



UNIVERSITÄT
KOBLENZ · LANDAU

Fachbereich 4: Informatik

Entwicklung eines Tangible Augmented Reality Spiels für Android

Bachelorarbeit

zur Erlangung des Grades eines Bachelor of Science (B.Sc.)
im Studiengang Computervisualistik

vorgelegt von

Philipp Geitz-Manstein

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. Stefan Müller
(Institut für Computervisualistik, AG Computergraphik)

Zweitgutachter: Dipl.-Inform. Dominik Grüntjens
(Institut für Computervisualistik, AG Computergraphik)

Koblenz, im April 2012

Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

	Ja	Nein
Mit der Einstellung der Arbeit in die Bibliothek bin ich einverstanden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Veröffentlichung dieser Arbeit im Internet stimme ich zu.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

.....
(Ort, Datum)

.....
(Unterschrift)



Aufgabenstellung für die Bachelor Arbeit
Philipp Geitz-Manstein
(Mat. Nr.: 209110536)

Thema: Entwicklung eines Tangible Augmented Reality Spiels für Android

Augmented Reality ist seit vielen Jahren in der Industrie und im Bereich des Militärs vorzufinden, seit einigen Jahren nun auch im Tourismus und in der Unterhaltungsindustrie. Dank immer schnellerer und kleinerer Hardware ist es nun auch möglich, Augmented Reality auf immer mehr mobilen Geräten zu nutzen, wie Handys, Smartphones oder Tablets.

In dieser Bachelorarbeit soll ein Tangible Augmented Reality Spiel für Android entwickelt werden. Es soll dafür ein Konzept eines Spiels erarbeitet und umgesetzt werden, das durch Tangible Augmented Reality einen Mehrwert gegenüber herkömmlichen Computer- oder Augmented Reality-Spielen hat. Ziel ist es, dass der Spieler mehr Spielspaß durch Tangible User Interface und Augmented Reality hat. Dazu wird das erstellte Tangible Augmented Reality Spiel mit verschiedenen anderen Android Spielen verglichen und durch Nutzer-test der Spielspaß evaluiert.

Die inhaltlichen Schwerpunkte der Arbeit sind:

1. Recherche über Tangible Augmented Reality und der Grundlagen der Spieleentwicklung
2. Recherche und Analyse verwandter Arbeiten
3. Konzeption eines Tangible Augmented Reality Spiels
4. Prototypische Umsetzung
5. Dokumentation und Bewertung der Ergebnisse

Koblenz, den 10.10.2011

- Philipp Geitz-Manstein -

- Prof. Dr. Stefan Müller -

Abstrakt

In dieser Bachelorarbeit wurde ein Tangible Augmented Reality Spiel für Android entwickelt, das einen Mehrwert gegenüber herkömmlichen Computer- oder Augmented Reality Spielen haben soll.

Der Hauptteil der Arbeit erklärt das Spielkonzept, Entwicklung und die Evaluation des Spiels. Bei der Evaluation wurde das Flow-Erleben, als Maß für den Spielspaß, durch Nutzertest ausgewertet und das erstellte Spiel mit anderen Smartphone-Spielen verglichen.

Außerdem werden Augmented Reality, Tangible User Interface und Tangible Augmented Reality vorgestellt und deren Vor- und Nachteile erläutert. Die Geschichte von Augmented Reality wird auch vorgestellt.

Abstract

In this bachelor thesis a tangible augmented reality game was developed, which should have a additional benefit compared to conventional computer or augmented reality games.

The main part of the thesis explains the game concept, the development and the evaluation of the game. In the evaluation the flow-experience, as measurement for the games' amusement, was analysed with a user test and the developed game was compared with other smartphone games.

Also augmented reality, tangible user interface and tangible augmented reality was introduced and the advantages and disadvantages was explained.

The history of augmented reality was introduced too.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Ziel	1
2	Stand der Forschung	2
2.1	Augmented Reality	2
2.1.1	Definition	2
2.1.1.1	Virtuelles Kontinuum und Mixed Reality von Milgram und Kishino	2
2.1.1.2	Definition von Augmented Reality von Ronald Azuma	3
2.1.2	Geschichte	3
2.1.2.1	„Damoklesschwert“ von Ivan Sutherland	3
2.1.2.2	Videoplace, Eyetoy und Kinect	4
2.1.2.3	LANTIRN, Highway in the Sky, Predictor und IHADSS	6
2.1.2.4	Der Begriff Augmented Reality und Tom Caudells Arbeit bei Boing	8
2.1.3	Aufbau eines Augmented Reality Systems	9
2.1.3.1	Tracking	9
	Elektromechanisches Tracking	9
	Magnetisches Tracking	10
	Optisches Tracking	10
2.1.3.2	Ausgabegeräte	11
	HMD	12
	HUD	12
	Handheld	13
2.1.3.3	Eingabegeräte	13
	Datenhandschuh	13
	3D-Maus	13
2.1.4	Probleme mit Augmented Reality	14
2.1.5	Beispiele	14
2.1.5.1	ARQuake	14
2.1.5.2	Paparazzi	15
2.2	Tangible User Interface	16
2.2.1	Ziele	17
2.2.2	Arten	17
2.2.3	Vor- und Nachteile	18
2.2.4	Beispiel	18
2.2.4.1	Surfacescapes	18
2.3	Tangible Augmented Reality	19
2.3.1	Ziele	19

2.3.2	Designprinzipien	19
2.3.3	Beispiel	20
2.3.3.1	Studierstube	20
3	Konzept	21
3.1	Inspirationsquellen	21
3.1.1	Tower Defense	21
3.1.2	ARhrrrr!	22
3.2	Spielideen	22
3.3	Spieldesign	24
3.3.1	Spielprinzip	26
3.3.1.1	Allgemein	26
3.3.1.2	Spieler	26
3.3.1.3	Spielfeld	26
3.3.1.4	Geister	27
3.3.1.5	Schokoladenlinsen	27
3.3.1.6	Schokoladenlinsenpackung	28
3.3.1.7	Türme	28
3.3.1.8	Level und Welle	29
3.3.2	Fazit	29
4	Implementierung	31
4.1	Android	31
4.1.1	Hardware	31
4.1.2	Software	32
4.2	Augmented Reality Framework	33
4.2.1	AndAR	33
4.2.2	QCAR	33
4.3	Min3D	34
4.4	OpenCV	34
4.5	Ghost and Chocolate Beans	35
4.5.1	AR-Tracking	35
4.5.2	Spielelogik	35
4.5.2.1	Übersicht	35
4.5.2.2	Menüs und Interface	36
4.5.3	Spielstein Detektierung	36
4.5.3.1	Problem	40
4.5.3.2	Vorgehen	40
4.5.3.3	Fazit der Spielstein Detektierung	41
4.6	Fazit der Implementierung	42

5	Evaluation des Spiels	43
5.1	Flow-Erlebnis	43
5.2	Vorgehen	43
5.3	Ergebnisse der Evaluation	45
5.4	Vergleich mit anderen Smartphonespielen	48
5.4.1	Vergleich mit AR Zombie Gate	48
5.4.2	Robo Defense FREE	49
5.5	Fazit	49
6	Ausblick	50
7	Literaturverzeichnis	52
8	Anhang	57

Abbildungsverzeichnis

1	Virtuelles Kontium(Quelle:[MK94])	2
2	Damoklesschwert von Ivan Sutherland (Quelle: [WWWh]) .	4
3	Videoplace mit CRITTER (Quelle: http://mrl.nyu.edu/~perlin/uiimages/)	5
4	Ein F-16 Düsenjet mit LANTIRN (Quelle: [Zor10])	6
5	Flugsimulator mit Highway in the Sky und Predictor (Quelle: [Mad04])	7
6	Pilot mit IHADSS und ein Apache AH-64 (Quelle: [Zor10]) .	8
7	Ein elektromechanisches Exoskelett (Quelle:[Ul02])	9
8	Optical see-through HMD (Quelle:[AO97])	11
9	Closed View HMD (Quelle:[AO97])	11
10	HUD (Quelle:[AO97])	12
11	Interface des Terminators in der Serie Terminator SCC (Quelle: http://terminator.wikia.com/wiki/John_Connor's_TSCC_Biography_(Season_Two)) (Stand: 13.10.2011).	14
12	ARQuake (Quelle: http://chopsueyblog.wordpress.com/2008/10/23/arquake-realidad-aumentada/) (Stand: 13.10.2011)	15
13	Paparazzi (Quelle: [WWWp])	16
14	Von GUI auf einem Desktop zu einer Welt als Interface (Quelle: [US03])	16
15	Surfacescapes (Quelle: http://techcrunch.com/2010/02/10/hands-on-dd-on-the-microsoft-surface/ - Stand: 14.10.2011)	18
16	Studierstube (Quelle: [US03])	20
17	Erste Ideen für das Spiel	23
18	Spielfeld von Ghost and Chocolate Beans	27
19	Marker des Spiels, mit möglichst vielen Features	30
20	Verteilung der Android Versionen der letzten zwei Wochen vom 5. März 2012 (Quelle: [WWWr])	32
21	Ablauf der Hauptspielroutine	37
22	Menüs und Navigation der App	38
23	Unterschiedliche Farben	39
24	Unterschiedliche Formen	39
25	Ähnlichkeit der Farben	39
26	Die neuen Spielsteine von oben	39
27	Die neuen Spielsteine von der Seite	40
28	Ghost and Chocolate Beans in Aktion: Die Packung wird von zwei Geistern angegriffen	42
29	Versuchsaufbau	44
30	Proband spielt Ghost and Chocolate Beans	44

1 Einleitung

„Ist das ein Spiel oder die Wirklichkeit?“
„Wo ist da der Unterschied?“

aus dem Film: WarGames - Kriegsspiele

1.1 Motivation

Computer- und Konsolenspiele werden immer realistischer. Jedoch bezieht sich dies nur auf die Grafik von Computer- und Konsolenspielen.

Die Steuerung der meisten Spiele findet immer noch über eine Maus und Tastatur oder einem Controller statt, die eine 2D Orientierung sehr gut ermöglichen. Aber für einen Benutzer ist es viel natürlicher und einfacher, wenn man die 3D Objekte in Spielen oder einem User Interface (UI) direkt manipulieren kann (vgl. [Min95] [HBO05] [US03]).

Dieses Problem kann durch ein Tangible User Interface (TUI), eine berührbare Benutzeroberfläche, gelöst werden, welches reale Gegenstände als Interaktionsmedium nutzt. Solche Spiele gibt es bereits auf dem Markt, sie sind jedoch nicht sehr weit verbreitet¹.

Die Darstellung des Realismus in Spielen wird immer noch dadurch erschwert, dass die 3D Welt mit ihren 3D Objekten auf einem 2D Bildschirm abgebildet wird. Hier gibt es Augmented Reality (AR), die erweiterte Realität, als Lösung. Dabei wird die Realität durch Einblendungen überlagert und kann so 3D Objekte in der realen Welt oder einer 3D Welt anzeigen. Dies wird schon seit langer Zeit in der Industrie und beim Militär eingesetzt, findet aber immer auch mehr Anwendung in der Tourismus- und Spielebranche.

Die Vermischung dieser beiden Techniken, Augmented Reality und Tangible User Interface, nennt sich Tangible Augmented Reality (TAR), die berührbare, erweiterte Realität, und sie erhöht nicht nur den Realismus, sondern vereinfacht auch die Bedienbarkeit (vgl. [US03]).

Heutige Smartphones bieten durch ihr Farbdisplay, der integrierten Kamera, dem schnellen Prozessor und einem 3D Grafikchip die perfekte Plattform für Tangible Augmented Reality Systeme (vgl. [HBO05]).

1.2 Ziel

Ziel dieser Arbeit ist es eine Recherche über Tangible Augmented Reality, die Grundlagen der Spieleentwicklung und eine Analyse verwandter Arbeiten durchzuführen.

¹zum Beispiel: Disney Appmates „Cars“, ein Spiel für das Apples Tablet iPad, bei dem man mit realen Spielzeugautos aus dem Film „Cars“ die Interaktionen im Spiel steuert, <http://www.engadget.com/2011/09/27/disney-appmates-cars-toys-mean-parents-may-never-see-their-ipa/>

Desweiteren soll ein Konzept für ein Tangible Augmented Reality Spiel für die Smartphone/Tablet-Plattform Android entwickelt und umgesetzt werden, das durch Tangible Augmented Reality einen Mehrwert gegenüber herkömmlichen Computer- oder Augmented Reality-Spielen hat. Ziel ist es, dass der Spieler mehr Spielspaß durch Tangible User Interface und Augmented Reality hat. Dazu wird das erstellte Tangible Augmented Reality Spiel mit verschiedenen anderen Android Spielen verglichen und durch Nutzertest das Flow-Erleben der Probanden evaluiert.

2 Stand der Forschung

2.1 Augmented Reality

Augmented Reality, die erweiterte Realität, wird immer mehr in der Öffentlichkeit wahrgenommen. Es gibt dieses Forschungsfeld schon sehr lange, wie der Abschnitt der Geschichte der Augmented Reality zeigen wird. Augmented Reality ist auch schon heute in unserem Alltag unbewusst oder bewusst verankert und an vielen Stellen nicht mehr wegzudenken².

2.1.1 Definition

2.1.1.1 Virtuelles Kontinuum und Mixed Reality von Milgram und Kishino

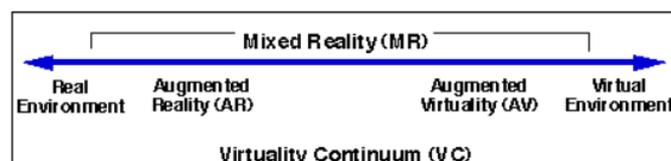


Abbildung 1: Virtuelles Kontinuum(Quelle:[MK94])

In [MK94] beschreiben Paul Milgram und Fumio Kishino wie reale und virtuelle Gegenstände in einem virtuellem Kontinuum zusammenarbeiten, an dessen einem Extremum die reale Umgebung steht und am anderen Extremum die virtuelle Umgebung. Zwischen diesen Extrema liegt die Mixed Reality, zu der Augmented Reality und Augmented Virtuality gehören. Eine Mixed Reality Umgebung ist nach Azuma und Kishino eine Mischung

²Zum Beispiel: Makierungen in Sportübertragungen, wie bei einem Fußballspiel, die zeigen wie weit der Spieler bei einem Freistoß vom Tor entfernt ist oder die Makierung der Abseitslinie

aus Gegenständen der virtuellen und realen Welt auf einem Display vereint:

„As indicated in the figure, the most straightforward way to view a Mixed Reality environment, therefore, is one in which real world and virtual world objects are presented together within a single display, that is, anywhere between the extrema of the virtuality continuum.“

Augmented Reality liegt im Kontinuum näher an der realen Umgebung, während Augmented Virtuality näher an der virtuellen Umgebung liegt.

2.1.1.2 Definition von Augmented Reality von Ronald Azuma

Ronald Azuma unterscheidet nur zwischen Virtual Environment (bzw. Virtual Reality) und Augmented Reality. Er schreibt in [AO97]:

„Augmented Reality (AR) is a variation of Virtual Environments (VE), or Virtual Reality as it is more commonly called. VE technologies completely immerse a user inside a synthetic environment. While immersed, the user cannot see the real world around him. In contrast, AR allows the user to see the real world, with virtual objects superimposed upon or composited with the real world.“

Der Benutzer ist also bei einem VE komplett in einer synthetischen Welt, während bei AR die Realität ergänzt wird. Die reale Welt wird mit virtuellen Objekten verschmolzen. Azuma definiert in [AO97] auch drei Eigenschaften für ein AR System:

- Es kombiniert die Realität und Virtualität.
- Es interagiert in Echtzeit.
- Es wird ein räumliche Bezug hergestellt.

Da er von dem Kriterium Head-Up Displays, was viele andere Forscher festgelegt haben, fernbleibt, können nach seiner Ansicht auch andere Ausgabegeräte genutzt werden. Er schränkt AR auch nicht nur auf einen Sinn ein, sondern sagt, dass das virtuelle Objekt Informationen anzeigt, die der Nutzer nicht mit seinen eigenen Sinn direkt erkennen kann (vgl. [AO97]).

2.1.2 Geschichte

2.1.2.1 „Damoklesschwert“ von Ivan Sutherland

Das „Damoklesschwert“ ist die erste Augmented Reality Anwendung und wurde von Ivan Sutherland im Jahr 1966 an der Harvard Universität



Abbildung 2: Damoklesschwert von Ivan Sutherland (Quelle: [WWWh])

entwickelt und erbaut. Das Gerät ist ein Head-Mounted-Display (HMD)³, das wegen seines hohen Gewichtes an der Decke befestigt wurde (siehe Abbildung 2). Durch die halbspiegelnden Gläser (see-through Display) ist es dem Benutzer möglich, seine Umgebung und die Ausgaben des CRT (Cathode Ray Tube) Displays gleichzeitig zu sehen. Zum Tracken der Blickrichtung nutzt das System einen mechanischen und einen Ultraschall-Tracker. „Damoklesschwert“ konnte nur einfache Wireframes darstellen (vgl. [Sut68]). „Der Prototyp mit dem metaphorischen Namen ‘Damoklesschwert’ wurde aber aufgrund der hohen Hardwareanforderungen zur damaligen Zeit nicht in Serie produziert“ [Tri09].

2.1.2.2 Videoplace, Eyetoy und Kinect

Myron Krueger entwickelte im Jahr 1975 das System „Videoplace“, das es dem Benutzer erstmals ermöglichte mit virtuellen Objekten zu interagieren (vgl. [WWWh]). Bei „Videoplace“ steht der Benutzer vor einem Display und sieht dort seinen Umriss, welcher mithilfe einer Kamera getrackt wird. Der Benutzer kann mit Gesten zum Beispiel den Radius eines Kreises verändern. Außerdem kann er mit CRITTER, einer kleinen Kreatur, interagieren (siehe Abbildung 3). CRITTER weicht dem Benutzer aus, wenn sich die Person schnell zu ihm hinbewegt. Die Kreatur klettert auch an dem Umriss des Benutzers hoch. Wenn er den Kopf erreicht, triumphiert er und rutscht

³siehe bei 2.1.3.2 Ausgabegeräte HMD



Abbildung 3: Videoplace mit CRITTER (Quelle: <http://mrl.nyu.edu/~perlin/uiimages/>)

an der anderen Seite des Umrisses herunter, bis er einen Finger erreicht an dem er sich festhält. CRITTER kann dann vom Benutzer abgeschüttelt werden (vgl. [KGH85]). Krieger schreibt selbst in [KGH85], dass die damalige Rechenleistung zu teuer war und er darauf wartet, dass mehr Menschen einen Computer besitzen und so diese Interaktionsform nutzen können. Heute gibt es verschiedene Systeme, die solch eine Interaktion unterstützen. Zwei Beispiele sind EyeToy und Kinect.

EyeToy erschien im Sommer 2003 für die Konsole Playstation 2 von Sony in Europa. Der Nachfolger Playstation Eye erschien im Jahr 2007 für Sonys aktuelle Spielkonsole Playstation 3 (vgl. [WWWg] [WWWs]). Mit beiden Systemen ist es möglich, ähnlich wie bei Videoplace, mit dem Computer zu agieren. Der Benutzer sieht sich selbst im Monitor und kann so verschiedene Spiele steuern. Zwei Beispiele für Playstation Eye sind „The Eye of Judgement“ und „Playstation Move“.

„The Eye of Judgement“ ist ein Kartenspiel, das durch die Playstation 3 animiert wird. Die realen Karten enthalten ein Bild, einen Erklärungstext und einen 2D Barcode. Dieser Barcode wird durch die Playstation Eye Kamera von der Konsole erkannt, wenn die Karte auf das reale Spielbrett gelegt wird und animiert, so dass das Spielgeschehen auf dem virtuellen Spielbrett auf dem Bildschirm zu sehen ist (vgl. [WWWz]).

Bei „Playstation Move“ hält der Benutzer einen Controller in einer Hand. An der Spitze des Controllers befindet sich eine Kugel, die durch farbige LEDs im Inneren ihre Farbe erhält. Diese farbige Kugel kann von der Playstation 3 mithilfe der Playstation Eye Kamera getrackt werden und so Gesten des Benutzers in den Spielen umsetzen (vgl. [WWWt]).

Für die Spielkonsole Xbox360 von Microsoft erschien im Jahr 2010 das Sys-

tem Kinect in Europa (vgl. [WWWk]), dem laut Guinness Buch der Rekorde am schnellsten verkaufte Elektronikartikel(vgl. [WWWj]). Die Besonderheit dieses Systems ist, dass es nicht nur aus einer einfachen Kamera besteht, sondern auch aus einem Infrarot-Projektor und einer Kamera, die dieses Infrarotbild empfängt und so eine Tiefeninformation daraus gewinnt (vgl. [WWWl]). Bei den meisten Spielen interagiert der Benutzer nicht direkt, sondern steuert einen virtuellen Avatar, zum Beispiel in Kinect Adventures(vgl. [WWWi]).

2.1.2.3 LANTIRN, Highway in the Sky, Predictor und IHADSS

Die Entwicklung von LANTIRN (Low Altitude Navigation and Targeting



Abbildung 4: Ein F-16 Düsenjet mit LANTIRN (Quelle: [Zor10])

Infrared for Night) wurde im Jahr 1980 für die US Air Force von der Firma Martin and Marietta Corp. (heute: Lockheed Martin Inc.) begonnen, sechs Jahre später ging es in Serienproduktion. LANTIRN besteht aus zwei Behältern, die unter Düsenjets, wie F-15E Strike Eagle und F-16C/D Fighting Falcon, angebracht werden. Der eine Behälter ist ein Navigationsbehälter, der ein Radar und einem Infrarotsensor enthält, und so es dem Piloten ermöglicht präzise und schnelle Tiefflüge auch bei wetterbedingter schlechter Sicht und bei Nacht zu fliegen. Der andere Behälter des Systems ist ein Zielbehälter, der einen hochauflösenden Infrarotsensor und einen Laser enthält. Er dient dem Zielerkennen, -erfassen und Angriff (vgl. [WWWm]). „Die Daten werden über diese Geräte an den Bordcomputer geliefert und auf dem HUD (Anm. d. Verf.: Head-up Display, siehe 2.1.3.2 HUD). Auf dem HUD werden Navigations- und Zielhilfen, aber auch Nachtsichtbilder der Umgebung angezeigt“ [Zor10].

Highway in the Sky und Predictor finden heute in zivilen Airlinern und Privatjets Gebrauch.



Abbildung 5: Flugsimulator mit Highway in the Sky und Predictor (Quelle: [Mad04])

Bei Highway in the Sky „[...] handelt es sich um die Darstellung eines Tunnels im Sichtfeld des Piloten, welcher den geplanten idealen Flugpfad (insbesondere beim Landeanflug) projiziert und mit dem Landschaftsbild überblendet. Dadurch erhält der Pilot eine anschauliche Darstellung des Flugwegs, sowie seiner relativen Position dazu, insbesondere bei unübersichtlichem Terrain oder schlechten Sichtverhältnissen“ [Mad04]. Predictor ist „[...] ein Symbol, welches die Position des Flugzeugs in 5 Sekunden vorhersagt. Diese Vorhersage wird aus den gegenwärtigen Flugdaten (Lage, Beschleunigung) sowie den Steuereingaben des Piloten getroffen“ [Mad04].

IHADSS (Integrated Helmet and Display Sighting System) findet seit 1984 im Apache AH-64 Kampfhubschrauber. Es ist der erste Einsatz eines HMD in einem Luftfahrzeug. Nun dient ein Helm nicht mehr nur für den Schutz vor Verletzungen und Lärm, sondern auch zur Anzeige für Informationen durch ein Monokular HMD (siehe Abbildung 6). Die Position des Kopfes des Piloten wird mit Hilfe von Infrarotsensoren, die am Helm befestigt sind, erkannt. Das Kamerasystem, das an der Front des Hubschraubers angebracht ist (siehe Abbildung 6), wird dementsprechend ausgerichtet, so dass dem Piloten durch IHADSS Nachtsichtbilder, Zielerfassung und -erkennung, das Ziel der Waffen und weitere Informationen, wie Höhe und Geschwindigkeit, passend zu seiner Blickrichtung angezeigt werden kann (vgl. [RM88]).

Heute sind HMDs in modernen Kampfflugzeugen, wie dem F-35 (Joint Strike Fighter) anzutreffen und ersetzen ein HUD vollkommen (vgl. [Mad04]).



Abbildung 6: Pilot mit IHADSS und ein Apache AH-64 (Quelle: [Zor10])

2.1.2.4 Der Begriff Augmented Reality und Tom Caudells Arbeit bei Boing

Der Begriff Augmented Reality wurde erstmals im Jahr 1990 in dem gleichnamigen Konzept von Tom Caudell bei Boing genutzt. In dem Konzept beschreibt Caudell, wie mit Hilfe von einem HMD und dem Tracking des Kopfes die Arbeit der Mitarbeiter in den Fabriken von Boing assistiert werden kann. Tom Caudell und sein Kollege David Mizell entwickelten daraufhin im Jahr 1993 mit der Firma Honeywell Military Avionics Division ein System, das Formboards⁴ ersetzen sollte. Dies sollte Kosten einsparen, da es für jedes Flugzeug viele verschiedene Formboards für jeden Kabelbaum gibt und diese Lagerkosten verursachen und bei einem neuen Flugzeug alle neu hergestellt werden. Es wurde ein Prototyp gebaut aus einem leeren Formboard, das mit Hilfe von Augmented Reality bestückt wird. Der Arbeiter setzt ein HMD auf und sieht durch das Display, wie welche Kabel wohin verlegt werden sollen und welche Stecker nötig sind. In Experimenten wurde festgestellt, dass sogar die Geschwindigkeit zum Erstellen eines Kabelbaums um 25-50% gesteigert werden konnte. Dieses System wurde jedoch nicht von der Industrie angenommen, es wurde keine Gewinnsteigerung in dem System erkannt (vgl. [Miz94]).

⁴Ein Brett, auf dem ein Kabelbaum erstellt wird. Die nötigen Informationen über die Kabel, Stecker und deren Anordnung sind auf dem Formboard markiert.

2.1.3 Aufbau eines Augmented Reality Systems

Ein Augmented Reality System besteht aus drei zentralen Teilen: Dem Tracking, einer Ausgabe und einer Eingabe. Im Folgenden werden verschiedene Methoden/Arten dieser Bestandteile mit ihren Vor- und Nachteilen vorgestellt.

2.1.3.1 Tracking

„Die Lage des Betrachters, und oft auch die Lage wichtiger Gegenstände in der Umgebung oder der Ort, an dem virtuelle Objekte erscheinen sollen, müssen dem AR-System zur Verfügung stehen. Der Prozeß der Lagebestimmung wird gemeinhin als Tracking bezeichnet“ [T10, S. 43]

Elektromechanisches Tracking



Abbildung 7: Ein elektromechanisches Exoskelett (Quelle:[Ul02])

Bei elektromechanischen Trackern werden Dreh- und Rotationseinheiten an den Achsen genutzt, um die Position zu bestimmen(vgl. [T10]). Es gibt feststehende Systeme, aber auch Systeme, die von dem Nutzer getragen werden können. Diese Systeme nennt man Exoskelett (siehe Abbildung 7) . Ein Problem der Exosketts ist, dass „[...] globale Bewegungen durch den Raum und die globale Orientierung der Person nicht gemessen werden können“ [Ul02, S. 12]. Dazu werden wieder andere Trackingsysteme benötigt. Vorteile des elektromechanischen Trackings ist, dass es sehr günstig ist, da es die Bauteile schon lange für verschiedene andere Geräte gibt und dass es unabhängig von äußeren Einflüssen (Lichtverhältnisse, Magnetfelder, ...) ist, solange es nicht ein weiteres Trackingsystem nutzt (vgl.

[Ul02]). Nachteile sind, dass die Trackingsysteme oft schwer und sperrig sind, so dass sie auch den Benutzer in der Bewegung einschränken, dass die nicht feststehenden Systeme vor Gebrauch neu kalibriert werden müssen, dass die Systeme an die Größe und Figur der Person angepasst werden muss und dass wenn es von anderen Trackingsystemen abhängig ist, dessen Nachteile übernimmt (vgl. [Ul02]).

Magnetisches Tracking

Das Magnetische Tracking nutzt künstlich induzierte Felder und einen Magnetkompass. So kann ein Richtungsvektor bestimmt werden. Außerdem kann die Form und die Stärke des Magnetfeldes als weitere Parameter genutzt werden. Das Erdmagnetfeld ist für solch ein Tracking zu ungenau, da es durch die Sonne und andere magnetische Geräte/Gegenstände beeinflussbar ist und die Form des Erdmagnetfeldes nicht gleichförmig ist (vgl. [T10]). „Magnetisches Tracking bietet den Vorteil, dass keine direkte Sichtlinie zwischen Sender und Empfänger vorhanden sein muss“ [T10, S. 54]. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Systeme sehr kostengünstig und die Sensoren sehr klein und leicht sind (vgl. [Ul02]). Nachteile des magnetischen Trackings sind, dass die Messergebnisse sehr leicht durch Metalle und andere Geräte verfälscht werden, dass Kabel, die die Sensoren mit der Kontrolleinheit verbinden, die Bewegungen stören können, und dass sehr schnelle Bewegungen nicht erfasst werden können (vgl. [Ul02]).

Optisches Tracking

Bei dem optischen Tracking kann zwischen markerbasiertem Tracking und markerlosem Tracking unterschieden werden. Das markerbasierte Tracking kann noch einmal in aktive und passive Marker unterschieden werden. Die passiven Marker lassen sich dann in reflektierende Marker und in Markern mit Muster einteilen.

Das markerbasierte aktive Tracking nutzt Infrarot-LEDs, die von einer Kamera getrackt werden. Ein Beispiel dafür ist die Spielekonsole Wii von Nintendo. Auf dem Fernseher befindet sich eine Leiste mit Infrarot-LEDs und die Fernbedienung, Wii Remote oder auch WiiMote, der Spielekonsole besitzt eine Kamera, die die LEDs trackt.

Passive reflektierende Marker „[...] bestehen häufig aus retroreflektiven Materialien, die das Licht in die Richtung reflektieren, aus der es kommt“ [T10, S. 51]. Man benötigt hier eine Lichtquelle, reflektierende Marker und eine Kamera (bei Kugeln als Marker sogar mindestens zwei Kameras (vgl. [T10])).

Die passiven Marker mit Mustern hingegen verwenden einfache 2D Muster oder Barcodes, die mit einfacher Bildverarbeitung getrackt werden kön-

nen. Diese 2D Muster können einfach auf Papier gedruckt werden und benötigen nur eine Kamera(vgl. [T10]).

„Markerloses Tracking greift nicht auf zusätzliche Marker zurück, sondern nutzt natürliche Merkmale (Features) auf oder an dem zu trackenden Gegenstand“[T10, S. 51]. Die natürlichen Merkmale können unter anderem Kanten und Ecken sein, die jedoch mit rechenintensiveren Algorithmen erkannt und verarbeitet werden müssen (vgl. [T10]).

Die Vorteile des optischen Trackings sind, dass der Nutzer uneingeschränkt in seiner Bewegung ist, die Marker kostengünstig sind. Nachteile sind, dass ein (teilweises) Verdecken der Marker durch den Nutzer ungenau/keine Ergebnisse liefert, dass die passiven Marker abhängig von den Lichtverhältnissen sind und dass es rechenintensiv werden kann, besonders beim markerlosen Tracking.

2.1.3.2 Ausgabegeräte

Um die erweiterte Realität anzeigen zu können gibt es zwei grundsätzlich verschiedene Arten von Displays:

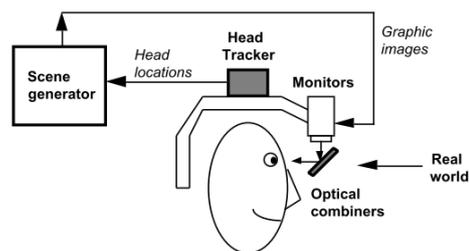


Abbildung 8: Optical see-through HMD (Quelle:[AO97])

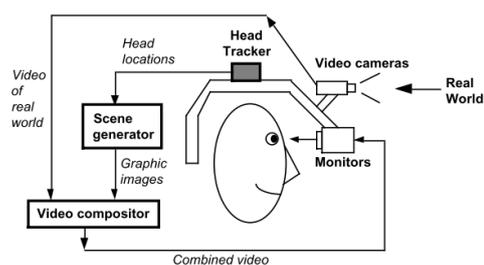


Abbildung 9: Closed View HMD (Quelle:[AO97])

Optical see-through Display wird in Abbildung 8 gezeigt. Es ermöglicht die Realität und das Virtuelle zu verschmelzen. Der Nutzer sieht durch ein halbspiegelndes Glas hindurch und kann so seine reale Umgebung sehen. Die virtuellen Objekte erzeugt ein Monitor auf das Glas, so dass diese im Sichtfeld erscheinen(vgl. [AO97] [T10]).

Closed-view Display wird in Abbildung 9 gezeigt. Es ermöglicht keinen direkt Blick auf die reale Umgebung. Eine Kamera nimmt das Bild der Umgebung auf und der Nutzer sieht direkt durch ein Display.

Wie diese Displays eingesetzt werden wird im folgenden gezeigt.

HMD

Ein Head Mounted Display (HMD) ist ein Display, das direkt am Kopf des Benutzers befestigt ist, wie zum Beispiel eine Brille. Es gibt Ausführungen als monokulares oder binokulares Display (vgl. [T10]). Der Vorteil der HMDs ist, dass die Hände freibleiben und so zur Interaktion genutzt werden können, außerdem ist der Grad der Immersion⁵ sehr hoch. Wichtig dafür ist, dass es auch gut stereoskopisches Sehen ermöglicht und das Blickfeld (field of view, FOV) nicht zu eingeschränkt ist (vgl. [Ul02]).

Nachteile der HMDs ist, dass der Benutzer nicht seine ganze Umgebung sieht, da das FOV oft eingeschränkt oder versetzt ist und er durch eine geringe Auflösung schlecht auf Ereignisse in seinem Umfeld reagieren kann (vgl. [Ul02]). Ein weiteres Problem ist die Akzeptanz von HMDs. Moderne Geräte bieten zwar eine immer höheren Tragekomfort. Jedoch sind für Nutzer nicht nur die Trageeigenschaften, sondern auch das Aussehen und die „Frisurenfeindlichkeit“ ein Kriterium, so dass oft diese Systeme nicht angenommen werden (vgl. [Rü07]).

HUD

Beim einem Head-up-Display (HUD) werden die Informationen in dem

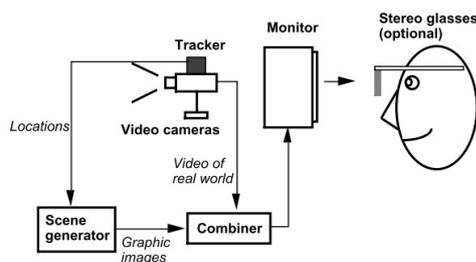


Abbildung 10: HUD (Quelle:[AO97])

Sichtfeld des Benutzers angezeigt (siehe Abbildung 10). „Head-Up Displays wurden ursprünglich in Flugzeugen eingebaut, um wichtige Fluginformationen wie Kompass und künstlichen Horizont in das Sichtfeld einzublenden. Mit Beginn des 21. Jahrhunderts wurden allerdings erste HUDs

⁵Immersion ist ein Bewusstseinszustand. Der Benutzer ist in der virtuellen Welt und seine eigene, reale Person wird nicht mehr stark wahrgenommen. (Vgl. [http://en.wikipedia.org/wiki/Immersion_\(virtual_reality\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Immersion_(virtual_reality)))

in Karstofffahrzeugen angeboten.“ [T10, S. 27] Diese Systeme sind meistens optical see-through Displays, es gibt jedoch auch closed view Displays, die mit einer Kamera arbeiten. Diese Systeme bringen jedoch kein befriedigendes Ergebnis, da die Kamera nicht die Blickrichtung des Benutzers einfängt. Dazu müsste die Kamera am Kopf des Benutzers befestigt werden, das Display jedoch würde den Blick auf die dahinterliegende Welt versperren (vgl. [T10]). Der Immersionseindruck kann durch die Nutzung einer Shutterbrille oder einer Polarisationsbrille, die ein 3D Eindruck erzeugen, erhöht werden. Dafür sind Displays nötig, die diese Technik unterstützen. Mittlerweile gibt es auch Displays, die ein 3D Bild anzeigen können ohne zusätzliche Brillen ⁶.

Handheld

Handhelds sind mobile Systeme, die vom Benutzer in der Hand gehalten werden können, wie zum Beispiel Tablet Pcs, Smartphones und PDAs. Durch die Kamera, die sich meist hinten am Gerät befindet, ist „[d]as gezeigte Bild zwar aus keiner Betrachtungsposition perspektivisch korrekt, aber es wird relativ zum Display in der richtigen Perspektive gezeigt.“[T10, S. 30]

2.1.3.3 Eingabegeräte

Es gibt verschiedene Interaktionsmöglichkeiten mit AR Inhalt. Zwei Eingabegeräte werden im Folgenden vorgestellt.

Datenhandschuh

Der Datenhandschuh ermöglicht es dem Benutzer durch Gesten der Hand mit dem Computer zu interagieren. Für die Erkennung der Fingerbewegungen werden meistens Glasfasern, durch die eine Leuchtdiode Licht einstrahlt, genutzt. Eine Fotodiode erkennt auf der anderen Seite mit welcher Stärke das Licht ankommt. Um so stärker der Finger und damit die Glasfaser gebogen ist, umso schwächer ist das Licht. Es gibt jedoch auch Exoskelette für die Hand, die ein elektromechanisches /-magnetisches Tracking nutzen. Die Vorteil der Datenhandschuhe ist, dass die Interaktion intuitiv ist. Die Nachteile jedoch sind, dass der Nutzer erst die Gesten zur Steuerung erlernen muss und, dass der Datenhandschuh verschieden gute Ergebnisse liefert, da der Handschuh nicht bei jeder Person gut sitzt (vgl. [Ul02]).

3D-Maus

Eine 3D-Maus wird im Raum getrackt, so dass ihre Position und Orientie-

⁶zum Beispiel: LG Cinema 3D D2000N <http://www.lgblog.de/2011/07/14/lg-auf-dem-weg-zu-brillenlosem-3d-monitor-lg-d2000-angekündigt/> - Stand: 11.10.2011

rung bekannt ist. An ihr befinden sich verschiedene Buttons, die für verschiedene Funktionen genutzt werden können. Zum Beispiel dem Fortbewegen in der Welt oder das Auswählen von Objekten. Der Vorteil ist, dass die Steuerung der Maus schon durch den konventionellen Computereinsatz bekannt ist und das die 3D-Mäuse sehr klein und leicht sind. Der Nachteil ist jedoch, dass der Gebrauch der Buttons erst erlernt werden muss (vgl. [Ul02]).

2.1.4 Probleme mit Augmented Reality



Abbildung 11: Interface des Terminators in der Serie Terminator SCC (Quelle: [http://terminator.wikia.com/wiki/John_Connor's_TSCC_Biography_\(Season_Two\)](http://terminator.wikia.com/wiki/John_Connor's_TSCC_Biography_(Season_Two))) (Stand: 13.10.2011))

Augmented Reality hat jedoch auch einige Probleme. Eines davon ist, dass es die Interaktion mit den AR Inhalten oft schwer gestaltet, denn diese lassen sich nicht direkt manipulieren, sondern müssen über Eingabegeräte gesteuert werden (vgl. [BKP08]). Ein weiteres Problem ist die Erwartungshaltung der Nutzer, wie ein Interview von golem.de mit Andreas Hauser auf der Android Entwickler Konferenz Droidcon 2011 zeigt, da viele Benutzer durch Filme wie Terminator oder Minority Report beeinflusst sind (vgl. [WWWw]).

2.1.5 Beispiele

2.1.5.1 ARQuake

ARQuake ist das erste mobile Outdoor AR Spiel. Bruce Thomas, Ben Close, John Donoghue, John Squires, Phillip De Bondi und Wayne Piekarski entwickelten es an der University of South Australia im Jahr 2000. Es ist die Umsetzung des von idSoftware entwickelten First-Person Shooters Quake in AR. Es lässt sich im Außenbereich, fern von Gebäuden, und in Gebäuden spielen. Es nutzt zum Tracking der Person im Außenbereich GPS und



Abbildung 12: ARQuake (Quelle: <http://chopsueyblog.wordpress.com/2008/10/23/arquake-realidad-aumentada/>) (Stand: 13.10.2011))

einen digitalen Kompass. Dies ermöglicht jedoch nur eine sehr ungenaue Positions- und Blickrichtungsbestimmung, da das GPS nur einmal in der Sekunde und der Kompass 15 mal in der Sekunde neu bestimmt wird, aber das Spiel mit flüssigen 30 Frames in der Sekunde dargestellt wird. Außerdem weicht die GPS Standortbestimmung um zwei bis fünf Meter vom wirklich Standpunkt ab und der Kompass weicht um ± 1 Grad ab. In und an Gebäuden werden Marker genutzt, um die Position zu bestimmen, da hier der GPS-Empfang schlecht bis gar nicht vorhanden ist. Mittels Marker werden auch die Erscheinungspunkte für verschiedene Spielobjekte angezeigt. An Wänden angebracht, werden sie meist mit einer wanddeckenden Textur überlagert. Dort kann der Spieler, wenn er über diesem Objekt steht, Waffen, Munition, Rüstung und verschiedene Power-Ups einsammeln, wie in der Version von idSoftware. Der Spieler trägt ein see-trough HMD, in der Hand hält er eine umgebaute Spielzeugpistole und den Rest der Hardware trägt er auf dem Rücken (vgl. [Tho02]).

2.1.5.2 Paparazzi

Das Spiel Paparazzi, der Gewinner der 2010 Augmented Reality Developer Challenge von Qualcomm (vgl. [WWWq]), wurde von der Firma Pixel Bunch für die Smartphone- /Tabletplattform Android entwickelt. Der Spieler ist ein Paparazzo und macht mit seinem Smartphone möglichst viele Bilder von einer 3D Figur, die verschiedene Interaktionen, wie Kaffee trinken, durchführt. Der Spieler bekommt umso mehr Geld, um so besser die Fotos sind und um so näher er an der Figur ist. Wenn er jedoch zu nah an die Figur kommt, greift sie den Spieler an und hält sich an dessen Smartphone fest und versucht dieses durch Schläge zu zerstören. Der Spieler kann versuchen die Figur abzuwehren, indem er sein Smartphone schüttelt. Wenn er dies nicht rechtzeitig schafft, ist seine Kamera zer-

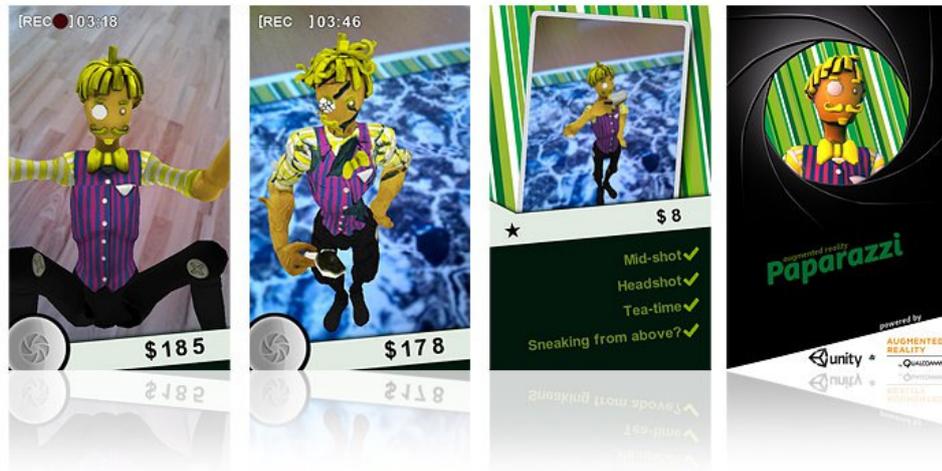


Abbildung 13: Paparazzi (Quelle: [WWWp])

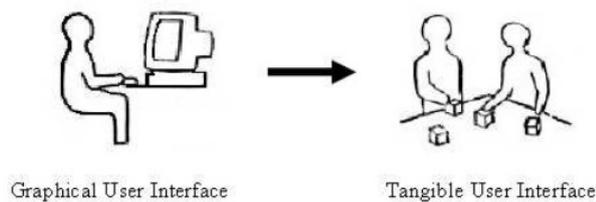


Abbildung 14: Von GUI auf einem Desktop zu einer Welt als Interface (Quelle: [US03])

stört und er kann keine weiteren Bilder machen und damit kein Geld mehr verdienen. Das Spiel nutzt einen Marker für das Tracking. Es gibt auf der Internetseite einen Marker zum Ausdrucken oder es kann eine US-Dollar Note verwenden (vgl. [WWWq]). Pixel Bunch ist der Meinung, dass das Zusammenspiel von Markern, Beschleunigungssensor, GPS und so weiter viele verschiedene Spielmöglichkeiten im Bereich der AR Spiele bereit hält (vgl. [WWWp]).

2.2 Tangible User Interface

Im Folgenden werden die Ziele, Arten und Vor-/Nachteile von Tangible User Interface (TUI) erläutert. Als Beispiel für ein TUI Spiel wird Surfacescapes vorgestellt.

2.2.1 Ziele

Nach Billinghamurst et al. in [BKP08] ist das Ziel eines Computer Interfaces (UI) eine nahtlose Interaktion zwischen dem Nutzer und ihrer computer-unterstützten Aufgabe bereitzustellen:

„The goal of computer interfaces is to facilitate seamless interaction between a user and their computer-supported task.“

Jedoch werden die heutigen UIs über Maus und Tastatur bedient, was eine unnatürliche und komplizierte Weise ist. Es wäre natürlicher und einfacher, wenn die Objekte direkt manipuliert werden könnten (vgl. [Min95] [HBO05] [US03]). Für den Benutzer ist eine physikalische Kontrolle durch das haptische Feedback besser, als eine virtuelle Kontrolle, da es allgemein schwieriger ist, mit virtuellen Objekten zu interagieren und das haptische Feedback hier fehlt (vgl. [Min95])

Tangible User Interfaces setzten dieses Prinzip um. Ishii et al. „prägen (in [IU97]) den Begriff "Tangible Bits", um den Ansatz zu beschreiben, wie die Lücke zwischen einer virtuellen und der physikalischen Umgebung geschlossen werden kann, indem digitale Informationen (Bits) fassbar gemacht werden“ [T10, S. 98]. TUI definieren sie in [IU97] so:

„To make computing truly ubiquitous and invisible, we seek to establish a new type of HCI (Anm. d. Verf.: Human Computer Interaction) that we call "Tangible User Interfaces"(TUIs). TUIs will augment the real physical world by coupling digital information to everyday physical objects and environments.“

In [KBP⁺02] wird TUI nicht nur als Verknüpfung von digitalen Informationen an reale Gegenstände (Props) definiert, sondern auch diese Props als Input- und Output-Gerät für ein UI genutzt.

2.2.2 Arten

Es gibt zwei verschiedene Arten von TUI:

Time-multiplexed UIs bei denen ein Prop mehrere verschiedene Funktionen zu verschiedenen Zeitpunkten kontrolliert. Die Maussteuerung der typischen WIMP⁷-GUIs ist ein Beispiel dieses UI-Designs (vgl. [BKP08]).

Space-multiplexed UIs bei denen jede Funktion ein einzelnes Prop seinen eigenen Platz belegt. Dieses UI-Design ist schneller zu bedienen, als time-multiplexed UIs, da der Nutzer nicht extra dem Eingabegerät eine Funktion zuweisen muss, deshalb werden sie auch

⁷Window, Icons, Menus, Pointer



Abbildung 15: Surfacescapes (Quelle: <http://techcrunch.com/2010/02/10/hands-on-dd-on-the-microsoft-surface/> - Stand: 14.10.2011)

häufig zum interagieren mit physikalischen Gegenständen eingesetzt (vgl.[BKP08]).

2.2.3 Vor- und Nachteile

Die Vorteile der TUIs sind, dass die Probs eine immer gleichbleibende physikalische Eigenschaften haben (vgl. [KBP⁺02]) und dass die Bedienung sehr intuitiv ist (vgl. [BKP08]).

Die gleichbleibenden physikalischen Eigenschaft der Probs sind aber auch gleichzeitig ein Nachteil. Denn die digitale Eigenschaften, können nicht an den Probs abgelesen werden, so, dass sich eine Änderung dieser digitalen Eigenschaft auch nicht an den Probs bemerkbar macht, eine Möglichkeit dies zu lösen, ist es den Task- und Display-Space zu trennen. So, dass man nicht direkt auf einem Display oder anderem Anzeigegerät arbeitet, sondern die Informationen auf einem Display angezeigt erhält und die Interaktionen an einer anderen Stelle ausführt, was jedoch oft umständlich ist (vgl. [KBP⁺02] [BKP08]).

2.2.4 Beispiel

2.2.4.1 Surfacescapes

Das Spiel Surfacescapes (siehe Abbildung 15) wurde im Jahr 2010 von verschiedenen Studenten des Carnegie Mellon University's Entertainment Technology Center als Proof of Concept für Microsoft Surface entwickelt. Microsoft Surface ist ein Tisch, in dem ein Display verbaut ist. Das Display ist berührungsempfindlich und kann auch Marker erkennen, wenn diese

auf das Display gelegt werden. Die kommende Version Microsoft Surface 2.0 nutzt den Samsung SUR40, der durch das PixelSystem genannte System 50 simultane Berührungseingaben auf dem 40 Zoll großen Display erkennt (vgl. [WWWx]). Surfacescapes basiert auf den Regeln des Pen & Paper Spiels Dungeons & Dragons. Der Spieler kann seine realen Spielfiguren auf dem Spielfeld steuern und es gibt verschiedene Eingabegegenstände, die verschiedene Menüs an den Gegenständen erscheinen lassen. Sie werden durch Marker, die auf der Unterseite der Gegenstände angebracht sind erkannt und getrackt. Das Spiel läuft ansonsten ganz genau wie sein Pen & Paper Vorbild ab, nur, dass es einen einfacheren Einstieg ermöglicht, da der Computer die kompletten Berechnungen übernimmt, dafür sorgt, dass die Regeln eingehalten werden und dem Spieler genau anzeigt wie er zum Beispiel seine Figur bewegen darf (vgl. [WWWy]).

2.3 Tangible Augmented Reality

Im Folgenden werden die Ziele, Designprinzipien und die Beispielanwendung Studierstube gezeigt.

2.3.1 Ziele

Tangible Augmented Reality (TAR) löst die Probleme und Einschränkungen von TUI. TAR ist das TUI kombiniert mit AR, so dass die Probs zu Markern werden und so mit virtuellen Bildern, Gegenständen oder anderen Informationen überlappt werden können. Hierdurch lassen sich die virtuellen Informationen und Eigenschaften direkt an den Probs anzeigen und eine Veränderung kann auch sichtbar gemacht werden, der Task- und Display-Space wird dabei nicht auseinandergelöst (vgl. [KBP⁺02]). Es für den Nutzer nicht nötig, übliche 3D Interaktionstechniken zu lernen, da die Interaktionen denen im realen Leben gleich sind (vgl. [Min95]). Die Nutzung von AR-Hardware macht es auch möglich, verschiedene Informationen verschiedenen Leuten zugänglich zu machen (Public View und Private View), so dass jeder Benutzer verschiedene Informationen aus verschiedenen Blickwinkeln sehen kann (vgl. [KBP⁺02] [BKP08]).

2.3.2 Designprinzipien

Die Designprinzipien von TAR sind denen aus der TUI entnommen (vgl. [KBP⁺02]):

- Es sollen physische Steuergeräte zum Manipulieren der virtuellen Daten genutzt werden.
- Die Eigenschaften (Affordanz) des Probs sollte zu den Anforderungen für die Aufgaben passen.

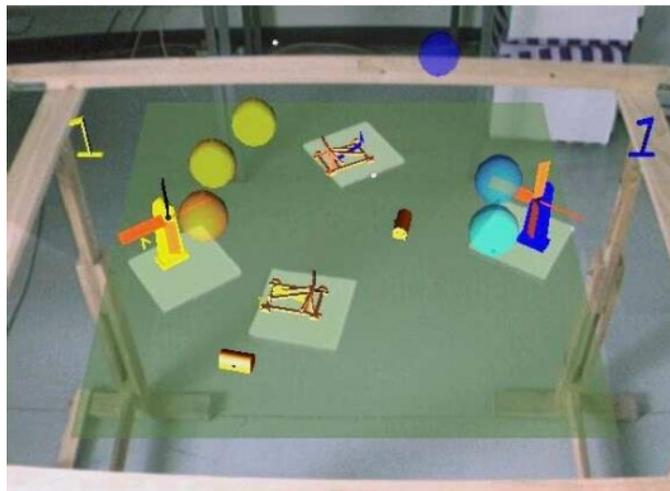


Abbildung 16: Studierstube (Quelle: [US03])

- Es sollte möglich sein mehrere Probs aufeinmal zum Steuern zu nutzen.
- Es sollen physikalische Interaktionstechniken unterstützt werden, wie räumliche Anordnung und Nähe der Probs zueinander.
- Die Form der Probs sollte eine räumliche Manipulation fördern und unterstützen.
- Es sollen Interaktionen mit mehreren Händen unterstützt werden.
- Eine Zusammenarbeit von Nutzern sollte möglich sein.

2.3.3 Beispiel

2.3.3.1 Studierstube

Auf Abbildung 16 ist die Studierstube in Aktion zu sehen. Es wurde im Jahr 2000 von Dieter Schmalsteig an der Technischen Uni Wien entwickelt und im Jahr 2002 von Christiane Ulbricht erweitert. Das Spiel findet auf einem Glastisch statt, zwischen dessen Tischbeinen eine Webcam angebracht ist. Sie trackt die Marker, die mit ihrem Logo nach unten auf den Tisch gelegt werden. Der Nutzer trägt während des Spielens ein see-trough HMD und kann die Marker bewegen. Bei Studierstube spielen zwei Spieler gegeneinander. Sie haben jeweils eine bestimmte Anzahl an Luftballons, ein Katapult, welches sie steuern können, und eine Windmühle, die sie verschieben können, um so die eigenen Luftballons zu verschieben. Ziel des Spieles ist es mit einem Katapult die Ballons des Gegners zu zerstören, bis er keine mehr hat. Wer dies schafft, hat gewonnen. Außerdem befinden

sich Schatztruhen auf dem Spielfeld, die die Flugeigenschaften der Katapultgeschosse verbessern. Es gibt zwei verschiedene Spiemodi. Zum einen eine Actionvariante, bei der die Spieler ihr Katapult und ihre Windmühle direkt bewegen dürfen und zum anderen eine Strategievariante, bei der jeder Spieler abwechselnd einen seiner Gegenstände bewegen darf (vgl. [US03]).

3 Konzept

Im Folgenden werden die wichtigsten Inspirationsquellen gezeigt. Danach werden die ersten Ideen zum Spiel erläutert. Darauf folgt das konkrete Spieldesign, welches dann umgesetzt wurde.

3.1 Inspirationsquellen

3.1.1 Tower Defense

Tower Defense ist eine Strategiespiele-Gattung, bei der durch das Bauen von Türmen, die Geschosse verschießen, Wellen von Gegnern, Creeps genannt, aufgehalten werden müssen, so dass diese nicht eine Basis erreichen. Es gibt dabei verschiedene Arten. Bei einer Art des Tower Defense gehen die Creeps ein festes Labyrinth entlang, nur an dessen Rand können die Türme aufgestellt werden, so dass die Strecke der Gegner nicht blockierbar ist. Bei der anderen Art ist das Spielfeld frei und kann verbaut werden. Hier ist es nötig, die Türme so zu bauen, dass die Gegner einen möglichst langen Weg gehen, dies wird Mazing genannt. Hier ist man in der Lage die Türme so aufzustellen, dass der Weg zu der Basis versperrt ist. Dies kann dadurch verhindert werden, indem es erst gar nicht machbar ist, den Weg zu verbauen. Der Spieler bekommt eine Meldung oder ähnliches, dass dort nicht gebaut werden darf oder die Gegner können die im Weg stehenden Türme zerstören. Das Ziel von Tower Defense Spielen ist es, seine Basis vor den Creeps, die von einem oder mehreren Punkten aus starten, zu schützen und so potentiell viele Wellen zu beenden. Falls dies nicht geschafft wird und zu viele Creeps die Basis erreicht haben, verliert der Spieler. Für das Zerstören von Creeps und/oder für das Überleben von Wellen bekommt der Spieler Rohstoffe, mit denen er neue Türme bauen kann oder vorhandene Türme ausbessern kann. Meist gibt es verschiedene Arten von Creeps. Es gibt schnellere, widerstandsfähige, unsichtbare, fliegende und viele andere Arten von Creeps die alle verschiedene Eigenschaften haben. Es gibt daher auch meist verschiedene Arten von Türmen. Sie können die Creeps verlangsamen, haben eine größere oder geringe Feuerkraft oder Reichweite, sind besonderes stark gegen bestimmte Typen von Creeps, feuern nur auf fliegende Creeps oder vieles mehr (vgl. [ATAvL11] [GK08]).

Bereits im Spiel Rampart, das 1991 für den Atari erschien, musste man seine Burg durch das Bauen von Türmen und Mauern vor dem Feind schützen. Die ersten echten Tower-Defense Maps entstanden für das von Blizzard entwickelte Spiel, Starcraft, das 1998 erschien. Sie wurden mithilfe eines Editors erstellt und waren sehr beliebt. „Tower Defense etablierte sich in der Blizzard-Gemeinde“ [GK08]. Für das 2002 erschienene Warcraft 3, das ebenfalls von Blizzard ist, entstanden noch mehr Tower-Defense Maps, da hier der Editor noch viel mehr Möglichkeiten brachte, das Spiel zu verändern. Es entstand unter anderem auch die Karte Element TD, die das Vorbild für Flash Element TD, das erste Tower-Defense Browserspiel, welches 2007 erschien, war. Heute gibt es viele verschiedene Tower-Defense Spiele für viele verschiedene Plattformen (vgl. [GK08]).

3.1.2 ARhrrrr!

ARhrrrr! wurde von der Arbeitsgruppe Augmented Enviroments des Georgia Institute of Technology und SCAD Atlanta entwickelt. Es ist ein Prototyp für die Entwicklungshardware des NVIDIA Tegra 2 Prozessors. ARhrrrr! ist ein Tangible Augmented Reality Spiel, das Skittles⁸ als Spielsteine nutzt. Der Spieler sitzt in einem Helikopter „fliegt“ mit dem Handheld durch ein kleines Stadtgebiet, in dem Zombies umherlaufen. Die Zombies kann der Spieler abschießen, um sie zu eliminieren. Wenn der Spieler den Zombies zu nahe kommt, greifen sie ihn an und er verliert Lebenspunkte. Menschen, die von den Zombies angegriffen werden, wenn sie nah genug sind, erscheinen am Rand der Stadt oder kommen aus den Gebäuden. Sie müssen zu einem Portal, dass in der Mitte des Stadtgebiets ist gelangen. Der Spieler kann als Unterstützung Skittles einsetzen. Er kann sie auf den Straßen platzieren und mit einem Schuss aktivieren. Die Skittles haben je nach Farbe andere Funktionen. Orange Skittles explodieren sofort, grüne müssen erst aufgeladen werden und können dann mit einem zweiten Schuss aktiviert werden. Die Effekte der Skittles schaden nicht nur den Zombies, sondern auch den Menschen, so dass sie mit Bedacht eingesetzt werden müssen. Ziel des Spiels ist es, so viele Menschen wie möglich zu retten und alle Zombies zu eliminieren. Der Spieler bekommt Bonuspunkte, wenn er noch Munition übrig hat (vgl. [WWWd]).

3.2 Spielideen

Erste Ideen (siehe Abbildung 17) zeigten, dass das Spiel, damals noch AR Survival, dem Spiel ARhrrrr! sehr ähnlich wird. Wie bei ARhrrrr! schwebt der Spieler über dem Spielfeld und kann direkt auf die Gegner, Zombies,

⁸Kleine Fruchtgummies mit einem bunten Zuckertüberguss, in Linsenform, die verschiedene Geschmacksrichtungen haben

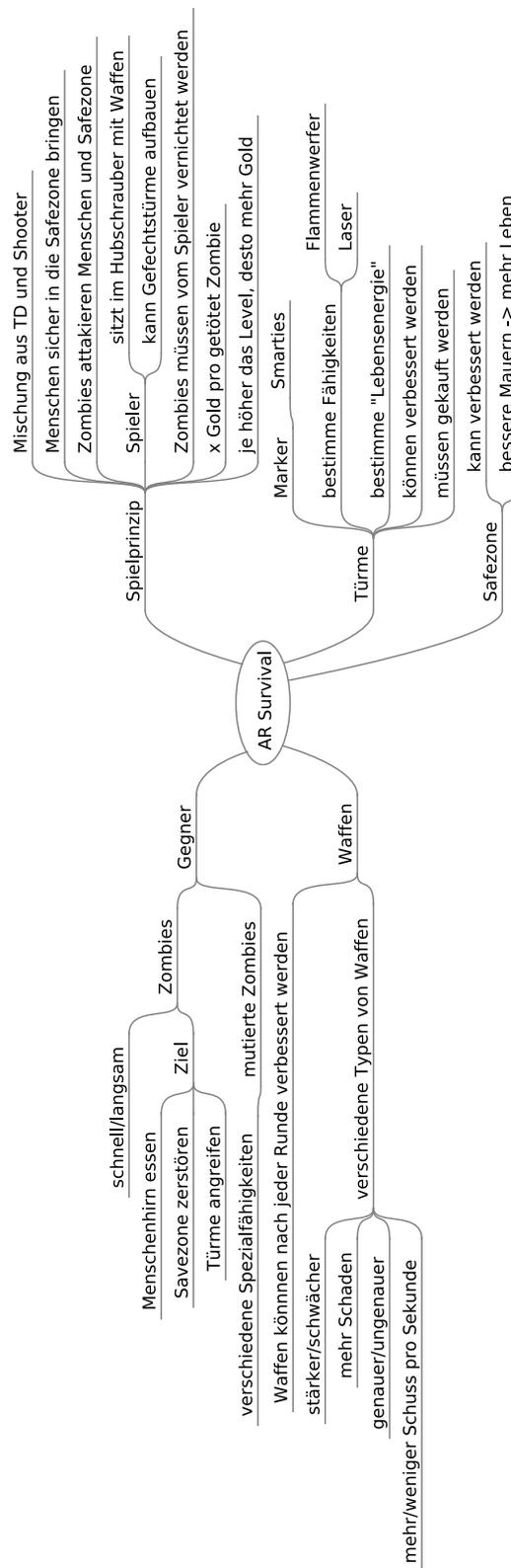


Abbildung 17: Erste Ideen für das Spiel

schießen, um so diese auszuschalten, was dem Spieler Punkte und Geld einbringt. Es gibt auch Menschen, die vor den Zombies beschützt werden müssen und eine Safezone erreichen müssen, was dem Spieler auch Geld und Punkte einbringt. Jedoch anders, als bei ARhrrrr! ist, dass die Spielsteine keine Bomben sind, sondern Türme, mit verschiedenen Effekten und Fähigkeiten, wie bei einem Tower-Defense. Außerdem gibt es verschiedene Arten von Gegnern, die verschiedene Eigenschaften haben, zum Beispiel sind sie schneller, stärker oder widerstandsfähiger gegen Schäden. Die Gegner haben auch verschiedene Angriffsziele. Entweder einen Menschen, einen Turm oder die Safezone. Nach jeder Runde, also wenn alle Gegner ausgeschaltet wurden, kann der Spieler seine Waffe, mit denen er auf die Zombies feuert, seine Türme und seine Safezone verbessern.

3.3 Spieldesign

Eine Übersicht der Spieldesign Leitlinien von Augmented Reality Spielen findet man in [WMBB08]:

Experiences First, Technology Second	Design the experience first then consider the relevant technologies.
Stick to the theme	Select technologies which are relevant to aspects such as time period and ambience
Do not stay digital	Use a combination of real and virtual elements such as paper maps.
Use the Real Environment	Make use of the real world location, beyond simply locating virtual elements in a real space.
Keep it simple	Design interaction schemes which are easy to understand and use
Create Sharable Experiences	Allow other people to take part in the experience, for example by using tablet PCs and the magic lens metaphor rather than a head mounted display.
Use Various Social Elements	Allow players to interact with virtual characters, other players, non-players and actors
Show Reality	Do not augment spaces so that the underlying real components are totally obscured
Turn weaknesses into strengths	Use potential technical problems as elements within the gaming experience
Do not just convert	Do not simply convert a game to augmented reality
Create meaningful content	The 3d content in the game should add something interesting to the game.
Choose your tracking wisely	Different tracking methods have different characteristics that should be taken into account.

Des Weiteren sollten auch die Designprinzipien von TAR (in Kapitel 2.3.2) einfließen. Beide Designleitlinien waren auch in Ghost and Chocolate Beans umzusetzen.

Nach reiflicher Überlegung wurden daher die Zombies durch Geister ersetzt und die Menschen durch Schokoladenlinsen, da Schokoladenlinsen als Spielsteine für die Türme genutzt werden sollten. Das Spiel wurde in Ghost and Chocolate Beans umbenannt und das Spieldesign überarbeitet. Das Spielprinzip mit genauen Erklärungen der einzelnen Spielobjekten werden im Folgenden aufgelistet:

3.3.1 Spielprinzip

3.3.1.1 Allgemein

Hauptziel des Spieldesign soll sein, dass der Spieler, wie bei ARhrrrr!, aktiv am Spiel teilnimmt, sich bewegen muss, und nicht einfach vor seinem Smartphone sitzt. Da aber eine gleichzeitige Bewegung um den Marker zum Schießen und das Verschieben der Probs für die Türme den Nutzer überfordern könnte oder eine Aktion deswegen nicht genutzt würde (Zum Beispiel: Türme werden auf das Spielfeld platziert und nicht mehr verschoben. Der Spieler nutzt nun nur noch die Möglichkeit des Schießens.), wurde das Schießen aus dem Spiel herausgenommen, so dass der Spieler mit einer Hand das Smartphone halten kann, während er mit der anderen, freien Hand die Probs zurechtlegen kann.

Des Weiteren soll so wenig wie möglich von virtuellen Objekten überlappt werden, jedoch alle Spielobjekte zu erkennen sein.

Ghost and Chocolate Beans ist nun eine Art Tower Defense, dass mit dem Smartphone und Spielsteinen gespielt wird. Der Spieler startet das Spiel mit drei Leben und keinem Geld und null Punkten. Sein Ziel ist es, alle Level, welche aus mehreren Wellen bestehen, zu schaffen und so möglichst viele Punkte zu erhalten. Eine Welle ist geschafft, wenn die Schokoladenslinsen, die die Schokoladenslinsenverpackung erreichen wollen, was Geld und Punkte bringt, und die Schokoladenslinsenverpackung vor den Geistern geschützt wurden. Dazu müssen die Geister aufgehalten werden, auch dies bringt Geld und Punkte ein. Dies wird erreicht, indem man Türme so platziert, dass sie die Geister ausschalten.

Das Spiel ist verloren, wenn die Schokoladenslinsenverpackung von den Geistern zerstört wurde und der Spieler keine Leben mehr hat.

3.3.1.2 Spieler

Der Spieler hat am Anfang des Spiels drei Leben und verfügt nicht über Geld und Punkte. Der Spieler kann die Türme platzieren. Außerdem kann der Spieler zwischen jeder Runde seine Türme für Geld verbessern.

3.3.1.3 Spielfeld

Abbildung 18 zeigt ein Schema des Aufbaus des Spielfeldes. In der Mitte befindet sich die Schokolinsensverpackung, das graue Rechteck, darum befindet sich ein Bereich, der rote Kreis, in dem kein Turm gebaut werden kann. Die grünen Punkte sind die Startpunkte für die Geister, die blauen Punkte die der Schokoladenslinsen. Der AR-Marker für die Erkennung der Position im Raum soll als Spielfeld dienen. Er soll nicht überblendet werden mit einer Untergrundtextur.

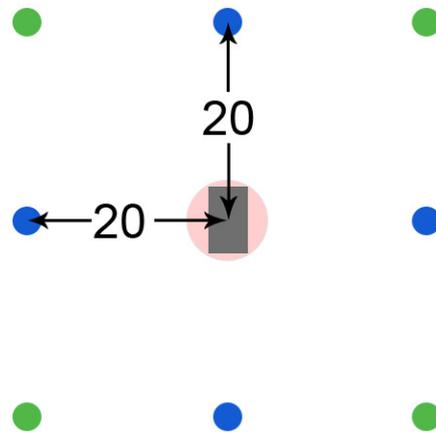


Abbildung 18: Spielfeld von Ghost and Chocolate Beans

3.3.1.4 Geister

Die Geister sind die Gegner des Spiels. Sie greifen primär die Packung an, wenn sie jedoch mehr als fünf Einheiten von der Schokoladenlinsenpackung entfernt sind, jagen sie die Schokolinsen, wenn diese im einen Umkreis von 12 Einheiten sind. Wenn die Geister nah genug an einem Ziel sind, führen sie alle 600 Millisekunden eine Attacke aus. Der Schaden, die Lebenspunkte und die Geschwindigkeit (in Spielfeldereinheiten pro Sekunde) steigert sich in jedem Level nach folgenden Formeln:

Schaden:	$4 + Level^2/160$
Lebenspunkte:	$75 + Level^2/4$
Geschwindigkeit:	$2.5 + Level^2/160$

Wenn ein Geist von einem Turm ausgeschaltet wird, bekommt der Spieler Geld und Punkte.

3.3.1.5 Schokoladenlinsen

Die Schokoladenlinsen müssen vom Spieler geschützt werden. Sie laufen von ihrem Startpunkt zur Packung. Wenn sie diese erreicht haben, bekommt der Spieler Punkte und Geld gutgeschrieben und sie verschwinden vom Spielfeld. Lebenspunkte und Geschwindigkeit sind bei ihnen feste Werte, die sich nicht durch Erweiterungen oder ein höheres Level steigern lassen. Sie haben folgende Werte:

Lebenspunkte:	75
Geschwindigkeit:	1,5

3.3.1.6 Schokoladenlinsenpackung

Die Schokoladenlinsenpackung ist das Endziel der Smarties und das primäre Angriffsziel der Geister. Die Packung hat 150 Lebenspunkte zum Start jeden Levels. Wenn sie zerstört wird, ist das Level verloren und der Spieler verliert ein Leben, beziehungsweise ist das Spiel zu Ende, wenn der Spieler keine Leben mehr hat. Im Umkreis von zwei Spielfeldeinheiten kann kein Turm um die Schokoladenlinsenpackung gebaut werden.

3.3.1.7 Türme

Türme sind die einzige Möglichkeit für den Spieler die Geister aufzuhalten. Sie können zwischen den Level für Geld verbessert werden, so dass sie im Level aufsteigen (Level 1 bis maximal Level 20). Es gibt drei Arten von Türmen:

- Rot: Dieser Turm schießt sehr schnell, bewirkt aber nur geringen Schaden, er beschießt immer nur ein Ziel gleichzeitig. Der Turm verschießt ein Geschoss, wenn sich ein Geist in einem bestimmten Radius zum Turm befindet. Das Geschoss des Turms fliegt parallel zum Spielfeld mit konstanter Geschwindigkeit. Wenn es einen Geist trifft, nimmt dieser Schaden. Die Eigenschaften des Turms werden mit folgenden Formeln je nach Level des Turms berechnet:

Schaden:	$7 + Level * 1/4$
Feuerrate:	$550 - Level/0,2$
Radius:	$8 + Level/10$

- Gelb: Dieser Turm verschießt einen Elektroblick, ähnlich einer Teslaspule, der nur eine geringe Reichweite hat, jedoch zu großem Schaden führt. Auch hier wird nur ein Ziel gleichzeitig angegriffen. Der Grundschaden des Turms ist zwar geringer als der des roten Turms, jedoch ist die Feuerrate viel höher. Die Eigenschaften des Turms werden mit folgenden Formeln je nach Level des Turms berechnet:

Schaden:	$4 + Level * 1/4$
Feuerrate:	$200 - Level/0,2$
Radius:	$5 + Level/10$

- Blau: Der blaue Turm fügt keinen Schaden zu, sondern verringert die Geschwindigkeit der Geister um 50%. Dieser Turm hat eine sehr große Reichweite. Seine Feuerrate ist dafür jedoch sehr gering. Er verschießt ein Geschoss, das entlang einer quadratischen Bezier-Kurve fliegt. Die Punkte der Kurve sind die Position des Turms beim Abschuss, die Hälfte des Abstands zwischen Geist und Turm in der Höhe, in der Mitte des Geistes und des Turms und als letzter Punkt

die Position des Geistes mit dem Höhenwert null beim Abschuss. Wenn das Geschoss sein Ziel erreicht hat, also das Spielfeld wieder berührt hat, wird die Geschwindigkeit aller Geister im Umkreis von 7,5 Spielfeldeinheiten für zwei Sekunden um 50% verringert. Dazu werden die entsprechenden Geister mit einem Eis-Effekt belegt. Die Eigenschaften des Turms werden mit folgenden Formeln je nach Level des Turms berechnet:

Feuerrate:	$3000 - Level/0,02$
Radius:	$10 + Level/4$

Die Probs, die keine Schokoladenlinsen mehr sind, sondern Spielteine (siehe Abbildung 26 und 27), Diskussion der Probs unter 4.5.3, entsprechen der Farbe des Turms. Ein Turm soll dort erscheinen, wo der Prob liegt. Insgesamt gibt es von jeder Turmart nur einen Prob, so dass es auf dem Spielfeld nur maximal drei Türme geben kann. Mazing ist mit den Türmen nicht möglich, da es zu wenige sind und wenn bei Ungenauigkeiten in der Detektion der Turm zwischen zwei Punkten hin und her springt, könnte ein Geist genau bei diesem springenden Turm aufgehalten werden, da er immer dort ausweichen will, wo der Turm als nächstes steht. Außerdem sind Geister immateriell, so dass sie durch alle materiellen Gegenstände hindurch schweben können.

3.3.1.8 Level und Welle

Das Spiel besteht aus mehreren Level, die wiederum aus mehreren Wellen bestehen. Es wird immer mit dem ersten Level und der ersten Welle begonnen. In jeder Welle erscheinen eine bestimmte Anzahl von Geistern und Schokoladenlinsen zufällig an einem festgelegten Startpunkt am Spielrand. Eine Welle ist geschafft, wenn alle Geister ausgeschaltet wurden und sich keine Schokoladenlinsen mehr auf dem Spielfeld befinden.

3.3.2 Fazit

Die Designprinzipien von TAR wurde umgesetzt:

Die Spielsteine werden als physisches Steuergerät genutzt und mit ihnen lassen sich, durch räumliche Manipulation, die Position der virtuellen Türme im Spiel steuern. Die Eigenschaften der Probs passen zu ihrer Aufgabe. Dank ihrer Farbe ist es nicht nur leicht zu erkennen, welcher Prob zu welchem Turm gehört, sondern die Farben wurden unter anderem so ausgewählt, dass sie für möglichst viele Menschen nutzbar ist, da eine Rot/Grün-Sehschwäche wesentlich häufiger auftritt, als eine Gelb/Blau-Sehschwäche⁹. Eine Interaktion mit mehreren Händen gestaltet sich jedoch schwierig, da

⁹Weitere Diskussion für die Auswahl der Probs folgen in Kapitel 4.5.3



Abbildung 19: Marker des Spiels, mit möglichst vielen Features

der Spieler nur eine Hand frei hat, da mit der anderen das Smartphone gehalten wird. Eine Zusammenarbeit von Nutzern ist eigentlich auch nicht vorgesehen, da es ein Einzelspieler Spiel ist. Jedoch könnten mehrere Spieler die Probs bewegen, so dass auch die Interaktion mit mehreren Händen gegeben ist.

Die Augmented Reality Spieldesignprinzipien wurden zum großen Teil auch umgesetzt:

Indem ein Smartphone genutzt wird und so können mehrere Leute die Erfahrung teilen, indem nur die wichtigsten Spielobjekte angezeigt werden und nicht zum Beispiel der Untergrund mit einer Textur überlagert wird. Jedoch bringt der Marker (siehe Abbildung 19) keinen Mehrwert für das Spieldesign. Es wird zum Beispiel keine Karte oder ein Labyrinth gezeigt, da die Geister und Schokoladenlinsen keine festen Bahnen abgehen (vgl. [WWWV])¹⁰.

Das Hauptziel des Spieldesigns, dass der Spieler nicht einfach die Spielsteine platziert und dann dem Spiel zuschaut, wurde damit realisiert, dass es nur drei Türme gibt die verschiedene Stärken und Schwächen haben. Dadurch, dass nur zwei der drei Türme Schaden verrichten, können die Türme nicht so platziert werden, dass sie die Schokoladenlinsenverpackung mit ihren Radien abdecken. Da die Radien des roten und des gelben Turms klein sind und es mehrere Startpunkte für die Geister gibt, müssen diese Türme häufig an die optimale Position bewegt werden. Mit der turmfreien Zone um die Schokolinsenverpackung wird verhindert, dass die Türme in die Mitte, also in die Verpackung, gestellt werden und dort alle Geister erreichen könnten. Durch diese Maßnahmen wird das Bewegen der Spielsteine gefördert und gefordert.

¹⁰weitere Diskussion über den Marker unter Kapitel 4.2.2

4 Implementierung

Im Folgenden wird auf die Hardware und Software von Android eingegangen und deren Vor- und Nachteile aufgezeigt.

Des Weiteren ergeben sich aus dem Spielkonzept folgende verschiedene Komponenten für das Spiel:

- Tracking für Augmented Reality: Es ist wichtig zu wissen, wo sich der Spieler im Raum befindet.
- Spielstein-Detektierung: Die Position und Art der Spielsteine müssen vom System erkannt werden.
- Renderer: Die 3D Modelle der Spielobjekte müssen an ihrer Position gerendert werden.
- Spielelogik: Die Steuerung der Spielabläufe und Verarbeitung der anderen Komponenten.

Da es bereits für einige Komponenten passende Frameworks gibt, beziehungsweise es Frameworks gibt, mit denen diese Komponenten umgesetzt werden können, werden diese genutzt. Die genutzten und getesteten Frameworks für die verschiedenen Komponenten des Spiels werden im Folgenden auch erklärt und beurteilt.

4.1 Android

Android ist ein mobiles Betriebssystem, ähnlich iOS von Apple, das von Google entwickelt wurde. Die erste Version wurde im Herbst 2008 veröffentlicht. Mittlerweile gibt es Android in der Version 4 (vgl. [WWWF]).

4.1.1 Hardware

Für das Betriebssystem Android gibt es viel verschiedene Hardware. Es gibt Smartphones mit völlig verschiedenen Hardwarekomponenten und auch Tablets. Da jedoch Tablets zu groß und zu schwer sind um diese längere Zeit in einer Hand zu halten, fallen diese als Testgeräte weg.

Um ein Tracking für Augmented Reality, Bildverarbeitung für die Spielsteindetektierung, die Spielelogik und das Rendern der Spielszenen möglichst flüssig darzustellen, benötigt es genug Rechenleistung und der richtigen Hardware des Smartphones. Das Samsung Galaxy S2 GTI-9100 besitzt einen 1,2GHZ Dual Core-Prozessor, 1024MB Ram, eine Kamera mit Autofokus und LED-Licht und ein 4,27 Zoll großes Display, damit hat es ausreichend Rechenleistung und die nötige Hardwareausstattung für ein TAR-Spiel und eignet sich somit als Testgerät.

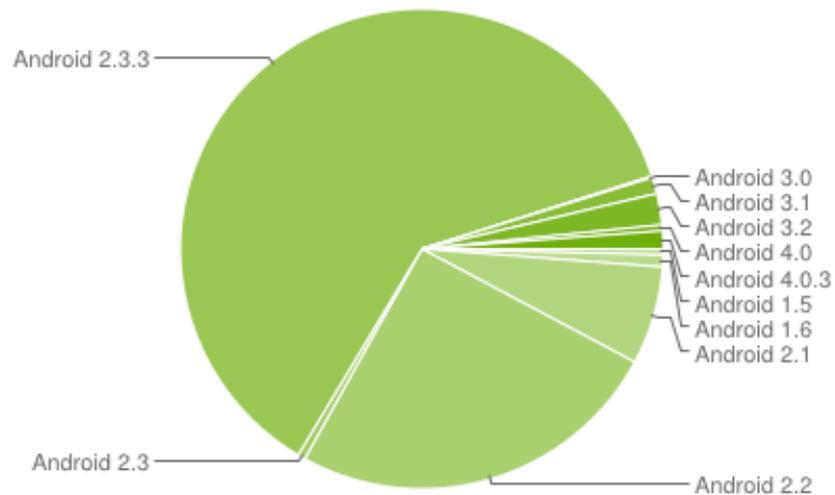


Abbildung 20: Verteilung der Android Versionen der letzten zwei Wochen vom 5. März 2012 (Quelle: [WWWr])

4.1.2 Software

Die Verbreitung aller Android Versionen ist unter [WWWr] einzusehen. Dort werden die Anteile der Android Versionen gezeigt, die in den letzten 14 Tagen auf den offiziellen App-Marktplatz von Android, Google Play, zugegriffen haben. Die Statistik wird alle 14 Tage aktualisiert. Die letzte Verteilung (siehe Abbildung: 20), die am 5. März 2012 veröffentlicht wurde, zeigt an, dass die Versionen 2.3.3-2.3.7 mit 61,5% den größten Anteil ausmacht. Die nächst größeren Anteil macht die Version 2.2 mit 25,3% aus. Insgesamt machen also die Versionen 2.2 bis 2.3.7 87,3% aus. Das Testgerät besitzt Android in der Version 2.3.4 und gehört damit zur der Gruppe, der am häufigst vertretenden Android Versionen.

Für die Entwicklung stellt Google ein SDK (Software Developing Kit) und ein NDK (Native Developing Kit) bereit. Außerdem gibt es ein Android Development Tools (ADT) Plugin für die Entwicklungsumgebung Eclipse. Mit dem SDK ist es möglich Apps in Java zu schreiben, sie werden dann in Dalvik, der virtuellen Maschine von Android, ausgeführt. Mit dem NDK kann C/C++ genutzt werden und so nativer Code geschrieben werden, der für verschiedene ARM Prozessoren kompiliert wird und als native Bibliothek zur Verfügung steht, dies kann zu einer Verbesserung der Performanz führen, jedoch erhöht es auch die Komplexität des Programms. Das SDK und das NDK können auch vermischt werden, da das NDK Java Native Interface (JNI) unterstützt und die die nativen Bibliotheken so im Java Code genutzt werden können.

4.2 Augmented Reality Framework

Für Android gibt es mittlerweile viele verschiedene AR-Frameworks. Viele sind quelloffen, einige nicht, es gibt kostenlose und kostenpflichtige Varianten. Für das Spiel wurden zwei kostenfreie AR-Frameworks getestet.

4.2.1 AndAR

AndAR ist unter [WWWb] erhältlich. Es basiert auf ARToolKit und wurde in Java realisiert. AndAR steht unter der GNU GPL v3 Lizenz, die von der Free Software Foundation entwickelt wurde. Dadurch ist AndAR frei verfügbar und besitzt einen offenen Quelltext, der modifiziert werden darf, außerdem muss mit AndAR entwickelte Software unter der gleichen Lizenz veröffentlicht werden¹¹. Die für das Spiel getestete Version, stammt aus der Revision 199 vom 15. Oktober 2010. Die Möglichkeit den Quelltext zu verändern ist ein großer Vorteil, denn so kann das Kamerabild, was zum Tracking des Marker genutzt wird, an der richtigen Stelle abgefangen werden, um für die Bildverarbeitung der Spielstein Detektion weitergereicht zu werden. Ein Nachteil ist, dass AndAR nur das Tracking von einfachen Markern, ein schwarzes Rechteck mit einem Symbol in der Mitte, die aus ARToolKit bekannt sind, unterstützt. Dies ist ein Problem, denn wenn der Marker nicht vollständig im Bild ist, kann der Marker nicht getrackt werden und so kann nicht bestimmt werden, wie sich die Kamera relativ zum Marker befindet. Dies hat zur Folge, dass die Szene aus einer falschen Kameraposition gerendert wird. Ein weiterer gravierender Nachteil ist, dass das Tracking nicht sehr stabil läuft, es kommt oft zu Abbrüchen oder die Richtung des Marker wird falsch bestimmt. Außerdem ist AndAR relativ langsam, es verbraucht viele Systemressourcen.

4.2.2 QCAR

Das Qualcomm Augmented Reality (QCAR) SDK (Seit Version 1.5: Vuforia Augmented Reality oder nur Vuforia) ist für Android und iOS verfügbar. Man kann es kostenlos nach einer Registrierung herunterladen unter [WWWc], jedoch ist der Quellcode nicht einsehbar, denn er liegt in vorkompilierten Bibliotheken. Jedoch gibt es viele Schnittstellen, die in verschiedenen Beispielen gezeigt und alle in einer API-Dokumentation beschrieben werden. Erstellte Software muss nicht quelloffen sein und kann auch kommerziell vertrieben werden. Die für das Spiel getestete Version ist 1.0.6. Der Nachteil von QCAR ist, dass der Quellcode nicht verändert werden kann und es anfangs den Anschein hatte, dass das Kamerabild nicht für die Spielsteindetektierung genutzt werden kann. Es stelle sich jedoch her-

¹¹Mehr unter: <http://www.gnu.org/licenses/gpl.html>

aus, dass das Kamerabild über eine Schnittstelle verfügbar ist ¹². Der Vorteil von QCAR ist, dass es mehrere Möglichkeiten des Trackings gibt. Es gibt 512 verschiedene Frame Markers, dies sind schwarze Rechtecke mit Pins als Binärcode zur Unterscheidung, und Image Targets, Bilder, die mit Hilfe einer Feature Detection analysiert werden. Die Frame Marker haben das gleiche Problem, wie bei AndAR, sie dürfen nicht verdeckt werden. Die Image Targets können selbst erstellt werden und können dann auf der Webseite von QCAR hochgeladen werden. Dort werden sie analysiert und bewertet, die Feature Detection Merkmale sind sichtbar und es gibt Tipps zur Verbesserung, falls der selbst erstellte Marker nicht optimal ist. Danach lassen sich die für QCAR benötigten Daten des Markers herunterladen und in QCAR einbinden, so dass der selbst erstellte Marker genutzt werden kann. Durch das Tracking mit Feature Detection ist es möglich, auch nur mit einem Ausschnitt des Markers die Position der Kamera relativ zum Marker zu bestimmen. Dies ist ein großer Vorteil, wenn man bei Ghost and Chocolate Beans die Spielsteine verschiebt und so Teile des Marker mit der Hand verdeckt. Das Tracking von QCAR läuft auch wesentlich performanter und stabiler, als bei AndAR.

Da QCAR schneller und stabiler läuft und es die Möglichkeit der Image Targets als Marker gibt, wurde QCAR in Ghost and Chocolate Beans eingesetzt.

4.3 Min3D

Min3D ist ein 3D Framework, es ist erhältlich unter [WWWn]. Es ist quelloffen und steht unter der MIT-Lizenz, der Quellcode kann daher unter anderem verändert und genutzt werden ¹³. Min3D arbeitet mit der OpenGL ES Version 1.0. Des Weiteren bietet das Framework die Möglichkeit sehr einfach verschiedene 3D Modelle der Formate Object, MD2 und 3DS zu laden. Mit Hilfe eines Szenographen können dann die Modelle in die Welt gesetzt werden und Transformationen, Skalierungen und Rotationen einfach durchgeführt werden.

Für das Spiel wurden verschiedene 3D Modelle mit dem kostenlosen Programm Wings3D erstellt, die dann also Object Dateien exportiert worden sind, um sie mit Min3D nutzen zu können.

4.4 OpenCV

OpenCV ist ein quelloffenes Framework zur Bildverarbeitung, das unter der BSD Lizenz ¹⁴ liegt. Es ist unter [WWWo] erhältlich. OpenCV bietet viele Algorithmen für Filter, Bildformatänderungen und so weiter. Es ist in

¹²Mehr zur Spielsteindetektierung unter 4.5.3

¹³Mehr unter: <http://www.opensource.org/licenses/mit-license.php>

¹⁴Mehr unter: <http://opensource.org/licenses/bsd-license.php>

der Version 2.3.1 für Android verfügbar. Es kann im SDK als Java Bibliothek oder im NDK als C++ Bibliothek eingebunden werden. Die Schnittstellen von OpenCV sind überall gleich. Mit diesem Framework, wird das Detektieren der Spielsteine umgesetzt.

4.5 Ghost and Chocolate Beans

Aus den zuvor beschriebenen Frameworks müssen nun die Komponenten entwickelt werden. Deren Umsetzung wird im folgenden Abschnitt beschrieben.

4.5.1 AR-Tracking

Die Einbindung von QCAR gestaltete sich relativ einfach. Die Daten für das Image Target und eine XML-Datei mit dem Namen der Datei des Image Targets und die Abmessungen des Markers liegen im selben Ordner. Sie werden von QCAR verarbeitet. Nach dem QCAR initialisiert ist und die Kamera startet, beginnt das Tracking. Bei erfolgreichem Bestimmen der Position liefert QCAR die Projection und Model View Matrix zurück. Diese müssen im NDK mit C++ verarbeitet werden. Bei Ghost and Chocolate Beans wurde es so umgesetzt, dass wenn ein Marker erkannt wird, die Matrizen gesetzt wird und danach die restlichen Objekte an ihre richtigen Position gerendert werden. Wenn also kein Marker erkannt wird, wird auch keine Szene gerendert, denn diese würde nicht in der richtigen Position erscheinen.

4.5.2 Spielelogik

4.5.2.1 Übersicht

Die Spielelogik läuft neben Marker und Spielstein Tracking ab. Hier wird organisiert, welchen Zustand das Spiel hat, wo sich welches Objekt befindet und was es macht.

Wenn das Spiel gestartet wird, werden verschiedene Sachen, wie Spieler, Geistermodelle, Schokoladenlinsenmodelle und so weiter initialisiert. Danach läuft eine Hauptschleife bis zum Ende durch. Abbildung 21 zeigt diese Hauptschleife. Als erstes wird geprüft ob das Spiel pausiert ist oder nicht, falls nicht, wird die Zeit, die zwischen dem letzten Frame und der aktuellen Zeit vergangen ist, berechnet, dies ist für die Bewegung der Geister, Schokolinsen und Geschosse der Türme wichtig. Wenn die Schokoladenlinsenverpackung keine Lebenspunkte mehr hat, verliert der Spieler ein Leben und das Hauptschleife wird beendet. Wenn die Lebenspunkte noch ausreichend sind, werden die Geister der Reihe nach verarbeitet. Es wird geprüft, ob sie noch genug Leben haben und falls ja, werden sie bewegt. Das Gleiche wird mit den Schokoladenlinsen gemacht, außerdem

wird noch bei ihnen geprüft, ob sie nah genug an der Packung sind, um so gerettet zu werden. Als Vorletztes wird bei jedem Geist geprüft, ob er nah genug an einer Schokoladenlinse oder der Packung ist, wenn ja, greift er dementsprechend an. Zum Schluss werden die Angriffe der Türme verarbeitet. Nun kann die Szene gerendert werden und die Schleife von vorn beginnen.

4.5.2.2 Menüs und Interface

Wenn die App gestartet wird, beginnt nicht sofort das Spiel, sondern es gibt verschiedene Menüpunkte. In [HBO05] werden folgende Punkte genannt, die das Smartphone-Interface von einem Desktop-Interface unterscheiden:

- Limited input options (no mouse/keyboard)
- Limited screen resolution
- Little graphics support
- Reduced processing power

Für Android muss jedoch kein Interface neu entwickelt werden. Es hat eigene Klassen für das Layout, das mit Hilfe von XML erstellt wird.

Einen Aufbau und die Navigation zwischen den Menüs ist in Abbildung 22 zu sehen, dabei hat der physische Zurück-Knopf der Android Smartphones, den auch das Testgerät hat, die gleiche Wirkung wie die Zurück- oder Endekнопfe im Spiel.

Nach dem Start der App, gelangt der Benutzer in das erste Menü. Von hier aus kann er den Highscore einsehen, eine Hilfe aufrufen oder in das Zwischenlevelmenü kommen. Im Zwischenlevelmenü kann auf das Upgrade-menü zugegriffen werden oder das aktuelle Level, beziehungsweise das Spiel gestartet werden. Während des Spiels kann pausiert werden und im dann angezeigten Kontextmenü abgebrochen werden. Das Menü, das nach dem Level angezeigt wird, ist abhängig davon, ob das Spiel abgebrochen wurde oder das Level geschafft wurde. Hier ist dann noch zu unterscheiden, ob es das letzte Level war oder ob noch eines folgt, ob das Level nicht geschafft wurde. Dort ist es dann zu unterscheiden, ob der Spieler noch genug Leben übrig hat oder nicht.

4.5.3 Spielstein Detektierung

Da es für eine Proberkennung kein eigenes Framework gibt, was dies automatisch ausführt, musste das Problem selbstständig gelöst werden. Im folgenden Abschnitt werden die Probleme und deren Lösungen erläutert.

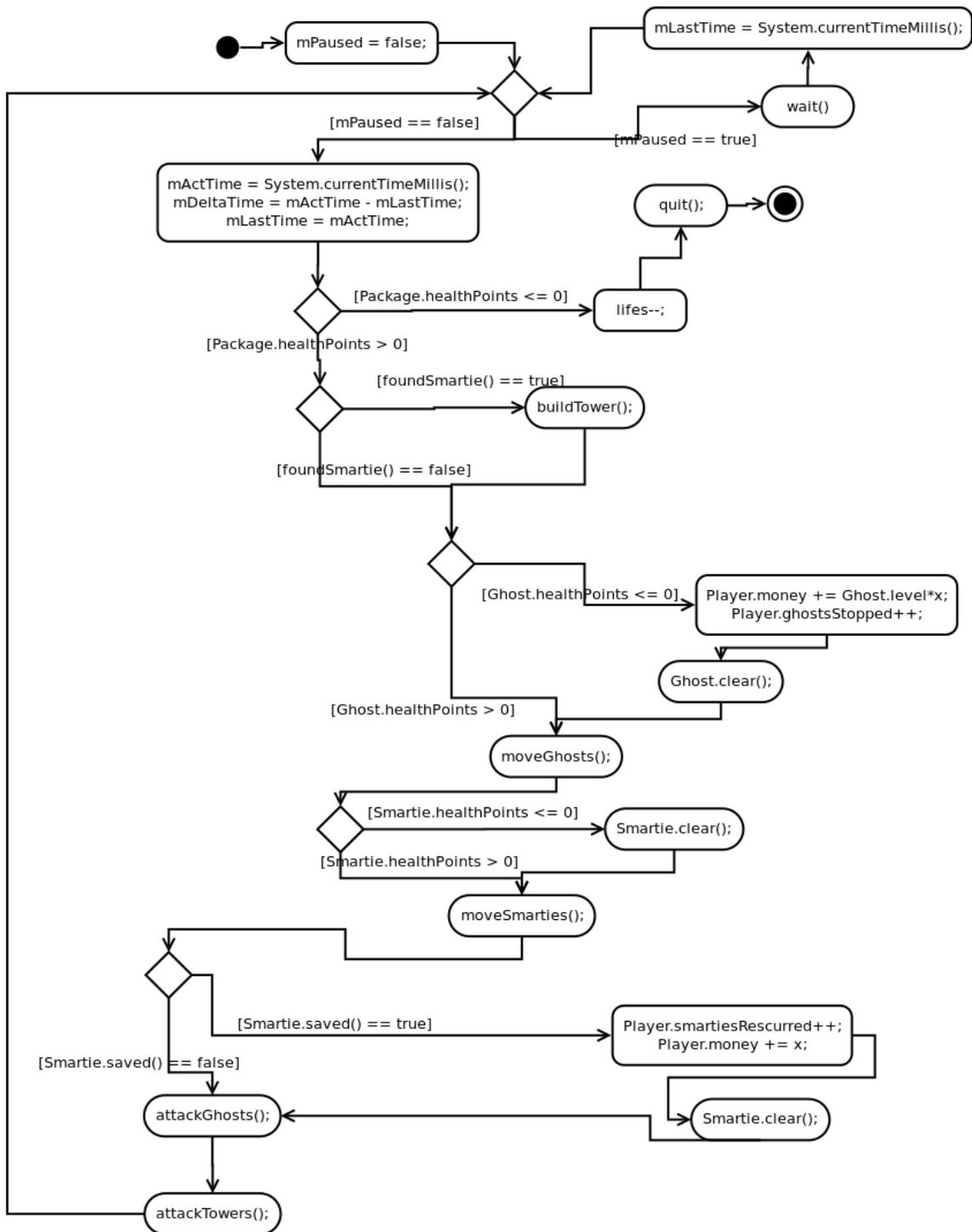


Abbildung 21: Ablauf der Hauptspielroutine

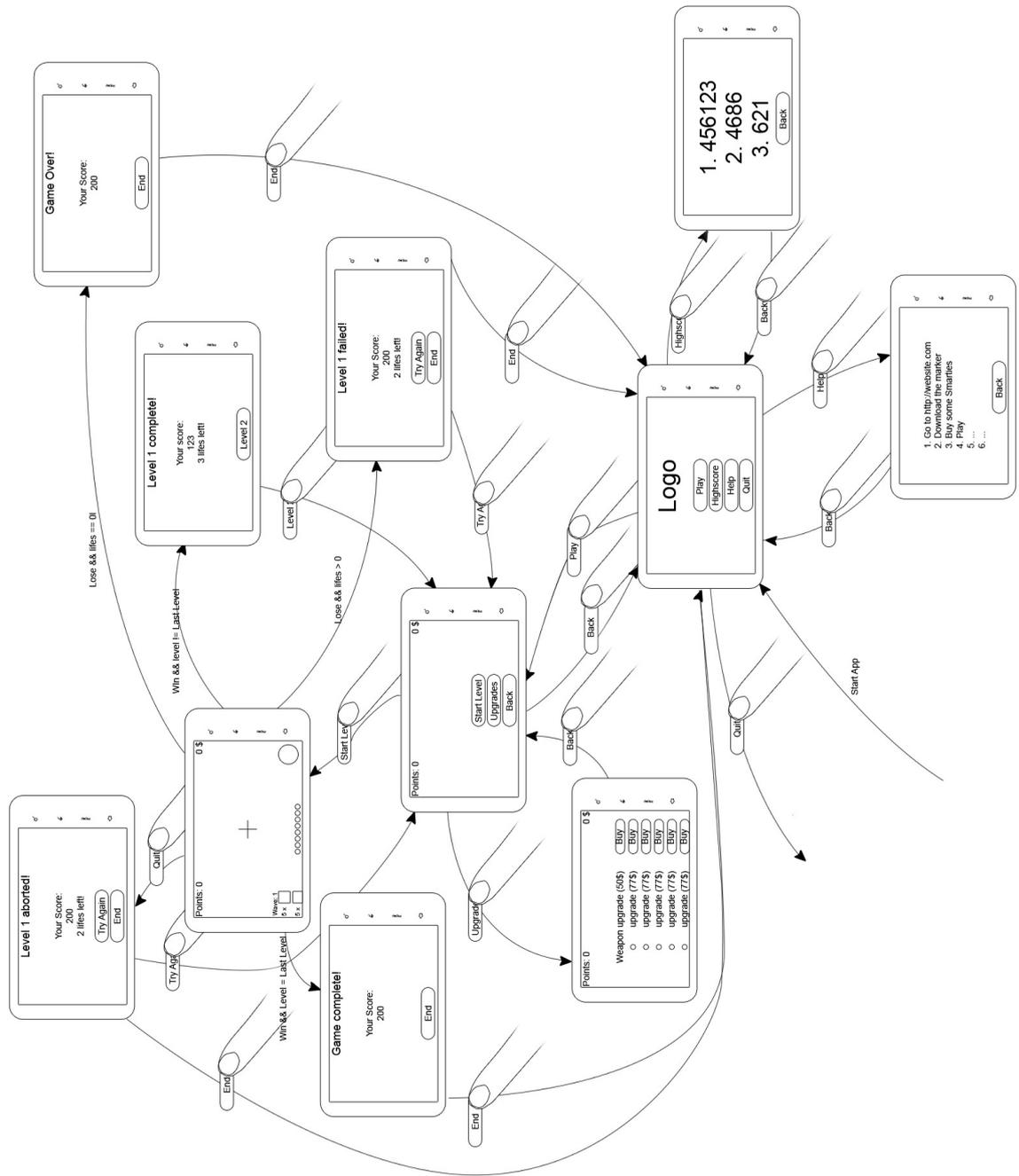


Abbildung 22: Menüs und Navigation der App

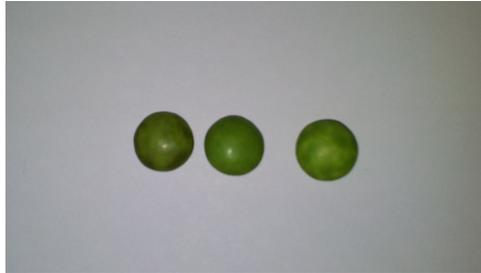


Abbildung 23: Unterschiedliche Farben



Abbildung 24: Unterschiedliche Formen



Abbildung 25: Ähnlichkeit der Farben

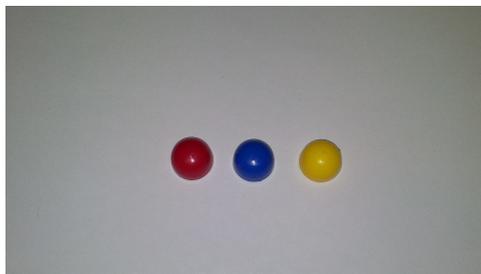


Abbildung 26: Die neuen Spielsteine von oben



Abbildung 27: Die neuen Spielsteine von der Seite

4.5.3.1 Problem

Das Problem der Spielsteindetektierung ist, dass nur die richtigen Spielsteine erkannt werden sollen und die Erkennung zuverlässig sein muss, aber auch schnell genug. Daher ist auch die richtige Auswahl der Spielsteine entscheidend. Anfangs waren Schokoladenlinsen als Spielsteine gedacht. Der große Vorteil an den Schokolinsen ist, dass diese sehr weit verbreitet sind, so sind sie in fast jedem Supermarkt erhältlich. Dies würde es einem Spieler ermöglichen, ohne großen Aufwand das Spiel mit den passenden Spielsteinen zu spielen. Jedoch haben Schokoladenlinsen einige Nachteile, wie Abbildung 23 bis 25 zeigen. Die Farbe der Schokoladenlinsen ist oft nicht gleichmäßig, es gibt Stellen die viel dunkler oder heller sind. Die Form ist auch nicht immer perfekt kreisförmig. Zudem gibt es Farben, die sich bei ungünstigen Lichtverhältnissen zu ähnlich sind.

Deshalb wurden die Spielsteine aus einem Steckspiel für Kinder entnommen. Die Pins der Spielsteine wurden mit einer Zange entfernt, so dass diese nun auf dem Tisch stehen konnten. Die Farbe der Spielsteine wurde aus einem Grund wegen der relativ häufig verbreiteten Rot/Grün-Schwäche, wie bereits in 3.3.2 erwähnt, gewählt. Ein anderer Grund ist die Farbe der Spielsteine unter verschiedenen Lichtverhältnissen.

Da die Spielsteine nur durch ihre Farbe zu unterscheiden sind, kann von einer Farbe auch nur jeweils ein Spielstein genutzt werden. Das System kann bei mehreren Probs der gleichen Farbe nicht zwischen Verschieben und Entfernen unterscheiden, da nicht immer das komplette Spielfeld im Blickfeld der Kamera ist. Wenn also ein Spielstein verschoben oder weggenommen wird und die Kamera dies nicht im Blickfeld hat, ist dies auch nicht zu verarbeiten. Dies könnte durch eine zweite Kamera, die das komplette Spielfeld erfasst, realisiert werden. Jedoch sollte das Spiel möglichst einfach nur mit einem Smartphone, Probs und dem Spielfeld als Marker gespielt werden können und nicht einen komplizierten Hardwareaufbau benötigen.

4.5.3.2 Vorgehen

Es gab mehrere Ideen zum Erkennen der Spielsteine.

Die erste Idee war es mit Hilfe der Houghtransformation für Kreise, die bereits in OpenCV integriert ist, alle kreisförmigen Objekte zu finden und dann den Mittelwert der Farbe des Objekts zu bestimmen. Wenn dieser Farbwert den Vorgaben entspricht, ist das Objekt der Spielstein in der jeweiligen Farbe. Das Problem mit dieser Methode ist, dass je nach Parametereinstellung sehr viele kreisförmige Objekte gefunden werden, so dass von sehr vielen Kreisen der Mittelwert der Farbe bestimmt werden muss, was die Detektierung langsam und uneffizient macht. Die Parameter dürfen aber nicht nur auf einen optimalen Wert gesetzt werden, da der Abstand zu den Spielsteinen oft schwankt, so dass keine feste Größe des Radius gewählt werden darf. Außerdem müssen die Spielsteine aus verschiedenen Winkeln erkannt werden, da sie nicht immer optimal kreisförmig sind (siehe Abbildung 27), muss dies auch berücksichtigt werden.

Eine weitere Idee war es, das Kamerabild mit dem jeweiligen Schwellwert für den Farbbereich des jeweiligen Spielsteins zu segmentieren. So entstehen drei Binärbilder, die dann weiterverarbeitet werden können. Danach wird ein Flächenschwerpunkt bestimmt nach dem Algorithmus aus [Gei07] für die Bestimmung eines Reflexpunktes im Auge. Die Methode läuft schnell, jedoch das größte Problem ist, dass immer ein Schwerpunkt bestimmt wird, so dass, auch einzelne Pixel oder andere Objekte, wie Teile einer Hand, die im Schwellwertbereich liegen, mitberechnet werden. Auch wenn kein Spielstein auf dem Spielfeld liegt, wird so der Spielstein falsch gesetzt.

Schlussendlich wurde eine weitere Idee getestet. Bei diesem Algorithmus werden aus dem Kamerabild wieder drei Binärbilder durch Segmentierung mit den Schwellwerten für den Farbbereich des jeweiligen Spielsteins erstellt. Auf das jeweilige Binärbild wird dann die Houghtransformation für Kreise angewandt. Als Ergebnis stehen die Positionen der Kreise zur Verfügung. Diese Methode ist im Vergleich am zuverlässigsten, denn es werden keine falschen Spielsteine detektiert, weil alle kreisförmigen Objekte, die nicht dem Farbschwellwert entsprechen sofort ignoriert werden und erst dann nach kreisförmigen Objekten gesucht wird. So muss der Spieler nicht fürchten, dass er mit seiner Hand die Marker verschiebt. Dieser Algorithmus wurde dann im System umgesetzt.

4.5.3.3 Fazit der Spielstein Detektierung

Der verwendete Algorithmus ist zwar langsamer als die Spielstein Detektierung mit dem Flächenschwerpunkt, jedoch läuft die Detektierung in einem eigenen Thread, so dass der Spielfluss nicht stark eingeschränkt wird. Die Spielsteindetektierung läuft 20 mal in der Sekunde, während das Spiel mit, noch gut spielbaren, 20 bis 30 Bildern in der Sekunde angezeigt wird. Da auch die Erkennung der Spielsteine hier viel besser ist, ist dieser Algorithmus den anderen vorzuziehen. Jedoch gibt es bei der Detektierung auch

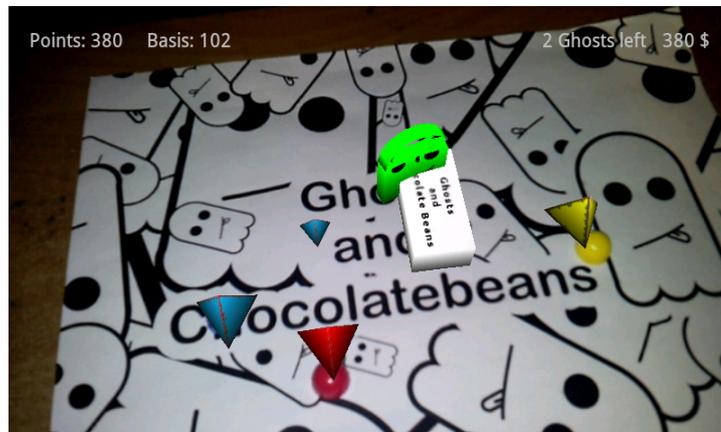


Abbildung 28: Ghost and Chocolate Beans in Aktion: Die Packung wird von zwei Geistern angegriffen

kleine Aussetzer, wenn der Spieler zu nah oder zu weit weg vom Spielstein ist, den Spielstein aus einem ungünstigen Winkeln betrachtet oder die Lichtverhältnisse nicht optimal sind.

Die Lichtverhältnisse sind jedoch von entscheidender Bedeutung. Da sich bei verschiedenen Lichtverhältnissen die Farbe der Spielsteine stark ändern kann, muss das Spiel bei möglichst konstanten Lichtverhältnissen gespielt werden. Um dies zu realisieren, muss in einem möglichst abgedunkelten Raum gespielt werden. Zudem aktiviert sich dauerhaft das LED-Licht der Kamera, wenn das Spiel startet. Dies macht das Spiel mobiler, da man nicht von einer fest installierten Lichtquelle abhängig ist.

OpenCV hat die Realisierung des Algorithmus sehr vereinfacht, da die Methoden zu Bildung eines Binärbildes mit Hilfe von Segmentierung mit einem Schwellwert und die Houghtransformation für Kreise schon implementiert sind. Da das AR Framework QCAR das Kamerabild in verschiedenen Formaten zur Verfügung stellt, ist es auch kein Problem, das passende Kamerabild in die Bildklassen von OpenCV zu laden und so mit den Algorithmen, die in OpenCV zur Verfügung stehen, zu verarbeiten.

4.6 Fazit der Implementierung

Das Tracking des Markers und das Rendern der Szene waren leicht umzusetzen und sie arbeiten auch sehr gut und flüssig zusammen. Das größte Problem ist die Spielstein-Detektierung. Denn wenn diese nicht zuverlässig funktioniert, ist Ghost and Chocolate Beans nicht spielbar und dies könnte große Enttäuschung bei den Spielern auslösen. Die Spielegrafik und die Modelle sind mangels Erfahrung und Zeit nicht sehr ästhetisch (siehe Abbildung 28), sollten aber für die Nutzertest reichen. Das Spielkonzept wurde oft überarbeitet, um es optimal für TAR nutzbar zu machen. Falsche Über-

legungen und Verbesserungen werden die Nutzertests zeigen.

5 Evaluation des Spiels

Um zu überprüfen, ob die Überlegungen richtig waren und die Umsetzung von Ghost and Chocolate Beans erfolgreich war, muss das Spiel von Probanden evaluiert werden. Dazu wird es mittels des Flow-Erlebnisses bewertet.

Im Folgenden wird daher, das Flow-Erlebnis, das Vorgehen der Evaluation von Ghost and Chocolate Beans, die Ergebnisse der Evaluation und ein Vergleich mit anderen Smartphone Spielen mit abschließenden Fazit beschrieben.

5.1 Flow-Erlebnis

Der Begriff Flow wurde von Mihaly Csikszentmihalyi während seiner Forschung über intrinsischen Motivation geprägt und in [Csi85] beschrieben. „Gemeint ist damit das reflexionsfreie, gänzliche Aufgehen in einer glatt laufenden Tätigkeit, die man trotz hoher Beanspruchung noch unter Kontrolle hat“ ([RV03], S. 3). Csikszentmihalyi schrieb, dass bei allen Tätigkeiten ein Flow-Zustand erreicht werden kann, besonders aber unter anderem bei Spielen (vgl. [Csi85]). Daher sind „[d]ie Flow-Erlebnisse der Spieler [...] ein Anzeichen für ein gutes Spieldesign“ ([B08], S. 22). Um diesen Zustand zu messen, gibt es verschiedene Möglichkeiten. In [B08] wird unter anderem erläutert, dass man das Flow-Erleben mit dem Messen von Herzdaten und Hautwiderstand, Augenanalyse und Blickverfolgung oder EEG und MRT messen kann. Diese Messmethoden liefern gute Aussagen, haben jedoch auch Nachteile und sind sehr aufwendig. Daher werden Fragebögen für die Messung genutzt.

5.2 Vorgehen

Als erstes wurde den Probanden ein Text über das Spiel vorgelegt. Dieser erklärte in einer Kurzfassung das Spielprinzip und worauf während des Spielens zu achten ist.

Danach wurde ein Fragebogen von den Probanden ausgefüllt, der allgemeine Angaben, als auch ihre aktuelle Motivation erfragt. Die allgemeinen Angaben erfragen das Geschlecht, Alter, die Einstellung gegenüber Smartphone-Spielen und die Erfahrung mit Augmented Reality. Um die aktuelle Motivation in Lern- und Leistungssituationen zu messen, müssen nach [RV01] Misserfolgsbefürchtungen, Erfolgswahrscheinlichkeit, Interesse und Herausforderung erfragt werden. Dazu wurde ein Fragebogen aus



Abbildung 29: Versuchsaufbau



Abbildung 30: Proband spielt Ghost and Chocolate Beans

[Gr9] genommen und angepasst, der auf [RV01] basiert. Der ursprüngliche Fragebogen misst die aktuelle Motivation in Lern- und Leistungssituationen mit 18 Items. Im bearbeiteten Fragebogen von [Gr9] sind nur noch 8 Items, „[d]a die Motivation in Computerspielen erfasst werden soll, [daher] ist es sinnvoll, die Items, die sich auf die Lernleistung beziehen, bei der Erhebung nicht zu beachten“ ([Gr9], S.69). So wird im Fragebogen mit jeweils 4 Items die Herausforderung und das Interesse erfragt. Für die Items des Fragebogen gibt es jeweils 8 ankreuzmöglichkeiten von „trifft nicht zu“ bis „trifft zu“ und noch „kann ich nicht beantworten“.

Als nächstes spielten die Probanden Ghost and Chocolates Beans (siehe Abbildung 30). Der Aufbau des Markers und der Probs ist in Abbildung 29 zu sehen. Um den Flow zu messen wurde der Proband nach drei Minuten Spielzeit unterbrochen und sofort ein weiterer Fragebogen vorgelegt. Dieser Fragebogen wurde auch aus [Gr9] genommen und angepasst, er basiert auf [RV01] und erfasst den Flow, eine Einschätzung über das Spiel und Verbesserungsvorschläge. Die Fragen wurden zum Flow-Erleben stammen unverändert aus [RV01] und messen mit 16 Items den Flow. Hier gibt es wieder die Ankreuzmöglichkeiten von „trifft nicht zu“ bis „trifft zu“ und noch „kann ich nicht beantworten“. Abschließend wurde noch gefragt, ob der Proband solche Spieler öfters spielen würde und ob er denkt, dass solche Spiele eine Zukunft haben. Am Ende gab es noch die Möglichkeiten positive und negative Kritik und Verbesserungsvorschläge zu notieren. Die Fragebögen und die Kurzbeschreibung des Textes sind im Anhang zu finden.

5.3 Ergebnisse der Evaluation

Insgesamt neun Probanden machten den Nutzertest zu Ghost and Chocolate Beans. Im Durchschnitt waren sie 23,3 Jahre alt. Unter ihnen waren sechs männliche und drei weibliche Probanden (vgl. Tabelle 1).

Proband:	Geschlecht:	Alter:
1	m	32
2	m	23
3	m	21
4	m	21
5	w	21
6	m	22
7	w	22
8	w	22
9	m	23
Mittel:		23

Tabelle 1: Die Probandengruppe

Bis auf einen Probanden nutzten alle Probanden ihr Smartphone regelmäßig. Die meisten von ihnen finden Smartphone-Spiele allgemein gut, jedoch nur einige spielen häufig auf einem Smartphone (vgl. Tabelle 2).

Proband:	Regelmäßige Nutzung des Smartphones:	Allgemeine Einstellung zu Smartphone-Spielen:	Häufiges Spielen am Smartphone
1	7	2	1
2	6	4	4
3	4	7	1
4	5	7	6
5	7	4	7
6	1	1	1
7	5	5	3
8	5	4	2
9	6	7	6
Varianz:	3,36	4,78	5,78

Tabelle 2: Nutzung des Smartphones und Einstellung zu Smartphone-Spielen

Die Kenntnis von Augmented Reality und die Nutzung dessen war jedoch sehr eingeschränkt (vgl. Tabelle 3).

Proband:	Kenntnis von Augmented Reality	Nutzung von Augmented Reality
1	1	1
2	1	1
3	4	5
4	4	2
5	1	1
6	1	1
7	2	1
8	1	1
9	3	2
Varianz:	1,75	1,75

Tabelle 3: Kenntnis und Nutzung von Augmented Reality

Die Motivation der Probanden war sehr hoch. Es bestand bei allen Probanden sehr ein großes Interesse an dem Spiel und es wurde als Herausforderung gesehen (vgl. Tabelle 4).

Das erzeugte Flow-Erlebnis, das mit dem Fragebogen, der nach dem Spielen vorgelegt wurde, der Probanden war sehr niedrig, bei keinem der

Proband:	Interesse	Herausforderung
1	6	7
2	6,5	7
3	5,5	7
4	6	6,5
5	4,5	7
6	5,5	7
7	4,5	6,5
8	5,5	6,5
9	6,5	7
Varianz:	0,55	0,06

Tabelle 4: Motivation der Probanden: Interesse und Herausforderung

Probanden kam es zu einem maximal Wert von sieben im Durchschnitt lag der Wert bei drei (vgl. Tabelle 5).

Proband:	Flow
1	4
2	3
3	3
4	5
5	1
6	1
7	3
8	3
9	4
Varianz:	1,75

Tabelle 5: Flow-Werte der Probanden

Trotz der geringen Flow-Werte würden die meisten Probanden solche Spiele öfters spielen und denken, dass TAR Spiele eine Zukunft haben (vgl. Tabelle 6).

Aus dem letzten Teil des Fragebogens ging hervor, dass den Probanden die Kombination aus Smartphone und Spielbrett, das Design und der flüssige Ablauf gut gefiel. Kritik gab es für für die unklare Steuerung und Spielverlauf. Es wurde außerdem bemängelt, dass das Spiel keine Musik und Töne hat, und, dass das Spiel zu schwierig ist. Als Verbesserung wurde von den Probanden vorgeschlagen, dass das Spiel langsamer sein soll, dass es ein besseres Feedback für die Einheiten auf dem Spielfeld, die Erkennung der Spielsteine und die Erkennung der Markers gibt. Es wurde auch noch vorgeschlagen, dass es Musik und Töne geben soll und eine Erklärung des Spiels im Spiel.

Proband:	Würde TAR spielen	öfters Spiele	TAR Spiele haben eine Zukunft
1	5		7
2	6		6
3	7		6
4	6		7
5	1		4
6	1		4
7	3		6
8	4		6
9	6		7
Varianz:	5		1,36

Tabelle 6: Würden die Spieler öfters TAR Spiele spielen und Einschätzung über die Zukunft von TAR Spielen

5.4 Vergleich mit anderen Smartphonespielen

Der Vergleich mit anderen Smartphone-Spielen gestaltet sich schwierig, denn bisher stehen keine TAR-Spiele für Android Smartphones in Google Play zum Download bereit. Das in Kapitel 3.1.2 vorgestellte Spiel, ARhrrrr!, ist auch nur ein Prototyp, der noch nicht veröffentlicht wurde. Deshalb kann Ghost and Chocolate Beans nur mit anderen Augmented Reality Spielen für Smartphones und Tower Defense Smartphonespielen verglichen werden. Zum Vergleich wurde der Augmented Reality Shooter AR ZombieGate und das Tower Defense Spiel Robo Defense FREE genommen. Beide Spiele sind kostenlos über Google Play erhältlich.

5.4.1 Vergleich mit AR Zombie Gate

AR Zombie Gate wurde von Athena Team beim südkoreanischen Smartphone Hersteller Pantech entwickelt. Das Spiel wurde auch mit QCAR realisiert. Anders als üblich, muss der Marker nicht horizontal auf einen Tisch gelegt werden, sondern senkrecht, an zum Beispiel einer Wand, befestigt werden. Der Spieler sieht durch den Marker, wie durch ein Fenster, auf einen Friedhof auf dem Comic-Zombies versuchen, das Fenster zu erreichen und so dem Spieler Schaden zuzufügen. Der Spieler muss dann mit eine Pistole die Zombies aufhalten.

Im Vergleich zu Ghost and Chocolatebeans ist AR Zombie Gate viel einsteigerfreundlicher, da es am Anfang die Funktionen erklärt, zum Beispiel werden die UI-Elemente mit einem Text erklärt und dazu wird das passende UI-Element rot umrandet. Außerdem hat AR Zombie Gate ein besseres

Feedback, wenn der Marker nicht gefunden wird, wird dies signalisiert, bei Ghost and Chocolatebeans ist das Spielgeschehen dann einfach nicht sichtbar und es gibt keinen Hinweis, dass der Marker nicht im Blickfeld ist (vgl. [WWWc]).

5.4.2 Robo Defense FREE

Robo Defense FREE ist ein Tower Defense Spiel, das von Lupis Labs Software entwickelt wurde. Es ist ein klassisches Mazing-Tower Defense, bei dem am linken Rand des Spielfeldes die Gegner erscheinen und den rechten Spielfeldrand erreichen müssen. Es gibt, wie bei Ghost and Chocolate Beans, drei Typen von Türmen. Ein Turm, der schnellere Geschosse verschießt, einen Verlangsamungsturm und einen der schwerere Geschosse verschießt. Jeder Turm kann auch verbessert werden. Anders, als bei Ghost and Chocolate Beans ist, dass die erste Verbesserung ist eine Spezialisierung ist, so kann zum Beispiel der einfache Geschützturm zu einem Flugabwehrturm umgebaut werden. Ein weiterer Unterschied ist, dass es hier verschiedene Spielfelder gibt. In der kostenlosen Version nur zwei, in der Bezahlversion noch mehr, und, dass man in verschiedene Schwierigkeitsstufen spielen kann. Im Vergleich zu Ghost and Chocolate Beans ist das Spiel auch einsteigerfreundlicher, da vor dem Start eines Levels das Spielprinzip mit wenigen Worten erklärt wird (vgl. [WWWu]).

5.5 Fazit

Das Ergebnis der Evaluation und der Vergleich mit den zwei anderen Spielen zeigen, dass Ghost and Chocolate Beans nicht einsteigerfreundlich ist. Es fehlen Erklärungen zum Spielverlauf und der Steuerung. Dies zeigt sich an den Kommentaren der Probanden und an den Fragebogen zum Flow-Erleben. Item 8 „Ich weiß bei jedem Schritt, was ich zu tun habe“ bekam im Durchschnitt einen Wert von 1,88 und Item 9 „Ich habe das Gefühl, den Ablauf unter Kontrolle zu haben“ bekam im Durchschnitt einen Wert von 2,33. Ein Problem war sicherlich auch die sehr kurze Spielzeit. Viele Probanden meinten, dass sie erst eine Eingewöhnungsphase gebraucht hätten, da sie noch nie solch ein Spiel vorher gespielt hatten. Dies war auch abzusehen, da die meisten Probanden, laut Fragebogen, nichts über Augmented Reality wussten und es auch noch nie oder selten verwendet haben. Des Weiteren zeigt sich, dass das UI und die Modelle nicht gut umgesetzt wurden. Einigen Spielern war nicht klar, welches Modell die Geister und welches die Schokoladenlinsen sind. Es fehlte auch an Angaben über den Lebenspunktestand der Geister und der Schokoladenlinsenpackung. Es zeigte sich aber darüber hinaus, dass die Spieler ein Interesse an TAR Spielen haben und denken, dass diese Spiele gattung eine Zukunft haben wird. Ein weiterer Kritikpunkt war die Spielstein Detektierung. Viele Probanden merkten an,

dass die Spielsteine zu oft nicht an ihrer Position erkannt wurden und sie deshalb nicht wussten, was sie nun tun sollten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Überlegungen und die Umsetzung keinesfalls optimal sind und es einige Punkte gibt, die verbessert werden müssen. Jedoch muss auch der Nutzertest überdacht werden. Besonders die kurze Spielzeit müsste verlängert werden, um so die Probanden besser testen zu lassen.

6 Ausblick

Der Nutzertest zeigte, dass einiges bei Ghost and Chocolate Beans nicht optimal überlegt, ja, manches unberücksichtigt blieb. Um das Spiel einsteigerfreundlicher zu machen, könnte ein Tutorial-Level eingefügt werden. In diesem Level wird das Spiel Schritt für Schritt erklärt, so dass sich der Spieler mit dem ungewohnten Spielkonzept und Steuerung vertraut machen könnte. Damit ein erfahrener Spieler dieses Level nicht wieder jedesmal bei Spielbeginn von neuem starten muss, müsste es überspringbar sein. Um das Spiel abwechslungsreicher zu gestalten, könnten verschiedene Schwierigkeitsgrade und unterschiedliche Spielfelder zur Auswahl stehen. Die alternativen Spielfelder könnten zum Beispiel verschiedene Gegenstände beinhalten, die nicht passierbar sind und in denen keine Türme gebaut werden können. Die Startzonen der Geister und Schokoladenlinsen könnten sich im Spielverlauf ändern oder bestimmte Events könnten bei bestimmten Aktionen gestartet werden. Außerdem müssen die Modelle überarbeitet werden. Mit Animationen würde das Spiel besser aussehen. Die Modelle müssten nicht unbedingt Lebensbalken zu Erkennung der Lebenspunktstands bekommen. Wenn die Modelle nach bestimmten Intervallen ihr Aussehen verändern würden, könnte der Spieler auch sehen, wie viele Lebenspunkte der Geist, die Schokolinse oder die Packung haben. Die Funktion des Verlangsamungsturms ist auch zu überdenken, da er bisher keinen großen Nutzen hat. Hier wäre vielleicht ein Turm, der die Geister zu sich zieht, wie ein Magnet, oder ein Turm, der um sich herum einen Flächenschaden verrichtet sinnvoller.

TAR im Alltag wird in Zukunft wahrscheinlich an speziellen Bereichen genutzt, wie zum Beispiel Spiele oder im Tourismus. Es ist aber auch sehr gut vorstellbar, dass zum Beispiel Grafik- oder Musiksoftware, Planungssoftware für Architekten und Stadtplaner mit TAR besser nutzbar ist. Hingegen gibt es auch Aufgabenbereiche, die wahrscheinlich nie sinnvoll alleine mit TAR steuerbar sind, wie zum Beispiel Tabellenkalkulationsoftware.

Systeme wie Kinect und Playstation Eye zeigen, dass die klassischen Eingabegeräte bei Spielen auch schon jetzt ersetzt werden kann. Natürlich passt diese Steuerung nicht zu jedem Spiel, wie auch TAR passt nicht zu jedem Spielkonzept. Die immer weitere Verbreitung von AR zeigt, dass

immer mehr Menschen an solcher Software interessiert sind. Allgemein ist das Potential der TAR-Spiele sehr groß. Nicht nur für erfahrene Benutzer gibt es viele interessante Ideen und Möglichkeiten, sondern auch für Kinder, die zum Beispiel in besonderen Spielen mit verschiedenen Probs spielend lernen könnten. Das Problem ist jedoch, dass zu den, einfach über die App Markets bekommenden, Apps immer die passenden Spielsteine benötigt werden. Hier könnten die Brettspielverlage eine Chance sehen, indem sie ihre Brettspiele digitalisieren und mit passenden Probs verkaufen. Der größte Vorteil von TAR ist, dass nicht nur dem Spieler 3D Grafiken gezeigt werden, sondern er 3D Objekte im Raum intuitiv manipulieren kann. Da die mobilen Geräte immer leistungsfähiger werden und immer mehr Hardwarekomponenten haben, könnte es bald möglich sein, dass das Tracking von Probs sich immer einfacher realisieren lässt. So könnte es in naher Zukunft schon TAR-Spiele für die mobilen Plattformen geben.

7 Literaturverzeichnis

Literatur

- [AO97] R.T. Azuma and Others. A survey of augmented reality. *Presence-Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4):355–385, 1997.
- [ATAvL11] Phillipa Avery, Julian Togelius, Elvis Alistar, and R.P. van Leeuwen. Computational intelligence and tower defence games. In *Evolutionary Computation (CEC), 2011 IEEE Congress on*, pages 1084–1091. IEEE, June 2011.
- [BÖ8] Ralf Armin Böttcher. Flow in Computerspielen. Master’s thesis, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 2008.
- [BKP08] Mark Billinghurst, Hirokazu Kato, and Ivan Poupyrev. Tangible augmented reality. In *ACM SIGGRAPH ASIA 2008 courses*, volume 1, pages 1–10. ACM Press, 2008.
- [Csi85] Mihaly Csikszentmihalyi. *Das Flow-Erlebnis*. Klett-Cotta, 1985.
- [Gei07] Thorsten Geier. Gaze-tracking zur interaktion unter verwendung von low-cost-equipment. Master’s thesis, Universität Koblenz-Landau, Campus Koblenz, Fachbereich 4 Informatik, Institut für Computervisualistik, Koblenz, 2007.
- [GK08] Michael Graf and Sebastian Klix. Turm und Drang, 2008. http://www.gamestar.de/spiele/defense-grid-the-awakening/artikel/tower_defense_special,45565,2563244.html - Stand: 26.2.2012.
- [Gr9] Dominik Grüntjens. Vergleich gamebasierter Motivationskonzepte hinsichtlich ihrer Einsetzbarkeit in der Schulungssoftware für eine Industrieanlage. Master’s thesis, Universität Koblenz, 2009.
- [HBO05] Anders Henrysson, Mark Billinghurst, and Mark Ollila. Virtual object manipulation using a mobile phone. *Proceedings of the 2005 international conference on Augmented teleexistence ICAT 05*, page 164, 2005.
- [IU97] Hiroshi Ishii and Brygg Ullmer. Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 234–241. ACM, 1997.

- [Kat99] H Kato. Marker tracking and HMD calibration for a video based augmented reality conferencing system. In *Proc IWAR*, pages 85–94. IEEE Computer Soc. Press, Los Alamitos, Calif., 1999.
- [KBP⁺02] H Kato, M Billinghamurst, I Poupyrev, K Imamoto, and K Tachibana. Virtual object manipulation on a table-top AR environment. *Proceedings IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality ISAR 2000*, pages 111–119, 2002.
- [KGH85] Myron W Krueger, Thomas Gionfriddo, and Katrin Hinrichsen. VIDEOPLACE—an artificial reality. *ACM SIGCHI Bulletin*, 16(4):1835–40, 1985.
- [Mad04] Franz Mader. Entwurf und Integration eines kamerabasierten Trackingsystems für ein Flugzeugcockpit zur Darstellung fortschrittlicher Flugführungsinformationen in einem Head-Mounted Display. Master’s thesis, Technische Universität München, 2004.
- [Min95] M. Mine. Virtual environment interaction techniques. *UNC Chapel Hill Computer Science Technical Report TR95-018*, pages 507248–2, 1995.
- [Miz94] David W Mizell. Virtual reality and augmented reality in aircraft design and manufacturing. In *IEEE WESCON*, page 91, 1994.
- [MK94] P. Milgram and F. Kishino. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information and Systems E series D*, 77(12):1321–1321, 1994.
- [RM88] Clarence E. Rash and John S. Martin. The Impact of the U.S. Army’s AH-64 Helmet Mounted Display on Future Aviation Helmet Design. *Technical report, United States Army Aeromedical Research Laboratory Fort Rucker Al*, 88(13), 1988.
- [Rü07] Ingrid Rügge. *Mobile Solutions - Einsatzpotenziale, Nutzungsprobleme und Lösungsansätze*. Deutscher Universitäts-Verlag, 2007.
- [RV01] F Rheinberg and R Vollmeyer. FAM: Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern-und Leistungssituationen. *Diagnostica*, pages 1–17, 2001.
- [RV03] Falko Rheinberg and Regina Vollmeyer. Die Erfassung des Flow-Erlebens. *Diagnostik*, 2003.

- [Sut68] Ivan E Sutherland. A head-mounted three dimensional display. *Proceedings of the December 911 1968 fall joint computer conference part I on AFIPS 68 Fall part I*, 1866(16):757–764, 1968.
- [T10] Marcus Tönnis. *Augmented Reality - Einblick in die Erweiterte Realität*. Springer, 2010.
- [Tho02] B Thomas. First Person Indoor/Outdoor Augmented Reality Application : ARQuake. *Personal and Ubiquitous Computing*, 6(1):75–86, 2002.
- [Tri09] Fabian Trinler. *Augmented Reality - Einsatzmöglichkeiten, Chancen und Herausforderungen*. Master’s thesis, Hochschule Ravensburg-Weingarten, 2009.
- [Ul02] Christiane Ulbricht. *Tangible Augmented Reality für Computerspiele*. Master’s thesis, Technischen Universität Wien, 2002.
- [US03] Christiane Ulbricht and D. Schmalstieg. Tangible augmented reality for computer games. In *Proceedings of the Third IASTED International Conference on Visualization, Imaging and Image Processing*, volume 11, pages 950–954, 2003.
- [WMBB08] Richard Wetzel, Rod McCall, Anne-Kathrin Braun, and Wolfgang Broll. Guidelines for designing augmented reality games. *Proceedings of the 2008 Conference on Future Play Research, Play, Share - Future Play '08*, page 173, 2008.
- [WWWa] 2010 Augmented Reality Developer Challenge. <https://developer.qualcomm.com/develop/mobile-technologies/augmented-reality/developer-challenge> - Stand: 15.10.2011.
- [WWWb] AndAR - Android Augmented Reality. <http://code.google.com/p/andar/> - Stand: 8.1.2012.
- [WWWc] AR ZombieGate. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.pantech.app.ZombieGate&rdid=com.pantech.app.ZombieGate&rdot=1> - Stand: 15.3.2012.
- [WWWd] ARhrrrr! <http://ael.gatech.edu/lab/research/handheld-ar/arhrrrr/> - Stand: 15.10.2011.
- [WWWe] Augmented Reality (Vuforia™). <https://developer.qualcomm.com/develop/mobile-technologies/augmented-reality> - Stand: 6.11.2011.

- [WWWf] Eine kurze Geschichte der Android-Evolution. <http://derstandard.at/1323222621967/Rueckblick-Eine-kurze-Geschichte-der-Android-Evolution> - Stand: 8.3.2012.
- [WWWg] EyeToy Kamera Review. <http://www.onpsx.net/static.php?id=132> - Stand: 010.10.2011.
- [WWWh] History of Augmented Reality. http://augmentedrealitywiki.com/History_of_Augmented_Reality - Stand: 10.10.2011.
- [WWWi] Kinect Adventures. <http://marketplace.xbox.com/de-DE/Product/Kinect-Adventures> - Stand: 10.10.2011.
- [WWWj] Kinect Confirmed As Fastest-Selling Consumer Electronics Device. http://community.guinnessworldrecords.com/_Kinect-Confirmed-As-Fastest-Selling-Consumer-Electronics-Device/blog/3376939/7691.html - Stand: 10.10.2011.
- [WWWk] Kinect gets UK release date. <http://www.bbc.co.uk/newsbeat/10996389> - Stand: 10.10.2011.
- [WWWl] Kinect teardown. <http://www.geek.com/articles/games/kinect-teardown-reveals-15-chips-cooling-fan-and-motor-as-weak-point> - Stand: 10.10.2011.
- [WWWm] LANTIRN. <http://www.af.mil/information/factsheets/factsheet.asp?fsID=111> - Stand: 10.10.2011.
- [WWWn] min3d. <http://code.google.com/p/min3d/> - Stand: 1.11.2012.
- [WWWo] OpenCVWiki: Android. <http://opencv.willowgarage.com/wiki/Android> - Stand: 1.11.2012.
- [WWWp] Paparazzi. <http://pixel-punch.com/paparazzi/> - Stand: 14.10.2010.
- [WWWq] Paparazzi - Augmented Reality. <https://market.android.com/details?id=com.pixelpunch.paparazzi&hl=de> - Stand: 13.10.2011.
- [WWWr] Platform Versions. <http://developer.android.com/resources/dashboard/platform-versions.html> - Stand: 7.3.2012.

- [WWWs] PlayStation Eye to launch on November 7. http://www.videogamer.com/news/playstation_eye_to_launch_on_november_7.html - Stand: 10.10.2011.
- [WWWt] Playstation Move. <http://us.playstation.com/ps3/playstation-move/product-information/> - Stand: 10.10.2011.
- [WWWu] Robo Defense FREE. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.magicwach.rdefense_free#?t=W251bGwsMSwxLDIxMiwY29tLm1hZ2ljd2FjaC5yZGVmZW5zZV9mcmVlI10. - Stand:15.3.2012.
- [WWWv] Rot/Grün-Sehschwäche. <http://uni-protokolle.de/Lexikon/Rot/Grün-Sehschwäche.html> - Stand: 10.3.2012.
- [WWWw] Sturm auf die Android-Plattform. <http://www.golem.de/1103/82345.html> - Stand: 13.10.2011.
- [WWWx] Surface 2.0: Microsoft stellt neuen Touch-Tisch vor. <http://www.onlinekosten.de/news/artikel/42110/0/Surface-2-0-Microsoft-stellt-neuen-Touch-Tisch-vor> - Stand: 15.10.2012.
- [WWWy] Surfescapes. <http://www.etc.cmu.edu/projects/surfescapes> - Stand: 12.10.2011.
- [WWWz] The Eye of Judgment. <http://www.eyeofjudgment.com/> - Stand: 10.10.2011.
- [Zor10] Engin Zorlu. Militärische Augmented Reality Systeme und deren Anwendung in zivilen Bereichen. Master's thesis, FOM Duisburg, 2010.

8 Anhang

Nutzertest zu Ghos and Chocolate Beans:

NUTZERTEST ZU



UM WAS GEHT ES IN DIESEM SPIEL?

Ghost and Chocolate Beans ist ein Tangible Augmented Reality Spiel. Es ist eine Art Tower Defense, das jedoch nicht nur auf dem Smartphone gespielt wird, sondern reale Spielsteine zur Interaktion nutzt.

Das Ziel des Spiels ist es, die Schokoladenbohnen und die Packung vor den Geistern, die diese zerstören wollen, zu schützen. Dazu müssen diese aufgehalten werden. Dies wird erreicht, indem man die Türme so platziert, dass sie die Geister ausschalten.

Das Spiel ist verloren, wenn die Packung von den Geistern zerstört wurde.

Es gibt mehrere Levels, die aus mehreren Wellen bestehen. Es wird immer mit dem ersten Level und der ersten Welle begonnen. Die Geister werden in jedem Level stärker, schneller und widerstandsfähiger. In jeder Welle erscheinen eine bestimmte Anzahl von Geistern und Schokoladenbohnen zufällig am Rand des Spielfelds. In der letzten Welle erscheint ein Boss-Geist, der besonders stark, schnell oder widerstandsfähig ist. Das Aufhalten von Geistern und das Retten von Schokoladenbohnen werden mit Geld und Punkten belohnt. Mit dem Geld können nach jeder Runde die Türme verbessert werden. Dies erweitert ihre Reichweite und Effizienz, sie machen mehr Schaden.

Es gibt drei Arten von Türmen:

- Rot: Dieser Turm schießt sehr schnell, macht aber nur geringen Schaden, er beschießt immer nur ein Ziel gleichzeitig.
- Gelb: Dieser Turm schießt einen Elektrostrahl, der nur eine geringe Reichweite hat, jedoch großen Schaden macht. Er beschießt nur ein Ziel.
- Blau: Dieser Turm macht keinen Schaden, verringert jedoch die Geschwindigkeit der Geister um 50%. Dieser Turm hat eine sehr hohe Reichweite. Er kann mehrere Geister verlangsamen.

WAS MUSS ICH BEACHTEN?

Es ist wichtig, dass das Spielfeld immer in Sicht der Kamera ist, denn sonst ist die Welt der Geister und Schokoladenbohnen nicht sichtbar.

Die Türme werden an der Stelle gebaut, an der die Spielsteine stehen. Die Farbe der Spielsteine entspricht der Farbe des Turms. Es kann immer nur ein Spielstein jeder Farbe auf dem Spielfeld vorhanden sein.

Die Spielsteine können verschoben werden. Wenn der Turm nicht direkt gebaut wird, ist es manchmal notwendig, an diesen etwas näher zu gehen mit dem Smartphone.

Nach dem Spiel wäre ich Ihnen für die stichwortartige Beantwortung dieser Fragen dankbar:

1. Was hat Ihnen an diesem Spiel gut gefallen?

2. Was hat Ihnen an diesem Spiel nicht gut gefallen?

3. Haben Sie für das Spiel konkrete Verbesserungsvorschläge? Wenn ja, wie lauten sie?