröffentlichte 2016 ein Paper [BMLG16] zu dem Einfluss von BCI-Videospielen auf Kinder mit ADHS, in dem ein Virtual-Reality-Spiel erstellt wurde, welches sich über ein BCI-Gerät steuern lässt. In Sitzungen von je 25 Minuten Spielzeit haben insgesamt sieben Kinder mit ADHS mit dieser Neurofeedback-Anwendung trainiert, wobei die Gehirnaktivitäten aufgezeichnet wurden. Aufgrund der direkten Korrelation zwischen Fokuslevel und den Spielmetriken ließ sich im Verlauf der Sitzungen eine verbesserte Fähigkeit zum Halten des Fokus feststellen, da die Kinder eine bessere Leistung innerhalb des Spiels erbringen konnten.

Um als gute Neurofeedback-Anwendung zu gelten, sollte also ebenfalls eine Leistungssteigerung der Anwender im Verlaufe dieses Spiels zu erkennen sein, weshalb das genannte VR-Spiel ein wichtiger Leitfaden zur Konstruktion dieses Programmes ist. Allerdings lässt sich die Methodik hier nicht eins zu eins übertragen, da sich die Zielsetzung dieser Arbeit mehr auf die Konstruktion eines AR-Neurofeedback-Spiels für ADHS-betroffene Kinder und Benutzerfreundlichkeitsaspekte bezogen auf die Symptomatik von ADHS, als auf die empirisch quantifizierte Effektivität von Neurofeedback-Applikationen konzentriert.

Rohani et al (2014) [RSP14] stellten ein neues BCI-System zur Therapie von ADHS vor, in der die Spieler in ein VR-Klassenzimmer versetzt wurden. In diesem Klassenzimmer wurden fünf Probanden Aufgaben präsentiert, welche durch den Fokus der Spieler gelöst werden mussten. Hierzu wurde das P300 Potential gemessen und mit einer Fehlerrate von unter 30% richtig erkannt.

Das dafür erstellte Spiel weißt in seinem Aufbau Parallelen zu dem in dieser Arbeit entwickelten Spiel auf, wobei das Setup hier jedoch in AR überführt wird. Dementsprechend wird auch das Spielkonzept angepasst und ein anderes BCI-Element verwendet. Zudem wird diese Arbeit zusätzliche Komponenten wie die haptische Interaktion integrieren und die gesamte Therapie aus dem virtuellen in den realen Raum überführen, welches neue Herausforderungen und Problemlösungsansätze erfordert.

Bul et al (2015) [BFVdO⁺15] stellten ein Serious Game als Neurofeedback-Applikation für Kinder mit ADHS namens 'Plan-It Commander' vor, welches hinsichtlich der Nutzerzufriedenheit untersucht wurde. Es stellte sich heraus, dass die Patienten durchaus zufrieden mit dem Spiel waren und es weiterempfehlen würden. Durch ihre Arbeit wurde erstmals ein Fokus auf die Nutzerzufriedenheit in Neurofeedback-Spielen gelegt, was sie zu einer wichtigen Basis für diese Arbeit macht. Die Zielsetzung der Arbeit wird hier allerdings noch auf ein multimodales AR-System ausgeweitet, welches über andere Interaktionsmöglichkeiten verfügt, und somit keine Übertragung der Ergebnisse von 'Plan-It Commander' zulässt.

3.3 Einfluss von Spielelementen

Prins et al. (2011) [PDP⁺11] zeigten in einer Studie mit ADHS-betroffenen Kindern, dass Spielelemente in einem standardisierten Arbeitsgedächtnistraining sowohl die Wirksamkeit des Trainings als auch die Motivation der Kinder steigern.

Dieses Resultat wurde 2015 von Ninaus et al. [NPS⁺15] in einer allgemeineren Studie reproduziert, welche die Leistung der Probanden und die Wirksamkeit des Trainings mit Teilnehmern ohne ADHS im Alter von durchschnittlich 23.8 Jahren untersuchte. Auch hierbei wurde eine bessere Leistung und Wirksamkeit mit Spielelementen im Vergleich zu der Kontrollgruppe ohne Spielelemente festgestellt.

Dass sich diese Leistungssteigerung nicht nur auf das Arbeitsgedächtnistraining bezieht, zeigten van der Oord et al. (2014) [vdOPG⁺14] indem sie in einer Studie Kinder mit ADHS in 25 Sitzungen ihre Exekutivfunktionen trainieren ließen. Bei zufällig ausgewählten Kindern wurde ein Training mit Spielelementen durchgeführt. Das Ergebnis zeigte ebenfalls eine stärkere Verbesserung der Exekutivfunktionen in der Gruppe mit Spielelementen.

Diese Arbeiten zeigen, dass Spielelemente in vielen Fällen für eine erhöhte Motivation und höhere kognitive Leistungsfähigkeit bei den Spielern sorgen. Somit liefern sie den Grund mit der in dieser Arbeit erstellten Neurofeedback-Anwendung eine spielerische Richtung einzuschlagen.

Diese Applikation kann jedoch an den genannten Arbeiten anknüpfend einen bedeutenden Beitrag leisten, da hier eine große Menge an neuen Interaktionsmöglichkeiten und Technologien eingearbeitet sind, welche einer neuen Evaluation hinsichtlich ihrer motivations- und leistungssteigernden Fähigkeiten bedürfen.

4 Konzept

In dem folgenden Kapitel wird auf die konzeptuellen Ideen und theoretischen Überlegungen hinter der Implementierung eingegangen, welche notwendig waren, um die in [Abschnitt 1.3](#) beschriebenen Ziele zu erfüllen. Es wird anfangs ein Überblick über den Aufbau des Spiels aus einer Design-Perspektive und eine Übersicht über den Aufbau des System als Komposition aus verschiedenen Modalitäten gegeben. Anschließend wird genauer auf die Integration der einzelnen Modalitäten in der Theorie eingegangen.

4.1 Spielaufbau

Das gesamte Spiel wurde in erster Linie unter Berücksichtigung der Symptomatiken von ADHS-Patienten ([Unterabschnitt 2.1.1](#)), welche im Voraus mit Therapeuten besprochen wurden, konstruiert. Ein wichtiger Aspekt ist es somit, dass das Spiel zu keinem Zeitpunkt frustrierend für die Spieler werden kann. Übertragen auf das Design bedeutet das, dass die Hauptzielsetzung sowie die Aufgaben des Spiels einem streng konstruktiven Ansatz folgen. Hinzukommend sorgt positives im Vergleich zu negativem Feedback bei Neurofeedback-Spielen für eine bessere Leistung in Bezug auf die Fokuslevel der Spieler [[RM16](#)]. Es wird also im Verlaufe des Spiels nur etwas Neues erbaut oder etwas bereits Existierendes erweitert und niemals etwas durch das Spiel zerstört oder ein Schritt zurück gemacht. Im Detail findet sich dieser Leitgedanke auch in den Fortschrittsanzeigen des Spiels wieder, welche durch das BCI-Gerät gesteuert werden. Wird bei diesen ein gewisser Fortschritt gemacht, bleibt dieser erhalten und sinkt selbst bei Vernachlässigung nicht ab.

Daraus ergibt sich im Konkreten die Idee des Aufbaus eines Dorfes, für welches die zwei Ressourcen Holz und Stein herangebracht werden müssen. Für das Einbringen der Ressourcen können Bäume gepflanzt und Steinbrüche gebaut werden. Neben diesen beiden Objekten lässt sich zu Beginn des Spiels noch ein Hauptquartier platzieren, welches als Dorfzentrum fungiert, von dem aus das Dorf nach dem Erhalten von ausreichend Ressourcen expandiert.

Die Einbringung des Mehrspieler-Aspekts in die Spielmechaniken geht ebenfalls auf die Symptomatiken von ADHS zurück. Aufgrund der potentiellen emotionalen Hypersensitivität und der erhöhten Empathie ist eine Kooperation der beiden Spieler deutlich vielversprechender als eine kompetitive Komponente, wenn es darum geht diese Stärke von Kindern mit ADHS auszuspielen. Im Spielkontext wurde diese Kooperation durch die Unterstützung in der Spielmechanik des Bäume Pflanzens realisiert. Der eine Spieler lässt Wasser auf die von dem anderen Spieler platzierten Bäume regnen, um diese wachsen zu lassen.

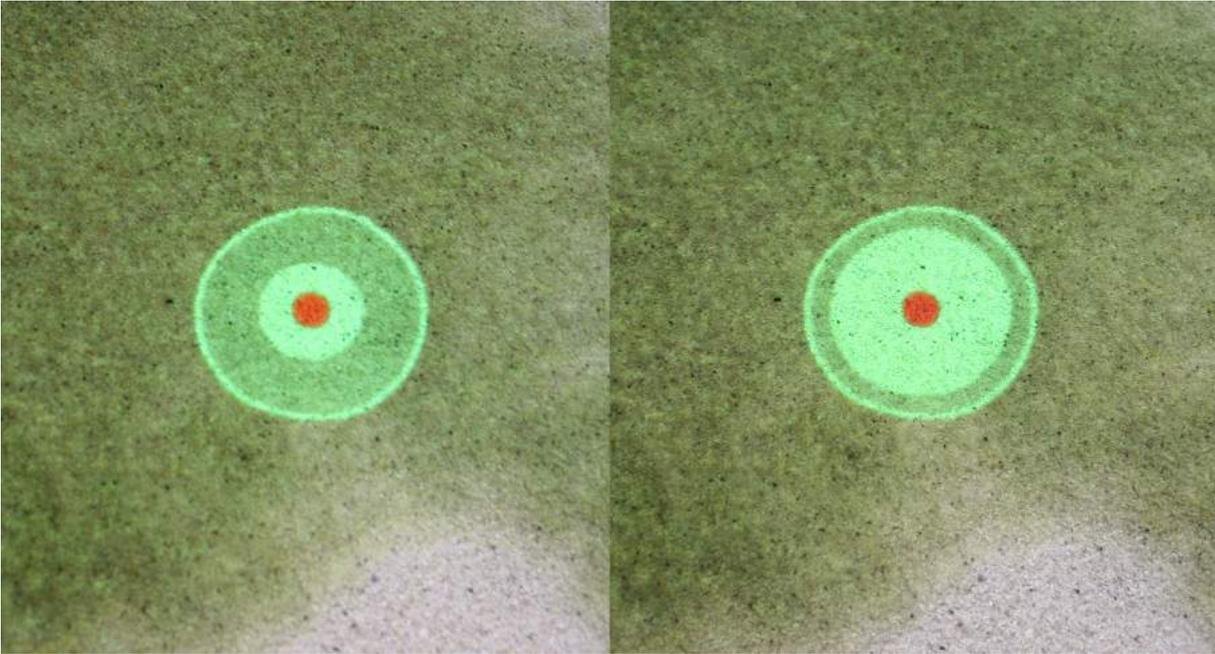


Abbildung 4.1: Fortschrittsanzeige durch Füllen eines Kreises

4.2 Multimodaler Systemaufbau

Das System setzt sich aus drei unterschiedlichen Eingabe-Modalitäten zusammen: dem Eyetracker, dem BCI-Headset und der AR Sandbox. Letztere hat hierbei eine spezielle Bedeutung, da sie dem Spiel nicht nur das haptische Feedback hinzufügt, sondern die Sandoberfläche zusätzlich als Projektionsfläche für die visuelle Präsentation des Spiels dient. Da das hierfür bereits entwickelte Programm eine Engine für das Arbeiten und die Darstellung auf dieser Oberfläche mit sich bringt, ist die AR Sandbox gut als Kern des Hauptprogrammes geeignet, welches die Daten der anderen Modalitäten empfängt und in das Spiel integriert.

Die Einspeisung der Daten aus den Eingabegeräten in das Hauptprogramm ist durch ein zweites Programm (Daten-Server) geregelt, welches die gerätespezifische Kommunikation mit jedem einzelnen Gerät bewerkstelligt und die Daten empfängt. Um diese nun an das Hauptprogramm zu übergeben, werden alle empfangenen Daten in ein einheitliches Format konvertiert, damit die Eingaben schließlich durch einen einzigen Datenstrom in das Hauptprogramm eingespeist werden können. Diese Entscheidung hat den Vorteil, dass der Anwendung unabhängig von den spezifischen Modalitäten genutzt werden kann. Zur Steuerung des Programms können also ebenfalls z.B. die X und Y-Komponente eines Mauszeigers anstelle des Eyetrackers in das Hauptprogramm eingespeist werden, solange diese zuvor in das einheitliche Format überführt wurden.

Um einen zweiten Spieler zu ermöglichen, gibt es neben dem Daten-Server, welcher an alle von Spieler 1 genutzten Modalitäten angeschlossen ist, noch einen Daten-Klienten, welcher analog dazu mit den Eingabegeräten von Spieler 2 kommuniziert. Im Rahmen dieses Projektes verfügt der Klient nur über die Möglichkeit, mit einem weiteren BCI-Gerät verknüpft zu werden, welches sich aus dem Spieldesign heraus ergibt. Es wäre allerdings ohne großen technischen Aufwand möglich, zusätzlich einen Eyetracker daran anzuschließen. Ebenso ist diese Anwendung nur auf zwei Spieler begrenzt, da diese ausreichen, um die Basis des Prototypen umzusetzen, auch wenn die Anbindung von mehr als nur ei-

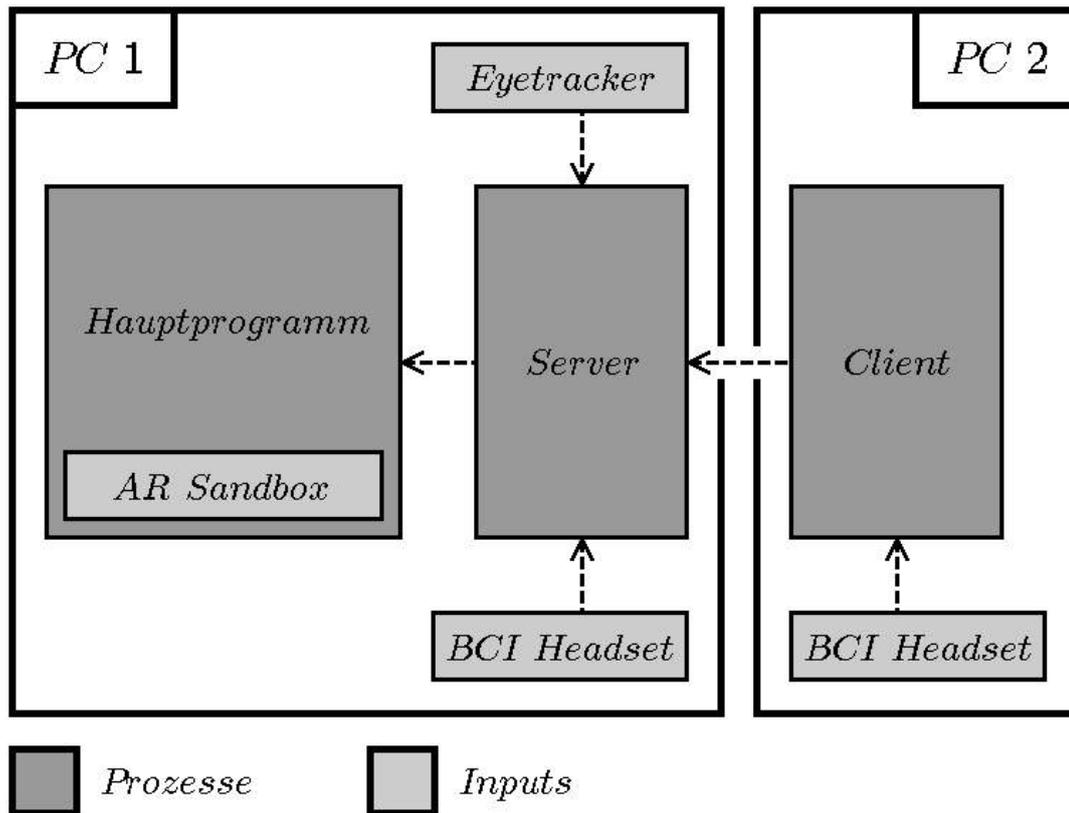


Abbildung 4.2: Schematischer Systemaufbau

nem Klienten an den Server technisch keine zusätzliche Problematik darstellt. Der Klient empfängt also die Eingaben des BCI-Headsets von Spieler 2 und sendet diese weiter an den Server, welcher diese mit den Daten von Spieler 1 zusammen an das Hauptprogramm übergibt.

4.3 Nutzung des MindWave Headsets

Das MindWave Headset ist die Verbindung zwischen dem Spiel und den Gehirnwellen des Spielers und somit das Element, welches die Anwendung zu einer Neurofeedback-Anwendung macht. Es liefert dem Programm die Werte des Fokuslevels der Spieler. Neben dem Fokuslevel liefert das BCI-Gerät auch noch andere Werte, darunter z.B. das Meditationslevel, welches zu Beginn der Entwicklung ebenfalls bei der Steuerung berücksichtigt werden sollte. Nach Absprache mit einigen Experten wurde sich allerdings später auf die ausschließliche Verwendung des Fokuslevels geeinigt, da einzig und allein dieser in der ADHS-Therapie von Interesse sei.

Die Steuerung des Spiels mithilfe des Headsets funktioniert auf der Basis eines einfachen Schwellenwerts. Überschreitet das Fokuslevel diesen, kann bei bestimmten Mechaniken Fortschritt gemacht werden und es ist ein positives visuelles Feedback zu erkennen. Ist der Fokus unterhalb der gegebenen Grenze stoppt der Fortschritt und es gibt ein negatives visuelles Feedback. Diese Art der Einbindung des Fokuslevels hat sich in Hinsicht auf zwei

grundlegende Aspekte als geeignet herausgestellt:

Erstens senden die verwendeten Headsets nur einen Wert pro Sekunde, was zu einer relativ langsamen Reaktion des Spiels auf Änderungen des Fokus der Spieler führt. Zweitens sind die Werte des Headsets nicht absolut zuverlässig. Der von dem Headset berechnete Fokuswert kann also leicht schwanken und somit trotz ausreichendem Fokus vom Spieler temporär unter den Schwellenwert sinken.

Besonders bei ADHS-Patienten kann diese Trägheit und der vereinzelt auftretende Kontrollverlust schnell zu Frustration und somit zum Verlust der Motivation führen. Aus diesem Grund wird kein Fortschritt verloren, wenn der Schwellenwert nicht überschritten ist, sondern lediglich gestoppt. Um die Schwankungen und die mit dem MindWave Headset einhergehende Trägheit weiter zu kompensieren, wurde auf eine graduelle Veränderung der Geschwindigkeit des Fortschritts proportional zu der Höhe des Fokuslevels verzichtet. Der Fortschritt findet also mit konstanter Geschwindigkeit statt, sobald der Schwellenwert überschritten ist. Dadurch fallen leichte Veränderungen durch Werterauschen oberhalb des Schwellenwertes nicht ins Gewicht und der Druck, den Fokus weiter zu erhöhen, um den Fortschritt noch schneller voran zu treiben, wird den Spielern genommen.

Während der Entwicklung hat sich herausgestellt, dass sich das Werterauschen des Fokuswertes annähernd als gaußverteilt über die Hälfte des gesamten Wertebereichs von 0 - 100 beschreiben lässt. Aus diesem Grund wurde ein Schwellenwert von 50 gewählt, da dieser zulässt, dass bei nicht vorhandenem Fokus kein Wert den Schwellenwert überschreitet, bei vollem Fokus allerdings konstant Fortschritt gemacht wird. Würde der Schwellenwert höher sein, könnte der Nutzer den gemessenen Fokuswert nicht mehr garantiert konstant über dem Schwellenwert halten, was zu einem Gefühl der Machtlosigkeit beim Spieler führen würde.

Da diese BCI-Schnittstelle das Kernelement für den Aspekt der Therapie ist, welche der zentrale Hintergrund dieser Applikation ist, werden die Werte des BCI-Geräts in vielen Spielmechaniken verwendet. Es wird beispielsweise bei dem Bau von sowohl Hauptquartier, Bäumen und Steinbrüchen der Fokus des Spielers über einen gewissen Zeitraum benötigt. Ebenso muss sich der Spieler bei der Regenmechanik fokussieren, damit Wasser an der Position der Hand auf die Spielwelt regnet. Weiterhin kommt der Fokus zum Einsatz, wenn der Spieler die Ressourcen von bereits platzierten Bäumen und Steinbrüchen einsammeln möchte. Schließlich wird der Fokus noch verwendet um die Geschwindigkeit der Spielfigur, also der Kugel zu bestimmen.

4.4 Nutzung des Eyetrackers

Das System benötigt für Aufgaben wie Menüauswahl und exakte Positionsangaben in der SARndbox ein intuitives Eingabegerät. Diese Funktion wird von dem Eyetracker übernommen, da dieser sowohl präzise und schnelle Positionsangaben ermöglicht und zusätzlich sehr intuitiv für unerfahrene Nutzer funktioniert.

Außerdem unterstützt der Eyetracker die mit Ausnahme der Interaktion mit dem Sand kontaktlose Steuerung des Spiel und versucht in Verbindung mit der 'Gedankensteuerung' ein Gefühl von übernatürlichen Kräften zu erwecken, welches das Spiel besonders interessant macht und somit die Motivation der Zielgruppe der Kinder steigert.

4.5 Nutzung der SARndbox

Durch die SARndbox als Grundlage des Systems und die damit einhergehende beliebig verformbare Landschaft ergeben sich für das Design einige Herausforderungen. Es muss zu jedem Zeitpunkt damit gerechnet werden, dass der Ort, an dem Objekte platziert wurden, sich verändert und damit nicht mehr exakt wie zum Zeitpunkt der Konstruktion existiert. Gleichzeitig soll die haptische Interaktion mit dem Sand aber so häufig wie möglich zur Anwendung kommen, um das Potential dieser Komponente auszuschöpfen und damit möglicherweise die Motivation der Anwender zu steigern.

Um der Verformung der Sandoberfläche durch die Spieler einen Sinn zu geben und sie damit als festen Bestandteil der Spielmechaniken in die Anwendung zu integrieren, wurden die Orte zum Platzieren der Objekte Hauptquartier, Bäume und Steinbrüche durch ein paar topologische Bedingungen eingegrenzt. Es besteht beispielsweise die Notwendigkeit eine gerade, flache Ebene zu schaffen, um Objekte darauf platzieren zu können. Zusätzlich gibt es für jedes der drei genannten Objekte eine bestimmte Höhe, in welcher diese gebaut werden dürfen. Durch diese Restriktionen muss bei unebenem Terrain zuerst ein geeigneter Bauplatz von den Spielern geschaffen werden, welches sich nur durch die Interaktion mit dem Sand bewerkstelligen lässt.

Nun kann allerdings immer noch der Sand an der Stelle von bereits gebauten Objekten wieder verändert werden, sodass jene Bedingungen nicht mehr erfüllt sind. In diesem Fall wäre die Zerstörung der sich dort befindlichen Objekte die vermutlich einfachste Lösung. Da sie allerdings gegen das Grundprinzip verspricht, ausschließlich konstruktiven Fortschritt machen zu können, um die Spieler nicht zu frustrieren, wird ein anderer Ansatz für diesen Fall gewählt. Kontinuierlich Fortschritt machende Objekte wie Bäume und Steinbrüche stoppen ihren Fortschritt, bis die Anfangsbedingungen wieder hergestellt sind. Häuser allerdings, welche rein dekorative Spielelemente sind, werden rot eingefärbt, um zumindest ein negatives visuelles Feedback zu geben, welches die Spieler dazu bewegt, die Veränderungen im Sand wieder rückgängig zu machen.

5 Implementierung

Im folgenden Kapitel wird zuerst die Entwicklungsumgebung inklusive der Spezifikationen der genutzten Hardware beschrieben. Anschließend wird analog zum [Kapitel 4](#) nacheinander auf den multimodalen Systemaufbau, die Implementierung des MindWave Headsets, des Eyetrackers und der SARndbox-Interaktion eingegangen.

5.1 Spezifikationen der Entwicklungsumgebung

Die Anwendung wurde in den Programmiersprachen C++, Python und GLSL auf einem Ubuntu-System implementiert. Der Hauptrechner, auf dem die Hauptapplikation sowie der Server ausgeführt werden, hat 31 GB Arbeitsspeicher, einen Intel Core i7-8700K Prozessor mit einer Taktrate von 3,70 GHz und eine GeForce GTX 1080 Ti Grafikkarte. Der für die Darstellung auf der Sandoberfläche verwendete Projektor ist ein Toshiba TDP-D2-US und hat eine Auflösung von 1024 x 768 Pixeln.

5.2 Multimodaler Systemaufbau

5.2.1 Server

Mit dem Aufbau der gesamten Anwendung um den Systemkern der SARndbox-Software herum mussten alle technischen Rahmenbedingungen des Programmes an die Limitierungen dieser Software angepasst werden. Eine dieser Limitierungen ist die Plattform-Exklusivität für Linux-Systeme. Es werden also sowohl für den Eyetracker als auch für das MindWave Headset Schnittstellen-Software verwendet, welche unter Linux läuft. Der verwendete Eyetracker von Pupil Labs bringt eine solche für Linux gebaute Software mit sich. Die Software des MindWave Headsets hingegen läuft nur unter Mac und Windows, weshalb eine neue Schnittstelle für dieses Headset unter Linux programmiert werden musste. Hierfür wurde die Open-Source-API 'python-mindwave-mobile', geschrieben in Python, zur Unterstützung genommen, weshalb der Server, welcher mit den Eingabegeräten, ausgenommen der SARndbox, kommuniziert, ausschließlich in Python programmiert ist. Der Python-Server verbindet sich zu Beginn des Programmes mit dem MindWave Headset des 1. Spielers und der Eyetracker-Software, und öffnet danach einen Port, über den sich der Klient verbinden kann, um ein weiteres MindWave Headset hinzuzufügen.

Sind alle Modalitäten verbunden und der Server gestartet, wird zuerst das C++-Hauptprogramm als Subprozess dieses Programmes gestartet. Anschließend werden die Empfängerrouninen für die einzelnen Eingabegeräte in unterschiedlichen Threads gestartet, damit asynchron alle Daten parallel empfangen werden können. Auf diese Routinen wird in den entsprechenden Abschnitten über die Modalitäten genauer eingegangen. Es werden

solange alle Routinen ausgeführt, bis der Eyetracker nicht mehr verbunden ist. Der Grund hierfür ist die zeitweise Instabilität der MindWave Headsets, weshalb die Verbindung mit diesen zwischendurch abreißen kann, das Programm aber trotzdem weiter laufen sollte, um sich mit diesen erneut zu verbinden. Ist der Eyetracker aber nicht mehr verbunden, liegt vermutlich ein schwerwiegender Fehler vor, da dieser per USB-Kabel an den Hauptrechner angeschlossen ist.

5.2.2 Klient

Der Klient ist ebenfalls ein Python-Programm, welches auf einem anderen Rechner gestartet wird, sich mit einem MindWave Headset und dem Server verbindet und dann ähnlich wie beim Server in eine Empfänger-Subroutine springt, welche die Daten des BCI-Geräts empfängt. In dieser Subroutine werden zusätzlich die empfangenen Daten per UDP an den Server gesendet. UDP wurde als Protokoll ausgewählt, da es eine dynamischere Verbindung des Klienten mit dem Server erlaubt. Die vom Headset empfangenen Daten werden in einzelnen Paketen an den Server geschickt und dort direkt empfangen und genutzt. Sollte die Verbindung einmal unterbrochen werden, würde der Klient dennoch weitere Datenpakete schicken und der Server würde nur ein paar Werte verpassen, bis die Verbindung wieder hergestellt ist.

5.2.3 Kommunikation zwischen Server und Hauptprogramm

Die Kommunikation zwischen dem Python-Server und dem C++-Hauptprogramm findet über einen einfachen Datenstream statt, welcher die in ein einheitliches Format gebrachten Eingabedaten sequentiell in Wertepaketen überträgt. Der Aufbau jedes der Pakete besteht aus drei wichtigen Komponenten:

- Identifikator
- Wert
- Separator

Der Identifikator kann ein 'A', 'M' oder 'P' annehmen und sagt dem Programm, ob der folgende Wert ein Fokuswert (Attention), ein Entspanntheitswert (Meditation) oder ein Blickpunkt des Eyetrackers (Point) ist.

Im Falle eines Fokus- oder Entspanntheitswertes folgt auf den Identifikator zuerst noch ein Zeichen, welches die Spieler-ID bestimmt und den Wert somit einem Spieler zuordnet. Daraufhin folgt als Wert eine Zahl vom Typ Integer in dem Wertebereich 0 bis 100. Wie bereits im vorigen Kapitel erwähnt, wird der Entspanntheitswert zwar noch übertragen, allerdings nicht weiter verwendet.

Wird ein Blickpunkt übertragen, setzt sich der auf den Identifikator folgende Wert aus einer X und einer Y-Komponente zusammen. Beide Komponenten sind vom Datentyp Float im Wertebereich 0 bis 1. Zuerst wird die X-Komponente in den Wert geschrieben. Darauf folgt ein ':' als Trennzeichen, hinter dem sich die Y-Komponente befindet.

Der Separator dient zur Erkennung des Ende eines Datenpakets und wird durch das Zeichen '|' dargestellt.

In dem Hauptprogramm wird asynchron auf die Datenpakete im Stream gewartet und

jeden Frame des Spiels abgefragt, ob noch Daten im Stream vorhanden sind. Ist der Datenstrom nicht leer, wird ein Datenpaket ausgelesen und je nach Art interpretiert. So kann bei jedem Frame (bei 60 Frames pro Sekunde also alle 16,67 ms) ein Paket ausgelesen werden, was bedeutet, dass eine sehr schnelle Übertragung von Eingabedaten zu einem Datenstau in dem Stream führen kann, welcher sequentiell abgetragen wird. Da jedes der beiden MindWave Headset allerdings je einen Fokus- und Entspannungswert pro Sekunde ausgibt und der Eyetracker mit einer Latenz von 45 ms [KPB14] auf aufgerundet maximal 23 Blickpunkte pro Sekunde kommt, liegt die maximale Paketrate bei 27 Paketen pro Sekunde. Solange die Anwendung sich also bei ≥ 27 Frames pro Sekunde hält, kann es zu keinen Problemen bei der Datenübertragung kommen. Im durchschnittlichen Anwendungsfall ist die Anzahl der Blickpunkte pro Sekunde häufig geringer, wodurch auch eine geringere Anzahl an Frames pro Sekunde ausreicht.

5.3 Implementierung des MindWave Headsets

Die Verbindung mit dem MindWave Headset erfolgt über Bluetooth. In dieser Installation wird eine in Python geschriebene API verwendet, um diese Verbindung zu etablieren und Daten aus dem Bluetooth Datenstrom auszulesen. Sowohl in dem Server als auch in dem Klient findet diese Kommunikation in einer speziellen Subroutine statt. Diese Subroutine hat verschiedene Aufgaben, welche in einer Schleife nacheinander abgearbeitet werden. Zuerst wird versucht ein neuer Datenpunkt über Bluetooth zu empfangen. Scheitert dieser Schritt, wurde die Verbindung vermutlich unterbrochen und es wird versucht diese zu reinitialisieren.

Im Normalfall wird jede Sekunde ein großer Datensatz von dem BCI-Gerät an den Rechner gesendet. Darin befindet sich ein Überfluss an Informationen, von dem nur ein geringer Teil von Nutzen für die Anwendung ist. Aus diesem Grund werden die beiden Werte für Fokus und Entspannung in einer einfachen Suche durch die Zeichenkette des Datensatzes herausgefiltert.

Die somit erhaltenen ganzzahligen Werte werden nun in dem bereits beschriebenen Datenformat mit dem 'A' und 'M' als Identifikatoren verpackt und erhalten bei dem Server eine zusätzliche '0' für den 1. Spieler und bei dem Klienten eine '1' für den 2. Spieler. Nun werden die einheitlich formatierten Datenpakete je nach Anwendung per UDP-Protokoll an den Server gesendet oder in den Eingabestream des Hauptprogrammes geschrieben. Die Daten für das Fokuslevel könnten zur Erhöhung der Genauigkeit und zum Verringern von Werterausachen über einen gewissen Zeitraum aufaddiert und anschließend gemittelt werden, wodurch die ohnehin geringe Übertragungsrate von einem Wert pro Sekunde allerdings noch weiter abnehmen würde, was zu nicht vertretbaren Verzögerungen zwischen Eingabe und Feedback führt.

5.4 Implementierung des Eyetrackers

Zuerst sollte als Eyetracker ein Modell von Tobii verwendet werden, welcher den Vorteil hat, dass er eine Kamera ist, welche gegenüber von dem Nutzer angebracht werden kann, um kontaktlos die Augen zu registrieren und zu verfolgen. Da sich diese Kamera relativ zu dem Sandkasten nicht bewegt hätte nach einer anfänglichen Kalibrierung eine deutlich

höhere Genauigkeit erzielt werden können und der Spieler hätte keine zusätzliche Brille tragen müssen. Da sich dieses spezifische Modell allerdings als nicht kompatibel mit dem Betriebssystem Ubuntu herausstellte, wurde schließlich die Eyetracker-Brille von 'pupil labs' verwendet.

5.4.1 Schnittstellen-Subroutine

Für den verwendeten Eyetracker von 'pupil labs' gibt es ein Software-Bundle, welches die Erfassung und Aufnahme der Blickverfolgung sowie das Abspielen der gemachten Aufnahmen ermöglicht. Zur Erfassung der Pupillenposition und zur Berechnung des Blickpunktes wird nur die Anwendung 'Pupil Capture' benötigt. Von dieser Software aus werden viele erfasste Daten in einen TCP-Datenstrom geschrieben, auf den jede Anwendung zugreifen kann. Der Zugriff auf die Datenstruktur wurde in diesem Projekt mithilfe der ZeroMQ Python-Bibliothek umgesetzt.

Das Pupil Capture Programm unterstützt außerdem die Funktion durch optische Marker eine Fläche im Raum aufzuspannen, auf welche der Blickpunkt projiziert wird. Zur Nutzung dieser Funktion wurden insgesamt acht optische Marker auf dem Rand des Sandkastens angebracht, um eine Fläche oberhalb der Sandoberfläche zu erzeugen. Ist der Blickpunkt innerhalb der Marker-Konstellation, wird ein Punkt mit einer X und einer Y-Komponente in den TCP-Datenstrom geschrieben. Die Werte dieser Komponenten sind in dem Datentyp Float angegeben und reichen von 0 für links bis 1 für rechts sowie von 0 für unten bis 1 für oben bei einer Vogel-Perspektive auf den Sandkasten.

Die in dem Server vorhandene Subroutine ließt ununterbrochen neue Blickpunkte auf der Markeroberfläche aus dem TCP-Datenstrom aus, bringt diese in das einheitlich Datenformat und schickt sie anschließend in den Eingabestream des Hauptprogrammes.

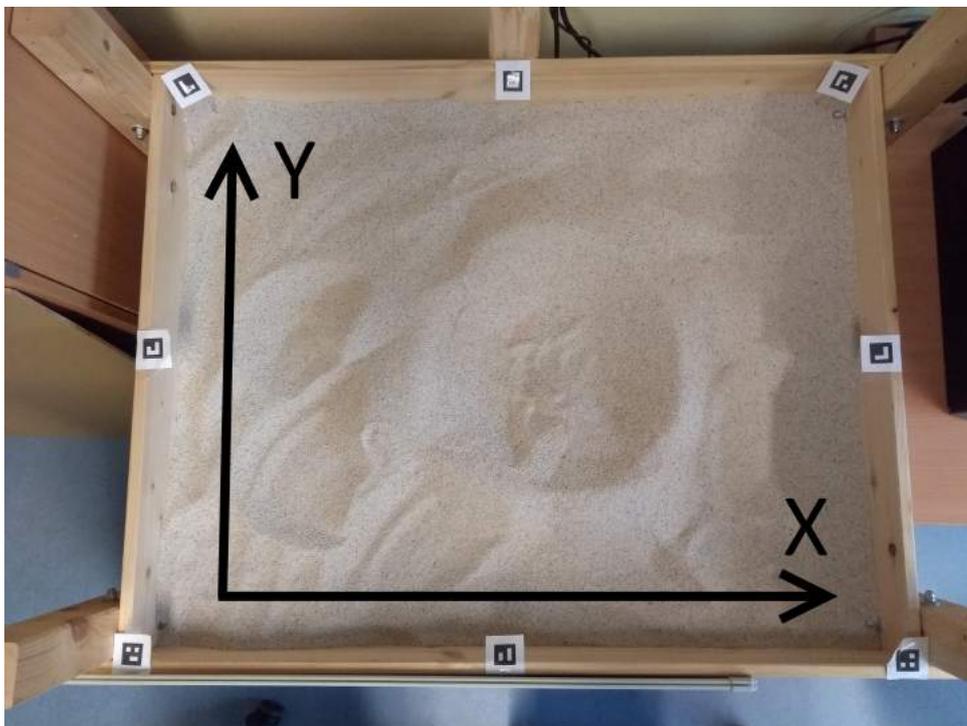


Abbildung 5.1: Der Markeraufbau aus der Vogelperspektive

5.4.2 Projektion der Blickpunkte auf die Sandoberfläche

Problematik

Da sich die durch die Marker definierte Fläche oberhalb der eigentlichen Sandoberfläche befindet, müssen die Blickpunkte noch etwas tiefer projiziert werden. Aufgrund fehlender Informationen über den Blickwinkel des Spielers kann allerdings keine gute Einschätzung über den vorraussichtlichen Schnittpunkt zwischen dem Strahl von den Augen des Spielers durch den Blickpunkt auf der Markerfläche mit der Sandoberfläche gemacht werden. Daher wurde eine Projektion in Richtung eines angenommenen Blickwinkels auf den Sand vorgenommen.

Lösung durch inkrementelle Projektion

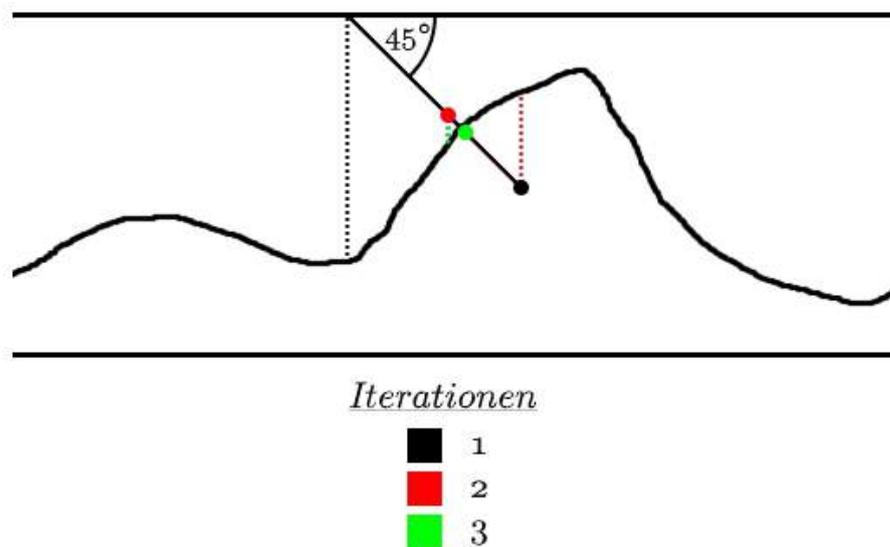


Abbildung 5.2: Ein Querschnitt der Sandoberfläche zur Veranschaulichung des Algorithmus der inkrementellen Projektion über drei Iterationen

Der Ansatz der inkrementellen Projektion ist die Berechnung der Distanz des zu projizierenden Blickpunktes bis zur Sandoberfläche und die anschließende Verschiebung des Punktes in Richtung des angenommenen Blickwinkels. In der Praxis wurde eine um 45° nach unten geneigte Blickrichtung angenommen. Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis die Distanz zur Sandoberfläche einen bestimmten Schwellenwert unterschreitet.

```
distanz = abstand_zu_oberflaeche(blickpunkt);  
while abs(distanz) > schwellenwert do  
  blickpunkt += faktor * distanz * (-blickrichtung);  
  distanz = abstand_zu_oberflaeche(blickpunkt);  
end while
```

Es wird zu Beginn der Abstand senkrecht zur Sandoberfläche berechnet. Anschließend wird in einer Schleife, welche ständig überprüft, ob die Distanz zur Oberfläche klein genug ist, der Blickpunkt entlang der Blickrichtung verschoben. Dazu wird die Distanz zur Oberfläche mit der Blickrichtung multipliziert, um den Vektor zum Sand möglichst gut abzuschätzen. Der Faktor vor diesem Vektor sollte kleiner als der zweifache Schwellenwert sein, um eine Endlosschleife zu vermeiden, da sonst das Ziel wiederholt überschossen werden kann. Abgesehen davon sollte der Faktor auch nicht zu klein sein, da in diesem Fall sehr viele Iterationen benötigt werden, um den Schwellenwert zu unterschreiten. Nach Verschiebung des Blickpunktes wird die Distanz erneut berechnet und die Schleife beginnt von vorne. In der Praxis hat sich ein Faktor von der Größe des Schwellenwertes als geeignet herausgestellt.

5.4.3 Fehlerkompensierung durch Kalibrierung

Der Eyetracker hat sich während des Entwicklungsprozesses als ungenauestes Eingabegerät herausgestellt, welches durch die von den Entwicklern angegebene Genauigkeit von 0.6° [KPB14] untermauert wird. Deshalb wurde ein zusätzlicher Kalibrierungsschritt implementiert, um den Fehler so weit wie möglich zu kompensieren.

Bei genauer Betrachtung der Abbildung 5.4 lässt sich die Formel für den Fehler $\varepsilon(d)$ wie folgt bestimmen:

$$\varepsilon(d) = \tan\left(\tan^{-1}\left(\frac{d}{h}\right) + 0.6^\circ \cdot \frac{\pi}{180^\circ}\right) \cdot h - d \quad (5.1)$$

Bei Betrachtung eines typischen Beispiels für Formel 1.1, in dem sich die Augen des Spielers 50cm über der Sandoberfläche befinden ($h = 50\text{cm}$) und der Spieler 50cm von sich entfernt auf den Sand schaut ($d = 50\text{cm}$), lässt sich bereits ein Fehler $\varepsilon(d)$ von über einem Zentimeter berechnen. Dieser Fehler wird kleiner je näher der Blickpunkt dem Spieler ist und wird größer, je weiter der Blickpunkt von dem Spieler entfernt ist. Selbstverständlich wird der Fehler auch größer, je größer der Spieler ist. Da dieser Wert aber während des Spielens konstant bleibt, kann er außen vor gelassen werden.

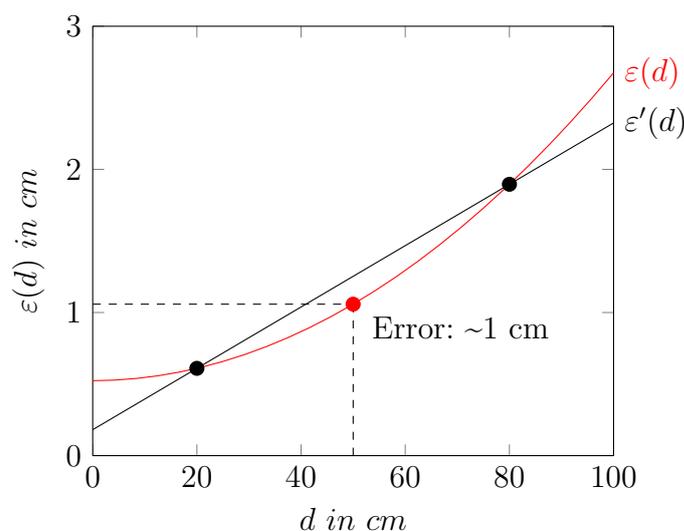


Abbildung 5.3: Der durch $\varepsilon(d)$ beschriebene Fehler in Abhängigkeit von der Distanz des Blickpunktes zum Spieler d und die Regressionsgrade $\varepsilon'(d)$

Die Kalibrierung besteht darin, vier nacheinander auf die Sandoberfläche projizierte Punkte zu betrachten und den Fehler zu den dabei von dem Eyetracker errechneten Blickpunkten zu speichern. Zwischen diesen vier erhaltenen Fehlervektoren wird nun für jeden Blickpunkt bilinear interpoliert. Der sich daraus ergebende Fehlervektor wird von dem Blickpunkt des Eyetrackers abgezogen und somit korrigiert. Diese lineare Regression $\varepsilon'(d)$ stellt zwar keine perfekte Approximierung für die nicht-lineare Fehler-Funktion $\varepsilon(d)$ dar, allerdings wird die Genauigkeit dadurch deutlich erhöht.

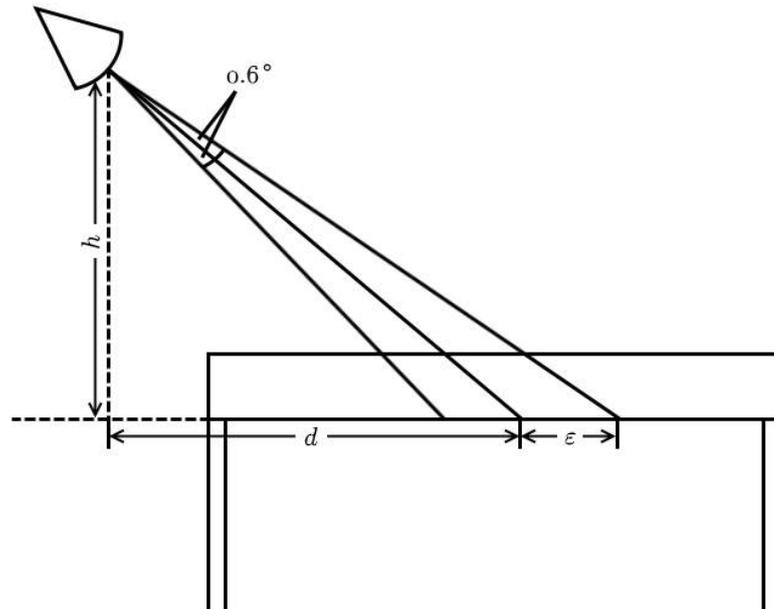


Abbildung 5.4: Der durch den Error von 0.6° auftretende Fehler ε bei einer Höhe des Betrachters über der Sandoberfläche h und einer Distanz zum Blickpunkt d

5.5 Implementierung der SARndbox-Interaktion

Die im vorigen Kapitel beschriebenen Bedingungen für den Bau von sowohl Dörfern, Bäumen und auch Steinbrüchen lassen sich nur schwierig exakt und gleichzeitig effizient umsetzen, da sie bei rein mathematischer Betrachtungsweise Eigenschaften für jeden beliebigen Punkt auf einer kontinuierlichen Fläche überprüfen. Daher müsste man diese Bedingungen gegen unendlich viele Punkte überprüfen, was in einem Algorithmus nach dem Brute-Force-Ansatz in endlicher Zeit unmöglich ist. Vielversprechender und immer noch hinreichend genau ist der Ansatz diese kontinuierliche Fläche durch ein diskretes Gitter von Punkten zu approximieren und die Bedingungen für diese endliche Punktmenge zu testen.

Hierbei muss nur die richtige Auflösung des Gitters beachtet werden. Eine hohe Auflösung, welche jeden Pixel als Gitterpunkt annimmt, gibt zwar eine Lösung mit hoher Genauigkeit, kostet aber für eine Echtzeit-Anwendung zu viel Rechenleistung. Eine niedrige Auflösung ist zwar sehr schnell, gibt aber sehr ungenaue Ergebnisse. In dieser Anwendung wurde

ein Gitter mit einer Auflösung von zehn mal zehn Punkten verwendet, da es für diese Applikation sowohl ausreichend schnell als auch genau ist.

Die Bedingung das Objekt nur auf einer bestimmten Höhe platzieren zu können wird durch diesen Ansatz trivial. Es wird über alle Punkte iteriert und überprüft, ob sich der aktuelle Punkt innerhalb der Höhenbegrenzung für das zu bauende Objekt befindet. Liegt einer außerhalb dieses Bereiches, bricht die Schleife ab und das Objekt kann nicht platziert werden. Ansonsten läuft die Schleife bis zum Ende durch und die nächste Bedingung wird überprüft.

Die zweite Bedingung ist die Flachheit des Terrains. Die erste Möglichkeit diese zu berechnen ist über die statistische Varianz. Dieser Weg stellt sich allerdings als ungeeignet heraus, da hierbei kleinere Unebenheiten ins Gewicht fallen und sich aufsummieren könnten, sodass das Terrain nicht nach seinem Gefälle oder starken Höhenunterschieden bewertet wird wie intendiert, sondern nach einer generell glatten Oberfläche. Daher eignet es sich eher, für jeden Punkt den Höhenunterschied zum statistischen Mittelwert der Höhe aller Punkte zu messen und ähnlich wie bei der Höhenbegrenzung das Platzieren zu verbieten, falls diese Differenz über einen gewissen Schwellenwert schreitet. Dadurch wird jeder Punkt für sich betrachtet und eine kleine Unebenheit auf der linken Seite kann sich nicht mit einer kleinen Unebenheit auf der rechten Seite zu einer kritischen Unebenheit aufsummieren.

6 Evaluierung

Im folgenden Kapitel wird anhand einer explorativen Studie evaluiert, ob die technische Umsetzung dieser Anwendung sowohl benutzerfreundlich gestaltet ist, als auch die Ziele der ADHS-Therapie unterstützt. Dazu wird die Evaluierung in vier verschiedene Kategorien aufgeteilt:

- E1** Benutzerfreundlichkeit
- E2** Integration der haptischen Komponente
- E3** Integration des Mehrspieler-Aspektes
- E4** Vereinbarkeit mit dem Ziel der ADHS-Therapie

Hierfür wird zuerst die Auswahl der Teilnehmer beschrieben. Daraufhin wird der Aufbau und Ablauf der Studie im Detail erläutert und zum Schluss werden die Ergebnisse vorgestellt.

6.1 Teilnehmer

Die Studie wurde mit insgesamt 7 Teilnehmern durchgeführt. Jedem dieser Probanden wurde ein demographischer Fragebogen vorgelegt, in dem folgende Daten erhoben wurden:

Profession	Geschlecht	Alter	Vorerfahrungen mit BCI/Neurofeedback
Designer	Männlich	28	Theoretische Kenntnisse
Designer	Weiblich	34	Keine Erfahrung
Designer	Weiblich	38	Keine Erfahrung
Informatiker	Männlich	21	Keine Erfahrung
Informatiker	Männlich	42	Theoretische und praktische Erfahrung
Psychologe	Männlich	42	Wenig Erfahrung
Psychologe	Weiblich	50	Theoretische Kenntnisse

Tabelle 6.1: Teilnehmer der Studie mit Profession, Geschlecht, Alter und Vorerfahrungen mit BCI-Geräten oder Neurofeedback-Anwendungen

Es wurden Teilnehmer aus den drei Professionen Designer, Psychologe und Informatiker ausgewählt, um sich einen vollständigen Überblick über die zu evaluierenden Kriterien zu verschaffen, welche einen interdisziplinären Charakter aufweisen.

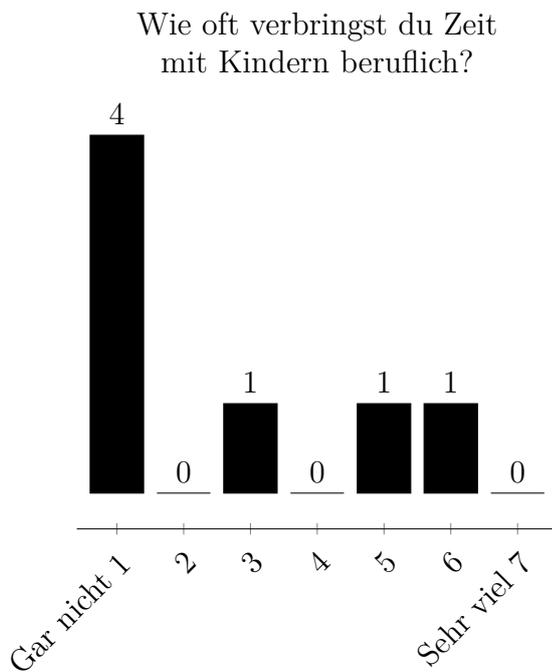


Abbildung 6.1

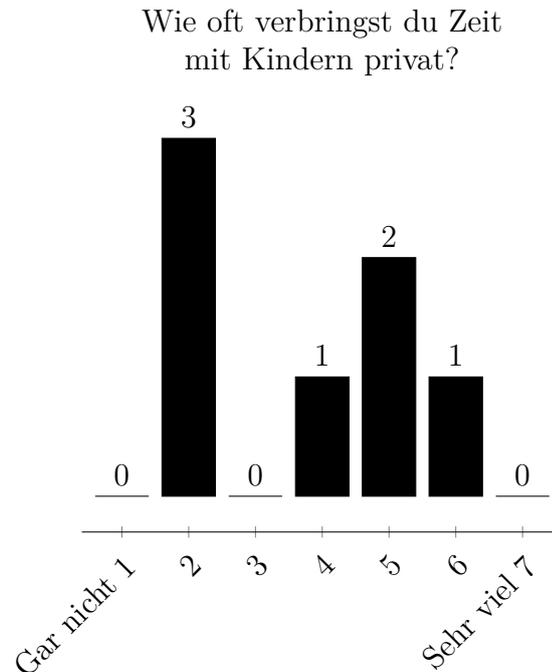


Abbildung 6.2

6.2 Ablauf der Studie

Die Studie bestand aus einem Nutzertest der Anwendung, welcher mit jedem Teilnehmer alleine durchgeführt wurde. Zu Beginn wurde dem Teilnehmer der Hintergrund der Studie und die Art der Anwendung erklärt sowie eine Einwilligungserklärung und ein Blatt zur Erhebung von demographischen Daten vorgelegt.

Daraufhin wurde der Teilnehmer gebeten zu dem Sandkasten zu gehen, um den Spieltest durchzuführen, welcher vollständig auf Video aufgezeichnet wurde. Vor dem Start der Anwendung selber bekam der Teilnehmer noch eine Einweisung in die Eingabegeräte und deren Funktionen sowie das Gesamtziel des Spiels. Die beiden Rollen zur Spielsteuerung wurden auf den Untersuchungsleiter und den Teilnehmer verteilt, wobei der Leiter die Rolle des 1. Spielers mit dem Eyetracker und einem BCI-Headset übernahm und der Teilnehmer dementsprechend die Rolle des 2. Spielers nur mit einem BCI-Headset.

Nach dem Aufsetzen der Headsets und des Eyetrackers wurde das Spiel gestartet und alle Mechaniken wurden während des Spielens vom Untersuchungsleiter erklärt. Die Anwendung sammelte unterdessen alle fünf Sekunden Daten zur Performance des Spiels. Das Spiel wurde in jedem Durchlauf bis zu dem selben Fortschrittsstand gespielt:

- Das Dorf wurde auf Level 2 ausgebaut
- Es wurden 3 Bäume angepflanzt und gefällt
- Es wurde 1 Steinbruch gebaut und abgebaut

An diesem Punkt wurde das Spiel unabhängig von der gespielten Zeit abgebrochen und der Teilnehmer setzte sich mit einem Protokollanten und dem Untersuchungsleiter zusammen, um das Interview zu beginnen. Für dieses Interview stellte der Untersuchungsleiter dem Teilnehmer die auf dem Fragebogen festgehaltenen Fragen und der Protokollant schrieb

die Antworten des Teilnehmers mit. Zusätzlich wurde das Interview akustisch aufgezeichnet.

Nach Ende des Interviews konnte der Teilnehmer noch weitere Anmerkungen oder Fragen äußern, welche von dem Untersuchungsleiter beantwortet wurden.

6.3 Ergebnisse

Die Studie wurde anhand der gesammelten Daten aus den Videoaufnahmen, den Tonaufnahmen und den Notizen aus dem Protokoll ausgewertet. Die dabei gefundenen Resultate und Aussagen der Probanden wurden den oben genannten vier Kategorien E1-E4 zugeordnet.

6.3.1 Benutzerfreundlichkeit

Spielkonzept

Das Spielkonzept hat allen Probanden gut gefallen, da es als interessant und spannend aufgrund der Neuartigkeit der Interaktionsmöglichkeiten wahrgenommen wurde. Dazu wurde die Spielerfahrung von den meisten Probanden als beruhigend empfunden, von manchen aber auch als zu langatmig, besonders wenn die BCI-Interaktion mal nicht wie beabsichtigt funktionierte, dann trat schnell Frustration ein.

Alle Probanden gaben an, schnell in die Spielmechaniken reinfinden zu können, da das Spielprinzip ein Dorf aus verschiedenen Ressourcen aufzubauen nach ein initialen Einweisung selbsterklärend ist und einen leichten Einstieg ermöglicht. Besonders die Rolle des 2. Spielers, welcher komplett ohne Eyetracker spielt und die Bäume bewässert, wurde als besonders gut zum Einstieg in die Mechaniken des Spiels bewertet, auch wenn diese dafür nach einiger Zeit zu anspruchslos und damit langweilig werden könnte. Die Rolle des 1. Spielers hingegen würde aufgrund der zusätzlichen Komponente des Eyetrackers schlechter für einen Erstdurchlauf geeignet sein, aufgrund der größeren Herausforderung den Spieler aber auch länger beschäftigen. Eine Psychologin stellte zusätzlich fest, dass diese Rolle besonders Kindern Spaß machen würde, welche gerne die Kontrolle haben und dem 2. Spieler Anweisungen geben wollen.

Neben ein paar Unklarheiten in Bezug auf die graphischen Oberfläche, wie der Funktion der Spielerentität, welche durch den Eyetracker gesteuert wird und in der Nähe eines Bauortes sein muss, um die Konstruktion zu starten, wurde das gesamte Spielkonzept, besonders auch der Fokus auf konstruktivem Handeln, allgemein als gut bewertet.

Visuell

Die visuellen Elemente des Spiels gaben in den meisten Fällen ausreichend Feedback um Klarheit über den aktuellen Spielstand zu schaffen. Ein Designer gab allerdings an, dass der 2. Spieler bei der Wassermechanik zusätzliches visuelles Feedback benötigt, wie es bereits bei Spieler 1 während der Konstruktion von Objekten mit roten und grünen Kreisen der Fall sei. Zudem gaben mehrere Probanden an, die Platzierung der Fokusbalken in der

unteren rechten Ecke sei ungünstig gewählt, da sie nicht mehr im Blickfeld des Spielers sind, sobald sich dieser einer Aufgabe in der Spielwelt zuwendet und das visuelle Feedback somit für die Aufgabe entfällt.

Weitere Kritik gab es an der visuellen Darstellungsweise, da kleinere Elemente auf dem grobkörnigen Sand schwer zu erkennen sind und der Ort, an dem durch Handgesten Wasser entstehen soll aufgrund der Projektion von der Hand selbst verdeckt wird und somit nicht mehr sichtbar ist. Dennoch gefiel den Probanden alles in allem die visuelle Präsentation des Spiels aufgrund der AR-Komponente sowie den detailreichen Graphiken für Bäume, Steinbrüche und Terrain.

BCI-Interaktion

In den meisten Fällen gab es keine fatalen Probleme mit den Headsets und der Steuerung des Spiels durch die mit ihnen ausgelesenen Fokuslevel. Dennoch gaben alle Probanden an, keine ausreichende Kontrolle über das BCI-Gerät zu haben, um das Spiel hiermit präzise und bewusst steuern zu können. Die Werte waren meistens über dem gegebenen Schwellenwert, ohne dass sich die Probanden bewusst fokussierten, wodurch die Aufgabe zwar unbeabsichtigt gelöst wurde, somit aber die Herausforderung entfiel. Zwar hatten alle bis auf einen Probanden vorher keine praktische Erfahrung mit BCI-Geräten, allerdings hatte auch ein Tester, welcher bereits mehrmals mit BCI-Geräten interagiert hat, Schwierigkeiten das Programm mit dem MindWave Headset bewusst präzise zu steuern. Dieser Effekt wurde zusätzlich durch eine berichtete Verzögerung von ein paar Sekunden zwischen Beginn des Fokus und gemessenem Anstieg des Fokuslevels verstärkt.

In einem speziellen Fall kam es zu einem kompletten Stop des Spielfortschritts, da das Fokuslevel der Teilnehmerin trotz des Versuches sich zu fokussieren nicht mehr über den Schwellenwert stieg. Hier musste der Spieltest nach einiger Zeit vor dem üblichen Spielziel abgebrochen werden, da kein ersichtlicher Fortschritt mehr möglich war.

Die Aufforderung sich zu einer bestimmten Zeit aktiv zu fokussieren hat einigen Teilnehmern auch Schwierigkeiten bereitet, da sie sich nichts darunter vorstellen konnten. Es kam in manchen Fällen die Rückfrage, wie man sich zu fokussieren habe.

In Bezug auf den Komfort wurde das MindWave Headset immer als nicht störend und leicht aufzusetzen beschrieben.

Technische Umsetzung

Die während jedes Durchlaufs erhobenen Daten über die Performance des Spiels zeigten eine konstante Framerate von 60 FPS. Da die Software der AR Sandbox die Framerate allerdings auf maximal 60 FPS begrenzt, läuft die Software in der Theorie auf dem verwendeten System mit einer Latenz $< 16,6\overline{6}ms$.

6.3.2 Integration der haptischen Komponente

Bei Nachfrage gaben alle Probanden an, dass die haptische Interaktion mit dem Sand rundum positiv und auflockernd war und das Spielprinzip durch die direkte Terrainmanipulation gut ergänzte. Dieses bestätigt auch das Verhalten der Tester, da sich bei einer Beobachtung von außen ergab, dass die Teilnehmer kaum bis keine Hemmungen hatten

mit dem Sand zu interagieren. Die Steuerung des Spiels durch den Sand erfolgte exakt wie von den Probanden erwartet und wurde damit als intuitiv und leicht verständlich aufgefasst.

Jeder Teilnehmer rieb sich nach dem jeweiligen Durchlauf die Hände ab, da Sand an ihnen hängen geblieben ist, was die Probanden allerdings nicht zu stören schien, da sich die meisten Tester mehr Instanzen wünschten, in denen mit dem Sand interagiert wird oder in denen die Wassermechanik durch Gestensteuerung zur Verwendung kommt.

6.3.3 Integration des Mehrspieler-Aspektes

Die asymmetrische Rollenverteilung führte laut den Probanden zu fehlender beidseitiger Kommunikation aufgrund einer "Bestimmer und HandlangerDynamik und sorgte dafür, dass der 1. Spieler Anweisungen an den 2. Spieler gibt, was in unseren Testdurchläufen auch dazu führte, dass sich die Probanden an dem 1. Spieler orientierten und Sicherheit bei ihm suchten. Hier kann sich eine fehlende Chemie zwischen den Spielern allerdings schnell negativ auswirken und Stress besonders bei dem machtloseren 2. Spieler auslösen. Dennoch sahen manche Tester die Menge der Interaktionsmöglichkeiten beider Spieler als ausgeglichen an. So hatte in der Regel auch der 2. Spieler das Gefühl, etwas zum Gesamterfolg beizutragen und fühlte sich durch die Kooperation mit dem anderen Spieler motiviert. Die Aufgaben beider Spieler ergänzen sich gut und können je nach Fähigkeiten auf die Spieler verteilt werden, da die Rolle des 2. Spielers eher für den Einstieg und die Rolle des 1. Spielers eher für erfahrene Spieler geeignet ist.

Insgesamt wirkte die Stimmung zwischen den beiden Spielern von außen meistens ruhig und konzentriert sowie hin und wieder von lustigen Momenten aufgelockert.

6.3.4 Vereinbarkeit mit dem Ziel der ADHS-Therapie

Beide Psychologen, welche an unserer Studie teilnahmen, verbringen privat Zeit mit Kindern. Zusätzlich verbringt die weibliche Psychologin in unserer Studie auch beruflich viel Zeit mit Kindern, da sie speziell in diesem Feld agiert.

Sowohl die Kooperation mit anderen Kindern, die kreative Natur des Spiels selbst als auch die haptische Interaktion werden als motivationssteigernd für die Kinder eingeschätzt und tragen dadurch in jedem Fall indirekt zum Lernerfolg für die ADHS-Patienten bei. Das zusätzliche Einbeziehen des Tastsinns hat zudem noch eine unterstützende Wirkung beim Lernen. Möglicherweise könnte die 2. Rolle aber zu schnell langweilig werden und die beschriebene Motivationssteigerung verringern.

Allgemein wird das Spiel von den Psychologen als geeignet für die ADHS-Patienten und auch als geeignete therapieergänzende Maßnahme bewertet. In der Praxis kann das Spiel gut nach jeder Therapiesitzung gespielt werden und dient dann als Transfersituation für die während der Therapie kennengelernten Bewältigungstechniken.

7 Diskussion

7.1 Auswertung

7.1.1 Benutzerfreundlichkeit

Das gesamte Spielkonzept scheint bei den Spieler sehr gut anzukommen und die richtige Art von Aufgaben für die vorgegebenen Interaktionsmöglichkeiten bereitzustellen. Spieler, welche gerade begonnen haben sich mit diesen Modalitäten auseinander zu setzen, haben mit der Rolle des 2. Spielers eine einsteigerfreundliche Möglichkeit, um sich mit dem System vertraut zu machen. Wenn die Aufgabe Wasser auf die Bäume regnen zu lassen dann auf Dauer zu langweilig wird, bietet ein Umstieg auf die Rolle des 1. Spielers eine ausreichende Herausforderung, um weiterhin motiviert zu sein.

Die visuelle Darstellung des Spiels scheint ein paar Unklarheiten mit sich zu führen. Die Platzierung der einzelnen Elemente des HUD - besonders des Fokusbalkens - ist noch nicht ideal gewählt und der 2. Spieler benötigt bei seiner Aufgabe zusätzliches visuelles Feedback. Weitere Probleme bei der Darstellungsweise entstehen durch die Projektion auf eine Sandoberfläche. Einerseits ist der Sand zu grobkörnig und die Leuchtkraft des verwendeten Projektormodells zu schwach, um detaillierte Graphiken darstellen zu können, und andererseits wird bei der Gestensteuerung ständig ein Teil der Projektion verdeckt, wodurch der Spieler nicht sehen kann, was an dieser Stelle angezeigt wird. Abgesehen von diesen Aspekten scheint der verwendete Graphikstil allerdings in die richtige Richtung zu gehen.

Die BCI-Interaktion hat nicht wie erwartet funktioniert und somit auch nicht den Fokus der Spieler gefördert. Es war in den meisten Fällen eher Zufall, dass eine fokusbasierte Aufgabe gelöst wurde. Dies kann allerdings auch auf die fehlende Erfahrung der meisten Tester mit Neurofeedback-Anwendungen zurückzuführen sein, wobei auch erfahrenere Nutzer nicht viel mehr Kontrolle über die vom MindWave Headset gemessenen Fokuswerte zu haben scheinen. Es könnte folglich also auch an dem Modell des MindWave Headsets selbst liegen und nicht an dem generellen Konzept der BCI-Interaktion, da das verwendete Gerät aufgrund der ständigen Bewegung während der Nutzung der SARndbox sehr schnell verrutscht. Es müsste allerdings abgewägt werden, ob ein komplexeres BCI-Gerät vorteilhaft wäre, da es natürlich genauere Daten messen würde, andererseits aber nicht mehr den Komfort und die Unkompliziertheit des MindWave Headsets bieten kann, was in einem alltäglichen Anwendungsszenario natürlich eine große Priorität hat.

7.1.2 Integration der haptischen Komponente

Die Interaktion mit dem Sand fügt dem Spiel eine sehr auflockernde und interessante Komponente hinzu, die vermutlich sogar noch stärker in das Spiel integriert werden sollte. Die aktuelle Einbindung der haptischen Komponente ist aber bereits eine durchweg positive Erfahrung für die Spieler und hilft den Anwendern durch die zwischenzeitliche Ablenkung von dem Fokustraining motiviert zu bleiben.

7.1.3 Integration des Mehrspieler-Aspektes

Allgemein scheint die Integration der Mehrspieler Interaktion gut gelungen zu sein. Beide Spieler haben Spaß an dem Spiel und fühlen sich ausreichend nützlich. Der 1. Spieler hat mehr Macht beim Spielen als der 2. Spieler, was allerdings auch entlastend für den 2. Spieler sein kann und wie bereits erwähnt die Rolle des 2. Spielers zur Einsteigerrolle macht. Es kann allerdings auch vorkommen, dass der 2. Spieler sich durch die Machtlosigkeit ungerecht behandelt fühlt und daraufhin schnell Spaß an dem Spiel verliert. In diesem Fall könnten der Mittelwert der Fokuswerte beider Spieler als einziger Fokuswert verwendet werden, damit sich beide Spieler gegenseitig unterstützen und gleichwertig an einem Ziel arbeiten. Es ist also mit dieser Implementierung eine gute Basis für eine positive Mehrspieler-Erfahrung gesetzt. Ob das Spielen dann wirklich Spaß macht, kommt wiederum auf die Chemie der beiden Spieler an.

7.1.4 Vereinbarkeit mit dem Ziel der ADHS-Therapie

Die Abweichung von einem herkömmlichen Neurofeedback-Spiel wie die Integration einer haptischen Interaktion, die Mehrspieler-Komponente und die gesamte Spielerfahrung ohne Bildschirm sorgen für eine Steigerung der Motivation bei den Kindern. Da eine solche Motivationssteigerung in jedem Fall etwas zu dem Lernerfolg beiträgt, ist das gewählte Spielprinzip sowie die technische Umsetzung hinsichtlich der Vereinbarkeit mit dem Ziel der ADHS-Therapie vielversprechend. Es wurde von den Psychologen bereits ein mögliches Szenario identifiziert, in dem die Anwendung therapieergänzend eingesetzt werden kann, was ebenfalls für den Erfolg der Applikation in diesem Aspekt spricht.

7.2 Zusammenfassung

Mit der Arbeit wurde eine Grundlage für ein langfristig nutzbares System geschaffen, welche in der Zukunft weiterentwickelt werden kann. Die Zielsetzung des Ausbleibens von Frustration durch Niederlage und den Spielspaß in den Vordergrund zu stellen wurde in das Spielkonzept eingearbeitet. Nach Experteneinschätzung wurden diese Ziele erfüllt, müssen aber für ein endgültiges Urteil noch mit Kindern evaluiert werden. Eine Bedienung des Systems ohne Hilfe Dritter ist für Einsteiger nicht ohne Weiteres möglich. Bei Kindern mit etwas mehr Spielerfahrung kann das System bereits ohne Hilfe bedient werden, wenn es ausreichend fehlertolerant und stabil ist. Außerdem kann die Spielbegleitung unerfahrener Spieler auch durch andere Kinder mit Spielerfahrung übernommen werden,

wodurch schließlich kein Therapeut das Spiel betreuen muss. Die Multiplayeroption sowie die haptische Komponente wurden erfolgreich integriert und positiv von den Testern bewertet. Beide Teilsysteme können erweitert werden.

Die technische Umsetzung des Projekts sowie die anschließende Bewertung von Psychologen hat gezeigt, dass es möglich ist die genutzten Modalitäten sinnvoll miteinander zu verknüpfen, um eine Anwendung zu erstellen, welche in der Praxis der ADHS-Therapie genutzt werden kann. Durch die durchgeführte Studie wurde deutlich gemacht, dass die Verwendung dieser Kombination an Eingabegeräten auch für unerfahrene Nutzer in diesem Anwendungskontext intuitiv ist und schnell erlernt werden kann. Des Weiteren ist die haptische Komponente eine sinnvolle Erweiterung des Systems und sorgt zusammen mit dem Mehrspieler-Aspekt durch Motivationssteigerung zu verbesserter Lernfähigkeit der ADHS-Patienten.

Die während der Studie in Erfahrung gebrachten Probleme des System lassen sich auf Hardware-Limitierungen zurückführen und können durch andere BCI-Geräte und Projektoren ausgebaut werden. Die gesamte Anwendung bietet also eine innovative Alternative der ergänzenden ADHS-Therapie für Kinder, welche sich vor allem mit einem Fokus auf den Spielspaß und die Motivation der Patienten in eine neue Richtung der BCI-Applikationen orientiert, und somit eine Basis für viele weitere Projekte in dem Bereich der Neurofeedback-Anwendungen begründet.

7.3 Ausblick

Die in dieser Arbeit geschaffene Anwendung kann weiterhin in Hinsicht auf die Benutzerfreundlichkeit anhand des Feedbacks der Nutzerstudien in mehreren Aspekten optimiert werden. Zum einen müsste eine passendere Anordnung der Elemente auf dem HUD gefunden werden. Des Weiteren benötigt der 2. Spieler zusätzliches Feedback bei der Ausführung seiner Aufgaben und die Aufgabenverteilung zwischen den beiden Spielern muss etwas ausgeglichen werden, damit der 2. Spieler sich nicht machtlos fühlt. Diese kleinen Optimierungen können durch weitere Nutzerstudien vorgenommen werden.

Abgesehen von der Anwendung selber sind in erster Linie Änderungen an dem technischen Setup vorzunehmen. Es sollten für die visuelle Darstellung auf der Sandoberfläche verschiedene Sandarten sowie ein anderes Projektor-Modell ausgetestet werden. Außerdem können zur Behebung des Projektionsschattenproblems bei der Gestensteuerung zusätzliche Projektoren verwendet werden. Weiterhin muss die Applikation mit unterschiedlichen BCI-Geräten getestet werden, da die MindWave Headsets durch ihre möglicherweise zu ungenaue Messung der Hirnströme den Lerneffekt vermindern.

Bevor die Anwendung in der Praxis zur Verwendung kommt, müssen noch weitere Nutzerstudien mit Kindern der Zielgruppe durchgeführt werden, um den tatsächlichen Effekt auf die Patienten bewerten zu können. Insgesamt kann die Anwendung also noch in einigen Aspekten ausgebaut werden, bietet allerdings in ihrer Funktion als Prototyp bereits eine solide Grundlage für andere zukünftige Projekte in dem Bereich der Neurofeedback-Anwendungen in der ADHS-Therapie.

Anhang

Fragebogen der Studie

Persönliche Erfahrungen des Experten mit dem Spiel (für alle)

1. Wie war's?
2. Was ist dir aufgefallen?
3. Wie hat es dir gefallen?
4. Welche Aspekte sind dir positiv aufgefallen?
5. Welche Aspekte sind dir negativ aufgefallen?
6. Fiel dir das Spiel leicht oder schwer? Warum?
7. Hattest du das Gefühl etwas zum Gesamterfolg beizutragen?
8. Warum hattest du / hattest du nicht das Gefühl etwas zum Gesamterfolg beizutragen?
9. Konntest du das Spiel durch das BCI-Gerät präzise steuern?
10. Konntest du das Spiel durch die Interaktion mit dem Sand präzise steuern?
11. Wie hat sich das haptische Element (Sand) in dem Spiel für dich angefühlt?
12. Wie gut oder schlecht haben sich die Aufgaben der beiden Spieler in der Funktion ergänzt?
13. Warum haben sich die Aufgaben der beiden Spieler in der Funktion gut oder schlecht ergänzt?

Technische Funktionen (Informatiker)

14. Sind dir irgendwelche technischen Aspekte besonders aufgefallen?
15. Hast du technische Unstimmigkeiten bemerkt? Wenn ja, was

Spieldesign (Designer)

16. Wie würdest du das Gesamtkonzept des Spiels bezogen auf das Design bewerten?
17. Hast du Verbesserungsvorschläge für das Design des Spiels?
18. Ist die Interaktion durch die verschiedenen Modalitäten gut oder schlecht gestaltet? Warum?

Eignung des Spiels für die Patienten (Psychologen)

19. Ist das Spiel für Kinder mit ADHS geeignet?
20. Könnte das Spiel zum Üben des Fokusses als Ergänzung zur Therapie geeignet sein?
21. Wie gut ist die 1. Rolle (Eyetracker + MindWave Headset) zum Einstieg in die Spielmechaniken als Spieler geeignet?
22. Wie gut ist die 2. Rolle (nur MindWave Headset) zum Einstieg in die Spielmechaniken als Spieler geeignet?
23. Könnte das haptische Element die Anwendung der erlernten Strategien der Therapie im Alltag unterstützen?
24. Welche Vorteile würde das Spiel für die Kinder haben?
25. Wie würde sich das gemeinsame Spielen auf die Motivation von Kindern mit ADHS auswirken?
26. Welche Aspekte würden die Kinder beim Spielen mit der Sandbox motivieren?
27. Würde das Spiel in der 1. Rolle (Simon) den Kindern Spaß machen?
28. Würde das Spiel in der 2. Rolle (Bewässerer) den Kindern Spaß machen?
29. Könnte das gemeinsame Spielen Nachteile für Kinder mit ADHS haben? Wenn ja, welche?
30. Wie anstrengend ist es vermutlich für die Kinder in der 1. Rolle (Eyetracker + MindWave Headset) zu spielen?
31. Wie anstrengend ist es vermutlich für die Kinder in der 2. Rolle (nur MindWave Headset) zu spielen?

Demographisches Datenblatt

Alter:

Biologisches Geschlecht: Männlich / Weiblich

Kategorie: Designer / Informatiker / Therapeut

Wie oft verbringst du Zeit mit Kindern beruflich?

Gar nicht

1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>						

Sehr viel

Wie oft verbringst du Zeit mit Kindern privat?

Gar nicht

1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>						

Sehr viel

Welche Vorerfahrungen hast du mit BCI-Geräten oder Neurofeedback-Anwendungen?

Literaturverzeichnis

- [ARPR16] R.D. Amelio, W. Retz, A. Philipsen, and M. Rösler. *ADHS im Erwachsenenalter: Strategien und Hilfen für die Alltagsbewältigung*. Kohlhammer Verlag, 2016. URL: https://books.google.de/books?id=R_R3DwAAQBAJ.
- [BFVdO⁺15] Kim C.M. Bul, Ingmar H.A. Franken, Saskia Van der Oord, Pamela M. Kato, Marina Danckaerts, Leonie J. Vreeke, Annik Willems, Helga J.J. van Oers, Ria van den Heuvel, Rens van Slagmaat, and Athanasios Maras. Development and user satisfaction of “plan-it commander,” a serious game for children with adhd. *Games for Health Journal*, 4(6):502–512, 2015. PMID: 26325247. URL: <https://doi.org/10.1089/g4h.2015.0021>, [arXiv:https://doi.org/10.1089/g4h.2015.0021](https://doi.org/10.1089/g4h.2015.0021), [doi:10.1089/g4h.2015.0021](https://doi.org/10.1089/g4h.2015.0021).
- [BLL13] L. Bonnet, F. Lotte, and A. Lécuyer. Two brains, one game: Design and evaluation of a multiuser bci video game based on motor imagery. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, 5(2):185–198, June 2013. [doi:10.1109/TCIAIG.2012.2237173](https://doi.org/10.1109/TCIAIG.2012.2237173).
- [BMLG16] D. Z. Blandón, J. E. Muñoz, D. S. Lopez, and O. H. Gallo. Influence of a bci neurofeedback videogame in children with adhd. quantifying the brain activity through an eeg signal processing dedicated toolbox. In *2016 IEEE 11th Colombian Computing Conference (CCC)*, pages 1–8, Sep. 2016. [doi:10.1109/ColumbianCC.2016.7750788](https://doi.org/10.1109/ColumbianCC.2016.7750788).
- [HHK⁺16] Karl-Michael Haus, Carla Held, Axel Kowalski, Andreas Krombholz, Manfred Nowak, Edith Schneider, Gert Strauß, and Meike Wiedemann. *Praxisbuch Biofeedback und Neurofeedback*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, Deutschland, 2016.
- [KPB14] Moritz Kassner, William Patera, and Andreas Bulling. Pupil: an open source platform for pervasive eye tracking and mobile gaze-based interaction. In *Proceedings of the 2014 ACM international joint conference on pervasive and ubiquitous computing: Adjunct publication*, pages 1151–1160. ACM, 2014.
- [KPS⁺11] K.G. Kahl, J.H. Puls, G. Schmid, J. Spiegler, and B. Behn. *Praxishandbuch ADHS: Diagnostik und Therapie für alle Altersstufen*. Thieme, 2011. URL: https://books.google.de/books?id=_wznWWvF-f8C.
- [min15] Mindwave mobile 2. <https://store.neurosky.com/pages/mindwave>, 2015.
- [nie16] Nielsen tele medical. <https://sites.nielsen.com/telemedical/>, 2016.

- [NNS⁺06] P.L. Nunez, E.P.B.E.P.L. Nunez, R. Srinivasan, A.P.C.S.R. Srinivasan, and Oxford University Press. *Electric Fields of the Brain: The Neurophysics of EEG*. Oxford University Press, 2006. URL: https://books.google.de/books?id=fUv54as56_8C.
- [NPS⁺15] Manuel Ninaus, Gonçalo Pereira, René Stefitz, Rui Prada, Ana Paiva, Christa Neuper, and Guilherme Wood. Game elements improve performance in a working memory training task. *International Journal of Serious Games*, 2, 02 2015. doi:10.17083/ijsg.v2i1.60.
- [PDP⁺11] Pier Prins, Sebastiaan DAVIS, Albert Ponsioen, Esther ten Brink, and Saskia Oord. Does computerized working memory training with game elements enhance motivation and training efficacy in children with adhd? *Cyberpsychology, behavior and social networking*, 14:115–22, 03 2011. doi:10.1089/cyber.2009.0206.
- [PRI02] Ben Piper, Carlo Ratti, and Hiroshi Ishii. Illuminating clay: A 3-d tangible interface for landscape analysis. 05 2002. doi:10.1145/503376.503439.
- [RKH⁺14] S. E. Reed, O. Kreylos, S. Hsi, L. H. Kellogg, G. Schladow, M. B. Yikilmaz, H. Segale, J. Silverman, S. Yalowitz, and E. Sato. Shaping Watersheds Exhibit: An Interactive, Augmented Reality Sandbox for Advancing Earth Science Education. *AGU Fall Meeting Abstracts*, pages ED34A–01, December 2014.
- [RM16] Anke Reinschluessel and Regan Mandryk. Using positive or negative reinforcement in neurofeedback games for training self-regulation. pages 186–198, 10 2016. doi:10.1145/2967934.2968085.
- [RSP14] D. A. Rohani, H. B. D. Sorensen, and S. Puthusserypady. Brain-computer interface using p300 and virtual reality: A gaming approach for treating adhd. In *2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pages 3606–3609, Aug 2014. doi:10.1109/EMBC.2014.6944403.
- [uED00] Richard Ryan und Edward Deci. Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *The American psychologist*, 55:68–78, 02 2000. doi:10.1037/0003-066X.55.1.68.
- [vdOPG⁺14] S. van der Oord, A. J.G. B. Ponsioen, H. M. Geurts, E. L. Ten Brink, and P. J. M. Prins. A pilot study of the efficacy of a computerized executive functioning remediation training with game elements for children with adhd in an outpatient setting: Outcome on parent- and teacher-rated executive functioning and adhd behavior. *Journal of Attention Disorders*, 18(8):699–712, 2014. PMID: 22879577. URL: <https://doi.org/10.1177/1087054712453167>, arXiv:<https://doi.org/10.1177/1087054712453167>, doi:10.1177/1087054712453167.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig und ausschließlich unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Stellen sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form weder einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt oder noch anderweitig veröffentlicht.

Unterschrift

Datum