



# Analyse, Design und Entwicklung eines Serious Games zur Therapie der Auditiven Verarbeitungsstörung im Kindesalter

DIPLOMARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

im Rahmen des Studiums

**Medizinische Informatik**

eingereicht von

**Christoph Jurek BSc, male**

Matrikelnummer 0000551

an der Fakultät für Informatik  
der Technischen Universität Wien

Betreuung: Thomas Grechenig  
Mitwirkung: René Baranyi

Wien, 12. April 2022

---

Unterschrift

---

Unterschrift Betreuung



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

# Analyse, Design und Entwicklung eines Serious Games zur Therapie der Auditiven Verarbeitungsstörung im Kindesalter

submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of

in

**Medical Informatics**

by

**Christoph Jurek BSc, male**

Registration Number 0000551

to the Faculty of Informatics

at the TU Wien

Advisor: Thomas Grechenig

Assistance: René Baranyi

Vienna, 12<sup>th</sup> April, 2022

\_\_\_\_\_  
Signature

\_\_\_\_\_  
Signature Advisor



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



# Analyse, Design und Entwicklung eines Serious Games zur Therapie der Auditiven Verarbeitungsstörung im Kindesalter

zur Erlangung des akademischen Grades

im Rahmen des Studiums

**Medizinische Informatik**

eingereicht von

**Christoph Jurek BSc, male**

Matrikelnummer 0000551

ausgeführt am  
Institut für Information Systems Engineering  
Forschungsbereich Business Informatics  
Forschungsgruppe Industrielle Software  
der Fakultät für Informatik der Technischen Universität Wien

**Betreuung:** Thomas Grechenig

Wien, 12. April 2022



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

# Erklärung zur Verfassung der Arbeit

Christoph Jurek BSc, male

Hiermit erkläre ich, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst habe, dass ich die verwendeten Quellen und Hilfsmittel vollständig angegeben habe und dass ich die Stellen der Arbeit – einschließlich Tabellen, Karten und Abbildungen –, die anderen Werken oder dem Internet im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, auf jeden Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht habe.

Wien, 12. April 2022

---

BSc



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



# Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei meinem Sohn Severin bedanken: für sein sonniges Gemüt und seine positive Art, für seine Lebensfreude und die Tatsache, dass ich überhaupt Teil von seinem Leben sein darf. Für sein Dasein, welches mich erst zum Abschluss dieses Studiums motiviert hat.

Großer Dank gilt meiner wunderbaren Freundin Amani, die mir in schwierigen Zeiten den Rücken stärkt, meine Stimmung ausgehalten und mir wieder Hoffnung für so vieles gegeben hat und mit zahlreichen Ideen und Vorschlägen maßgeblich dazu beigetragen hat, dass das Ergebnis in dieser Form vorliegt.

Meinen Eltern: Danke Papa für jahrzehntelange selbstlose Unterstützung, die ich leider erst wertgeschätzt habe, als es schon zu spät war. Danke Mama für das akribische Korrekturlesen dieser Arbeit und die neu entdeckte Euphorie.

Ich danke allen TherapeutInnen, die mit ihrer Expertise in zahlreichen Interviews einen wesentlichen Beitrag zum Erfolg dieser Arbeit geleistet haben.

Auch möchte ich mich insbesondere bei DI Dr. René Baranyi für die hilfreichen Anregungen und die konstruktive Kritik bei der Erstellung dieser Arbeit herzlich bedanken, ohne welche der Abschluss dieser Arbeit so nicht möglich gewesen wäre.

Danke an Isolde, die mir das Thema dieser Arbeit nahegelegt und mit ihrer initialen Hilfe den entscheidenden Grundstein gelegt hat.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

# Kurzfassung

In der logopädischen Therapie oft behandelt, kann sich eine Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung (AVWS) als Einschränkung bei zentralen Hörprozessen negativ auf ansonsten alltägliche Handlungen auswirken, da Gehörtes im Gehirn nicht korrekt verarbeitet wird. Das macht sich bei Kindern vor allem im Schulbetrieb durch eine Reihe typischer Probleme bemerkbar: Aufforderungen werden falsch verstanden, die Aufmerksamkeit kann nicht aufrecht erhalten werden, das betroffene Kind hat Defizite beim Lesen und Rechtschreiben, welche in einem Leistungs- und Motivationsabfall resultieren. Therapeutische Maßnahmen zur Behandlung von AVWS-spezifischen Störungsbildern umfassen hierbei oft computerunterstützte Ansätze und werden heutzutage als unumgänglich betrachtet [75] [57].

Gerade Computerspiele stellen mittlerweile aufgrund steigender Akzeptanz in der Gesellschaft ein probates Mittel zur therapeutischen Behandlung dar. Sogenannte „Serious Games“ bieten bereits im Bereich der Psycho- oder Angsttherapie Lösungen für althergebrachte Probleme bezüglich der regelmäßigen Anwendung von monotonen Abläufen und dem damit einhergehenden Motivationsverlust an. Eine ernsthafte Auseinandersetzung mit „Serious Games“ im therapeutischen Kontext von AVWS-Störungsbildern scheint daher durchaus sinnvoll. Auch der Einsatz von digitalen Technologien wie Augmented Reality und Virtual Reality lässt sich, natürlich unter Berücksichtigung von therapeutischen Aspekten, mit Serious Games kombinieren, um Immersionsgrad und auch Interaktionsmöglichkeiten - beides wichtige Engagement-Faktoren - zu steigern [59] [23].

Mit dieser Arbeit wurde daher eine Anwendung zur Therapie von auditiven Verarbeitungsstörungen bei Kindern entwickelt, wobei der Einsatz von Serious-Games Konzepten und immersiven Technologien zur Motivationssteigerung um Vordergrund stand: hierzu wurden LogopädInnen im Sinne eines User Centered Design iterativ von der Anforderungsanalyse bis hin zur Testung eines ausführbaren Prototypen hinweg eingebunden. Mit der final entwickelten Augmented-Reality Applikation lassen sich in 2 Therapieübungen die Lautpositionierung und -unterscheidung anhand virtuell dargestellter Objekte im realen Raum spielerisch trainieren. Bei den teilnehmenden wissenschaftlichen ExpertInnen stieß das Ergebnis auf durchwegs positive Resonanz und liefert eine fundierte Basis für künftige Entwicklungen im Bereich der computerunterstützten Therapie von AVWS.

**Keywords:** *Serious Game, AVWS, Augmented Reality, User Centered Design*



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

# Abstract

Often treated in speech therapy, an Auditory Processing and Perception Disorder (AVD) can have a negative effect on otherwise everyday activities as a limitation in central auditory processes, since what is heard is not processed correctly in the brain. This is particularly noticeable in children at school due to a number of typical problems: Prompts are misunderstood, attention cannot be maintained, the affected child has deficits in reading and spelling, which result in a drop in performance and motivation. Therapeutic measures for the treatment of AVWS-specific disorders often include computer-assisted approaches and are nowadays considered inevitable [75] [57]

Due to increasing acceptance in society, computer games in particular now represent a proven means of therapeutic treatment. So-called "serious games" already offer solutions in the field of psycho- or anxiety therapy for traditional problems concerning the regular use of monotonous procedures and the resulting loss of motivation. A serious consideration of "serious games" in the therapeutic context of AVWS disorder patterns therefore seems to be quite reasonable. The use of digital technologies such as augmented reality and virtual reality can also be combined with serious games, of course taking into account therapeutic aspects, in order to increase immersion levels and also interaction possibilities - both important engagement factors [59] [23].

This work therefore developed an application for the therapy of auditory processing disorders by children, focusing on the use of serious games concepts and immersive technologies to increase motivation: for this purpose, speech therapists were involved iteratively from the requirements analysis to the testing of an executable prototype in the sense of a user-centered design.

With the finally developed augmented reality application, sound positioning and differentiation can be trained playfully in 2 therapy exercises using virtually displayed objects in real space. The results were met with a positive response from the participating scientific experts and provide a solid base for future developments in the field of computer-assisted therapy for AVWS.

**Keywords:** *Serious Game, AVD, Augmented Reality, User Centered Design*



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung</b>	<b>xi</b>
<b>Abstract</b>	<b>xiii</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>xv</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung . . . . .	1
1.2 Motivation und Zielsetzung . . . . .	2
1.3 Methodik . . . . .	3
1.4 Aufbau der Arbeit . . . . .	4
<b>2 Theoretische Grundlagen</b>	<b>7</b>
2.1 Definition und Begriffsbestimmung: Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung . . . . .	7
2.2 Teilfunktionen der auditiven Wahrnehmung . . . . .	12
2.3 Störungen der auditiven Verarbeitung . . . . .	16
2.4 Therapie von AVWS . . . . .	24
2.5 Serious Gaming . . . . .	27
2.6 User Centered Design . . . . .	36
2.7 User Experience (UX) und Usability bei Kindern . . . . .	38
2.8 Anforderungsanalyse . . . . .	39
2.9 Frameworks und Game Engines für die Umsetzung von Serious Games	43
<b>3 State of the Art Analyse</b>	<b>47</b>
3.1 Computerunterstützte Anwendungen zur Therapie von AVWS . . . . .	47
3.2 Virtual/Augmented Reality-Anwendungen in der Therapie . . . . .	51
3.3 Zusammenfassung . . . . .	52
<b>4 Ergebnis</b>	<b>57</b>
4.1 Vorbereitung . . . . .	57
4.2 Definition von Stakeholdern und Ablauf . . . . .	57
4.3 Iterationschritt 1 : Qualitative Interviews . . . . .	59
4.4 Iterationschritt 2 : Anforderungsanalyse . . . . .	62
	xv

4.5	Iterationsschritt 3: Papierprototyp und Mockups . . . . .	69
4.6	Iterationsschritt 4: Erster Prototyp mit der Übung 'Lokalisation' . . . . .	72
4.7	Iterationsschritt 5: Verfeinerung des Prototypen und Implementierung der Übung 'Phonemdifferenzierung' . . . . .	81
4.8	Iterationsschritt 6: Optimierung von Tracking und Ingame-Darstellung	89
4.9	Iterationsschritt 7: Evaluierung des fertig implementierten Prototypen	92
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>95</b>
5.1	Forschungsfrage 1: Welche Anforderungen ergeben sich bei computerunterstützten Therapiemöglichkeiten? . . . . .	96
5.2	Forschungsfrage 2: Welche motivationsfördernden Methoden können zur Erfüllung der Anforderungen eingesetzt werden? . . . . .	97
5.3	Forschungsfrage 3: Können fortschrittliche Anzeigetechnologien einen positiven Einfluss auf die Therapie haben? . . . . .	98
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>99</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>101</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>103</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>105</b>
	<b>Anhang</b>	<b>113</b>



# Einleitung

Eine Auditive Wahrnehmungs- und Verarbeitungsstörung (AVWS) beschreibt Einschränkungen bei zentralen Hörfunktionen ohne Beeinträchtigung des peripheren Hörorgans. Gehörtes kann nicht richtig verarbeitet werden - was sich in unterschiedlichen Problemen im Alltag und bei Kindern vor allem im Schulbetrieb negativ bemerkbar macht. Konzentrations-, Sprach-, Lese- und Rechtschreibprobleme sind oft die Folge. Für die nicht heilbare Krankheit werden deshalb üblicherweise von LogopädInnen entsprechende Therapie-Programme angeboten, welche etwa auf die Phonemdiskrimination, die Unterscheidung von Lauten, besonderes Augenmerk legen [75] [57].

Inhalt dieser wissenschaftlichen Arbeit ist die Analyse von computerunterstützten Methoden zur Therapie von auditiven Wahrnehmungs- und Verarbeitungsstörungen (AVWS) im Kindesalter und der anschließenden Implementierung und Evaluation eines Prototypen anhand der zuvor gewonnenen Erkenntnisse. Im Folgenden werden Problemstellung, erwartetes Resultat und die hierfür angewandte Methodik eingehender beschrieben.

## 1.1 Problemstellung

Ein in heutigen Zeiten nicht ungewöhnliches Bild: ein Kind kann in der Schule, trotz einwandfreiem organischen Hörvermögen und völlig gesundem Mittel- und Innenohr, dem Gesprochenen des Lehrenden vor allem in lauter Umgebung nur schwer folgen. Im Einkaufszentrum wird die Stimme des rufenden Elternteils zwar wahrgenommen, dem Kind ist es aber nicht möglich, die genaue Position eben dieser Person zu bestimmen. Die Gründe können in einer Reihe an Störungen liegen - eine davon ist die in der logopädischen Therapie oft behandelte, in der wissenschaftlichen Literatur viel diskutierte Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung (AVWS). Obwohl das periphere Hörsystem keine Schäden aufweist, kann die betroffene Person Gehörtes im Gehirn nicht korrekt verarbeiten - der über das Hörorgan erfolgten Reizaufnahme folgen unterschiedliche Störungen in der neuronalen Weiterleitung, sprachliche und nicht-sprachliche Stimuli

werden nicht korrekt in nützliche Informationen umgewandelt [74] [61].

Das kann sich nun in Problemen bei der Laut-Unterscheidung (Diskrimination), der Filterung von relevanten Informationen aus Umgebungsgeräuschen (Selektion) oder der Bestimmung von Richtung und Entfernung der Geräuschquelle äußern. Symptome sind, neben den eingangs beschriebenen, vielfältig - vor allem bei Kindern in Vor- und Volksschulalter macht sich das im Alltag bemerkbar, gravierende Probleme bei Sprach- und Leseentwicklung stellen Kinder und Eltern auf die Probe und verlangen entsprechende Maßnahmen. Diese können Anpassungen der schulischen Hörumgebung sein. Im Normalfall wird bei diesen Störungsbildern auditives Training in Gruppen- oder Einzeltherapie unter logopädischer Betreuung angeboten. Ein gezielter Einsatz von computerunterstützten Möglichkeiten wird für einen koordinierten Aufbau der Therapie dringend empfohlen, um auf spezifische Funktionsstörungen individuell eingehen zu können [37] [16].

### 1.2 Motivation und Zielsetzung

Betroffene Kinder müssen sich in oft mühsamen Therapiestunden langfristig mit redundanten Übungswiederholungen plagen. Zwar kann diesem Gewöhnungseffekt bis zu einem gewissen Grad in potentiellen Gruppentherapien entgegen gewirkt werden - eine spezifische Behandlung ist allerdings nur durch individuelles Training wirklich wirksam [61].

Inhalt dieser Arbeit ist es nun, bestehende Anwendungsmethoden in der Einzeltherapie für ebendiese Zielgruppe zu evaluieren und Vor- und Nachteile miteinander zu vergleichen. Basierend auf den dadurch gewonnenen Erkenntnissen sollen Möglichkeiten der Motivationssteigerung als Anforderungen für die prototypische Entwicklung einer eigenen therapeutischen Applikation definiert und umgesetzt werden. Darstellung, Bedienung und Inhalt der Applikation sind dabei auf Kinder als Zielgruppe anzupassen. Im Kontext der Entwicklung werden folgende Forschungsfragen eingängig beleuchtet und beantwortet:

- Welche Anforderungen ergeben sich bei computerunterstützten Therapiemöglichkeiten? Der Autor erwartet sich Aufschluss über die zu erfüllenden Kriterien für ein Computerprogramm zur Therapie von AVWS bei Kindern . Ebenfalls soll geklärt werden, ob ein ganzheitliches Betrachten sämtlicher Teilfunktionen oder das gezielte Behandeln von individuellen Beeinträchtigungen durch solch ein Training im Kontext computerunterstützter Anwendungen sinnvoller ist.
- Wie motivationsfördernde Methoden zur Erfüllung dieser Anforderungen eingesetzt werden und zur Besserung des Trainingserfolges beitragen können, soll im zweiten Teil evaluiert werden. Folgend wird der Einsatz von Methoden untersucht, die nicht gewollten Nebeneffekten der Therapie wie dem Motivationsverlust oder der Minimierung des Trainingseffekts entgegenwirken. Konzepte wie „Serious Gaming“ oder der Einsatz von 'Gamification' werden als mögliche Ansätze in Betracht gezogen – der potentielle Nutzen eines Videospieles, dessen Primärzweck neben

der Unterhaltung nun auch ein Optimieren des Trainingseffektes ist, dient als Fokus: potentielle Strategien unter Berücksichtigung der für AVWS-erkrankte Kinder geltenden Kriterien werden innerhalb dieser Fragestellung auf ihre Gültigkeit evaluiert.

- Inwiefern sich die erarbeiteten Therapieansätze durch fortschrittliche Anzeigetechnologien ergänzen und optimieren lassen, ist Bestandteil der finalen Forschungsfrage. Der Fokus liegt hier auf dem möglichen Einsatz von Virtual oder Augmented Reality und deren potentiellen Nutzen für eine Motivationssteigerung, wie sie etwa durch erhöhte Immersion oder zusätzliche Interaktionsmöglichkeiten erreicht werden. Auch mögliche Limitierungen bei der Anwendung durch körperliche oder geistige Einschränkungen des Benutzers sollen hier beleuchtet werden.

### 1.3 Methodik

Die Erstellung der Arbeit teilt sich in folgende Phasen:

- Beginnend mit einer umfangreichen Literaturrecherche zu den theoretischen Grundlagen zu AVWS und den konkreten Behandlungsmethoden sowie zu den computerunterstützten State-of-the-Art-Ansätzen in der medizinischen Therapie wurden Grundlagen für die initiale Definition von Stakeholdern und die mit ihnen durchzuführenden qualitativen Interviews geschaffen. Parallel erfolgte eine Einarbeitung in Ansätze zur Anforderungsanalyse und die benutzerorientierte Gestaltung. Anhand der im ersten Schritt ermittelten Grundlagen wurden grundsätzliche Rahmenbedingungen für die Applikation getroffen und 20 funktionale sowie 5 nicht funktionale Anforderungen mit insgesamt 10 LogopädInnen als wissenschaftlichen ExpertInnen definiert.
- Die Entwicklung des Prototypen geschah mittels Anwendung eines User Centered Designs in iterativen Schritten durch enge und kontinuierliche Abstimmung mit den zuvor kontaktierten TherapeutInnen, welche Machbarkeit und Umsetzungsmöglichkeiten der Applikation gemeinsam mit dem Autoren evaluierten. Nach Erstellung eines Papierprototypen und Mockups für zwei konkrete Übungsabläufe in den ersten Iterationsschritten wurde in Folge schließlich anhand selbst erstellter 3D-Modelle und Navigationsobjekte ein ausführbarer Prototyp implementiert.
- Die Arbeit wurde durch eine Ergebnisanalyse abgeschlossen, in welcher die finale Applikation von den involvierten wissenschaftlichen ExpertInnen nochmals getestet und bewertet wurde. Es folgte eine abschließende Beantwortung der eingangs definierten wissenschaftlichen Fragen.

Abbildung 1.1 stellt die Phasen bis hin zur Evaluierung des finalen Prototypen mitsamt den jeweils erhaltenen Teilergebnissen graphisch dar.

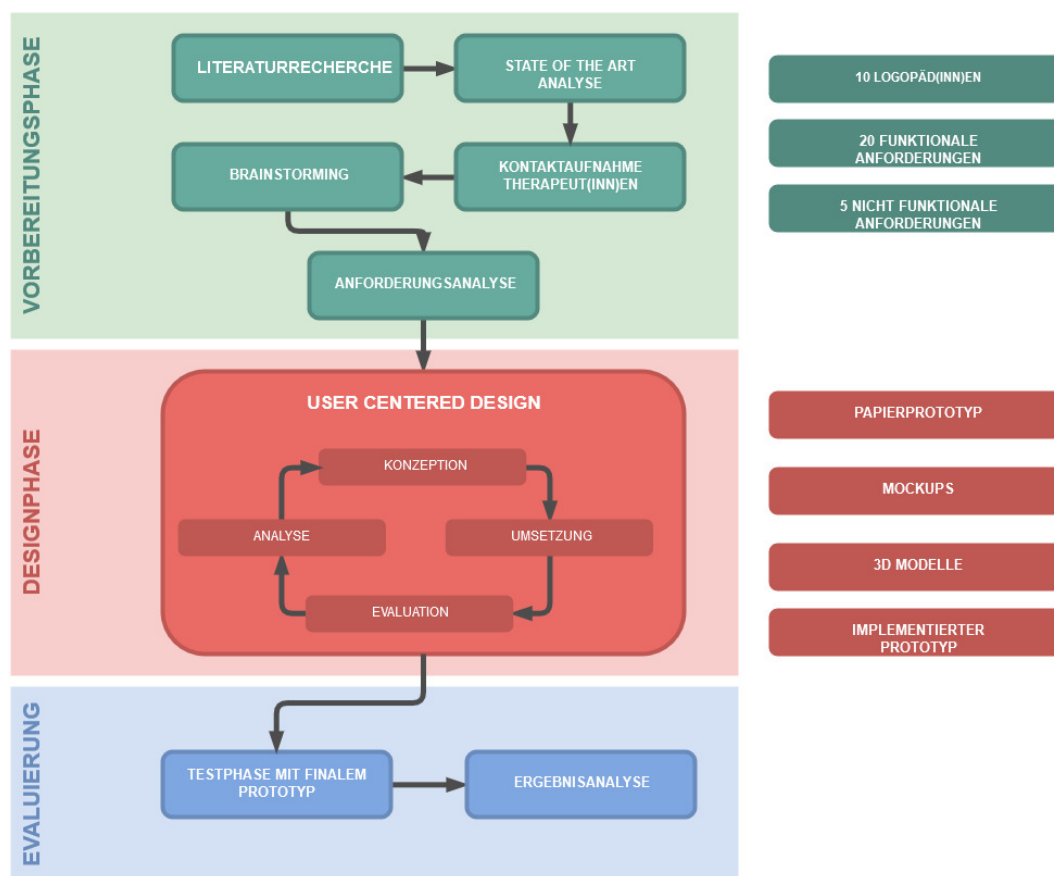


Abbildung 1.1: Phasen der Methodik und Teilergebnisse

## 1.4 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit ist in 4 Kapitel gegliedert, welche die einzelnen Phasen der Arbeit detailliert beschreiben. Es folgt eine entsprechende Übersicht:

- Kapitel 2 umfasst die theoretischen Grundlagen zu medizinischen und technischen Bereichen, welche im Kontext der wissenschaftlichen Fragestellung relevant sind.
- Kapitel 3 gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Technik hinsichtlich computerunterstützten Behandlungsmöglichkeiten bei AVWS und fortschrittlichen Anzeigemöglichkeiten in der medizinischen Therapie im Allgemeinen. Die präsentierten Lösungsansätze werden analysiert, verglichen und als Grundlage für eigene Optimierungsansätze herangezogen.
- Kapitel 4 beschreibt die Umsetzung des eigentlichen Prototypen, beginnend mit der Kontaktaufnahme mit den wissenschaftlichen ExpertInnen über die konkrete Anforderungsanalyse bis hin zur Fertigstellung in zuvor definierten Iterationsschritten.

- Ergebnisse des vorhergehenden Kapitels werden in Kapitel 5 präsentiert, evaluiert und anschließend diskutiert. Abschließend wird hier die Beantwortung der wissenschaftlichen Fragen abgehandelt sowie ein potentieller Ausblick in die Zukunft gegeben.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

# Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel werden die theoretischen Grundlagen, die für die im Anschluss beschriebenen Resultate nötig sind, genau beschrieben. Diese setzen sich aus zwei Teilbereichen zusammen:

Im ersten Teil wird der medizinische Aspekt von AVWS eingehend behandelt: Teilfunktionen der auditiven Verarbeitung, mögliche Störungsbilder und therapeutische Behandlungsmöglichkeiten sind hier die wesentlichen Hauptaspekte. Der zweite Teil geht auf die für die Entwicklung eines Prototypen benötigten technischen Anforderungen ein und beschreibt Möglichkeiten der computerunterstützten Therapie. Auch die theoretischen Grundlagen für das korrekte Durchführen von Anforderungsanalyse und benutzerorientierter Gestaltung finden sich hier.

## 2.1 Definition und Begriffsbestimmung: Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung

In den letzten Jahren findet der Begriff AVWS in der Sonderpädagogik zunehmend Beachtung - sucht man in der Fachliteratur nach einer eindeutigen Begriffsbestimmung dieser Art von Höreinschränkung, wird schnell klar: bereits das Störungsbild, in der logopädischen Therapie im Kindesalter durchaus präsent und zunehmend Beachtung findend, ist ein hinsichtlich Betrachtungsweise und Nomenklatur kritisch diskutiertes [57] [75].

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) führt die Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung in der 10. Revision ihrer „International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems“ (ICD) im Abschnitt F80.20 unter den „umschriebenen Entwicklungsstörungen des Sprechens und der Sprache“ auf, welche Störungen beinhalten, deren konsekutive Folgen unter anderem Lese und Rechtschreibschwächen sein können - aber nicht direkt mit sensorischen Problemen einhergehen [4].

Eine im deutschsprachigen Raum gängige Definition findet sich im Konsensus-Statement der Deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie (DGPP), welches 2010 von Nickisch et. Al [74] überarbeitet wurde:

(...)Eine Auditive Verarbeitungs- und/oder Wahrnehmungsstörung (AVWS) liegt vor, wenn (...) zentrale Prozesse des Hörens gestört sind. Zentrale Prozesse des Hörens ermöglichen u.a. die vorbewusste und bewusste Analyse, Differenzierung und Identifikation von Zeit-, Frequenz- und Intensitätsveränderungen akustischer oder auditiv-sprachlicher Signale sowie Prozesse der binauralen Interaktion ( z.B. zur Geräuschlokalisierung, Lateralisierung, Störgeräuschbefreiung, Summation) und der dichotischen Verarbeitung. (...) Wenn nachweislich Einschränkungen der Wahrnehmung und Verarbeitung sprachlicher und nicht-sprachgebundener Signale vorhanden sind, ließe sich von AVWS sprechen. Dies sei jedoch zu vermeiden, lassen sich solche Probleme anhand anderer Störungen, etwa der Wahrnehmungsstörung, besser beschreiben [74].

Norina Lauer spricht sich in ihrem Buch, da eine Trennung von bestimmten Prozessen aus einer neurophysiologischen Betrachtungsweise heraus gar nicht möglich sei, gegen eine Unterteilung in Wahrnehmung und Verarbeitung, und für eine neue Betrachtung als „Auditive Verarbeitungsstörung“ aus [57].

Da der Begriff im deutschsprachigen Raum allgemein verwendet wird und zudem so in obiger Definition durch die WHO festgehalten wurde, wird auch hier im Folgenden von der Bezeichnung als Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung (AVWS) ausgegangen.

### 2.1.1 Auditive Wahrnehmung und deren Teilprozesse

Das Hören oder die auditive Wahrnehmung lässt sich als zweistufiger Prozess verstehen, wie in Abbildung 2.1 abgebildet: während das periphere Hören erst einmal für das Registrieren u.a. von Geräuschen, Tönen und Klängen sowie deren Umwandlung in neuronale Impulse zuständig ist, geschieht das anschließende Verarbeiten, Wahrnehmen und Verstehen beim so genannten zentralen Hören auf neuronaler Ebene vom Hörnerv hin bis zu den relevanten Zentren im Gehirn. Es folgt eine basierend auf der Arbeit von Lauer, Rohen et al. und Friedrich et. al detaillierte Beschreibung der Zusammenhänge auf anatomischer und neuronaler Ebene [57] [86].

- Peripheres Hörsystem: Der periphere Teil des Hörsystems lässt sich in drei hintereinander folgende Abschnitte gliedern: das äußere Ohr, das Mittelohr und das Innenohr. Ohrmuschel und äußerer Gehörgang leiten den Schall weiter bis zum Trommelfell, der Abgrenzung zum mit Luft gefüllten Mittelohr. Wird das Trommelfell in Schwingungen versetzt, übertragen sich ebendiese innerhalb der Paukenhöhle auf die Gehörknöchelchen Hammer, Amboss und Steigbügel. Über diese Schallleitungskette gelangt der Schall auf mechanischem Weg letztendlich zum ovalen Fenster, dem Übergang vom Mittelohr zu Innenohr, welches im Felsenbein, dem härtesten Knochen im menschlichen Schädel, beheimatet ist. Dieser, aufgrund seiner



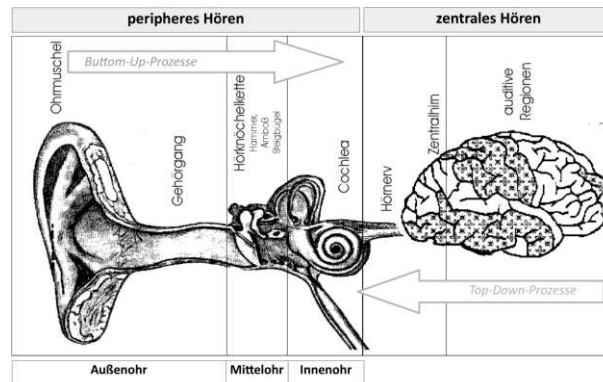


Abbildung 2.1: Das menschliche Hörsystem.[2]

Komplexität auch als knöchernes Labyrinth bezeichnete Abschnitt, ist mit Flüssigkeit gefüllt und beinhaltet neben dem Gleichgewichtsorgan auch das eigentliche Hörorgan, die Schnecke (Cochlea). Dieses spiralförmig gewundene Rohr lässt sich wiederum mittels zweier Membranen (Basilarmembran, Tectorialmembran) in drei, mit unterschiedlichen Flüssigkeiten gefüllte Abschnitte teilen (Scala vestibuli, Scala media, Scala tympani). Bei dem auf der Basilarmembran liegenden Corti'schen Organ handelt es sich um das eigentliche akustische Sinnesorgan, welches durch Erregung von Haarzellen die mechanischen Reize in elektrische Impulse übersetzt (Transduktion) und so über den Hörnerv ins Gehirn zur weiteren Verarbeitung weitergeleitet wird. Inneren und äußeren Haarzellen fallen hier unterschiedlich gewichtete Rollen zu: die äußeren Haarzellen, bis zur Spitze der Cochlea hin zunehmend, tragen zur Verstärkung dieser im Innenohr ankommenden Wanderwelle bei, innere Haarzellen, durchgehend einreihig, sind grundsätzlich für die Umwandlung der erhaltenen Informationen zuständig. Dabei kommt das Prinzip der Tonotopie zum Einsatz, wobei unterschiedliche Frequenzen an bestimmten Stellen der Basilar-membran durch Reizung der Haarzellen ebendort wahrgenommen werden: Während das für hohe Frequenzen bereits am Eingang der Cochlea geschieht, erfolgt die Registrierung der tiefen Frequenzen an der Spitze ebenjener. In Summe reicht somit der Frequenzbereich der wahrnehmbaren Töne von ca. 20 bis 20.000 Hertz [74]. [56].

- Der Hörnerv (Nervus cochlearis) zieht von der Cochlea zur Schneckenwindung und leitet von dort als Teil des VIII. Hirnnerves (Nervus vestibulocochlearis) gemeinsam mit Nervenfasernanteilen aus dem Gleichgewichtsorgan (vestibulum) afferente Informationen durch den inneren Gehörgang zum Hirnstamm in die Akustikuskern (Nucleus cochlearis) [37][56].

Zusätzliche efferente Anteile des Hörnerves reichen vom Hirnstamm in die Cochlea – und übernehmen dort regulierende Maßnahmen hinsichtlich Impedanz und Filterung, auch wenn diese Mechanismen nach wie vor eingehender zu erforschen sind [61].

Für die auditive Verarbeitung der Signale ist anschließend die zentrale Hörbahn

zuständig: Diese beginnt mit den beiden Nucleus cochlearis posterior und anterior und endet über unterschiedliche komplexe Verschaltungen letztlich bei der Hörrinde. Es erfolgt bereits auf Höhe des Nucleus cochlearis posterior ein initiales Erkennen und Zerlegen auf spezifische Eigenschaften des Signals wie Frequenz und Intensität [57] [75].

Entlang der zentralen Hörbahn ist eine Spezialisierung der Neuronen zum Großhirn auf gewisse Merkmale hin gegeben. Diese nehmen, je zentraler, an Komplexität zu. Grundsätzlich lassen sich die Bereiche Intensität, Schalllokalisation, Diskrimination, Zeitkodierung, Frequenzkodierung und Schallidentifikation festlegen [37] [58].

Wie bei der Cochlea ist auch auf den zentralen Ebenen eine tonotopische Aufteilung der Frequenzen vorhanden. Zudem findet eine optimierende Filterung des akustischen Signals statt, wodurch tatsächlich nur ein Bruchteil (nach Friedrich et al.: eine von 107) bewusst registriert wird. Die Verarbeitung von komplexen akustischen Signalen und verbalen Stimuli erfolgt allerdings erst auf Ebene des Corte [37].

Erstmals werden beim oberen Olivenkomplex (Nucleus olivaris superior) auch Informationen aus beiden peripheren Hörsystemen für die Verarbeitung berücksichtigt und so Unterschiede hinsichtlich Zeit und Intensität verglichen, um Richtung und Entfernung der Schallquelle zu bestimmen. Über den lateralen Schleifenkern (Lemniscus lateralis), welcher hauptsächlich an der Analyse zeitlicher Faktoren wie Anordnung und Auflösung beteiligt ist, werden Informationen vom oberen Olivenkomplex nach Kreuzung der gegenüberliegenden Seite zu Vierhügelplatte (Lamina quadrigemina) und deren unteren Hügeln (Colliculi inferiores) übertragen [86]. Letztere spielen aufgrund ihrer Funktion als „Sammelstelle“ für Zeit- und Intensitätskodierung eine grundlegende Rolle bei der Unterdrückung von Hintergrundlärm, was eine Signalverbesserung um bis zu 15 dB ermöglicht [88].

Die akustischen Signale gelangen folgend zu Hörzentren im Mittel- und Zwischenhirn und letztlich zu den Temporallappen (Lobus temporalis) des Großhirns, wo im Kontext des bewussten Hörens die Schallidentifikation stattfindet [37] [56]:

Die primären Rindfelder, die gyri temporales transversi oder Heschl'sche Querwindungen, erhalten afferente Fasern über kontralaterale Verbindungen, also durch Kreuzung von der gegenüberliegenden Seite - dementsprechend kann nur eine Verletzung beider Heschl-Querwindungen gleichzeitig zu einer vollständigen Taubheit führen [86].

Auch der Kortex weist eine tonotope Aufteilung der Frequenzen auf – wenn diese auch in der Fachliteratur mitunter umstritten sein mag. Der Fokus der – konzentrisch um die primären Rindfelder angesiedelten - sekundären und tertiären Rindfelder liegt im Verarbeiten auditiver Stimuli, die dortigen Neuronen reagieren insbesondere auf Frequenz- und Amplitudenmodulation [61].

Für das Sprachverständnis essentiell befunden wird das in den sekundären Feldern im Temporallappen befindliche Wernicke-Zentrum, welches nur einseitig in der üblicherweise dominanten Hirnhemisphäre (für gewöhnlich die linke Seite) vorkommt. Demgegenüber werden auf der entsprechend gegenüberliegenden Seite eher musik-bezogene Reize verarbeitet, was auf unterschiedliche Verarbeitungsweisen

von Sprache und Musik schließen lässt [57].

Die Hörverarbeitung hat ihren Anfang also nicht erst in den kortikalen Feldern, sondern bereits auf Höhe der Hörbahnen beginnend bei der Cochlea, und setzt sich nach dem vereinigenden Prozess über die Oliven bis zur primären Hörrinde fort, wo letztendlich die Hörwahrnehmung stattfindet. Afferente und efferente Nervenbahnen bilden so ein hochkomplexes Netzwerk aus unzähligen Prozessen zur differenzierten Analyse der akustischen Reize aus der Umwelt und ermöglichen so einen entsprechenden Umgang etwa mit sprachlichen Stimuli [57] [75].

### 2.1.2 Modelle der auditiven Wahrnehmung

Es existieren unterschiedliche Modelle, um Wahrnehmung und Verarbeitung der verbalen und nonverbalen Stimuli zu veranschaulichen. Alle beinhalten sie eine Aufteilung in Teilfunktionen auf zentraler Ebene.

Ein erstes Modell von Esser et al. unterlässt noch eine hierarchische Reihung der dort beschriebenen Teilfunktionen Aufnahme, Speicherung, Selektion, Differenzierung, Analyse, Synthese, Ergänzung und Integration, welche im Anschluss an die zentrale Hörbahn, im Cortex, stattfinden [34].

Als ein Netzwerkmodell stellen Günther und Günther das „funktionelle System auditive Wahrnehmung“ dar, dessen Knoten den einzelnen Teilfunktionen entsprechen und durch eine Verknüpfung untereinander ihrem Zusammenwirken entsprechen - wobei hier bereits zwischen einer nonverbalen und verbalen Stufe unterschieden wird [49].

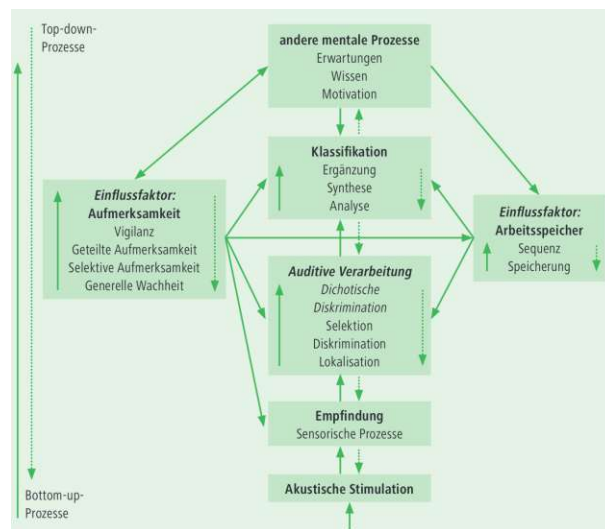


Abbildung 2.2: Modell der auditiven Verarbeitung nach Lauer [57]

Lauer vereint Aspekte oben genannter Modelle unter Einbezug von Bottom-up- und Top-down-Prozessen wie in Abbildung 2.2 dargestellt, und teilt sie Verarbeitungsebenen zu. Die Teilfunktionen Lokalisation, Diskrimination, Selektion, sowie dichotische Diskri-

mination werden hier weiterhin der auditiven Verarbeitung zugeschrieben, wohingegen Aufmerksamkeit, Speicherung und Sequenz zwar als die auditive Verarbeitung beeinflussend, jedoch ebenjener nicht zugehörig betrachtet werden. Zusätzlich stuft Lauer Analyse, Synthese und Ergänzung Prozesse ein, welche über die Sprachverarbeitung hinausgehend als übergeordnet – von vorherigen Funktionen beeinflusst - anzusehen sind.

Bottom-up-Prozesse bezeichnen den Weg, den die Information von unten nach oben, bzw. vom Ohr über die akustische Stimulation beginnend über Empfindung und auditive Verarbeitung bis zur höherstufigen Klassifikation anhand von Abgleichen mit vorhandenem Wissen im Gehirn nimmt [61].

Dementsprechend umgekehrt beschreiben Bottom-down-Prozesse parallel den Informationsfluss von oben nach unten, also über das Gehirn bis hin zum peripheren Hörorgan. Das ständige Aufrufen von gespeichertem Wissen steuert mittels höherstufigen Prozessen wie Erwartung, Wissen und Motivation das Resultat der einlaufenden Informationen. Beispielsweise lässt erst ein bestimmtes Maß an Motivation das Aufbringen der nötigen Aufmerksamkeit zu [61].

### 2.2 Teilfunktionen der auditiven Wahrnehmung

Entsprechend den unterschiedlichen Modellen werden Teilfunktionen des auditiven Systems Verarbeitung und Wahrnehmung teils unterschiedlich zugewiesen oder gereiht. Es folgt eine Listung der wichtigsten Teilfunktionen, unter Berücksichtigung oben genannter Modelle nach Lauer und Günther et al., welche der auditive Verarbeitung zugeschrieben werden oder zumindest einen Einflussfaktor auf ebendiese darstellen [49].

- **Aufmerksamkeit:** Die auditive Aufmerksamkeit bildet die Grundlage der auditiven Verarbeitung, da sie überhaupt erst den Prozess der komplexen Verarbeitung ermöglicht [57]. Weitere Begriffsbezeichnungen nach Günther et al. und Esser sind Horchen, Lauschen bzw. Aufnahme oder Orientierung [49] [34]. Sie entspricht der Fähigkeit, sich akustischen Reizen zuzuwenden. Lauer unterscheidet zwei Komponenten, die generelle Wachheit bzw. Aktivierung und die selektive Aufmerksamkeit, bei der relevante Eigenschaften selektiert erfasst und unnötige Hintergrundinformationen unterdrückt werden. Letztere geschieht nach Lauer automatisch oder kontrolliert [57]. Zudem wird zwischen gezielter Aufmerksamkeit – dem Zuwenden einer Aufgabe mit der gesamten Aufmerksamkeit - und geteilter Aufmerksamkeit – dem gleichzeitigen Ausführen zweier Aufgaben – unterschieden. Der Aufmerksamkeit zuzuordnen ist außerdem die Vigilanz, wobei die Aufmerksamkeitsspanne auch ohne kontinuierliches Auslösen der relevanten Stimuli dauerhaft gehalten werden kann [98].
- **Speicherung und Sequenzierung:** Die Speicherung, auch auditive Merkspanne oder Kurz- und Langzeitspeicherung genannt, ist eine Gedächtnisleistung auf unterschiedlichen Ebenen: Akustische Reize werden zuerst im sensorischen Speicher und anschließend, entsprechend der filternden Aufmerksamkeit, im passiven Kurzzeitspei-

cher abgelegt. Eine bei Bedarf folgende Überführung in das Langzeitgedächtnis beinhaltet eine Verknüpfung zu bestehenden Informationen. Eine Speicherung der Reihenfolge auditiver Reize ist erst durch die Sequenz, auch Sequenzierung genannt, gegeben. Das auditive Gedächtnis spielt bei der Klassifikation für die Weiterverarbeitung eine wichtige Rolle und wird auch zur Messung des phonetischen Speichers herangezogen, wobei hier besonders auf sogenannte „Nichtwörter“ gesetzt wird [40].

- **Lokalisation:** Die Teilfunktion Lokalisation ermöglicht uns die Bestimmung von Richtung und Entfernung der Schallquelle. Ermöglicht wird diese Orientierung im Raum durch das binaurale Hören und die Fähigkeit des Gehörs, bereits geringe Intensitäts- und Zeitdifferenzen auszuwerten: Seitlich eintreffende Stimuli werden so zum Beispiel vom zugewandten Ohr und dem abgewandten Ohr mit minimalem Zeitunterschied empfangen, die Position des Ursprungs festgestellt und das Filtern von Störgeräuschen erleichtert [61].
- **Diskrimination / Differenzierung:** Durch Diskrimination bzw. Differenzierung werden ähnlich klingende auditive Stimuli unterschieden. Es werden folgende Ebenen unterschieden: Auf parasprachlicher Ebene werden auditive Stimuli anhand der Frequenz, Dauer und Intensität unterschieden. Nach Dauer, Akzent und Tonhöhe wird auf parasegmentaler Ebene unterschieden, eine Unterscheidung von Sprachlauten anhand der phonetischen Merkmale geschieht auf segmentaler Ebene. Die Diskriminationsleistung steigt analog zur Anzahl der Unterscheidungsmerkmale: Sind etwa die phonetischen Merkmale nur kurz hörbar, gestaltet sich die exakte Diskrimination entsprechend schwieriger. Daher ist die Diskrimination auf allen drei Ebenen essentiell für das Verstehen der sprachlichen Stimuli [57].
- **Selektion:** Selektion bzw. Figur/Hintergrund-Unterscheidung bezeichnet das Vermögen zur Unterscheidung relevanter Informationen von Störgeräuschen im Hintergrund [57].
- **Dichotische Diskrimination:** Laufen auf beiden Ohren zeitgleich unterschiedliche, jedoch relevante Informationen ein, ist die Separation bzw. dichotische Diskrimination nötig, um diese Informationen zu unterscheiden und auszuwerten [41].
- **Lautheitsempfinden und Hördynamik:** Lautheitsempfinden oder Hyperakusie ist die Fähigkeit, akustische Stimuli variierender Lautstärken zu unterscheiden. In diesem Kontext spielt auch die Unbehaglichkeitsschwelle eine Rolle: sie ist der Pegel, ab dem ein akustischer Reiz als unangenehm empfunden wird. Im Normalfall ist das Gehör fähig, sich der akustischen Situation jeweils anzupassen, sodass etwa störende Hintergrundgeräusche in den Hintergrund gedrängt und akustische Stimuli so besser aufgenommen werden können [57].
- **Zeitliche Verarbeitung:** Die Fähigkeit zur zeitlichen Verarbeitung in oben genannter Lokalisation als entscheidender Faktor beschrieben. Entscheidend ist hier die Ordnungsschwelle – sie bezeichnet den mindestens nötigen Abstand zweier Signale, um diese noch als solche zu differenzieren. In dem Kontext wird die Fähigkeit, das

erste Eintreffen des akustischen Reiz dem linken oder rechten Ohr zuzuordnen, als „Seitenordnung“ oder „zeitliche Ordnung“ bezeichnet. Das zeitliche Auflösungsvermögen beschreibt die Fähigkeit zur Verarbeitung von schnellen Reizänderungen und Signalen kurzer Dauer. Für das Erkennen von zeitlich gedehnten bzw. komprimierten akustischen Signalen ist die „zeitliche Integration“ zuständig – sie ist vor allem bei besonders schnell gesprochener Sprache von Bedeutung. Beeinflussen sich mehrere gleichzeitig auftretende akustische Signale gegenseitig, spricht man von „Verdeckung“ oder „Maskierung“: das Störsignal kann im Bezug auf das herauszuhörende akustische Signal gleichzeitig, davor oder danach stattfinden. Die Erkennung von kurze Pausen zwischen den akustischen Signalen, also die Silbenerkennung oder der Übergang von Plosiv zu Vokal, ist als „Lückenerkennung“ ebenfalls eine der „Zeitlichen Verarbeitung“ zugeordnete Teilfunktion [41] [61].

### 2.2.1 Auditive Gliederung und phonologische Bewusstheit

Die folgenden Funktionen haben vor allem bei sprachlichen Aufgaben eine hohe Bedeutung: Oft bewirkt die ungünstige Hörsituation eine Abschwächung oder Störung des akustischen Signals, was komplexe Leistungen hinsichtlich Analyse, Synthese und Ergänzung verlangt. Die Meinungen bezüglich einer Zuordnung dieser Teilfunktionen gehen in der Fachliteratur auch hier auseinander: Lauer ordnet die Funktionen als Bestandteile der Mustererkennung der phonologischen Bewusstheit zu und grenzt diese aufgrund der Einbeziehung von Sprachverarbeitungsprozessen von der auditiven Verarbeitung ab [57]. In der Literatur wird die auditive Verarbeitung als Grundlage der phonologischen Bewusstheit dargestellt - wie beispielsweise im Sprachverarbeitungsmodell von Stackhouse und Wells (1997), wo die phonologische Bewusstheit als additiver Teilbereich auf der weiter unten, in der peripheren Sprachverarbeitung angesiedelten Auditiven Wahrnehmung basiert [96]. Lupberger fasst die Teilfunktionen „Analyse“, „Synthese“ und „Ergänzung“ unter dem Begriff „Auditive Gliederung“ als Grundlage für das Zerlegen und Zusammensetzen von Einzelementen zusammen [61].

Die phonologische Bewusstheit ist Basis für Schriftspracherwerb sowie Lesen. Sie teilt sich in die Bewusstheit von einzelne Lauten im engeren Sinne und die Bewusstheit für größere sprachliche Einheiten ,wie etwa Silben, im weiteren Sinne. Sie ist das Vermögen, auf lautübergreifender Ebene Wörter aus diesen Elementen zu bilden – dadurch lassen sich zum Beispiel der Klang der Wörter in Reimen oder Einzellaute in Wörtern identifizieren. . Analyse und Synthese spielen zudem beim Leselernprozess eine bedeutende Rolle [75].

- **Auditive Analyse:** Bei der auditiven Analyse handelt es sich um die Fähigkeit zur Identifikation auf Laut-, Silben- oder Wortebene samt Positionsbestimmung ebenjener. Eine Überprüfungsmöglichkeit bei Kindern ist hier etwa eine Frage vom Typ „Womit fängt das Wort Ordnung an?“ - „Mit einem O“ [57] [75].
- **Auditive Synthese:** Die auditive Synthese beschreibt die Fähigkeit, aus einfachen Elementen zu einer komplexen Gestalt zu verknüpfen. Konkret geht es um das Bilden von sinnvollen Wörtern aus Einzellaute [41].

- **Auditive Ergänzung:** Erreichen das Gehör akustische Reize nur in unvollkommener Form, hilft die auditive Ergänzung diese Fragmente zu interpretationsfähigen bzw. sinnvollen Informationen zu vervollständigen. Analog zu beiden bereits genannten Funktionen geht es auf sprachlicher Ebene darum, fehlende Silben in Wörtern zu ergänzen, überprüft werden kann das beispielsweise durch Fragen wie 'Was fehlt in dem Wort Kin—garten?'. Kontext und Menge der aufnehmbaren Informationen beeinflussen die Leistung der auditiven Ergänzung [61] [57].
- **Inter – und Intramodalität:** Entsprechend den eingangs beschriebenen Modellen laufen diese zahlreichen Teilfunktionen keineswegs unabhängig voneinander ab. Diese Verbindung zueinander wird als intramodale Integration bezeichnet. Bei einem Bezug zu anderen Verarbeitungsbereichen spricht man hingegen von intermodaler Integration [41][57].

### 2.2.2 Entwicklung der auditiven Teilfunktionen

Das Gehör entwickelt sich als einer der ersten Sinne bereits in der 12. Schwangerschaftswoche. In der 22. Schwangerschaftswoche kann der Fötus auf akustische Signale reagieren, neuronale Verbindungen zwischen Innenohr und Kortex sind ab der 29. Schwangerschaftswoche nachweisbar [11] [57].

Kurz nach der Geburt sind Kinder fähig, Tonhöhen zu unterscheiden und zu kategorisieren - so ist etwa das Erkennen der Stimme der Mutter möglich, welche den Spracherwerb prägt. Ebenfalls zu diesem Zeitpunkt ist eine grobe Diskrimination möglich, welche sich später zu einer feineren Differenzierungsfähigkeit entwickelt [41]. Auf dieser Grundlage entwickeln sich in Folge Selektion und das Hören im Störschall, der wiederum die Entwicklung des Vermögens zur dichotischen Diskrimination folgt. Mit dem vierten Monat ist das Kind in der Lage, zwischen sprachlichen und nicht-sprachlichen Stimuli zu unterscheiden [11] [41]. Eine erste differenzierte Lokalisation ist für Kinder bereits ab dem ersten Lebensjahr möglich, wenn auch nur eingeschränkt: Bis zum 21. Monat werden Signale von ober- und unterhalb wahrgenommen, erst ab dem 4. bis 7. Lebensjahr ist auch eine Lokalisation von seitlichen Signalen möglich [57] [11].

Das auditive Gedächtnis entwickelt sich bereits ab dem vierten Lebensjahr im Kindergartenalter – abgeschlossen ist sie erst mit dem 14. Lebensjahr. Sie ist für die Entwicklung der Teilfunktionen der auditiven Gliederung grundlegende Voraussetzung. Diese sprachanalytisch relevanten Teilfunktionen entwickeln sich bei Kindern ab dem 5. Lebensjahr, eine Positionsbestimmung von Lauten ab dem 7. Lebensjahr. Auf die Entwicklung der Analyse folgt jene der Synthese, analog zum Schriftspracherwerb [41] [90].

Die tatsächliche selektive Aufmerksamkeit entwickeln Kinder erst mit dem 12. Lebensjahr. Davor herrscht in zwei weiteren Entwicklungsstufen eine grobe bzw. überselektive Aufmerksamkeit vor, die mit Schuleintritt in eine überinklusive bzw. zu feingliedrige übergeht [41][57]. Die Entwicklung der Teilfunktionen ist in 2.1 tabellarisch dargestellt.

Alter	Beschreibung
12. - 29. SSW	neuronale Entwicklung Innenohr und Kortex, Reaktion auf akustische Signale möglich [11][57]
Geburt	grobe und dichotische Diskrimination, Differenzierung, Selektion [41]
4. Monat	Unterscheidung sprachliche / nicht-sprachliche Stimuli [11] [41]
21. Monat	Lokalisation (ober- unterhalb)
4.-7. Lebensjahr	Lokalisation (seitlich) [11] [57]
4.-14. Lebensjahr	Auditives Gedächtnis [41]
5. Lebensjahr	Auditive Gliederung [41]
7. Lebensjahr	Phonemlokalisierung [41]
7.-8. Lebensjahr	Synthese und Analyse [41]
12. Lebensjahr	Selektive Aufmerksamkeit [57] [41]

Tabelle 2.1: Entwicklung der auditiven Teilfunktionen

## 2.3 Störungen der auditiven Verarbeitung

Es folgt eine detaillierte Übersicht der möglichen auditiven Störungen, welche sich durch Probleme bei oben beschriebenen Teilfunktionen ergeben können.

### 2.3.1 Definition

In der deutschsprachigen Literatur werden uneinheitlich Begriffe wie auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung, zentral-auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung (ZAVWS) Hörverarbeitungsstörung, zentrale Schwerhörigkeit oder Hörstörung synonym verwendet, teilweise wird auch - wie bereits eingangs erwähnt - bei Lauer, Rosenkötter et al. und Günther et al. zwischen Verarbeitungsstörungen und Wahrnehmungsstörungen differenziert [87] [49]. Mitsamt den unterschiedlichen Begriffsdefinitionen und Zuordnungen genannter Teilfunktionen zeugen sie vor allem von der Komplexität des Störungsbildes. Ein Kind mit solch einer Funktionsstörung ist zu normalem peripheren Hören fähig, kann aber auditive Signale nicht korrekt wahrnehmen – Grund ist eine Störung auf Ebene der zentralen Hörbahn.

Einig ist sich die Literatur in Folgendem: Das Störungsbild ist heterogen und kann sich aus Störungen unterschiedlicher Teilfunktionen zusammensetzen. Von einer AVWS gesprochen wird konkret, wenn bei mindestens 2 der genannten Teilfunktionen mittels standardisierter Testverfahren Standardabweichungen vom Referenzwert feststellbar sind. Lauer empfiehlt im Fall einer Störung von nur einer Teilfunktion ausschließlich ebendiese zur Störungsbezeichnung heranzuziehen ( z.B. Selektionsstörung) [57].



### 2.3.2 Ätiologie und Häufigkeit

Zur Häufigkeit von AVWS sind nur wenige Daten in der Literatur vorhanden. Nikisch et al. geben ebenso wie Chermak und Musiek die geschätzte Häufigkeit mit 2-3 Prozent bei Kindern an – wobei Buben doppelt so häufig betroffen sind wie Mädchen [74] [19]. Lauer begründet einen zu beobachteten Anstieg an diagnostizierten auditiven Verarbeitungsstörungen mit einer steigenden Bewusstseinsbildung für ebendiese – hinterfragt allerdings, ob auch tatsächlich alle Diagnosestellung den Störungen der auditiven Teilfunktionen zugeordnet werden können und nicht eher anderen Störungsbildern zuzuordnen sind [57].

### 2.3.3 Symptome

Analog dem Störungsbild ist auch die Symptomatik sehr heterogen. Vor allem im Schulalltag können betroffene Kinder unter vielfältigen Problemen leiden. Dort haben sie beispielsweise im Vergleich zu Mitschülern mehr Probleme beim Verstehen des Lehrers bei Auftreten von Störgeräuschen, verarbeiten verbale Informationen nur langsam bzw. längere Aufforderungen nur teilweise, oder verstehen den Gesprächspartner nicht, wenn dieser zu schnell spricht. Es fällt schwer, in Gruppengesprächen zu folgen, Gedichte oder Liedtexte auswendig zu lernen oder gar neue Wörter zu lernen - zudem können Lese- und Rechtschreibschwächen auftreten [41] [11].

### 2.3.4 Teilfunktionsstörungen und deren Erscheinungsbild im Alltag

Im Folgenden werden Störsymptome in Bezug auf die genannten Teilfunktionen besprochen.

Eine Störung der Vigilanz oder selektiven Aufmerksamkeit zeigt sich darin, dass sich die betroffene Person weder kurz- noch langfristig auf auditive Stimuli konzentrieren kann. Da die Aufmerksamkeit im engeren Sinne nicht als Teilfunktion, sondern als Voraussetzung für die weitere Verarbeitung gesehen wird, ist ein Defizit ihrerseits im Kontext von Wahrnehmungsstörungen zu berücksichtigen. Wieder sei darauf hingewiesen, dass in der Literatur von rein auf Aufmerksamkeitsstörungen basierenden Auffälligkeiten zu auditiven Verarbeitungsstörungen zu differenzieren ist [57].

Im Schulbetrieb kann sich das dahingehend äußern, dass das Kind im Laufe des Schultages eine zunehmende Unruhe und Ermüdung entwickelt und leichter ablenkbar ist. Die mündliche Mitarbeit ist eingeschränkt und bezieht sich auf sogenannte „Reizwörter“, welche den gerade dem Kind relevanten Interessen entsprechen [11].

Liegt eine Störung der Speicherung vor, können präsentierte Reize nicht mittel- bis langfristig gespeichert werden, was sich in einer verkürzten Merkspanne äußert. Betroffene Kinder merken sich ihrem Alter entsprechend lange Zahlen- oder Silbenfolgen nicht. Da eine Speicherung der Reize für eine anschließende Weiterverarbeitung essentiell ist, sind die Auswirkungen von Speicherungsstörungen auf die auditive Verarbeitung umso größer [57].

Wenn Stimuli nicht in der vorgegebenen Reihenfolge wiedergegeben werden, mag das an einer Störung der Sequenz liegen. Das kann unabhängig von einer Speicherung der Fall

sein: das Kind merkt sich unter Umständen etwa alle Silben oder Zahlen, ist allerdings nicht fähig, diese in korrekter Reihung zu präsentieren. Oder es werden Anweisungen befolgt, allerdings der vorgegebene Ablauf nicht eingehalten. Eine Störung von Speicherung und Sequenz zeigt sich im konkreten Schulalltag durch schwächere Leistung im Kopfrechnen gegenüber dem schriftlichen Rechnen. Das Kind lässt beim Diktat Wörter aus, eine mündliche Ansage der Hausaufgaben wird im Vergleich zur schriftlichen Notation unvollständig ausgeführt [11].

Bei einer Lokalisationsstörung ist das Kind nicht in der Lage, in angemessener Zeit Entfernung und Richtung der Schallquelle zu identifizieren. Das kann vor allem im Straßenverkehr zu einem gravierenden Problem werden, oder wenn das Kind etwa im Einkaufszentrum aus den Augen verloren wird [41].

Liegt eine Diskriminationsstörung vor, können auditive Stimuli nicht unterschieden werden - es kommt zu einer Verwechslung von Wörtern, welche sich nur durch ein Phonem oder einen Laut unterscheiden. Im Alltag verwechselt das Kind solche sogenannten Minimalpaarwörter [57], beim Diktat werden Wörter fehlerhaft geschrieben [11].

Können relevante Stimuli nicht von störenden Hintergrundgeräuschen unterschieden werden, kann das auf eine Selektionsstörung zurückzuführen sein. Kinder verstehen dementsprechend das im Unterricht Vorgetragene bei lauter Hintergrundbeschallung nur sehr schlecht, fragen häufiger nach oder verstehen die Informationen gar nicht. Sie können gereizt wirken – was sich etwa darin äußert, dass sie sich in lauter Umgebung die Ohren zuhalten. Dieses Verhalten verlangt einen deutlich höheren Energieaufwand um dem Unterricht zu folgen, das Kind ermüdet schnell [41].

Bei einer Störung der dichotischen Diskrimination werden gleichzeitig dargebotene Stimuli nicht vollständig wahrgenommen und Wörter nur einzeln wahrgenommen. Es fällt schwer, in Gruppengesprächen, gerade wenn unterschiedliche Teilnehmer zeitgleich sprechen, dem Inhalt zu folgen. Auch hier kann das Resultat ein gereiztes Verhalten des betroffenen Kindes sein, vor allem wenn mehrere Gesprächspartner auf einmal sprechen [11].

Kindern mit Analysestörungen ist es nicht möglich, die Position von Einzellauten in Wörtern zu bestimmen. Das äußert sich vor allem im Nicht-Erkennen von An-, In- und Auslaut des vorgetragenen Wortes. Besonders das altersgemäße Lese-Niveau negativ beeinflussen können wiederum Synthesestörungen, wobei Laute nicht zum Wort zusammengezogen und deshalb der Sinn nicht erfasst werden kann. Werden akustische Unterbrechungen und fehlerhafte bzw. gestörte Stimuli nicht erfolgreich durch sinnvolle Ergänzungen kompensiert, kann eine Beeinträchtigung der Ergänzung der Grund sein [41].

### 2.3.5 Der Zusammenhang mit anderen Sprachstörungen

Eine Störung der Auditiven Verarbeitung und Wahrnehmung mag selten isoliert, sondern als unspezifische AVWS kombiniert mit anderen Störungsbildern auftreten [41]: bei einer Lese-Rechtschreib-Störungen (LRS), Sprachentwicklungsstörungen (SES), Aufmerksamkeitsdefiziten und Hyperaktivitätsstörungen (ADS, ADHS) kann eine AVWS als Ursache oder Folge der Störung auftreten – die Meinungen in der Literatur sind auch hier uneins [57].

Das in der Schule dargebrachte Verhalten des betroffenen Kindes kann nun – wie im vorhergehenden Kapitel beschrieben - auf eine AVWS und mitunter auch darin begründeten Störungsbilder hindeuten. Eine solche Zuordnung gestaltet sich nach Lauer und Giselbrecht gleichermaßen dementsprechend schwierig und ist auf eine Überprüfung auf medizinischer, therapeutischer und pädagogischer Basis gleichermaßen zu fußen [41].

- Symptome von ADHS und AVWS ähneln sich in der Symptomatik sehr stark, zudem können beide Störungen parallel – und im Kindesalter etwa zeitgleich beginnend - auftreten, was oft zu einer Verwechslung führen kann [57]. Kinder mit AVWS weisen modalitätsspezifische Unaufmerksamkeit auf, die den eingangs beschriebenen Teilfunktionsstörungen im Schulalltag entspricht. Von ADHS Betroffene legen ein Verhalten an den Tag, welches mit Hyperaktivität in Verbindung steht. Sie machen Flüchtigkeitsfehler, können die Aufmerksamkeitsspanne bei Aufgaben nicht lange oder nur widerwillig aufrecht halten oder bringen diese nicht zu Ende. Zudem werden sie schnell abgelenkt und machen insgesamt einen unruhigen Eindruck, der sich durch Herausreden oder Zappeln beim Sitzen mit Händen und Füßen bemerkbar macht [41].
- Auch der Bezug von SES und AVWS ist nicht eindeutig: in der Fachliteratur werden teils sowohl AVWS als Symptom von Sprachentwicklungsstörungen oder als ursächliches Störungsbild betrachtet – die Grenzen sind hier fließend. Eine wesentliche Rolle spielt die auditive Verarbeitung bei Verarbeitungs- und Lernstörungen im sprachlichen Bereich, als welche SES in der Literatur bezeichnet wird. Bei der Diagnosestellung, welche bei Komorbiditäten von beiden Störungen erschwert ist, wird der auditiven Merkspanne eine wichtige Rolle bei der Unterscheidung von betroffenen zu normalen Kindern zugeschrieben - konkrete Unterscheidungskriterien bezüglich den Charakteristika von SES und AVWS bleibt die Literatur zwar schuldig [57]. Es können aber Sprachverständnistests und Hörverarbeitungstests vergleichend herangezogen werden, wie von Nickisch et al. empfohlen [75]: So haben Kinder mit einer AVWS deutlich weniger Probleme im Bereich des Sprachverständnisses als im auditiven Bereich und vice versa im Falle einer Sprachverständnistörung.
- Bei einer LRS, mit einer Prävalenz von 4-8 Prozent eine der häufigsten Entwicklungsstörungen bei Kindern und Jugendlichen, weisen Betroffene Defizite in Semantik, Syntax sowie der phonologischen Bewusstheit auf [57] [41]. In der Literatur wird der AVWS als Ursache für eine LRS eine durchaus relevante Rolle zugewiesen, auch weil der auditiven Verarbeitung mittlerweile neben der visuell-räumlichen Verarbeitung ein wesentlicher Einfluss auf den Schriftspracherwerb zu attestieren ist [57]. Kinder mit AVWS müssen nicht zwangsläufig eine LRS entwickeln, auch wenn Kinder bei einer LRS mitunter AVWS haben können. Vor allem den Teilfunktionen Analyse, Differenzierung sowie der Lautidentifikation wird ein direkter Bezug zu Lese- und Schreibfähigkeiten zugesagt. Eine Abgrenzung zwischen einer zugrunde liegenden Schädigung der zentralen Hörverarbeitung oder der phonologischen Bewusstheit ist

nicht immer eindeutig feststellbar, weil teilweise hinsichtlich der Definitionen die Grenzen nicht klar gesetzt sind [91] [92].

Generell stellt Schröter anhand vielfacher Studien fest, dass die AVWS in der Sprachtherapie in den Jahren immer 'präsender' und mit Störungen im Erwerb von sowohl Sprache als auch Schrift in Zusammenhang gebracht wird [91]. Ausschlaggebend ist hier die auditive und phonologische Sprachverarbeitung, deren Defizite sich ebendort negativ auswirken können - vor allem die Bereiche phonologische Bewusstheit, Analyse, Merkfähigkeit und Diskrimination werden als entscheidende Faktoren genannt.

Störungen der Merkfähigkeit können sowohl bei LRS, SES und AVWS gleichermaßen eine Rolle spielen – wenn auch unklar ist, ob sie als Ursache oder Begleiterscheinung dieser Störungen zu betrachten sind [41].

Hinsichtlich einer Mehrsprachigkeit des Kindes betont Lauer, dass für das Vorliegen einer AVWS diese in allen relevanten Sprachen nachweisbar sein muss [57].

### 2.3.6 Diagnostik

Eine akkurate Diagnose bereits im frühen Stadium ermöglicht es auf die Entwicklungsbedürfnisse des Kindes mit entsprechender Hilfe einzugehen. Und auch hier beschreibt die Literatur sehr unterschiedliche Herangehensweisen bezüglich durchzuführenden Tests und Verfahren zur Diagnosestellung AVWS - Rosenkötter etwa sieht generell ein Problem im Fehlen explizit zur Diagnostik von AVWS entwickelter Testverfahren, die - wenn überhaupt - in einem Alter von 5-10 Jahren valide Aussagen zulassen [87]. Konsens herrscht in der Notwendigkeit, bei Untersuchungen auf eine Kooperation auf interdisziplinärer Ebene zu setzen.

Günther et al. unterteilen das Diagnoseverfahren bei Hörauffälligkeiten von Kindern im Schulalter in drei Ebenen [49]:

- Anamnese
- Beobachtung
- Diagnostik

Musiek et al. teilen Testverfahren in zwei Ebenen unterschiedlicher Priorität, „first-order-tests“ und „second-order-tests“. Erstere bezieht sich auf das grundsätzliche Erkennen von auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsproblemen, während Tests zweiter Ordnung eher ergänzende Funktion haben und nach Bedarf eingesetzt werden [71] [19].

Lauer modifiziert die Ebenen von Günther - Günther zusätzlich in einem Diagnoseraster anhand dem Schema in Abbildung „X“ [57].

Da für eine zentral-auditive Diagnostik das Ausschließen peripherer Hörstörungen wichtig ist, ist diesbezüglich eine Untersuchung durch Phoniater, Pädaudiologen oder HNO-Ärzte initial durchzuführen, während Logopäden hinsichtlich phonologischer Bewusstheit und

Verhaltensbeobachtung einzubinden sind. Eine Differentialdiagnostik bezüglich Aufmerksamkeit, Gedächtnis, visueller Verarbeitung und Intelligenz ist von einem Psychologen durchzuführen.

Es empfiehlt sich zudem, bei Kindern mit gleichzeitig nachgewiesener ADHS auf zusätzliche Umstände und Fragestellungen gezielt einzugehen. So sollte eine Absetzung der Medikation einer ADHS bei AVWS-Tests vermieden werden, etwaige Normabweichungen bei psychologischen Tests gilt es festzustellen. Ein weiteres Indiz für eine AVWS kann in diesem Fall das bereits erwähnte deutlich reduzierte Sprachverstehen bei Störgeräuschen sein [87].

### 2.3.7 Screeningverfahren

Rosenkötter empfiehlt für eine mögliche Früherkennung von AVWS das Beachten von Verhaltensauffälligkeiten hinsichtlich der sozialen Interaktion sowie der verbalen und nonverbalen Kommunikation [87]. Abhängig vom Alter gibt es unterschiedliche Hinweise, die als Indiz dafür gedacht werden können:

- Lokalisationsprobleme beim Orten einer Schallquelle
- Überempfindlichkeit gegenüber Geräuschen
- Schlechtes Sprachverstehen bei Störgeräuschen im Hintergrund, Gruppengesprächen, schnell gesprochener Sprache oder reduzierter Signalqualität ( z.B. beim Telefonieren)
- Geringe Langzeitaufmerksamkeit bei auditivem Input
- Einschränkungen hinsichtlich Lautunterscheidung und Phonemsynthese

Rosekötter gibt als entsprechende Voruntersuchungen U8 und U9 an, was einem Alter von 4 bzw. 5 Jahren entspricht. Bei U10-U11 (entsprechen 7- 10 Jahre) sind zusätzlich schulische Leistungsprobleme in die Beobachtungen miteinzubeziehen [87].

Lauer zählt konkrete, zur Screening-Diagnostik geeignete, Testmöglichkeiten auf - gibt für etwaige Voruntersuchungen aber zu bedenken, dass diese unterhalb eines Alters von 5 Jahren als nicht sicher genug gelten und generell im Vergleich zu standardisierten Testverfahren nur wenig Aussagewert haben. Auch Nickisch gibt zu bedenken, dass Tests vor dem Schulalter nur bedingt zu zuverlässigen Ergebnissen führen [73]. Es lassen sich die Teilfunktionen Aufmerksamkeit, Speicherung, Sequenz sowie Lokalisation, Diskrimination und die der auditiven Gliederung zugehörigen Analyse, Synthes und Ergänzung für eine Untersuchung heranziehen, die auf die zwei Altersgruppen 5-6 Jahre und 7-8 Jahre zugeschnitten ist. Dem frühen Alter in der ersten Altersgruppe entsprechend werden bei Untersuchungen ebendort teils Bilder unterstützend eingesetzt, um das da noch verminderte Sprachvermögen zu kompensieren. Für Kinder ab dem 7. Lebensjahr fällt dieser Einsatz von Bildern weg. Als Bewertungsgrundlage werden die prozentuell korrekten Antworten herangezogen und einem 30 Prozent-Kriterium gegenübergestellt. Liegt die

Leistung des Kindes unterhalb dieser 30 Prozent, sind standardisierte Testverfahren empfohlen [57].

### 2.3.8 Audiometrische Untersuchung

Initial gilt es als Voraussetzung für alle anschließenden Überprüfungen, eine peripheren Hörstörung anhand von Voruntersuchungen, etwa mittels Sprachaudiometrie, auszuschließen [87]. Erst bei einem garantiert intaktem peripheren Gehör kann ein Vorliegen einer AVWS eindeutig geklärt werden - sind Störungen des Hörorgans vorhanden, müssen diese etwa mittels Hörgeräteversorgung oder operativ behandelt werden [73]. Zudem muss eine Intelligenzminderung durch entsprechende Entwicklungsdiagnostik geprüft werden, sowie das Vorliegen eventuell unbehandelter Aufmerksamkeitsstörungen geklärt werden - damit sich auch von dieser Seite mögliche Ursachen bzw. potentielle Testverfälschungen ausschließen lassen [73][57]. Anschließend ist das Vorliegen einer zentralen Hörstörung vor folgenden psychometrischen Verfahren abzuklären, da ein Vorliegen einer solchen grundsätzlich immer als Grundlage einer AVWS gesehen werden kann. Zu Testverfahren bezüglich einer möglichen zentralen Hörstörung zählen unterschiedliche subjektive und objektive Tests – bei Letzteren wird vom Kind keine Reaktion auf die dargebrachten Stimuli erwartet:

- Das Sprachverstehen wird in der Sprachaudiometrie binaural mit Störgeräusch geprüft.
- Die Messung der Impedanzänderung im Mittelohr als Antwort auf akustische Stimuli kann auf pathologische Änderungen des M.Stapedius zurückzuführen sein. Als objektive Tests dienen hier Stapediusreflexschwellenmessung und Tympanometrie - entsprechend sind sie von der Mitarbeit des Kindes nicht abhängig.
- Mittels Hörfeldskalierung wird die Empfindung des Kindes auf akustische Reize unterschiedlicher Lautstärke getestet. So werden Töne subjektiv z.B. den Attributen „sehr leise“ über „leise“ bis „sehr laut“ zugeordnet. Ein Testen der Unbehaglichkeitsschwelle dient zur Feststellung, ob diese eventuell herabgesetzt ist.

### 2.3.9 Psychometrische Diagnostik / Psychologische und sprachliche Testdiagnostik

Für die Überprüfung der auditiven Teilfunktionen werden jeweils psychometrische Testverfahren herangezogen. Es sei festzuhalten, dass ein positives Ergebnis eines einzelnen Tests alleine nicht als Diagnosestellung einer AVWS ausreichend ist [57] [87]. Ebenfalls existiert in der Literatur kein Konsens über den Einsatz empfohlener Testverfahren.

- Hinsichtlich Aufmerksamkeit und deren Aufrechterhaltung empfiehlt Lauer eine grundsätzliche Beobachtung des Verhaltens bei Durchführung anderer Tests [57].

- Speicherung und Sequenz können simultan beispielsweise über schrittweise zunehmende Zahlen -, Silben- oder Wortfolgen überprüft werden. Als häufig eingesetztes Instrument sei an dieser Stelle der Mottier-Test erwähnt [85]: Er basiert auf sogenannten Kunstwörtern, die nicht auf im Langzeitgedächtnis gespeicherte lexikalische Wörter abgebildet werden können. 30 dieser Pseudowörter, mit maximal 6 Silben, werden dem Kind mit verdecktem Mund zum Nachsprechen vorgetragen – die Anzahl der korrekt nachgesprochenen Wörter ist schließlich Bewertungsgrundlage für das Testergebnis.
- Nur grobe Messmöglichkeiten bieten sich für das Testen der Lokalisation an: Kinder können etwa mit geschlossenen Augen die Richtung bestimmen, aus der das vorgegebene akustische Signal kommt, oder versteckte – Stimuli erzeugende – Gegenstände, ebenfalls mit geschlossenen Augen, suchen. In dem Kontext ist zu beachten, dass das Nicht-Sehen des Kindes in der Situation mitunter auch zu Angstreaktionen führen kann.
- Bei Tests bezüglich der Diskrimination werden vorgetragene, fast gleich klingende Wörter (Minimalpaare) vom Kind auf Gleichheit verglichen. So ein Differenzierungstest ist beispielsweise im 2006 von Nickisch et al. entwickelten, an 359 Kindern im Grundschulalter normierten, Münchner Auditive Screeningtest für Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (MAUS) enthalten [76]. Auch hier werden, um einer lexikalischen Kompensation entgegenzuwirken, Pseudowörter verwendet. Ein weiteres Beispiel ist der Heidelberger Lautdifferenzierungstest (H-LAD) für Kinder im Grundschulalter, der ebenfalls auf Minimalpaare setzt [15]. Anzumerken ist, dass die meisten Tests über das ausschließliche Testen der Diskrimination hinausgehen: neben der eigentlichen Fähigkeit, nämlich der Unterscheidung, ob es sich um gleiche Stimuli handelt oder nicht, wird zudem das Identifizieren des betroffenen Stimulus behandelt – was allerdings bereits in den Aufgabenbereich der auditiven Analyse fällt [57].
- Zum Testen der Selektion bieten sich etwa computerunterstützte Verfahren an, bei denen Störgeräusch und gesuchte Stimuli individuell bezüglich Lautstärke konfiguriert werden können. So kann das Störgeräusch im Testverlauf sukzessive lauter geschaltet werden
- Auch für die dichotische Diskrimination sind computerunterstützte Tests empfehlenswert, um mittels Kopfhörer beiden Ohren gleichzeitig die akustischen Signale zuzuführen. Generell gehen Tests hier über das reine Klassifizieren von „gleich“ und „ungleich“ hinaus, da außerdem der Stimulus dem jeweiligen Ohr zugeordnet werden muss. Lauer empfiehlt zur Erleichterung der Teilfunktion, zuerst mit Wörtern von deutlich unterschiedlicher Länge zu beginnen.
- Zum Testen der phonologischen Bewusstheit bietet das Heidelberger Vorschulscreening Möglichkeiten hinsichtlich den Teilfunktionen Lautanalyse und -synthese an [68]: Zum Testen der Analysefähigkeit etwa müssen Wörter in Silben zerlegt, die

Position von Lauten im Wort bestimmt, Reimwörter gefunden oder Anfangslaute identifiziert werden. Umgekehrt werden entsprechend der Synthesefähigkeit aus Lauten Wörter zusammengesetzt.

- Tests hinsichtlich der Teilfunktion Ergänzung bestehen aus dem Ergänzen von Wortfragmenten [57] wie sie etwas im Untertest „Wörter ergänzen“ (WE) aus dem Psycholinguistischer Entwicklungstest (PET) angeboten werden [7][87].

### 2.4 Therapie von AVWS

Einen verallgemeinernden Therapieansatz für AVWS zu definieren, gestaltet sich ob der Symptomvielfalt als schwierig. Vielmehr muss hier auf die individuellen Probleme des Patienten eingegangen werden. Und auch da gilt: Einteilungskriterien gibt es in der Literatur zahlreiche.

Lauer unterscheidet zwischen teilfunktionsorientierten, psychomotorischen und kompensatorischen Ansätzen. Teilfunktionsorientierte Ansätze setzen an den jeweiligen auditiven Teilfunktionen an, während bei psychomotorischen Ansätzen Motorik und rhythmische Elemente eine wesentliche Rolle spielen. Kompensatorische Ansätze können z.B. andere Sinnesmodalitäten, etwa das Sehen, zum Ausgleich der fehlenden auditiven Leistung nutzen.

Ferre et al. teilen die Therapieverfahren ebenfalls in entsprechende Bottom-Up und Top-Down Strategien [57][35]. Bottom-up Trainings haben die Verbesserung der zugrunde liegenden auditiven Funktionsstörung im Fokus. Top-Down Verfahren sollen metalinguistische und metakognitive Prozesse - etwa das Ergänzen von Elementen eines Satzes anhand des linguistischen Kontextes- berücksichtigen.

Auch eine Auflistung der Interventionsmöglichkeiten in nonverbale und verbale Verfahren scheint sinnvoll: nonverbale Verfahren beinhalten beispielsweise signalverbessernde Möglichkeiten, wie etwa das Anpassen der Hörumgebung oder der Einsatz sogenannter FM-Anlagen. Auch eine Hörgeräteversorgung fällt unter diese Kategorie [87].

Zusammengefasst kristallisieren sich für die folgende Listung der Möglichkeiten in der Therapie zur Behandlung von AVWS drei wesentliche Grundpfeiler heraus:

- Die Anpassung der Hörumgebung im schulischen Umfeld zur akustischen Qualitäts-optimierung
- Das Erwerben von Kompensationsmechanismen
- Therapie und Fördermaßnahmen

Eine Intervention auf Beratungsebene ist aufgrund der geringen wissenschaftlich belegten Informationen nur kurz erwähnt- ebenso wird die Anwendung alternativer Ansätze anhand sprachfreier Stimuli wie etwa einer Klangtherapie oder technischer Geräte zum Training von Teilaspekten der auditiven Verarbeitung, im Folgenden aufgrund der allgemein kritischen Haltung in der Literatur dieser gegenüber nur am Rande erwähnt [57] [87].



### 2.4.1 Beratung

Logopäden und behandelnde Ärzte geben initial Auskunft und liefern Erklärung zum vorhanden Störungsbild - ein Informieren der Bezugspersonen und Lehrkräfte nach Diagnosestellung erweist sich als sinnvoll, um erste erforderliche Änderungen durchführen zu können. Vorschläge für den praktischen Umgang liefert etwa die Deutsche Gesellschaft für Sozialpädiatrie und Jugendmedizin (DGSJ) in ihren Leitlinien zur auditiven Wahrnehmungsstörung, sowie die Deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie (DGPP) [53] [73]: So kann sich das Verlegen der Sitzposition in den vorderen Bereich des Klassenzimmers bereits positiv auswirken. Blickkontakt zur Lehrkraft, direktes Ansprechen, sowie Verminderung des Störschalls durch Einrichtungsanpassung des Klassenraums sind hier weitere Empfehlungen. Ein Informationsblatt von Seiten des behandelnden Arztes kann zusätzlich ausgestellt werden. Neben dieser Beratung empfiehlt es sich weiters, Eltern hinsichtlich den Therapiemöglichkeiten zu informieren, damit sich diese aktiv und unterstützend beteiligen können. Daraus folgend ergeben sich für Erziehungsberechtigte unterschiedliche Handlungsmöglichkeiten: betroffene Kinder sind möglichst genau über die Gründe der bestehenden Probleme aufzuklären: es soll klargestellt werden, dass es sich bei AVWS um keine mangelhafte Begabung ihrerseits handelt [74]. Sie sollen vielmehr dazu ermutigt werden, bei Unklarheiten nachzufragen oder selbst aktiv Hintergrundgeräusche z.B. durch das Schließen einer Türe zu reduzieren. Zudem muss dafür gesorgt werden, dass auch alle Lehrer, vor allem im Falle eines Schulwechsels oder Lehrertauschs, ausreichend hinsichtlich der Auswirkungen der Störung im Bilde sind. Das langsame Sprechen, das Vermeiden von ungebräuchlichen Wörtern und das Aufbringen von Geduld sind schließlich weitere Empfehlungen an die Eltern [74].

### 2.4.2 Verbesserung der akustischen Signalqualität

Sie fallen unter die genannten nonverbalen Therapieverfahren und finden in den Richtlinien der DGPP oder DJSJ explizit Erwähnung: signalverbessernde Interventionen, wie etwa die Modifikation der Hörumgebung – insbesondere der schulischen- sind von essentieller Bedeutung im Umgang mit AVWS [87]. Die Sprachverständlichkeit ist von Störschall, Nachhall, Raumgeometrie und der Distanz vom Sprecher abhängig [11]. Daraus ergeben sich neben präventiven baulichen Maßnahmen, die bereits beim Bau der Klassenzimmer berücksichtigt werden können, das Verändern der Sitzposition nach vorne seitlich, um die akustische Wahrnehmung zu optimieren und ein Mundablesen als Unterstützung des Verstehens zu ermöglichen, als mögliche Maßnahmen. Schalldämmende Wände oder Teppiche, sowie das Reduzieren von Störgeräuschen durch Heizungen oder Computer verbessern ebenfalls das akustische Gesamtbild zum Positiven.

Auch der Einsatz von Frequenz-Modulations-Anlagen (FM-Anlagen) fällt unter diese Kategorie und erleichtert das Sprachverstehen: solche -meist drahtlosen- Signalübertragungsanlagen bestehen aus einem möglichst nah beim Sprecher installierten Sendermikrofon und dem Empfänger, der beim betroffenen Kind angebracht ist und diesem die nötigen Informationen möglichst störungsfrei zukommen lässt. Einer Hörgeräteversorgung wird in der Literatur mit mitunter besserer Auswirkung auf das Sprachhören im Störschall

attestiert – gleichzeitig aber auch betont, dass durch die damit potentiell auftretenden Hörschäden diese nur unter strengen und regelmäßigen Kontrollen anzuwenden sind [57][87].

### 2.4.3 Technische Therapieansätze

Grundlage der technischen Therapieansätze ist das Zuführen speziell gefilterter auditiver Reize über Kopfhörer zur Verbesserung diverser Teilaspekte der auditiven Verarbeitung. Ein Beispiel für solche technischen Therapieansätze ist das Hörtraining nach Tomatis. Es beruht auf der Annahme, dass dem Ohr (insbesondere dem rechten) eine besondere Stellung in einem ausschließlich aus Klang bestehenden Kosmos zukommt und dieses Energiehaushalt, Körperhaltung und Mobilität des Körpers beeinflusst. Speziell aufbereitete, über Kopfhörer oder Knochenleitungshörer zugeführte Frequenzen – etwa die Stimme der Mutter oder Musik von Mozart - sollen so eine nachhaltig heilende Wirkung bei unterschiedlichsten Störungsbildern haben.

Solche Tomatis-Zentren sind auf der ganzen Welt präsent – ein daher bestehendes großes Interesse an solchen Therapieansätzen begründet etwa Lauer mit einem Mangel an empirisch abgesicherten Therapieprogrammen [57].

Es sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass Studien und wissenschaftliche Resultate zu technischen Therapieansätzen allerdings wenig aussagekräftig und bisweilen widersprüchlich sind - die Gesellschaft für Neuropädiatrie, die Deutsche Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Halschirurgie und die Deutsche Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie distanzieren sich beispielsweise in einer gemeinsamen Stellungnahme 2000 explizit von Inhalten des Hörtrainings und der Klangtherapie [41].

### 2.4.4 Auditives Training

Die Deutsche Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie erachtet eine Kombination aus den beiden Bereichen Top-Down und Bottom-Up für sinnhaft gegenüber einzelnen Therapieansätzen. Dieser möglichst individuell an die Bedürfnisse des Kindes angepasste Trainingsplan sollte letztendlich lediglich auf diagnostizierte Fähigkeitsstörungen abzielen und dabei nicht diagnostizierte Defizite - deren Vorhandensein z.B. lediglich auf Vermutungen basiert - außen vor lassen. Zusätzlich sollte der Behandlungserfolg in regelmäßigen Abständen überprüft und gegebenenfalls an die aktuellen Gegebenheiten angepasst werden [14].

Bottom-Up Therapien können weiters auf Einzel- oder Gruppenebene durchgeführt werden, und richten sich hier nach dem spezifischen Bedarf des zu behandelnden Kindes. Letztere finden etwa in Kindergartengruppen statt. Da diese allerdings nur bei annähernd gleichen Diagnoseprofilen der Kinder Sinn macht, sieht Lauer Gruppentherapien vor allem aufgrund der eingangs erwähnten vielfältigen Kombinationen an Funktionsstörungen eher als unterstützende Form der Einzeltherapie – auch wenn ein Austausch und gegenseitiges Aushelfen der Kinder untereinander durchaus hilfreich sein kann [57].

### 2.4.5 Logopädische Therapie bei AVWS und LRS

Kinder mit AVWS können, wie bereits oben beschrieben, durchaus eine Lese-Rechtschreibstörung aufweisen: Die phonologische Bewusstheit, welche Reimen, Silben, Wortlänge und Anlaute beinhaltet, stellt eine essentielle Voraussetzung für den Schriftspracherwerb dar, und verlangt dementsprechend als eine mögliche Störungsgruppe bei AVWS eine rechtzeitige therapeutische Intervention, um das Risiko einer potentiellen LRS zu mindern [41] [15]. Liegt eine Beeinträchtigung von zentralen Hörfunktionen vor, kann nach Schröter ein kombiniertes Training von phonologischer Bewusstheit und Phonem-Graphem-Korrespondenz hilfreich sein und zu Steigerung von Konzentrations und Aufmerksamkeitsleistung als Basis für Lese- und Schreiberwerb führen [91].

## 2.5 Serious Gaming

Im Zuge dieser Arbeit werden Konzepte und Anwendungsmöglichkeiten von Serious Games in der Therapie vorgestellt und deren Nutzen im Kontext einer computerunterstützten Therapie bei AVWS untersucht. Hierfür folgt einer eingangs stattfindenden Begriffsbestimmung und Abgrenzung zu ähnlichen Bereichen eine Vorstellung der relevanten Konzepte und potentieller Vorteile.

### 2.5.1 Begriffsbestimmung

Um auf Definitionsmöglichkeiten des Begriffes 'Serious Game' eingehen zu können, bedarf es einer initialen Erläuterung zum Thema 'Game' bzw. 'Computerspiel' per se: Backe beschreibt dieses etwa allgemein hin als audiovisuelles Spiel unter Einbeziehung eines Computers als Darstellungsmittel [8]. Natürlich lassen sich entsprechend heutiger Standards weitere Einteilungskriterien - etwa durch die verwendete Plattform - anwenden, für das Folgende soll der Begriff 'Computerspiel' als Überbegriff ebendieser Unterkategorien ausreichen. Computerspiele können unterschiedliche - dem Fokus der Anwendergruppe entsprechend- Bedürfnisse abdecken: während Jugendliche kooperatives oder kompetitives Handeln als wichtig erachten, kann für einen Erwachsenen eine stressreduzierende und erholende Komponente vorrangig sein [6] [100].

Durch die kontinuierlich steigende Popularität der digitalen Unterhaltungsindustrie in Form von Videospiele heutzutage ist das Erschließen zusätzlicher Anwendungsfelder folglich ein nur allzu logischer Schluss [67] [30]. Bieten Spiele nun auf unterschiedlichste Art und Weise einen zusätzliche Mehrwert -etwa für die Wirtschaft, den Bildungssektor, oder eben das Gesundheitswesen- ist in der Fachliteratur oft von 'Serious Games' die Rede [89] [100].

Bereits 1975 definierte Clark C. Abt den Begriff der „Serious Games“ als „Spiele, welche vordergründig einen Bildungszweck haben und nicht nur der Unterhaltung dienen“ [6]. Auch Zyda sieht Serious Games als Videogames, die Unterhaltung und Weiterbildung in Einklang bringen [106].

Dieser zusätzliche Aspekt an wissenschaftlichem, informativem oder pädagogischem Nutzen lässt sich beispielsweise durch das von Quin et al. definierte Spektrum für digitale

Spiele besonders gut zum Ausdruck bringen und so von anderen Bereichen abgrenzen [82]: kommerziellen, ausschließlich zur Unterhaltung gedachten Videospielen stehen am anderen Ende der Bandbreite realistische Simulatoren gegenüber - Serious Games als Vereinigung der Attribute aus beiden Typen lassen sich dementsprechend im mittleren Bereich einordnen. Sie sollen einen motivationsfördernden Unterhaltungswert bieten, aber gleichzeitig einen Lern- und Übungseffekt erzielen sowie entsprechendes Wissen vermitteln [100].

Die Palette an möglichen Spielegenres oder Plattformen, auf denen Serious Games Anwendung finden können, sind auch hier vielfältig, so dass sich der 'bildende' Aspekt eines Serious Games mitunter auch nur subjektiv beurteilen lässt: während für den einen Benutzer beispielsweise ob eines positiven Trainingseffektes der Nutzen weit über einen kommerziellen hinausgeht, bietet es einem anderen Anwender -vielleicht durch fehlendes Grundwissen- bestenfalls gesteigerten Unterhaltungswert [100][6].

### 2.5.2 E-Learning, Serious Games und Gamification

Durch die zunehmende Popularität der Thematik werden die Begriffe 'Serious Game', 'Gamification' und 'eLearning' oft im selben Atemzug genannt und als Modewörter für ein und dasselbe verwendet - was mitunter nicht korrekt ist. Der Nutzen mag ein ähnlicher sein, dennoch unterscheiden sich die Strategien in wesentlichen Aspekten [29] [97].

E-Learning umfasst alle Formen von Lernmethoden mit Einbezug elektronischer Geräte oder digitaler Medien zur Unterstützung der Kommunikation [43]. Ein Beispiel ist etwa das Vermitteln von Wissen über Distanz im schulischen Bereich oder Fortbildungskurse im Berufsleben. Das Weglassen einer lehrenden, realen Person mag zwar vor allem kosten- und wartungsbedingte Vorteile mit sich bringen - oftmals geht damit 'E-Learning'-Software aufgrund der deutlich minimierten Interaktionsmöglichkeiten allerdings auch auf Kosten von Kreativität, Bereitschaft zum Mitdenken und Memorierung des Lernenden [100] [89].

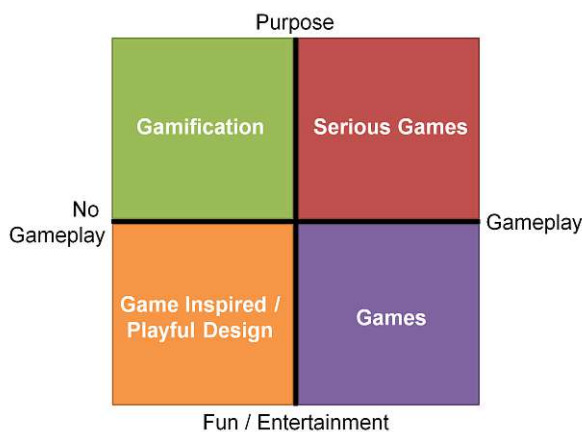


Abbildung 2.3: Serious Games und Gamification [66]

Serious Games und Gamification, wie in Abbildung 2.3 gezeigt, stellen nun zwei mögliche Strategien des eLearnings da, um mit diversen genannten Problemen umzugehen. Oft werden beide Begriffe in der Literatur auch unter dem übergeordneten Begriff 'Applied Games' zusammengefasst [36].

Gamification beschreibt das Hinzufügen von Belohnungselementen für gewisse Aktivitäten, etwa Trainings oder Kurse, um die korrekte Ausführung ebendieser für den Anwender interessanter und attraktiver zu gestalten und das aktive Auseinandersetzen zu fördern. Der Motivationsfaktor (zum Beispiel eine Punktwertung, Abzeichen, ein Rankingsystem oder Leaderboards) ist dementsprechend messbar und auf einen kompetitiven Vergleich ausgelegt. Die Aktivität bleibt von solchen hinzugefügten Elementen jedoch unberührt: weder wird sie angepasst, noch in eine, dem Gameplay entsprechend verträglichere Variante umgewandelt. Es muss für die betroffene Anwendung genau abgewogen werden, welche Art von Gamification-Elementen dem Anwender zuträglich, beziehungsweise im richtigen Maße motivationsfördernd ist [100] [29].

Ein Serious Game ist zuallererst nun mal - wie bereits eingangs erwähnt- ein Videospiel, dem zu dessen Primärzweck, nämlich der Unterhaltung, noch ein zusätzlicher 'ernster' Zweck, z.B. zur Bildung, hinzugefügt wird, um einen Trainingseffekt zu erzielen. Es fördert die Interaktivität durch Unterhaltungswerte und definiert dabei klar Vorgaben hinsichtlich Aufgaben, Spielbeginn und -ende. Dementsprechend müssen Gamification-Elemente per se nicht zugefügt werden - das Spiel folgt ja bereits grundsätzlich den klassischen Konventionen eines Videospieles [67] [29].

Gewissermaßen stehen sich dementsprechend beide Aspekte diametral gegenüber: Während also ein Serious Game einem Unterhaltungsspiel eine ernste Komponente hinzufügt, erweitert die Gamification-Strategie eine -unter Umständen jeglichen Unterhaltungswert entbehrende und keineswegs als Spiel zu bezeichnende - Anwendung um eine spielerische Komponente. Während Gamification einer klaren E-Learning-Struktur folgt und der Ablauf der Anwendung strikt die zu lernende Aktivität abbildet, können Serious Games losgelöst von solchen Konventionen, und bedarfsorientiert gestaltet werden [100] [102]. Das Ziel beider Möglichkeiten kann dabei allerdings durchaus dasselbe sein: Das Wecken bzw. Aufrechterhalten der Motivation zur Durchführung der gestellten Aufgabe ist ein, wenn nicht der Hauptfaktor, um eine der genannten Strategien überhaupt einzusetzen [80]. Beide Strategien verschmelzen dabei Fiktion mit realen Bedingungen. Auch das Entfachen eines kollegialen Wettbewerbes, z.B. durch kompetitive Elemente wie einem Leaderboard, kann - in der richtigen Dosis - den Anwender zu guten Leistungen anspornen. Hier sie allerdings nochmals darauf hingewiesen, dass solche Elemente mit großem Bedacht eingesetzt werden, beziehungsweise sich jederzeit deaktivieren lassen sollten. Und nicht zuletzt: sowohl Serious Games als auch Gamification zeigen dem Anwender aufgrund unmittelbarem Feedback auf, wo noch Optimierungspotential liegt und das zu Lernende geübt werden muss - und das in einer sicheren, fiktiven Umgebung [100] [29].

### 2.5.3 Serious Games und die 'Flow Theorie'

Um den viel zitierten Motivationsfaktor und dessen entscheidende Wichtigkeit gerade bei Serious Games zu verstehen, hilft ein Blick in die Psychologie: Der Begriff 'Flow'

wurde in den Neunzigern von Csikszentmihalyi et al. 1988 geprägt - er beschreibt das Gefühl einer Erfahrung, bei deren Ausübung die Fähigkeiten des Ausübenden und die Anforderungen der Erfahrung perfekt ausbalanciert sind. Ist das nicht der Fall, wenn etwa das Individuum den Aufgaben nicht aufgrund eingeschränkter Fähigkeiten nicht gerecht wird, führt das zu Stresssituationen und Unbehagen. Umgekehrt fühlt sich die Person unterfordert und gelangweilt, wenn die Anforderungen zu simpel gehalten sind [27].

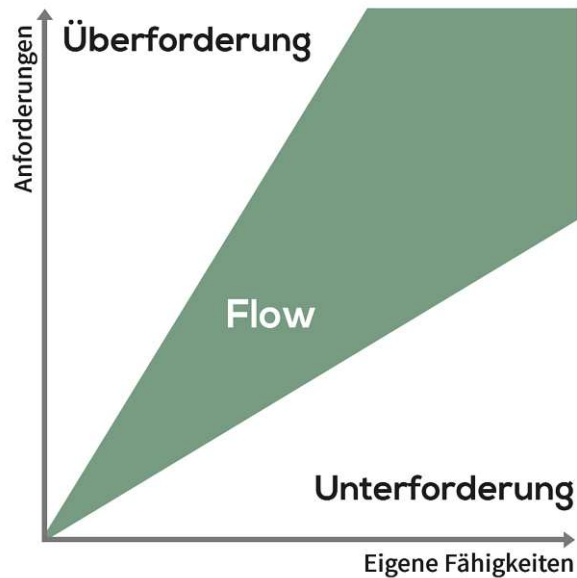


Abbildung 2.4: Flow Theorie [42]

Das Ziel - den idealen Zustand zwischen Unter- und Überforderung zu erreichen, wird in Abbildung 2.4 schematisch dargestellt.

Diese theoretischen Aspekte lassen sich mit den Anforderungen eines Serious Games verknüpfen, wie Gregory in einer Reihe definierter Ansprüche an Spielmechaniken und Interaktivität listet [44]:

- Der Spieler soll klare Zielvorgaben erhalten, und in jedem Moment des Spielablaufs wissen, was er/sie tut bzw. tun möchte.
- Jede Aktion des Spielers resultiert in unmittelbarem Feedback.
- Die Spielanforderungen entsprechen den möglichen Fähigkeiten des Spielers
- Der Spieler legt seinen gesamten Fokus auf die gerade fällige Aufgabe und wird nicht durch externe Sinnesreize abgelenkt.
- Der Spieler hat das Gefühl, das Spiel zu kontrollieren und zu beherrschen.

- Die Wahrnehmung der Zeit ändert sich - der Spieler verliert das Zeitgefühl.
- Das Spielen an sich ist bereits des Spielens wegen lohnend.

Gerade im Gesundheitswesen, in Therapie und Rehabilitation, ist das umsichtige Definieren von Anforderungen entsprechend den tatsächlichen Fähigkeiten des Patienten essentiell - und sollte dementsprechend individuell abgestimmt sein [70].

#### 2.5.4 Serious Games in der Therapie

Lange Zeit standen Computerspiele aufgrund ihres potentiell gewalttätigen Inhalts wegen im negativen Fokus der öffentlichen Wahrnehmung und hatten dementsprechend mit einem kritischen Ruf zu kämpfen. Die steigende Akzeptanz in der Gesellschaft solcher digitalen Unterhaltungsmöglichkeiten brachte in den letzten Jahren allerdings auch positive Aspekte zum Vorschein, unter die neben dem Erwerb von neuen Fähigkeiten eben auch Vorteile auf kognitiver, emotionaler oder sozialer Ebene fallen. [31] Eine wissenschaftliche Auseinandersetzung mit Serious Games im Kontext des Gesundheitswesens war nur ein logischer Schluss. Dabei wurde der positive Effekt von Serious Games unterschiedlicher Art auf kognitiver, verhaltensbezogener, affektiver und motivationaler Ebene in unterschiedlichen Studien bereits seit geraumer Zeit bestätigt [31]: Connolly et. al etwa belegen 2012 anhand der Durchsicht von 129 Studien empirisch einen ebensolchen bezüglich Lernvorteilen, Motivationssteigerung und Verbesserung bestehender Fähigkeiten [22]. Auch Wouters et al. kommen 2013 in ihrer Prüfung von 39 Studien zu einem ähnlichen Schluss und attestieren eine Beeinflussung des Lernens und der Gedächtnisleistung durch Serious Games hinsichtlich Effizienz - können allerdings bezüglich der Motivation keinen Unterschied zu herkömmlichen Unterrichtsmethoden feststellen [104]. Fleming et al. sehen in der Anwendung von Serious Games im Gesundheitswesen großes Potential und betonen dabei essentielle Prozesse [36]: Serious Games müssen Zielgruppen erreichen, welche ansonsten mit Computerprogrammen wenig zu tun haben (wollen). Und sie müssen die Bereitschaft, sich damit auseinanderzusetzen, gleichermaßen durch spielbasierte als auch 'ernsthafte' Motivationsdynamiken erhöhen und dabei auf therapeutische und Gaming-Methoden zurückgreifen. Auch in der Therapie wird die Wirksamkeit Serious Games nachgewiesen: Moyer et al. stellen diese hinsichtlich der Psychotherapie im direkten Vergleich mit traditionellen Methoden auf eine Ebene, mit einem für einige Patienten zusätzlichen Mehrwert bezüglich Akzeptanz und Unterhaltung [50]. Gerade in der Angsttherapie, der Behandlung von Depressionen oder Aufmerksamkeitsdefiziten bei Patienten im Jugendalter zeichnen die Studien ein Bild, das Serious Games als positive Stütze traditioneller Therapiemethoden positioniert. Ebenfalls nicht unwesentlich: mittels einer geeigneten technischen Grundausstattung - etwa einem Tablett - können Patienten so ihre Übungen jederzeit und überall durchführen. Kindern werden so Unsicherheiten genommen, wenn sie das Programm in der eigenen Komfortzone daheim, unabhängig von etwaigen fremden Aufsichtspersonen oder Therapeuten, benutzen [105].

Diesem erfreulichen Trend steht eine nur geringe tatsächliche Inanspruchnahme des Angebotes gegenüber, wie eine Studie von Eichenberg et al. zeigt [32]: Die Bereitschaft

zur Verwendung von Serious Games in der Psychotherapie ist in diesem Fall mit 90 Prozent bei Therapeuten und Patienten zwar durchaus beachtlich, die Kenntnisse zu dem Thema allerdings sehr gering. Als Hauptzielgruppe werden vor allem Jugendliche (85 Prozent) und junge Erwachsene (92 Prozent) gesehen - wobei vor allem die eigene Erfahrung des Therapeuten bezüglich Computerspielen ausschlaggebend für eine positive Entscheidung zugunsten Serious Games als Therapieergänzung war.

### 2.5.5 Serious Games und ihre Anforderungen in der Therapie

Ungeachtet der Tatsache, dass es in der Literatur grundsätzlich an umfangreichen Richtlinien für die Entwicklung und das Design von qualitativ hochwertigen Serious Games für therapeutische Zwecke mangelt, stellen diese im Vergleich zu kommerziellen Spielen zusätzliche Ansprüche, die es beim Entwickeln zu berücksichtigen gilt [105]. Geschlecht, Alter, Entwicklungskompetenz oder Ethnie beeinflussen wie der Anwender mit der Applikation umgeht oder diese überhaupt einmal akzeptiert. Die Zielsetzung und Behandlungsmethode kann für die Wahl des Spieltyps entscheidend sein: So bietet sich etwa für eine Therapie, die Wert auf Aufmerksamkeit oder Fokussierung legt, ein Frage-Antwort-Spiel an; Für Verhaltensmodifikation oder Kommunikation mögen Simulationen oder Virtual-Reality Techniken das geeignetere Mittel sein [50]. Cramon et al. nennen eine Reihe spezieller Aspekte, welche bei der Entwicklung von computerunterstützten Therapien gegenüber herkömmlichen therapeutischen Methoden außerdem eine Rolle spielen sollten[101]:

- Ein Training muss auf Funktionsstörung des Patienten individuell abgestimmt sein
- Entsprechend dem Ausmaß der Funktionsstörung soll der Schwierigkeitsgrad der Aufgabenstellung einstellbar sein
- Die Aufgabenstellung darf den Patienten dementsprechend nicht überfordern - soll aber im gleichen Atemzug über einen längeren Zeitraum das Interesse des Anwenders aufrecht erhalten
- Erfolg, Dauer sowie Trainingsausgang sollen visualisierbar sein
- Der Patient soll das Feedback unmittelbar erhalten, die Rückmeldung auf positive Erfolgserlebnisse audiovisuell übermittelt werden
- Der Patient darf das Programm selbst nicht unkontrolliert abbrechen können.
- Etwaige für das Spiel verwendete Patientendaten müssen vor dem Zugriff unbefugter Dritter geschützt werden.

Samčović et al. definieren für die Entwicklung eines Serious Games mit therapeutischer Unterstützung drei folgende Zielvorgaben [89]:



- Die medizinische Zielvorgabe: dem Patienten muss in seinen individuellen Einschränkungen das Durchführen der Aufgaben mittels benutzerfreundlicher und ansprechender Tools möglich sein.
- Die technologische Zielvorgabe: Das Serious Game muss reale Bedingungen exakt widerspiegeln und zugleich hinsichtlich Design und Entwicklung den Aspekten eines Computerspiels gerecht werden.
- Die soziale Zielvorgabe: es muss eine erfolgreiche (Re-)Integration und (Re-)Sozialisierung im heimischen und umgebenden Umfeld Ziel der Behandlung sein.

Für Michael und Chen sind zudem folgende Punkte zu beachten, will man Serious Games in der computerunterstützten Rehabilitation anwenden [100]:

- Dem Therapeuten muss es möglich sein, jederzeit in den Trainingsablauf eingreifen zu können, sowie diesen zu kontrollieren. Das Spiel kann an beliebiger Stelle pausiert und fortgesetzt werden
- Trainingsaufgaben sind auf die individuellen Stärken und Schwächen der Patienten abgestimmt
- Schwierigkeitsgrad und Ablauf der Trainingsaufgaben entsprechen Alter und Verfassung des Patienten
- Es dürfen durch das Anwenden des Serious Games weder bestehende Probleme verschärft, noch neue Probleme generiert werden
- Werden private Patientendaten aufgezeichnet und verarbeitet, muss hierbei im Sinne des Datenschutzes die höchstmögliche Sicherheit gewährleistet sein
- Umfangreiche Optionen bei der Eingabe und Darstellung des Spiels erweitern den möglichen Einsatzradius beträchtlich. Tablets können z.B. auf kostengünstige Art den Betrieb von daheim aus ermöglichen.

Im Gesamten setzen diese Anforderungen an die Umsetzung eines therapeutischen Serious Games vor allem individuelles Planen voraus: aufgrund der bereits genannten Einschränkungen des Patienten kann dieser die Aufgabenstellung auf unterschiedliche Weise wahrnehmen - was für den einen trivial erscheint, mag der andere als unmöglich empfinden. Aus diesem Grunde ist ein Maßschneidern der therapeutischen Übungen an das Individuum entsprechend Verletzungsgrad, Fähigkeiten und Therapiezielen unabdinglich. Das geschieht üblicherweise durch das initiale Durchführen einer Reihe von standardisierten Tests vor der eigentlichen Übungsdurchführung, anhand derer der Therapeut den Ablauf entsprechend fordernd, aber nicht überfordernd gestalten kann [70]. Dieser zeitaufwendige Prozess muss während dem gesamten, über Wochen laufenden Übungsablauf stattfinden und vom verantwortlichen Therapeuten eingestellt werden.

Eine dynamische Anpassung dieser Werte kann da ein mögliches Konzept sein - das Finden und Adaptieren des idealen 'Flows' wird hier also zum essentiellen Schlüsselement, nicht zuletzt aufgrund der im Normalfall repetitiven Natur des Übungsaufbaus für den Patienten. Es sind vor allem die aus einem Übungsdurchlauf gewonnenen Daten aufschlussreich: die Genauigkeitsrate oder die benötigte Zeit für ein erfolgreiches Erreichen der Ziele liefert Werte für das Adjustieren entsprechender Parameter. Das reduziert vor allem den Aufwand und eine permanente Abhängigkeit von seiten der Aufsichtsperson [70] [31].

Weiters empfehlen Michael und Chen das Hinzuziehen von geeigneten Spezialisten im jeweiligen medizinischen Bereich während der Entwicklung. Neben dem zusätzlichen Maß an Fachwissen mag die verstärkte Glaubwürdigkeit für das Erlangen von Fördermitteln oder Zertifizierungen von Aufsichtsbehörden hilfreich sein. Auch der Kostenfaktor ist bei medizinischen Serious Games, bei denen z.B. Behandlungskosten eine Rolle spielen, oft ein nicht unwesentlicher: dieser kann entscheidend über Annahme und Misserfolg sein- so bietet sich hier etwa das Verwenden bereits vorhandener technologischer Grundgerüste an, um Ressourcen verstärkt auf den eigentlichen Nutzen des Spieles verlagern zu können [100] [105].

### 2.5.6 Serious Games und Virtual/Augmented Reality

Neben einem Einsatz in Training und Erziehung lassen sich digitale Technologien wie VR und AR mit Serious Games auch im Gesundheitsbereich gut kombinieren [79] [59]. Während VR die Immersion dank einer vollständig einer künstlichen Umgebung erzeugt, bildet AR 3D-generierte Objekte, Texte oder akustische Signale auf der realen Umgebung, die mit Bildern oder Videos dargestellt wird, in Echtzeit ab. Dementsprechend kann der Benutzer die tatsächliche Umgebung in VR nicht wahrnehmen, während AR ebenjene mit zusätzlichen künstlichen Informationen anreichert [23]. Für die Anwendung von AR-Applikationen werden spezielle Ausgabegeräte, etwa Brillen, benötigt - virtuelle Objekte, die beispielsweise mittels Marker in der realen Welt positioniert werden, können so aus unterschiedlichen Winkeln betrachtet werden [45].

Virtual Reality und das Gesundheitswesen fanden etwa bereits in den 1990ern zusammen, damals als Simulationsmöglichkeit etwa für die Durchführung von Koloskopien durch Ärzte und Chirurgen [25]. Ma et al. nennen als weitere typische Anwendungsbeispiele unter anderem die Schmerzlinderung, das Planen und Durchführen von Operationen, medizinisches Training oder die Rehabilitation [70]. Am Beispiel einer Therapie von Phobien zeigen sich die Vorteile durch die Adaptierungsmöglichkeiten in der virtuellen Umgebung: Der Patient wird den auslösenden Reizen systematisch in abgesicherter, aber fiktiver Umgebung ausgesetzt. Dem Umstand zum Trotz, dass es sich um eine (digital generierte) Illusion handelt, erhält und verarbeitet das Gehirn die auditiven und visuellen Stimuli entsprechend seinen realen Pendanten.

Die Virtuelle Rehabilitation fand anfangs hinsichtlich der Behandlung von erwachsenen Schlaganfall-Patienten und Kindern mit Zerebralparese Beachtung in der wissenschaftlichen Literatur, [28]. Dabei wurden anfangs durchaus auch bestehende kommerzielle Videospiele herangezogen und auf die Anforderungen in der Rehabilitation adaptiert.

Und auch in der Prävention finden sich Beispiele für das Kombinieren von Serious Games und Virtual Reality, etwa dem Steigern der Fitness von Kindern, die an Übergewicht leiden.

Deutsch et al. sehen hier allerdings nicht den Immersionsgrad, sondern mehr die Interaktionsmöglichkeiten als notwendigen Engagement-Faktor. Und auch da gelten die Flow-Regeln: die kontinuierliche Aufrechterhaltung von Aufmerksamkeit und Motivation sind grundlegend, und damit spielen die Darstellung der virtuellen Umgebung, das Feedback und die Verfassung des Anwenders eine entscheidende Rolle [28].

Denn auch mit Unterstützung von Serious Games bedingt eine Therapie für den Patienten im Normalfall das kontinuierliche, oftmals tägliche Trainieren der spezifischen Defizite - was wiederum im Normalfall die Anwesenheit von qualifiziertem Personal erfordert. Von daher bietet vor allem die immer weiter steigende Akzeptanz von Computerspielen im Allgemeinen, sowie das ständige Weiterentwickeln der Schnittstellen (etwa durch bessere Sensoren oder Bildverarbeitung) neue Möglichkeiten. Speziell auf den Patienten abgestimmte Tools kompensieren eventuell auftretende Schwierigkeiten bei der Handhabung und steigern so die Aufrechterhaltung der Konzentration und Motivation während dem Übungsverlauf. Charotton et al. erwähnen in dem Kontext den Nutzen von Spiegelneuronen: diese werden bei Übungsdurchführung durch den Patienten aktiviert - und insbesondere bei der Repräsentation eines Avatares oder auch nur von Körperextremitäten in der virtuellen Welt stimuliert. [18].

Hierbei kommt die 'dynamische Simulation' als tragendes Feature in VR zum Tragen, indem das Verhalten virtueller Objekte, etwa durch äußere Krafteinwirkung, nicht nur optisch, sondern auch physikalisch korrekt abgebildet wird, wie es durch herkömmliche zweidimensionale Darstellungsformen (z.B. am Computerbildschirm) etwa nicht möglich ist. Dem Patienten wird es so ermöglicht, die Übungsabläufe in möglichst real wirkender, jedoch abgesicherter Umgebung zu simulieren - dank flexibler Konfigurierbarkeit können diese individuell an die Möglichkeiten und Therapieziele angepasst werden. So lassen sich beispielsweise durch das Herabsetzen der -ansonsten durch die Umstände in der realen Welt bedingten- physikalischen Anforderungen Ziele erfüllen, die andernfalls durch motorische Einschränkungen nicht möglich wären - was letztendlich wieder der Patientenmotivation und dem Therapieerfolg zugute kommt [28] [18].

Das Anwenden dynamischer Adaptierungsmöglichkeiten bietet sich virtuellen Raum besonders an: Objekte, mit denen interagiert werden muss, können entsprechend in der Größe angepasst oder näher zum Patienten platziert werden [25].

Für Ma et al. hängt der erforderliche Qualitätsgrad der dynamischen Simulation vom Einsatzgebiet ab [70]: Bei kognitiven und affektiven Trainingsarten wird dieser in einem geringerem Ausmaß erforderlich sein als beispielsweise beim Üben chirurgischer Eingriffe oder motorischer Defizite. Fehlen Patienten in letzterer Kategorie etwa das haptische Feedback beim Durchführen der relevanten Bewegungen, kann das zum Einprägen unterschiedlicher Handlungsstrategien unter virtuellen und realen Bedingungen führen [70].

### 2.6 User Centered Design

Benutzerorientierte Gestaltung fokussiert sich primär auf die Bedürfnisse, Präferenzen und Anforderungen des Endnutzers, während das technisch Umsetzbare in den Hintergrund rückt. Mao et al. definieren User Centered Design (UCD) als multidisziplinäre Planungs- und Designphase, welche auf der aktiven Teilnahme der Benutzer beruht, um deren Anforderungen und Bedürfnisse zu verstehen. Die im Rahmen dieser Arbeit vorgesehene Entwicklung eines Prototypen soll unter Einbezug fachkundiger Therapeuten durchgeführt werden - es folgt entsprechend eine eingängige Beschreibung der Grundlagen anwenderorientierter Gestaltung [69] [64].

#### 2.6.1 Grundlagen des User Centered Design

Unter dem Begriff 'User Centered Design' (UCD) wird die Gestaltung eines Computerprogramms verstanden, bei welcher der Fokus auf den künftigen Anwender gelegt wird. Diese Benutzer können anhand unterschiedlichster Techniken in den Entwicklungsprozess eingebunden werden, um Benutzerfreundlichkeit (Usability) und Zugänglichkeit (Accessibility) -wie im Modell nach DIN EN ISO 9241 Standard definiert- des Produktes zu garantieren [72]: Diese sind erreicht, wenn dem Anwender im Kontext seiner Anforderungen die Erreichbarkeit seiner Ziele auf effektive, zufriedenstellende und effiziente Art möglich ist [84] [60].

ISO 9241 fußt hierfür auf 6 Prinzipien, die als Grundlage des UCD zu sehen sind:

- Ein Verständnis des Benutzers, seiner Aufgaben und der Umgebung sind Grundlage des Designs - bloß eine Vorstellung über die Zielgruppe zu haben ist nicht ausreichend.
- Der gesamte Design- und Entwicklungsprozess findet unter kontinuierlicher Einbindung des künftigen Benutzers statt. Hier zeigt sich ein wesentlicher Unterschied zu herkömmlichen Methoden, bei denen der Benutzer erst bei der Endbewertung des fertigen Produktes herangezogen wird.
- Der Benutzer bewertet den Prototypen - dieses Feedback wird in der weiteren Entwicklung laufend berücksichtigt.
- Der UCD-Prozess wird nicht linear durchlaufen, sondern geschieht vielmehr in mehrfachen Iterationsschritten. Oben genanntes Feedback des Benutzers kann die Zahl der nötigen Wiederholungen beeinflussen.
- Die zu entwickelnde Anwendung soll animieren und zum mehrfachen Gebrauch anregen. Der Blickpunkt liegt am Maximieren der User Experience.
- Das Projekt wird von einem multidisziplinären Team entwickelt. Grafiker, Programmierer und UX-Experten müssen ihre Betrachtungsweisen gleichermaßen einbringen, um Benutzeranforderungen bestmöglichst umzusetzen.

## 2.6.2 Phasen des User Centered Design



Abbildung 2.5: Phasen des UCD [93]

Im UCD als iterativen Prozess verschafft sich der Designer mit investigativen (z.B. Interviews) und produktiven Mitteln (z.B. brainstorming) ein Verständnis der Benutzeranforderungen. Jeder dieser Iterationsschritte besteht im Normalfall aus vier Phasen, wie in Abbildung 2.5 dargestellt:

In der **Analysephase** werden die Anforderungen anhand von Aufgaben und Zielen des künftigen Benutzers identifiziert, Arbeitsbedingungen, Umgebung sowie Beruf, Alter und Ausbildung dieser Person hierfür berücksichtigt. Typische zu beantwortende Punkte in dieser Phase sind etwa das Definieren von Stakeholdern und Benutzergruppen sowie das Finden von Zielen und Aufgaben ebener. Die nötigen Informationen können beispielsweise über Fragebögen oder Interviews gesammelt werden und als Grundlage für das Entwickeln von Personas, Szenarien und Anwendungsfällen dienen. Da diese für die folgenden Phasen essentiell sind, ist eine gründliche und korrekte Analyse zu dem Zeitpunkt besonders wichtig [10] [63].

Der anhand zuvor gewonnener Erkenntnisse definierte Nutzungskontext lässt sich in der anschließenden Konzeptionsphase zu Anforderungen an die Anwendung formen. Es werden Konzeptideen ausgearbeitet - wobei der Fokus vor allem auf benutzerseitigen Aufgaben und Abläufen liegt. Die daraus resultierenden Anwendungsfälle sollen letztendlich im Idealfall den gesamten Anwendungsraum des Projektes abdecken [84].

Entwurf und Design des vorher ausgearbeiteten Konzeptes sowie die konsekutive Umsetzung eines Prototypen geschehen in der Umsetzungsphase. Das kann zum Beispiel anhand von Mockups oder Papierprototypen erfolgen. Auch Wireframes oder Skizzen sind vor allem in den anfänglichen Iterationen als weitere Diskussionsgrundlage oft ausreichend. Der iterative Prozess ist hier essentiell: Analyse- und Konzeptionsphasen können mehrmals durchlaufen werden, um das Erfüllen der zuvor definierten Anforderungen bestmöglich zu garantieren [84][65].

Dem Benutzer werden anhand einer Evaluationsphase die ausgearbeiteten Entwürfe vorgelegt und beispielsweise durch Usability-Tests bewertet, um ein vollumfängliches

Erfüllen der Anforderungen zu gewährleisten sowie gegebenenfalls nachzubessern: Die vorher im Kontext des zu testenden Systems definierte Aufgaben sind -im Idealfall selbst kommentierend- zu lösen. Helfen kann bei so einer Testdurchführung beispielsweise ein Moderator, welcher durch die einzelnen Schritte führt - allerdings nicht selbst direkt in den Prozess des Lösungsfindens eingreift. Durchaus auch in dieser Phase ebenfalls möglich sind zudem Benutzerbefragungen anhand von Fragebögen. Der Informationsgewinn kann aufgrund der direkten Kommunikation zwar ein recht hoher sein- steht aber auch einem deutlich gestiegenem Aufwand gegenüber [84][65].

Die Verfügbarkeit von Ressourcen, Zeitaufwand sowie Umfang eines Projektes können diverse Anpassungen dieses Modells verlangen - und auch wenn sich durchaus unterschiedliche Varianten des UCD in der Literatur finden lassen, so haben diese alle gemeinsam, dass die Bedürfnisse des Endbenutzers in das Zentrum gestellt werden. Um sich bei der Entwicklung nicht in seiner Innensicht zu verlieren und auf die eigenen technischen Möglichkeiten zu fokussieren, müssen die Bedürfnisse der Zielgruppe genau erkannt werden [84][65].

### 2.7 User Experience (UX) und Usability bei Kindern

Als Umschreibung von Präsentation, Funktionalität, Performance und Interaktionsverhalten stellt die Nutzererfahrung (UX) einen Eckpfeiler der Interaktion des Benutzers mit der Anwendung dar. Während positive UX erstrebenswert ist und den Benutzer an die Anwendung binden soll, kann negative UX schnell zu Frustramenten führen - was gerade bei Serious Games und deren Credo der Motivationsaufrechterhaltung kontraproduktiv endet. Ist das bereits bei Erwachsenen ein fordernder Prozess, gilt diese Umsicht bei Kindern natürlich umso mehr: die Geduld ist limitiert, unnötig hohe Komplexität kann schnell für Verwirrung sorgen. Die kindgerechte Gestaltung von Anwendungen ist also eine besonders wichtige und verantwortungsvolle [83] [95]: Sie sollen einerseits das Suchtpotenzial nicht erhöhen und andererseits intuitiv genug gestaltet werden, damit sie auch von Anwendern im jungen Alter verstanden wird [94]. Entsprechend ergeben sich folgende Anforderungen ans Design:

- Die Elemente sind möglichst selbsterklärend - dementsprechend wird Erklärungsbedürftiges vermieden.
- Elemente, mit denen interagiert werden kann, sollten sich farblich hervorheben und so übersichtlich wie möglich gestaltet werden. Da sie in der Applikation mit dem Finger bedient werden, dürfen sie außerdem nicht zu klein sein.
- Tiefe Menüverzweigungen sollten vermieden und Hierarchien flach gehalten werden.

## 2.8 Anforderungsanalyse

Als eine der ersten Phasen des Softwareentwicklungsprozesses stellt die Anforderungsanalyse (Requirements Engineering) eine der Grundlagen dar, um etwaige Missverständnisse und Fehler, sowie Abweichungen des Endproduktes vom geforderten Ergebnis bereits früh vermeiden zu können. Studien zeigen, dass mit 48% fast die Hälfte der potentiell auftauchenden Probleme bei Softwareprojekten mangelhaftem Software Engineering geschuldet sind [46]. Diese Fehler können im weiteren Projektverlauf letztendlich nur schwer kompensiert werden - die für eine Behebung nötigen Kosten steigen zudem mit Entwicklungsfortschritt. Ein Mittel zur raschen Deeskalation stellen agile Ansätze dar - stetiges Prototyping, wie es etwa in iterativen Methoden der Fall ist, kann den Risikofaktor beträchtlich senken [81].

### 2.8.1 Definition

In der Literatur finden sich unterschiedliche Definitionen für den Begriff 'Requirements Engineering'. Broy etwa beschreibt die Anforderungsanalyse als Prozess, in dem Anforderungen für das Produkt systematisch zu erheben und zu dokumentieren sind und den Erwartungen aller Beteiligten optimal entsprechen. Diese Anforderungen basieren auf generellen Geschäftszielen sowie Vorgaben, und sind ideal anwendbar und vermarktbar [13]. Pohl sieht den Prozess als einen kooperativen, iterativen und inkrementellen. Sämtliche relevanten Anforderungen sind allumfassend bekannt und im nötigen Detailgrad ausreichend verständlich definiert, sowie von allen Stakeholdern gleichermaßen übereinstimmend akzeptiert. Die Dokumentation ebenjener erfolgt konform den Spezifikationsvorschriften [81] [48].

Demzufolge lassen sich den Definitionen entsprechend folgende Aktivitäten ins Zentrum des Requirements Engineering stellen:

- Identifikation und Verfeinerung von Anforderungen
- Dokumentation der Anforderungen
- Validierung und Qualitätssicherung der Anforderungen

### 2.8.2 Anforderungen

Anforderungen, welche im Zuge des eingangs beschriebenen Requirements Engineering definiert, dokumentiert und validiert werden, beschreiben Eigenschaften des zu entwickelnden Systems, die vom Benutzer benötigt werden. Sie können in zwei Gruppen gegliedert werden [81]:

- Funktionale Anforderungen beschreiben, welche Dienste das Produkt zur Verfügung stellen soll. Sie werden in der Regel vom Kunden/Benutzer definiert. Deren Spezifikationen sollten idealerweise vor allem vollständig und konsistent sein.

- Nichtfunktionale Anforderungen beschreiben Qualitäten, die das Produkt haben soll. Sie betreffen die Funktionalität des zu entwickelnden Produktes nur indirekt. Reaktionszeit, Sicherheit, Robustheit oder Ressourcen-Verbrauch sind Beispiele für Nichtfunktionale Anforderungen.

Anforderungen müssen testbar sein - andernfalls kann nicht gesagt werden, ob das zu entwickelnde System ebendiese überhaupt erfüllt. Bei Nichtfunktionalen Anforderungen kann die Überprüfbarkeit - sofern möglich - durch Metriken geschehen [13].

### 2.8.3 Phasen der Anforderungsanalyse

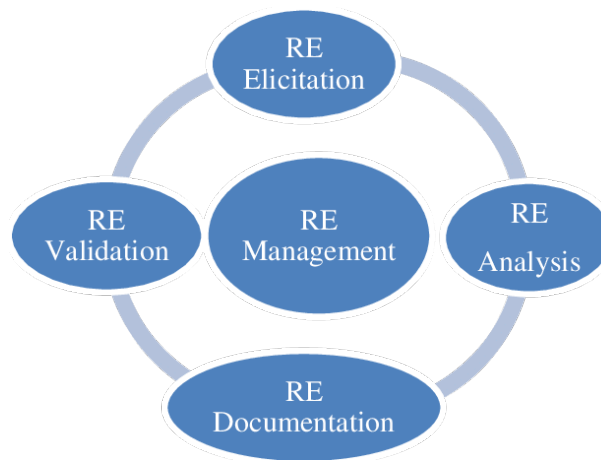


Abbildung 2.6: Requirements Engineering Phasen [42]

Man kann Requirements Engineering generell in die in Abbildung 2.6 abgebildeten folgende Phasen einteilen [78]:

- Die Erhebung (elicitation) der Anforderungen durch Befragung von Stakeholdern (Nutzern, Klienten, Entwicklern). Das geschieht anhand von Interviews, dem Erstellen von Anwendungsfällen, Prototyping oder Brainstorming.
- In der Analysephase (analysis) werden Anforderungen auf ihre Notwendigkeit, Konsistenz, Vollständigkeit und Machbarkeit hin geprüft. Zusätzlich kommt es an dieser Stelle zu einer Priorisierung der Anforderungen, die vom Endbenutzer in Abstimmung mit dem Entwickler basierend auf jeweiligen Vorteilen, Umsetzungsaufwand, aber auch möglichen Risiken durchgeführt werden sollte.
- Ein Dokumentieren (documentation) ist für das Kommunizieren von Anforderungen zwischen Stakeholdern und Entwicklern und für Folgeprojekte nützlich. Unmissverständlichkeit, Verständlichkeit, Prägnanz und Konsistenz zeichnen eine gute Anforderungsdokumentation aus. Vollständigkeit kann allerdings ein Kriterium sein, das entsprechend der Entwicklungsmethoden gesondert zu betrachten ist.



- Validierung (validation) gewährleistet, dass es sich bei den definierten Anforderungen um eine ausreichend detaillierte Beschreibung des Systems handelt. Hierfür werden die Anforderungsdokumentation sowie Organisationsstandards herangezogen. Techniken zum Validieren der Anforderungen sind beispielsweise Reviews und Testing.
- Verwaltung (management), als auch das Erlangen und Speichern von Informationen beinhaltet die Nachvollziehbarkeit der Zusammenhänge zwischen Anforderungen, Design und Implementierung des Systems. Auch die Versionskontrolle fällt in diesen Bereich.

#### 2.8.4 Anwendungsfalldiagramm

Will man die Beziehungen von Benutzern zum System anhand von auszuarbeitenden Anwendungsfällen modellieren und grafisch repräsentieren, sind Anwendungsfalldiagramme (engl.: Use Case Diagramm) aus der Unified Modeling Language (UML) sehr hilfreich. Sie geben einen abstrahierten Überblick des Gesamtsystems und beschreiben die Funktionalität aus Anwendersicht, gehen dabei aber nicht auf Abläufe, Reihenfolge oder Systemverhalten ein. Typischerweise werden folgende Elemente für ein Use Case Diagramm benötigt [47]:

- Akteure stellen die beteiligten Stakeholder des Anwendungsfalles dar. Sie befinden sich außerhalb des Systems - ihre Interaktion mit ebenjenem wird durch Anwendungsfälle beschrieben. Das System bedienende Personen können genauso als Akteure gesehen werden wie von außerhalb zugreifende Fremdsysteme. Akteure können gegenständlich oder abstrakt sein - in UML werden sie beispielsweise als Strichfigur oder als Rechteck mit der Bezeichnung «Actor» dargestellt.
- Anwendungsfälle sind vom System ausgeführte Funktionen, die Relevanz für den Akteur haben - sie repräsentieren das Systemverhalten. Sie werden durch Verhaltensdiagramme beschrieben. Im UML werden Anwendungsfälle als Ellipsen notiert.
- Das System bezeichnet den Kontext, in welchem die dem Anwendungsfall zugehörigen Aktionen ausgeführt werden - es wird durch einen Rahmen repräsentiert, innerhalb dem Anwendungsfälle darzustellen sind - wobei Akteure immer außerhalb des Systems gezeichnet werden.
- Assoziationen repräsentieren die Beziehungen zwischen Akteuren und Anwendungsfällen. Sie werden im UML-Diagramm durch Linien dargestellt. Multiplizität ist möglich und wird angegeben falls mehr als ein Akteur mit einem Anwendungsfall in Verbindung stehen oder der Anwendungsfall gleichzeitig öfters ausgeführt wird.

### 2.8.5 Anforderungsanalyse im User Centered Design

Beim traditionellen Wasserfall-Modell der Softwareentwicklung ist klar: die Definition der Anforderungen erfolgt zu Beginn der Produktentwicklung. Sie ist dokumentationslastig und prozessorientiert. In der agilen Entwicklung mag das vielleicht weniger so erscheinen, da das Prinzip hier nicht der punktgenauen Festlegung in der Anfangsphase entspricht. Expertise und Kompetenz der involvierten Personen stehen hier im Zentrum - eine vollständige und konsistente Beschreibung der Anforderungen zu Beginn ist dementsprechend nicht möglich, zumal sich diese im Laufe des Projektes laufend ändern können. Aushilfe kann hier etwa ein Product Backlog - wie er für Scrum eingesetzt wird - schaffen, welcher eine Sammlung aller Funktionen, den sogenannten User Stories, beinhaltet: Diese beschreiben in einem festgelegtem Schema die Anforderungen aus Sicht des Nutzers - kurzgefasst und in Alltagssprache. In der agilen Entwicklung werden so Anforderungen permanent nach Tests oder Gesprächen mit Nutzern jederzeit angepasst, ergänzt oder zurückgestellt. Dieses Vorgehen macht in diesem Kontext durchaus Sinn, und sollte auch während dem gesamten Projektverlauf entsprechend dokumentiert werden - auch wenn agile Entwicklung im Vergleich zu traditionellen Methoden weniger auf Dokumentation zentriert ist [81] [84].

Bei Anwendung von Methoden des User Centered Design liegt das Augenmerk in der Anforderungsanalyse vor allem auf der initialen Erhebungsphase. Hier bieten sich beispielsweise Vor-Ort-Interviews, Personas und Prototyping als gängige Möglichkeiten des UCD an [13][69].

### 2.8.6 Interviews

Interviews und Befragungen zählen zu den effektivsten Techniken des UCD. Sie helfen, potentielle Nutzerprobleme zu identifizieren. Interviews dienen nicht dazu, den Benutzer nach seinen Vorstellungen oder Lösungsvorschlägen zu fragen - vielmehr stehen das Erlernen und Verstehen sowie der gezielte Aufbau von Detailwissen im Vordergrund. Interviews können strukturiert, also streng nach Fragebogen, oder unstrukturiert, wobei dem Befragten beim Erzählen möglichst viel Freiraum gelassen wird, gestaltet werden [69] [51].

### 2.8.7 Personas

Personas helfen bei der konkreten Vorstellung einer fiktiven Person, sie beschreiben als prototypische Vertreter Benutzer oder Benutzergruppen der Anwendung. Diese Personen lassen sich beispielsweise anhand von im Kontext geeigneten Attributen beschreiben. Sie sollten nicht vom Entwickler klassifiziert werden, um nicht zu sehr den möglicherweise realitätsfernen Idealvorstellungen des Herstellers zu entsprechen - oben genannte Interviews mit dem künftigen Anwender stellen beispielsweise eine Möglichkeit zur Erfassung von Aufgaben und Arbeitskontext dar [12] [77].

### 2.8.8 Prototyping

Rasches Feedback des Benutzers ermöglicht Prototyping. Hier kann es sich beispielsweise um eine frühe Visualisierung des User Interfaces samt iterativer Optimierung (Rapid Prototyping) handeln, welche bereits grundlegende Funktionalität beinhaltet - sie unterscheiden sich dementsprechend von Mockups, welche als Attrappen lediglich einer visuellen, nicht-funktionsfähigen Veranschaulichung dienen. Durch das frühe Einbinden des Benutzers fällt es so leichter, rasch und frühzeitig auf potentielle Designfehler oder Missverständnisse hinsichtlich Anforderungen zu reagieren oder Änderungswünsche zu berücksichtigen. Es können folgende Arten des Prototypings unterschieden werden [65]:

- Exploratives Prototyping hilft zum Abschätzen und Verstehen der möglichen Funktionalität auf Basis der Vorstellungen des Benutzers. Die Problemstellung mag in dieser Phase noch nicht eindeutig definiert und Lücken in der Anforderungsdefinition vorhanden sein. Die optische Qualität des Endproduktes ist hier dementsprechend noch nachrangig.
- Experimentelles Prototyping fokussiert auf das Zusammenspiel der einzelnen Teilsysteme und die Realisierbarkeit des Entwurfs. Machbarkeit und Zweckmäßigkeit der vom Benutzer konkretisierten Vorstellungen des Softwareprojektes werden entwicklerseitig vor der Implementierungsphase eingeschätzt, verschiedene Optionen zur Umsetzung ausgelotet.
- Evolutionäres Prototyping wird bei der inkrementellen Weiterentwicklung des Systems genutzt. Dieses wird fortlaufend angepasst und verbessert.
- Das Ziel von Rapid Prototyping sind iterative Entwicklungszyklen in möglichst kurzen Zeiträumen, die auf unmittelbarem Feedback des Anwenders und entsprechender Anpassung und Optimierung basieren. Oftmals ist so ein erster Entwurf eines Prototypen bereits nach einer sehr kurzen Phase der Anforderungsanalyse präsentierbar.

### 2.8.9 Zusammenfassung

Es wurden Zusammenhänge von UCD und Anforderungsanalyse erläutert und im Rahmen dieser Arbeit relevante Methoden zur Ermittlung der Anforderungen vorgestellt. In den folgenden Kapiteln wird die konkrete Vorgehensweise anhand dieser theoretischen Konzepte detailliert beschrieben.

## 2.9 Frameworks und Game Engines für die Umsetzung von Serious Games

Im Regelfall wird bei der Entwicklung von Serious Games auf in der kommerziellen Spielebranche gebräuchliche Tools zurückgegriffen - eine Entscheidung für eine spezifische Software ist da keine triviale Sache, da das Angebot an Plattformen in diesem

Bereich breit gefächert ist und jede Entscheidung überzeugende Vorteile mit sich bringen kann. Im folgenden Kapitel werden mögliche Frameworks, welche sich für die Umsetzung einer Serious-Game-Anwendung anbieten können, vorgestellt. Spiel-Engines mit Cross-Plattform-Funktionalität stehen hier im Fokus, weiters sind nach Cowan et al. Funktionalitäten wie Scripting, 3D-Rendering, das Erstellen Animation, die Berechnung von korrekten Physik-Eigenschaften von Objekten, Audio-Ausgabe und die Implementierung von fortschrittlichen Anzeigemethoden wie AR und VR relevant und werden in der folgenden Auswahl ebenfalls berücksichtigt [26][20]:

### 2.9.1 Unity

Die auf OpenGL basierende Unity Game Engine wurde der Öffentlichkeit erstmals im Jahr 2005 vorgestellt. Die bekannte Game-Engine ermöglicht 3D-Rendering und unterstützt neben dem Export auf Spielekonsolen wie Nintendo Switch und Playstation 4 ebenfalls die Entwicklung für mobile Endgeräte mit IOS, Android Betriebssystemen und Webbrowsern - sofern entsprechende SDKs installiert werden. Die Grafikengine unterstützt neben komplexen Beleuchtungseffekten das Erstellen eigener Shader und benutzerdefinierten Animationen. Das Umsetzen von AR- oder VR-Anwendungen ist mit passenden Toolkits bestens möglich - dank einer hohen Popularität samt ausgeprägter Community ist zusätzlich ein umfangreicher Support gewährleistet. In der Evaluierung von Cowan et al. findet die Unity Game Engine unter den klassischen Spieleengines im Kontext der Serious-Game-Entwicklung in wissenschaftlicher Literatur die meiste Beachtung [26]. Zudem wird der Engine eine große Einsteigerfreundlichkeit aufgrund dem breit gefächerten Angebot an Tutorials, Assets und Beispielprogrammen attestiert [20] [52].

Ein Projekt in Unity setzt sich aus einer oder mehreren Szenen (Scenes) zusammen, welche die 'Bühne' für die hierarchisch in ihr platzierten Spieleobjekte (Gameobjects) ist. Eine Scene umfasst dementsprechend ihre individuelle Umgebung samt Bedienung. Gameobjects, im Prinzip ohne eigene Funktionalität, fungieren als Container, denen anhand des Hinzufügens von Komponenten spezifische Eigenschaften beigebracht werden. So können etwa durch eine Transform-Komponente Position, Skalierung und Rotation des 3D-Objektes, dessen Beschaffenheit durch eine Mesh-Komponente definiert wird, beeinflusst werden. Das Verhalten der Objekte untereinander, in spezieller Umgebung oder auf User-Interaktion, wird schließlich durch in C # programmierte Skript-Komponenten geregelt. Gameobjects stellen somit das fundamentale Grundprinzip zur Erschaffung von Anwendungen in Unity dar.

### 2.9.2 Unreal

Die Unreal-Engine, mittlerweile in ihrer 4. Generation, unterstützt ebenfalls die Erstellung von detaillierten 3D-Grafiken, Animationen oder Physik-Berechnungen. Popularität und Community-Aktivität sind ähnlich hoch wie bei der Unity Game Engine, es existieren im kommerziellen Spielbereich zahlreiche erfolgreiche Umsetzungen. Die Unterstützung

von AR und VR wird durch native Einbindung ( z.B. OculusVR, SteamVR, ARCore, ARKit), der Export auf andere Plattformen durch bereits mitgelieferte SDKs ermöglicht. Im Gegensatz zu Unity bietet die Unreal Engine 4 frei zugänglichen technischen Support, muss aber beim Unterstützen mobiler Spieleentwicklung zurückstecken [20] [39].

### 2.9.3 LibGDX

LibGDX ist ein auf OpenGL basierendes Java-Framework, das plattformunabhängige Entwicklung für Windows, Linux, Mac OS X, Android, iOS und WebGL ermöglicht. Die 2009 entwickelte Software ist Open Source und unterstützt ebenfalls die Entwicklung in 3D- wenngleich der Aufwand für hochwertige 3D-Programme ein ungleich höherer ist: ein User Interface, wie es die Unity Game Engine und Unreal Engine 4 für die Content-Erstellung anbieten, gibt es für LibGDX nicht - was fundierte Programmierkenntnisse in Java zwingend notwendig macht [33].



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

# State of the Art Analyse

Im folgenden Kapitel wird ein Überblick an bereits in Verwendung befindlichen Lösungen gegeben, die im Kontext der gestellten wissenschaftlichen Fragen relevant sein können. Schwerpunkt sind demzufolge einerseits die Anwendung computerunterstützter Möglichkeiten zum Therapieren einer AVWS oder zumindest deren Teilstörungen, sowie andererseits der Einsatz von Augmented oder Virtual Reality in der medizinischen Therapie im Generellen. Die Analyse dieser Möglichkeiten, sowie die dadurch gewonnenen Kenntnisse sollen schließlich als Basis für eine folgende Anforderungsanalyse zur Entwicklung eines eigenen Prototypen dienen.

## 3.1 Computerunterstützte Anwendungen zur Therapie von AVWS

Für funktionsorientierte Bottom-Up Therapieansätze sind heutzutage computerunterstützte Möglichkeiten unumgänglich. Und auch hinsichtlich AVWS-spezifischen Störungsbildern werden Computerprogramme angeboten – meistens decken diese neben den Bereichen der auditiven Teilfunktionen auch höhere kognitive Funktionen ab.

Im Folgenden wird auf einzelne Beispiele gebräuchlicher Möglichkeiten zur computerunterstützten Therapie eingegangen.

### 3.1.1 Audiolog 4.0

Als prominentestes Anwendungsbeispiel in der logopädischen Therapie von Hörwahrnehmungs- und Sprachverarbeitungsproblemen sei an dieser Stelle die Software "Audiolog" genannt [1]: das mittlerweile in der 4. Generation angebotene Programm glänzt durch einen besonders großen Umfang an möglichen Aufgaben auf Geräusch-, Laut-, Silben- und Wortebene und benötigt einen herkömmlichen Computer auf dem das Programm nach Installation unmittelbar eingesetzt werden kann. Abbildung 3.1 zeigt einen Screenshot



Abbildung 3.1: Audiolog 4 [5]

der Applikation. Die dem Anwender im Übungsdurchgang präsentierten Grafiken sind kindgerecht gestaltet, wahlweise lässt sich alternativ auch auf eine Foto-Darstellung oder Schriftbild umschalten. Audiolog deckt prinzipiell die relevanten Funktionen Speicherung, Sequenz, Aufmerksamkeit, Lokalisation, Diskrimination, Analyse, Synthese und dichotisches Hören ab – einzig zur Ergänzung sind keine Übungen vorhanden. Zusätzlich besteht für das Kind die Möglichkeit, seine eigene Leistung in der Übung „Selbsthören“ selbst zu beurteilen: die gesprochenen Wörter werden aufgenommen und anschließend – nach einer Beurteilung der Therapeutin – wiedergegeben. Das Kind kann so die eigenen Fehler einschätzen.

Die vierte Version der Software wurde 2011 auf den Markt gebracht – und teilweise sieht man ihr das mittlerweile auch an: Aufbereitung und Darstellung der Übungen wirken statisch, es mangelt an langfristig motivierenden Faktoren für den Übenden. Grundsätzlich reicht zum Ausführen ein angeschlossener Kopfhörer - für Übungen zur Lokalisation werden außerdem mindestens 4 angeschlossene Lautsprecher, für die Übung „Selbsthören“ ein Mikrofon benötigt. Eine eigene Version für Tablet-PCs ist nach aktuellem Stand nicht verfügbar, der Einsatz auf ebensolchen ist dementsprechend für Logopäden, die auf eine mobilere Variante der Übungsdurchführung setzen, nicht möglich.

#### 3.1.2 miniLÜK

Die von Westermann produzierte Anwendung „miniLük Hörspaß“ stellt vor allem für Eltern eine passende Option zum Üben im eigenen Haushalt dar. Abbildung 3.2 zeigt das Titelbild der Anwendung. Mit einer Altersempfehlung von 3 bis 10 Jahren zielt sie sowohl auf Kinder im Kindergartenalter als auch im Schulniveau ab und beinhaltet offiziell Übungen zu den 9 ‚Disziplinen‘ Detektion, Diskrimination, Merkfähigkeit, Identifikation, Selektion, Segmentierung, Ergänzung, binaurale Summation, dichotisches Hören und Lokalisation. Es werden sowohl sprachliche als auch sprachfreie Stimuli angeboten, wahlweise können Störgeräusche situationsabhängig konfiguriert werden. Grundsätzlich besteht ein Großteil der Übungsaufgaben in Richtig/Falsch-Zuordnungen auf unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden. Zur Aufrechterhaltung der Motivation kann ein Bonuspiel freigeschaltet werden. Durch den gesamten Spieleablauf führt der sogenannte „Ohrwurm“,



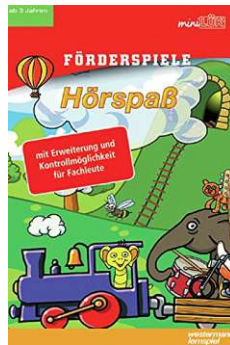


Abbildung 3.2: Mini Lük Hörspaß [62]

was der kindgerechten Aufmachung positiv entspricht. An individuellen Einstellungsmöglichkeiten, etwa bei Lautstärke oder Übungsablauf, mangelt es allerdings. Auch wird der Lernfortschritt in der Basisversion nicht dokumentiert. Dem Alter der Anwendung (2005) entsprechend existiert keine Online-Anbindung – mangels Angebot als mobile Applikation lässt sich miniLÜK auch nur stationär am PC, jedoch beispielsweise nicht am Tablet ausführen, was sie für den mobilen Gebrauch oder ein systematisches Üben eher ungeeignet macht.

### 3.1.3 Würzburger-Trainingsprogramm / Würzburger-Trainingsprogramm Multimedia Spiele

Das von Küspert et al. [55] entwickelte Würzburger Trainingsprogramm (WüT) richtet sich speziell an Vorschulkinder im Alter von 5 bis 7 Jahren. Es wird grundsätzlich von KindergartenpädagogInnen in einem Zeitraum von 20 Wochen auf täglicher Basis - vor dem Schuleinstieg - in Kleingruppen durchgeführt. Die Übungen zielen auf die phonologische Bewusstheit im Allgemeinen ab und sind in 6 Übungseinheiten gegliedert – Übungen zur Lokalisation und dichotischen Diskrimination sind nicht verfügbar.

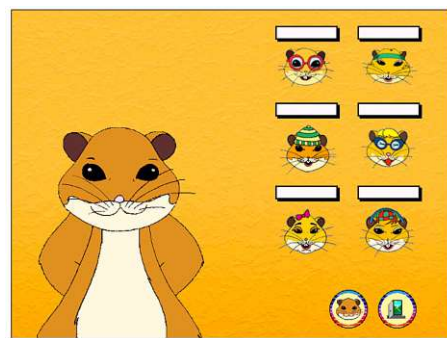


Abbildung 3.3: Würzburger Trainingsprogramm Multimedia Spiele [54]

Eine digitale Erweiterung des WüT stellen die Multimedia Spiele dar: diese dienen der

individuellen Übungsdurchführung und Förderung von einzelnen Kindern und bieten neben einem Trainingsprogramm zur phonologischen Bewusstheit zudem auch Übungen zu Buchstaben-Laut-Training und Reim- und Silbentrennung. Letztere sind für das Üben daheim mit Unterstützung der Eltern gedacht. Das Präsentieren der – ausschließlich sprachlichen- Stimuli übernimmt ein Hamster, wie in Abbildung 3.3 ersichtlich, der auf kindgerechte Art für den nötigen Motivationsschub sorgen soll. Lauer kritisiert allerdings eine teils zu komplexe Menüführung und überlange Textbeschreibungen – zudem sind Bezeichnungen von Übungen und Items teilweise suboptimal gewählt [57]. Und auch hier lässt sich die Anwendung zwar am PC, jedoch nicht als App am Tablett ausführen, was den Anwendungsbereich entsprechend eingrenzt.

#### 3.1.4 Hören-Sehen-Lernen

Das von Coninx et al. [21] entwickelte interaktive PC-Lernspiel Hören-Sehen-Lernen (HSL) soll die phonologische Bewusstheit von Kindern im Alter von 4 – 8 Jahren fördern, und bietet vor allem für solche, die mehrsprachig aufwachsen, zusätzliche Übungsmöglichkeiten. Der Fokus der Anwendung liegt hauptsächlich im Üben daheim mit den Eltern nach vorangegangener therapeutischer Förderung. Es werden die Übungsbereiche Diskrimination, Identifikation, Synthese, Analyse auf Phonem-, Silben - und Wortebene sowie Reime angeboten - die Bereiche Lokalisation, Selektion und dichotische Diskrimination werden nicht unterstützt. Der grundsätzliche Sinn in den Übungen besteht darin, Bilder – welche hinter einem Wabenmuster (siehe Abbildung 3.4) versteckt sind – durch korrektes Erfüllen der Aufgaben sukzessive aufzudecken. Dieses Prinzip zieht sich durch alle Bereiche – wobei schwierigere Aufgaben erst durch das Bewältigen der vorhergehenden Stufen freigeschaltet werden. Eine für den Therapeuten essentielle Individualisierung ist dementsprechend nur umständlich möglich. Auch ist das Aufdecken der Bilder als einzige Spielvariante gerade für ältere Kinder recht schnell eintönig, hier fehlt es an Abwechslung.



Abbildung 3.4: Hören-Sehen-Lernen [3]

Generell wird die Aufmachung von Hören-Sehen-Lernen, mitunter auch aufgrund des Alters der Software, von Benutzern als nicht besonders ansprechend beschrieben – was der eigentlich wichtigen Aufrechterhaltung der Motivation bei der Übungsdurchführung nicht

zuträglich ist. Ebenfalls existiert von der Anwendung keine mobile Variante, weshalb das Durchführen stationär auf den PC beschränkt ist.

### 3.2 Virtual/Augmented Reality-Anwendungen in der Therapie

Nachdem das Ausloten von immersiven Technologien wichtiger Bestandteil der wissenschaftlichen Fragestellung dieser Arbeit ist, wird im Folgenden auf die aktuelle Anwendungsmöglichkeit von AR und VR in der Therapie, insbesondere bei Kindern, eingegangen.

#### 3.2.1 Die Effekte von VR und AR bei Kindern

Versuche, Technologien wie AR in der Erziehung anzuwenden, existieren bereits seit Längerem: Kritzenberger et al. etwa entwickelten bereits 2002 eine Mixed Reality Plattform für kollaboratives Lernen [23], AR-Spiele zum Lernen von Fremdsprachen wurden von Chen et al. (2007) und Hsieh und Lee (2008) vorgestellt. Contero et al. entwickelten 2012 ein Spiel für Vorschulkinder zur Klassifizierung von Wirbeltieren, welches von Lehrern angewandt wurde: die - für die teilnehmenden Personen neue - Technologie wurde positiv aufgenommen, bei den Schülern eine Besserung hinsichtlich Aufmerksamkeit sowie dem Erreichen von Lernzielen festgestellt. Zudem sehen die Verfasser einen langfristigen Vorteil, wenn sich Kinder bereits früh mit neuen Technologien wie Augmented Reality auseinandersetzen.

Ähnliche Effekte stellten Tosik et al. 2017 bei ihrer Studie mit Kindern im Grundschulalter fest [99]. Sie testeten das räumliche Vorstellungsvermögen anhand einer eigens erstellten AR-Applikation und verglichen diese mit der Anwendung von realen Objekten. Beide Testgruppen zeigten nach Testabschluss einen signifikanten Leistungsanstieg hinsichtlich der schulischen Leistung gegenüber dem Vortest-Status, wobei ebenjener bei Anwendern der AR-Software höher bewertet wurde. Tosik et al. begründen das mit der Möglichkeit, reale Objekte in AR mit zusätzlichen Informationen auszustatten, ohne diese von ihrer Umgebung isolieren zu müssen. Die Schüler empfanden die Anwendung der AR-Applikation als unterhaltsam und hilfreich, sich für den Lerninhalt zu motivieren - zusätzlich wurden von involvierten Lehrern gesteigerte Neugier und Aufmerksamkeit bemerkt, was letztendlich auch in einer Zeitersparnis resultierte. Als mögliche Faktoren zur Motivationssteigerung gaben die Autoren den Einsatz von Animationen und die Berücksichtigung der Lichtverhältnisse im Klassenraum an.

In der Literatur existieren zudem auch zahlreiche Applikationsmöglichkeiten für Virtual Reality in der Erziehung, welche das künftige Potential für mögliche Lernumgebungen aufzeigen. Gerade hier gibt es allerdings auch potentielle Risiken, die vor allem bei Kindern oft vernachlässigt und nur wenig Beachtung bekommen [103]: junge Anwender können in der vollständig virtuellen Umgebung den Bezug zur tatsächlichen, physikalischen Umgebung schneller verlieren als Erwachsene, was in einem erhöhtem Suchtpotential resultiert. Potentielle Selbstüberschätzung der eigenen realen Fähigkeiten, die Gefahr,

in einem bestimmten Alter Fiktion von Realität nicht unterscheiden zu können, sowie gerätebedingte Einschränkungen wie Größe und Gewicht veranlassen nicht zuletzt auch die Hersteller selbst, die Alterseinschränkung für ihre Geräte auf 13 Jahre zu setzen[103].

	<b>Audiolog 4</b>	<b>miniLÜK</b>	<b>WüT</b>	<b>HSL</b>	<b>Tosik (AR)</b>	<b>Prototyp</b>
Behandlung auditiv. Teilfunktionen	+	+	+	+	-	+
Alter d. Zielgruppe	4-99	4-7	6-7	4-8	6-10	6-10
Individualisierbarkeit	+	-	-	-	-	+
Präsentation	o	o	o	o	o	+
Serious Gaming	o	+	+	o	-	+
Mobile Anwendung	-	-	-	-	-	+

Tabelle 3.1: State of the Art Analyse der Applikationen: + gut, o befriedigend, - nicht vorhanden

### 3.3 Zusammenfassung

Computerunterstützte Verfahren sind durchaus als wichtige Ergänzung zu Einzelförderung oder Gruppentherapie zu sehen [11] [57]: Einerseits ermöglicht sie das systematische Behandeln oder erst das eigentliche Durchführen an sich. Auch stellen sie eine durchaus praktikable Option dar, um unter Mithilfe von Eltern daheim parallel zu üben – und das auf regelmäßiger Basis. Die Ansätze sind – betrachtet man die aufgezählten angewandten Beispiele – im Grunde teilfunktionsorientiert: die Übungen sind den spezifischen Funktionen der auditiven Verarbeitung bzw. den übergeordneten (kognitiven) Funktionen wie etwa Aufmerksamkeit oder Speicherung entsprechend gegliedert. Im Grunde deckt kein einziges Programm wirklich alle relevanten Funktionsbereiche allumfassend ab – selbst das, als Referenz zu sehende, Audiolog 4.0 bietet keine Übungen zur Ergänzung. Drei der Anwendungen bieten keine bis nur befriedigende Möglichkeiten den Übungsablauf individuell anzupassen, was sie für eine systematische Therapie nur bedingt sinnvoll macht. Eine mobile Anwendung, wie sie sich etwa durch den Einsatz von Tablets anbieten würde, gibt es in keinem der Fälle, da es sich hier ausschließlich um native Desktop-Anwendungen für den PC handelt. WÜT und HSL bieten durch den Einsatz von Avataren zumindest Ansätze zur Identifikation des Anwenders mit den Übungen, und auch rudimentäre Belohnungssysteme – zum Beispiel das Freischalten von Bildern – sind vorhanden, erzielen aufgrund der Einfachheit bestenfalls einen kurzfristigen positiven Effekt.

Das Einbinden von Virtual oder Augmented-Reality in unterschiedlichste Prozesse im Gesundheitswesen ist längst kein Neuland - neben dem Einsatz von VR zum Therapieren etwa von Angstzuständen oder Depressionen ist auch die Anwendung von AR ebendort eine heutzutage durchaus zu bedenkende Möglichkeit - wenngleich vor allem beim Einsatz von VR gewisse benutzerbedingte Limitierungen, zu bedenken sind: Die fortschrittlichen Anzeigemöglichkeiten können zur Motivationssteigerung und Immersion positiv beitragen, müssen die physische und psychische Verfassung des Patienten bei der Anwendung berücksichtigen.

Tabelle 3.1 fasst die Erkenntnisse nochmals anhand der für diese Arbeit relevanten Kriterien zusammen. Folgende Punkte wurden hierbei zur Bewertung herangezogen:

- **Behandlung auditiver Teilfunktionen:** Es wurde bewertet, inwieweit die Anwendung Übungen zum Behandeln der eingangs genannten Teilfunktionen beinhaltet. Während AudioLog 4 und andere AVWS-spezifische Anwendungen im Prinzip das gesamte Spektrum (mit Einzelausnahmen) abdecken, bietet die genannte AR-Applikation keine Unterstützung für solche Methoden. Generell ließen sich im Bereich dieser fortschrittlichen Anzeigemethoden keine passenden Übungstherapien finden.
- **Alter der Zielgruppe:** Diese richtet sich nach der Herstellerempfehlung bzw. dem Alter der Testgruppe [99]. Grundsätzlich sind alle Programme kindgerecht gestaltet, wobei sich das WüT eher an jüngere Kinder richtet.
- **Individualisierbarkeit:** Es wurde die Möglichkeit bewertet, den Übungsablauf individuell gestalten zu können. Diese wird abgesehen von Audiolog von keiner Anwendung angeboten.
- **Präsentation & Zugänglichkeit:** Es wurden Aufmachung, Menüführung und das Alter der Anwendung im Generellen bewertet. Die Bewertung basiert hier auf der Einschätzung von Lauer et al. [57]. Audiolog beispielsweise existiert in der 4. Iteration seit über 10 Jahren - die Präsentation ist dementsprechend nicht zeitgemäß, das Übungsmaterial statisch und zweidimensional. Ähnlich verhält es sich auch mit den anderen Anwendungen. Eine Bewertung bei der Beispiel-Anwendung von Tosik et al. scheint dem Autor aufgrund des Proof-of-Concept-Charakters nicht sinnvoll - zu wenig sind Präsentation und Zugänglichkeit dort ausgearbeitet.
- **Serious Gaming:** Es wird das Vorhandensein von Serious Gaming und / oder Gamification Elementen bewertet. Mini-Lük und HSL bieten mit ihrem Belohnungssystem bzw. dem Freischalten von Extra-Levels motivierende Aspekte, die anderen Anwendungen zeigen konkrete Aspekte in dem Bereich nur rudimentär (Audiolog) oder lassen diese vollständig vermissen.
- **Mobile Anwendung:** Alle AVWS-Therapie Anwendungen haben gemeinsam, dass sie die Installation auf einem statischen Endgerät bzw. Computer voraussetzen. Eine Durchführung der Übungen auf mobilen Endgeräten ist nicht möglich. Die

Anwendung von Tosik et al. benötigt zusätzlich den Einsatz einer AR-kompatiblen Brille, um 3D-Modelle in der realen Umgebung korrekt abzubilden.

#### 3.3.1 Verbesserung der erkannten Defizite durch den eigenen Prototypen

Basierend auf der Analyse der hier aufgezählten Anwendungen und Konzepte sollen bei der Umsetzung das eigenen Prototypen bestehende Defizite erkannt und wie folgt gelöst werden werden:

- **Behandlung auditiver Teilfunktionen:** Zwar decken die herkömmlichen AVWS-gereinigten Anwendungen das Spektrum der Teilfunktionen gut ab, allerdings gibt es gerade bei Anwendungen mit fortschrittlichen Anzeigemöglichkeiten kein entsprechendes Pendant. Der Prototyp wird sich -bei gleichzeitiger Auslotung von solchen Darstellungsoptionen - zumindest gezielt auf eine oder mehrere Teilfunktionsstörungen, die mit dem Krankheitsbild einer AVWS in Verbindung stehen, anwenden lassen.
- **Alter der Zielgruppe:** der Einsatz von Augmented oder Virtual Reality soll kein Hindernis für die Wahl der Zielgruppe sein. Die Applikation wird von Kindern im therapie-relevanten Alter - also zwischen 6 - 10 Jahren - anwendbar sein.
- **Individualisierbarkeit:** Die Applikation wird, anders als der Großteil der getesteten Anwendungen, keine starren Übungsvorgaben präsentieren. Die zur Verfügung stehenden Abläufe sollen sich bis zu einem gewissen Grad individuell konfigurieren lassen.
- **Präsentation & Zugänglichkeit:** Anders als die getesteten AVWS-Programme wird die Darstellung hauptsächlich dreidimensional und animiert präsentiert. Die Anwendung von AR- oder VR-Konzepten hebt den Prototypen visuell von der bestehenden, statischen Übungspräsentation anderer Produkte ab. Diese visuell ansprechende Spielbereicherung soll sich allerdings nicht negativ auf die Usability auswirken: Benutzerführung und Erscheinungsbild werden kindgerecht und verständlich gestaltet. Zusätzlich sollen zweidimensionale UI-Elemente und Repräsentationen der Übungsumgebung für eine klare Aufgabenstellung sorgen: der Einsatz der modernen Anzeigemöglichkeiten darf nicht auf Kosten von Benutzerfreundlichkeit und gut strukturierter Übersicht gehen. Im Prototypen dargestellte Interaktions-Gegenstände sollen visuell und als Schriftbild darstellbar sein.
- **Serious Gaming:** der Prototyp soll grundlegende Konzepte des Serious Gamings beinhalten. Das Kind soll beim Durchführen der Anwendung durch unterschiedliche Techniken motiviert bleiben: Eine Fortschrittanzeige sowie animierte Erfolgshinweise sind dementsprechend Mindestanforderung. Idealerweise soll dies, falls es im Rahmen der ExpertInneninterviews als möglich erachtet wird, durch den Einsatz von fortschrittlichen und immersiven Anzeigetechnologien (AR oder VR) geschehen.

- Mobile Anwendung: während alle getesteten Anwendungen - im Fall der AVWS-Programme- einen stationären Rechner, oder - wie im Falle der AR-Anwendung- eine entsprechende Brille voraussetzen, wird der Prototyp auf mobilen Endgeräten ausführbar sein. Das Kind soll nicht auf den Einsatz am Heimrechner angewiesen sein, sondern die Übungen mit oder ohne TherapeutIn auf Tablett oder Smartphones ausführen können. Sollten AR- oder VR-Methoden zum Einsatz kommen, wird hierfür kein zusätzliches Equipment nötig sein. Zusätzlich soll die Performance kein High-End-Gerät erfordern, sondern auf herkömmlichen Mobilgeräten in ausreichender Geschwindigkeit spielbar sein.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



# Ergebnis

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte der technischen Ausarbeitung beschrieben - beginnend mit der Vorbereitungsphase samt einer eingängigen Einarbeitung in die theoretischen Grundlagen, der Definition von wissenschaftlichen ExpertInnen und AnwenderInnen als relevanten Stakeholdern und den wichtigsten Iterationsschritten bis hin zu technischen Lösungsansätzen für spezifische Anforderungen für eine konkrete Implementierungen. Abgeschlossen wird die Umsetzung durch eine Evaluierung des finalen Prototypen mit den eingebundenen ExpertInnen. Tabelle 4.1 listet die Vorgangsweise den Kapiteln entsprechend auf.

## 4.1 Vorbereitung

Fokus dieser Arbeit ist das Evaluieren einer möglichen Anwendung von computerunterstützten Therapie-Methoden bei einer AVWS-Erkrankung im Kontext der wissenschaftlichen Fragestellung. Der Schwerpunkt bei der Literaturrecherche zum Thema 'AVWS' und deren Manifestation lag dabei besonders auf möglichen Therapien bei Kindern im Vor- und Volksschulalter.

## 4.2 Definition von Stakeholdern und Ablauf

Anhand der Ausarbeitung der Forschungsfragen und der Literaturrecherche wurden für die folgenden Schritte LogopädInnen als geeignete wissenschaftliche ExpertInnen identifiziert, um mögliche Anwendungen von therapeutischen Übungen zu evaluieren: vom initialen Screening und der Diagnose einer potentiellen AVWS-Erkrankung bis hin zur Durchführung der therapeutischen Maßnahmen sind sie die erste Anlaufstelle für AVWS-erkrankte Personen. Vor allem der Umstand, dass gerade eine logopädische Begleittherapie in der Literatur grundsätzlich als primäre Behandlung vorgeschlagen wird und ebenjene Berufsgruppe im praktischen Umgang die umfassendste Erfahrung

Kapitel	Schritt	Beschreibung	ExpertInnen
4.1	Vorbereitung	Theoretische Ausarbeitung durch Literaturrecherche	-
4.2	Definition von Stakeholdern	Auswahl von Logopäden als wissenschaftlichen ExpertInnen	-
4.3	Iterationsschritt 1	Qualitative Interviews	1-10
4.4	Iterationsschritt 2	Anforderungsanalyse	1,2,3
4.5	Iterationsschritt 3	Papierprototyp und Mockups	1,2,3
4.6	Iterationsschritt 4	Erster Prototyp mit der Übung 'Lokalisation'	1,2,3
4.7	Iterationsschritt 5	Verfeinerung des Prototypen und Implementierung der Übung 'Phonemdifferenzierung'	1,2,3
4.8	Iterationsschritt 6	Optimierung von Tracking und Ingame-Darstellung	1,2, 3
4.9	Iterationsschritt 7	Präsentation des fertigen Prototypen	1,2,3,4,5

Tabelle 4.1: Übersicht der Schritte bis zur Implementierung und Präsentation eines spielbaren Prototypen

aufweist, sind bei der Definition der Stakeholder relevant gewesen [57]. Als weitere für das Programm relevante Zielgruppe wurden zu behandelnde Kinder mit AVWS-Symptomen gewählt - sie sollen die geplanten Übungen zu therapeutischen Zwecken absolvieren. Ob das mit oder ohne Überwachung durch Fachpersonal geschehen soll, stand zu diesem Zeitpunkt noch offen,

Die Kontaktaufnahme erfolgte bereits in einem frühen Stadium der Planungsphase bei selbstständigen VertreterInnen und Praxen der Logopädie. Hierbei wurden speziell ExpertInnen mit Fachwissen in den Bereichen Hör- und Sprachstörung kontaktiert. Da schon früh feststand, dass die Arbeit auf eine Entwicklung im Rahmen eines User Centered Design stattfinden sollte, wurde der Schwerpunkt bei der Suche zudem auf ExpertInnen gelegt, die im Idealfall zu einer Zusammenarbeit über einen längeren Zeitraum bzw. mehrere Treffen hinweg bereit waren. Gerade die Verknüpfung von AVWS und computerunterstützter Therapie gestaltete sich hier anfangs als Hürde, was an zwei Gründen lag: einerseits bei der eigenen fachlichen Kompetenz hinsichtlich einem AVWS-Störungsbild, als auch bei der Erfahrung mit Computerprogrammen, andererseits war

die Selbsteinschätzung im Schnitt sehr gering. AVWS ist demnach ein gängiges Thema, dessen Behandlung in der Logopädie durchaus zum Alltag gehört, bei den Möglichkeiten der Therapie ist aber offensichtlich nicht nur aus literaturwissenschaftlicher Sicht - wie bereits eingangs beschrieben - viel Aufholbedarf vorhanden.

Ziel war die Entwicklung des Prototypen mit den kontaktierten Personen in mindestens 4 Iterationen - Evaluationsschritte sollten in regelmäßigen Abständen mittels persönlicher Treffen ablaufen. Nach einer gemeinsamen Definition von potentiellen Therapieübungen und der Auswahl des technischen Grundgerüsts sollten detaillierte Anforderungen an den Prototypen mitsamt einem ersten Papierprototypen und Mockups besprochen werden. Im Anschluss wurde die Entwicklung eines spielbaren Prototypen entsprechend umgesetzt, bei entscheidenden Entwicklungsschritten präsentiert und gemeinsam evaluiert.

Person	Beruf	Alter	Geschlecht
1	Logopädin	37	weiblich
2	Logopäde	43	männlich
3	Logopädin	52	weiblich
4	Logopädin	41	weiblich
5	Logopädin	59	weiblich
6	Logopädin	56	weiblich
7	Logopädin	40	weiblich
8	Logopädin	55	weiblich
9	Logopädin	39	weiblich
10	Logopädin	51	weiblich

Tabelle 4.2: Am Gestaltungsprozess beteiligte wissenschaftliche ExpertInnen

Es wurden letztendlich 10 LogopädInnen (siehe Tabelle 4.2) kontaktiert, welche bei den folgenden Iterationsschritten konsultierend zur Seite standen. Grundsätzlich waren alle ExpertInnen in die initiale Bearbeitung der wissenschaftlichen Fragen involviert. Zusätzlich wurden mit drei der ExpertInnen (1, 2 und 3) Jour fixe Treffen auf großteils wöchentlicher Basis (vor Ort oder online) von der Dauer einer Stunde vereinbart - die Zusammenarbeit in der Entwicklung ging hier natürlich dementsprechend über die 4 Iterationsschritte hinaus. Für die finale Präsentation des implementierten Prototypen konnten 5 der LogopädInnen gewonnen werden, zusätzlich wurde die Applikation mit zwei Kindern im Volksschulalter jeweils in einer Session durchgespielt.

### 4.3 Iterationsschritt 1 : Qualitative Interviews

Im ersten Iterationsschritt wurden mit den beteiligten ExpertInnen die Möglichkeiten hinsichtlich Durchführung und Machbarkeit zu den einzelnen Forschungsfragen ermittelt. Dies geschah anhand von persönlichen Interviews mit offener Fragestellung, soweit möglich - andernfalls wurde auf eine telefonische Befragung zurückgegriffen.

Dabei wurde in dieser initialen Phase bewusst auf Mockups oder mögliche Design-Vorschläge von Seiten des Fragestellers verzichtet. Der Ablauf der Interviews richtete sich dementsprechend nach den drei eingangs definierten Forschungsfragen und wurde anhand einem zuvor konstruiertem Interview-Leitfaden gestaltet. So gliederte sich der Ablauf in folgende Phasen:

- In einem Einstieg wurde nach Begrüßung und Dank für die beanspruchte Zeit der befragten Person das Thema der Arbeit mitsamt den relevanten Konzepten von computerunterstützter Therapie und Serious Gaming kurz skizziert. Es folgte eine Beschreibung des Interviewablaufs, der ungefähren Dauer sowie Hinweise zur Datenschutzvereinbarung. Als Einstiegsfrage wurde nach der Erfahrung mit AVWS und ähnlichen Erkrankungen im Berufsfeld gefragt - was auch zur Auflockerung des Gesprächs verhelfen und einen Bezug zum Hauptteil schaffen sollte.
- Es folgten konkrete Fragestellungen zu den forschungsrelevanten Themen - und zwar in Reihenfolge der Forschungsfragen. Diese Fragestellungen wurden bewusst offen gehalten, da sich in der Literaturrecherche bereits ein recht breit gefächertes Meinungsbild zur Therapie von AVWS ergab.

Erster Schwerpunkt war das Ausloten aktuell verwendeter Therapiemethoden sowohl im analogen als auch digitalen Bereich. Fokus in diesem Teil der Gespräche waren zusätzlich Präsentation und Besprechung der aktuell durchgeführten Abläufe bei Therapiebehandlung der Patienten von Seiten der wissenschaftlichen Experten. Kamen bereits digitale Therapieprogramme zum Einsatz, wurden diese gemeinsam auf Vor- und Nachteile evaluiert. Diesem folgte das Erfragen potentieller und bereits angewandter Möglichkeiten zur Motivationssteigerung und Aufrechterhaltung der Aufmerksamkeitsspanne während der Übungsdurchführung mit dem betroffenen Kind. Das Potential von Konzepten wie Serious Gaming oder Gamification im digitalen Bereich wurde - mit Fokus auf die Zielgruppe von Kindern im Schulalter - eingängig thematisiert. Auch wurde das Gespräch auf mögliche individuelle Lösungsansätze, bereits erste konkretere Übungsabläufe oder Optimierungen von Bestehendem besprochen. Zusätzlich wurde generell ermittelt, welche Problemfelder einer AVWS sich besonders über computerunterstützte Therapie gut behandeln ließen und welche weniger. Das Thematisieren der Einsatzmöglichkeiten von AR oder VR und deren Einsatz in solchen Übungen schloss schließlich den Hauptteil des Interviews ab.

- In einem Rückblick wurden dem Interviewpartner nochmals alle gewonnenen Erkenntnisse zusammenfassend vermittelt und etwaige offene Punkte geklärt. Es folgte eine Auskunft über das weitere Prozedere sowie die Frage, ob die Person mit weiteren iterativen Meetings zum Status der Entwicklung des Prototypen für diesen Anwendungsbereich einverstanden sind.

### 4.3.1 Ergebnis der Interviews

Grundsätzlich setzt sich der Trend, welcher in der wissenschaftlichen Literatur bereits erkennbar war, auch in der Befragung der ExpertInnen fort: AVWS ist ein allgegenwärtiges, jedoch nicht eindeutig ein- bzw. abgrenzbares Thema in der logopädischen Therapie. Grundsätzlich werden in dem Kontext auftretende Lese-Schreib-Schwächen thematisiert, die mit Erfolg durchaus behandelbar seien. Obwohl alle befragten Personen mit den computerunterstützten Möglichkeiten in der Therapie vertraut waren, wird im normalen Behandlungsablauf - welcher im Normalfall in der Praxis stattfindet - auf analoge Methoden gesetzt: ausgedruckte Zettel, Spielkarten oder Brettspielmaterial wie 'Schatz im Silbensee' von Prolog, zugeschnitten auf die Bedürfnisse bei der Behandlung von AVWS, sind das gängige Werkzeug. Anwendung finden hier zum Beispiel die 'Trolli-Hefte' des Trialogo-Verlags, welche für die Kinder entsprechende Übungen oder Bastelanleitungen liefern [17] [9]. Bei computerunterstützten Möglichkeiten wurden das in der Fachliteratur umstrittene Hörwahrnehmungstraining sowie das gängige Audiolog 4 von jeweils einer Person verwendet [57].

### 4.3.2 Möglicher Therapiefokus bei einer therapeutischen Behandlung von AVWS

Da gerade bei der Abgrenzung zu anderen Sprachstörungen und den möglichen Behandlungen sowie deren Erfolgsaussichten die Meinungen in der Fachliteratur mitunter stark auseinander gehen, hat der Autor anhand der Aussagen der wissenschaftlichen Experten folgende Annahmen als Basis für das weitere Procedere getroffen:

- Therapieschwerpunkt "phonologische Bewusstheit" und "Lese- und Rechtschreibstörung": Es wird bei der logopädischen Therapie einer AVWS davon ausgegangen, dass die phonologische Bewusstheit eine wesentliche, da auf der AVWS basierende Rolle spielt. Auch das Auftauchen einer damit verbundenen Schwäche im Schrift- und Spracherwerb wird damit - nicht zuletzt aufgrund der im theoretischen Teil beschriebenen Effekte - in den Fokus gestellt. Eine Eignung der Therapie für eine LRS als Komorbidität oder Folge der AVWS ist also dementsprechend ebenfalls gegeben.
- Teilfunktionen Diskrimination, Analyse und Synthese als Schwerpunkte der Übungsgestaltung: Das Unterscheiden von Lauten und die Zuordnung von Lauten als An-, In- oder Auslaut in Wörtern sind gängige Methoden bei der Festlegung der therapeutischen Übungen.
- Volksschulkinder als Zielgruppe der Applikation: Nachdem das Erkennen und Behandeln einer Schwäche im Schrift- und Spracherwerb frühestmöglich stattfinden soll, wurden mit den ExpertInnen Kinder nach Erlangen der Schulreife im ersten und zweiten Volksschuljahr (7-9 Jahre) als zu behandelnde Zielgruppe festgelegt.
- Augmented Reality als Zieltechnologie des Prototypen: Der Einsatz von VR in der Kindertherapie wurde - vor allem aufgrund der bedenklichen Anwendung bei

Kindern im Alter der Zielgruppe, von welcher bereits der Hersteller selbst abrät - unmittelbar verworfen. Eine potentielle Adaptierung von bestehenden Übungen in AR wurde allerdings von 6 der befragten LogopädInnen sofort interessiert und eingängig diskutiert.

#### 4.4 Iterationsschritt 2 : Anforderungsanalyse

Aufgrund der im Iterationsschritt 1 gewonnenen Erkenntnisse und getroffenen Rahmenbedingungen für den zu implementierenden Prototypen wurde folgend die Entwicklung einer AR-Anwendung für Tablets und mobile Geräte genauer ins Auge gefasst und mit den teilnehmenden ExpertInnen besprochen. Anhand bereits gängiger Übungsabläufe für Diskrimination und Lokalisation in der Therapie wurden Möglichkeiten überlegt, diese auf eine computerunterstützte Variante mit AR-Elementen abzubilden.

Anlaut	Inlaut	Auslaut
Schlange	Bohrmaschine	Fisch
Schmetterling	Schlittschuh	Tisch
Schaukel		Frosch

Tabelle 4.3: Wortliste Phonemdifferenzierung SCH

Anlaut	Inlaut	Auslaut
Sessel	Hase	Haus
Suppe	Nase	Maus
Sonnenblume	Pinsel	Pinsel

Tabelle 4.4: Wortliste Phonemdifferenzierung S

Konkret stellten sich mehrere Übungsabläufe für eine Umsetzung als sinnvoll heraus, welche im Folgenden detailliert beschrieben werden:

- Übung 'Phonemdifferenzierung': In dieser Übung soll basierend auf der Teilfunktion "auditive Diskrimination" das Unterscheiden von Lauten geübt werden. Der in der logopädischen Therapie übliche Übungsablauf stellt sich wie folgt dar: Das Kind bekommt Wörter, beispielsweise als Bildkärtchen, mit ähnlich klingenden Sprachlaut-Paaren (gängige Kombinationen sind hier S-SCH, K-T, B-P, D-T oder W-F) präsentiert, welche bei einer Schädigung der Teilfunktion nicht korrekt unterschieden werden können. Diese müssen nun einem von zwei Referenzbildern, welche stellvertretend jeweils für den korrekten Laut stehen, zugeordnet werden.

Lernwort	Silbenzahl
Fisch	1
Hase	1
Tisch	1
Nase	1
Frosch	1
Maus	1
Haus	1
Boot	1
Schlange	2
Sessel	2
Suppe	2
Puppe	2
Schmetterling	3
Prinzessin	3
Sonnenblume	4
Bohrmaschine	4

Tabelle 4.5: Wortliste Silbensegmentierung

Reimwort 1	Reimwort 2
Fisch	Tisch
Haus	Maus
Hase	Nase
Suppe	Puppe
Boot	Brot

Tabelle 4.6: Wortliste Reimwörter

Eine mögliche Abbildung der Übung in der geplanten Applikation wäre folgendermaßen möglich: es werden auf Basis der üblichen Bildkärtchen und Laut-Kombinationen Gegenstände definiert, die dem Kind in der Übung als gegenständliche 3D-Modelle in zufälliger Reihenfolge präsentiert werden. Wahlweise kann zur visuellen Repräsen-

tation auch eine akustische - durch das Aussprechen des relevanten Gegenstandes via Applikation - hinzugefügt werden. Das Kind muss den Gegenstand nun dem korrekten Feld bzw. Phonem zuordnen. Wurde das korrekt getan, folgt der nächste Gegenstand. Eine abschließende Meldung gibt Auskunft über den Übungsabschluss bzw. das erreichte Ergebnis. Eine Listung der für diese Übung gewählten Gegenstände auf Basis der Sprachlautpaare S-SCH und B-P zeigen Tabellen 4.3 und 4.4

Der Schwierigkeitsgrad kann sowohl über die Anzahl der Gegenstände als auch die Wahl der präsentierten Sprachlaute bestimmt werden. Grundsätzlich ist eine Anzahl von 3 - 6 Gegenständen zu wählen. Zusätzlich macht eine Aufteilung der Worte nach Positionieren des Lautes (An-, In- oder Auslaut) Sinn. Zuschaltbare Hilfefelder sollen das Erkennen und korrekte Zuordnen erleichtern.

- Übung 'Lokalisation': Ebenfalls zur auditiven Diskrimination/Analyse gehört die Fähigkeit, die Position von Wortteilen zu erkennen. In dieser Übung werden dem Kind, wie auch in der Übung 'Phonemdifferenzierung', in zufälliger Reihenfolge Gegenstände präsentiert, welche einen bestimmten Laut (S,Sch,B,P) enthalten. Das Kind muss anschließend bestimmen, ob sich der besagte Laut an Anfang, Mitte oder Ende des Wortes befindet und schiebt den Gegenstand anschließend in das entsprechende Feld, welches entweder durch ein Regal, einen Korb oder mit einem Zahlenstrahl repräsentiert wird. Sind alle Gegenstände korrekt zugeordnet, ist die Übung abgeschlossen. Die Liste der hierfür in Frage kommenden Gegenstände ist mit der aus der vorhergehenden Übung ident.

Der Schwierigkeitsgrad lässt sich auch hier durch die Zahl der abzuarbeitenden Gegenstände bestimmen. Zudem können die Zahlenstrahlen /Fächer repräsentativ bereits korrekt zugeordnete Wörter vor Übungsstart enthalten. Auch die Anzahl der möglichen Lautposition (Anfang-Ende oder Anfang-Mitte-Ende) kann ein Kriterium sein.

- Übung "Silbensegmentierung": Das Kind muss für den präsentierten Gegenstand die korrekte Anzahl an Silben bestimmen. Das kann über akustisches Klatschen oder die Eingabe der korrekten Zahl geschehen. Die Liste der möglichen Gegenstände entspricht auch hier der aus der Übung 'Phonemdifferenzierung'. Wurde die korrekte Anzahl an Silben bestimmt, verschwindet der Gegenstand nach entsprechendem positiven Feedback an den Benutzer und es wird ein neuer zufälliger Gegenstand präsentiert. Die Liste entsprechend der Silbenzahl (1-4) wird in Tabelle 4.5 gezeigt.

Der Schwierigkeitsgrad wird durch Anzahl und die mögliche maximale Silbenlänge (2-4) der gezeigten Gegenstände festgelegt. Im Vergleich zu den ersten Übungen muss das Kind hier auch das korrekte akustische Feedback (Klatschen) geben.

- Übung "Reimwörter finden": Dem Kind wird ein primärer Gegenstand und zusätzlich eine bestimmte Anzahl an weiteren zuordenbaren Sekundärgegenständen gleichzeitig repräsentiert. Es muss anschließend der korrekte Sekundärgegenstand



dem primären Gegenstand zugeordnet und so passende Reimwörter gefunden werden. Ist die Zuordnung korrekt, wird eine neue Konstellation an passenden (bzw. nicht passenden) Reimwörtern präsentiert. Die Liste an möglichen Reimwortpaaren wird in Tabelle ?? gezeigt. Die 'falschen' Wörter/ Sekundärgegenstände werden jeweils aus den übrigen Paaren entnommen. Der Schwierigkeitsgrad variiert sowohl mit Anzahl der Durchgänge und gleichzeitig präsentierten Sekundärgegenständen.

- Übung "Reimwörter erkennen": Diese Übung stellt eine vereinfachte Variante der vorhergehenden dar. Es werden zwei Gegenstände gleichzeitig präsentiert, das Kind muss erkennen ob es sich um Reimwörter handelt oder nicht. Hierfür kann es einen Schalter oder Knopf betätigen. Ist die Antwort korrekt, wird das nächste Gegenstandspaar gezeigt. Auch hier wird die Liste an möglichen Reimwortpaaren in Tabelle ?? dargestellt und die 'falschen' Wörter jeweils aus den übrigen Paaren entnommen.

Der Schwierigkeitsgrad lässt sich nebst Anzahl der Durchgänge auch durch Hinzufügen eines Timers variieren: Das Kind hat nur eine bestimmte Zeit zur Verfügung, die korrekte Entscheidung zu treffen. Ist die Zeit abgelaufen, wird das nächste Paar gezeigt.

#### 4.4.1 Auswahl des Frameworks

Da sich die Applikation für einen mobilen Gebrauch zuallererst auf entsprechenden Endgeräten wie Smartphones und Tablets ausführen lassen soll, ist eine Entwicklung für dementsprechende Betriebssysteme Grundlage der weiteren Entscheidungen. Gemäß den zuvor definierten Anforderungen und detaillierten Übungsbeschreibungen wurden folgende Rahmenbedingungen für das zu wählende Framework zur Umsetzung der Anwendung festgelegt:

- Die Anwendung muss die Entwicklung mobiler Anwendungen (idealerweise Android und iOS) unterstützen
- Das Darstellen und Einbinden 3D-Objekten, idealerweise animiert, muss möglich sein.
- Das Framework muss umfassend dokumentiert sein
- Die Implementierung von AR soll durch das Vorhandensein gängiger Frameworks problemlos funktionieren

Der Autor hat sich auf Basis dieser Voraussetzungen für das Implementieren in Unity entschieden: Einerseits gewährleistet die Spieleengine durch ihre führende Präsenz im Spieleentwicklungsbereich eine umfangreiche Wissensbasis dank großer Community und detaillierter Tutorials. Andererseits ist die Generierung von Inhalt dank intuitivem User Interface und die Darstellung von 3D-Objekten mit Import-Möglichkeiten aus anderen 3D-Programmen wie beispielsweise Blender gut möglich.

Die Unterstützung von AR wird durch das Unity-eigene Framework "AR Foundation" gewährleistet, welches die wichtigsten Features für mobile Endgeräte als Schnittstelle für die jeweiligen Frameworks ARCore (Android) und ARKit (IOS) vereint. [38] Das plattformübergreifende Entwickeln und Konvertieren ist somit gewährleistet.

#### 4.4.2 Funktionelle Anforderungen

Anhand der detaillierten Besprechung möglicher Übungsabläufe wurden funktionelle Anforderungen festgelegt und mit einer Priorität gewichtet. Die Festlegung der Priorität ist in Tabelle 4.7 dargestellt: Befanden mehr als 6 der 10 ExpertInnen die Anforderung als wichtig, wurde sie mit einer hohen Priorität versehen, mittlere Priorität erhielten Anforderungen mit mindestens 5 Befürwortern. Andernfalls wurden Anforderungen als niedrig eingestuft. Neben den für ein Serious Game zum therapeutischen Zweck notwendigen Anforderungen sollen zumindest die ersten beiden Übungen vollumfänglich umgesetzt werden, da sie auch von fast allen ExpertInnen als Referenzübungen bei der eigenen Behandlung genannt wurden. Individuelle Einstellungen wie Profile und Zusammenstellung von Übungsplänen sind zwar praktisch, aber nur von geringer Priorität für die Umsetzung des Prototypen.

Kürzel	Name	Beschreibung	Priorität	Quelle
F1	Schwierigkeitsgrad	Die Übung muss dem Können des Kindes entsprechend individuell anpassbar sein. Die Art des Schwierigkeitsgrads wird bei den einzelnen Übungen individuell gehandhabt.	hoch	1,2,3,4,5,6,9
F2	Wiederholung der Übung	Der Benutzer soll eine Übung wiederholen können	mittel	1,2,3,7,8
F3	Übungsabbruch	Der Benutzer soll eine Übung abbrechen können	hoch	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10
F4	Akustisches Feedback	Die Anwendung soll den Benutzer akustisch über den Übungsablauf informieren	niedrig	3,4,5,10

F5	Hilfestellung	Das Kind muss jederzeit auf eine Hilfestellung zurückgreifen können. In dieser soll der Übungsablauf ( z.B. über den Tastendruck auf den aktuell relevanten Gegenstand mit jeweiliger Aussprache oder einen Avatar) akustisch erklärt bzw. die involvierten Elemente benannt werden.	hoch	1,2,3,4,5,6,8,9,10
F6	Schriftbild	Optional soll zu den involvierten Elementen das ausgeschriebene Wort eingeblendet werden können.	hoch	1,2,3,4,8,9,10
F7	Ergebnisanzeige	Es sollen optional die Zahl der Fehlversuche und Übungsdauer nach Übungsende angezeigt werden.	niedrig	5,10
F8	Konfigurierbarkeit des gesamten Therapieablaufs	Die Anzahl der Durchgänge und Reihenfolge der Übungen muss einstellbar sein	niedrig	1,2,8
F9	Individualisierung	Angepasste Übungsprogramme müssen unter einem Profil abrufbar sein	niedrig	2,3

#### 4. ERGEBNIS

F10	Testmodus	Jede Übung besitzt einen anleitenden Einführungsteil, anhand dem ein Übungsdurchgang initial automatisch demonstriert wird.	niedrig	1,2,3,4
F11	Belohnung bei Abschluss der Übung	Dem Kind soll das erfolgreiche Absolvieren der Übung mitgeteilt werden, und zwar auf entsprechend motivierende Weise.	hoch	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10
F12	Übung: Phonem-differenzierung	Der Anwender unterscheidet Gegenstände auf Phonemebene	hoch	1,2,3,4,5,6,7,8,10
F13	Übung: Lokalisation	Der Anwender unterscheidet Wörter anhand der Phonemposition	hoch	1,2,3,4,5,6,7,8,10
F14	Übung: Silbensegmentierung	Der Anwender bestimmt die Silbenanzahl des Gegenstands	mittel	1,2,3,7,10
F15	Übung: Reimwörter finden	Der Anwender ordnet Reimwörter korrekt zu	niedrig	3,4,7
F16	Übung Reimwörter erkennen	Der Anwender bestimmt die Korrektheit des Reimpaars	niedrig	4,7,10

F17	Augmented Reality	Die Anwendung soll den Übungsinhalt und die relevanten Gegenstände durch generierte 3D-Objekte in der realen Umgebung dynamisch darstellen können.	hoch	1,2,3,4,5,9,10
F18	Avatar	Der Anwender wird mit einem Avatar durch die Übung begleitet	niedrig	1,3
F19	Optisches Feedback	Der Anwender soll visuell bei Interaktion mit den Lernwörtern hingewiesen werden	hoch	1,2,3,4,5,6,8,9,10
F20	Anpassbarkeit des Themas	Der Anwender soll zwischen unterschiedlichen Themen (Wasser, Zugfahrt, Schatzsuche) für die Übungsdurchführung wählen können	niedrig	3,6

Tabelle 4.7: Liste Funktionelle Anforderungen

#### 4.4.3 Nicht funktionelle Anforderungen

In Tabelle 4.8 werden die nicht funktionelle Anforderungen gelistet, die von der Applikation zu erfüllen sind. Hier ergibt sich aufgrund des Charakters als Therapieprogramm für Kinder im Prinzip für alle Anforderungen eine hohe Priorität - einzig das Setup der Anwendung sollte bestenfalls unaufwändig sein.

### 4.5 Iterationsschritt 3: Papierprototyp und Mockups

Anhand der in Iterationsschritt 2 festgelegten Übungen und dem hierfür zugrunde liegenden technischen Grundgerüst wurden in Iterationsschritt 3 Papierprototyp und Mockups ausgearbeitet und der Spielaufbau verfeinert.

Kürzel	Name	Beschreibung	Priorität
NF1	Mobilität	die Applikation muss auf Smartphone und Tablet abspielbar sein	hoch
NF2	Performance	die Performance muss auf diesen Geräten schnell genug sein, um Ruckler und einen dementsprechend unrealistischen Eindruck zu vermeiden.	hoch
NF3	Stabilität, Robustheit	Die Applikation soll unmittelbar und geeignet auf Benutzereingabe reagieren. Sie soll robust gegenüber fehlerhafter Eingabe sein.	hoch
NF4	Gebrauchstauglichkeit	die Applikation muss verständlich und intuitiv aufgebaut sein, dass sie auch von Kindern im Volksschulalter leicht bedient werden kann. Sie soll motivierend gestaltet sein und den Anwender zufrieden stellen.	hoch
NF5	Wartbarkeit	die Applikation erfordert im Idealfall kein zusätzliches Setup (Marker oder Aufbereitung der Umgebung)	mittel

Tabelle 4.8: Liste Nicht-Funktionelle Anforderungen

#### 4.5.1 AR Board Game

Um den Spielablauf nicht ausschließlich auf die digitale Darstellung zu fokussieren, wurde in dem Schritt der Einsatz eines realen Spielbrettes zur Positionierung am Übungsplatz angedacht, auf dem die 3D-Gegenstände in computergenerierter Umgebung am Tablet abgebildet werden - das Kind soll so auch trotz Ausführung der grundlegenden Übungsschritte auf dem digitalen Bildschirm einen Bezug zur realen Umgebung - etwa dem Arbeitstisch, auf dem die Übung auf herkömmlichen Weg stattfinden würde - beibehalten. 4.1 zeigt die Anwendung mit Einsatz eines Tablets: Das reale Spielbrett wird

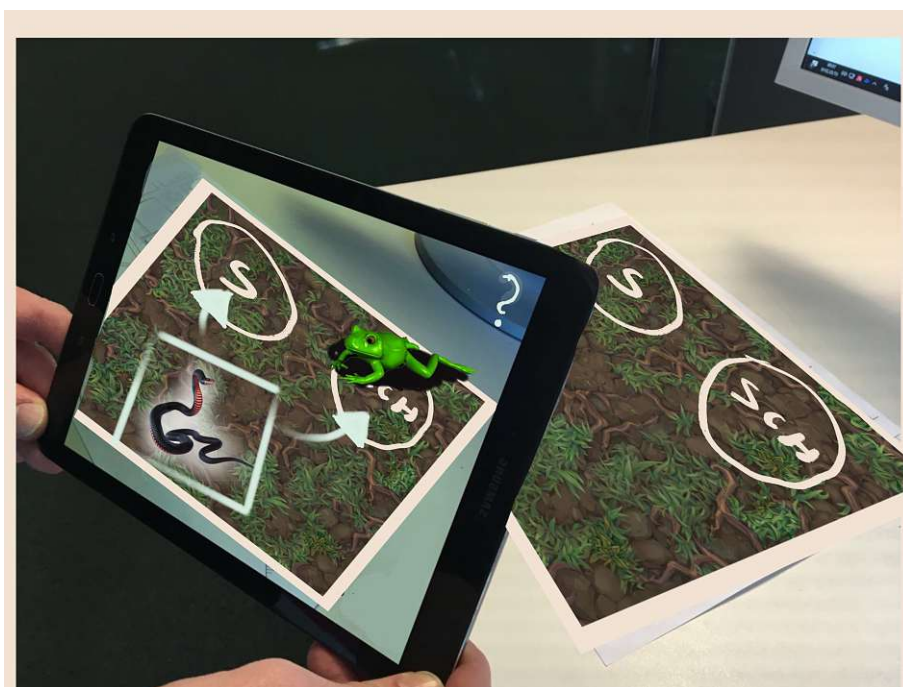


Abbildung 4.1: Anwendung AR und Spielbrett

auf dem Übungstisch platziert, am Tablet werden schließlich darauf dem Übungsablauf entsprechend die 3D-generierten Gegenstände abgebildet. Auf die Funktionalität und Interaktionsmöglichkeiten des eigentlichen Übungsablaufs hat das Spielfeld zwar keinen Einfluss, kann aber durch das zusätzliche Generieren weiterer Umgebungsdetails sowohl im realen als auch computergenerierten Raum die Immersion verstärken. Die Positionierung von digitalen Umgebungs- und Interaktionsobjekten wird mittels Marker am Spielbrett umgesetzt, damit diese bei Verwendung des mobilen Endgerätes ebendort stabil abgebildet werden.

Die Interaktion des Benutzers sowie Auskunft über den Übungsstatus finden ausschließlich über die Spieleanwendung am Endgerät statt bzw. werden ebendort kommuniziert.

#### 4.5.2 Mockups der Übungen

Das für die spezifische Übung benötigte Setup am Spielbrett, Position der Interaktionssysteme, Start- und Zielgegenstände werden - soweit sie nicht für alle Übungen generalisierbar - ebenfalls am Bildschirm abgebildet.

Abbildung 4.2 und Abbildung 4.3 zeigen Mockups für die Übungen 'Phonemdifferenzierung' und 'Lokalisation': Der vom Programm zufällig ausgewählte Gegenstand wird am unteren Bildschirmrand präsentiert (1) und von dort mit dem Finger über den Bildschirm zu der entsprechenden Stelle am Spielfeld gezogen. Beim Spiel 'Lokalisation' ist das z.B. eine Schlange, die Wortanfang, -mitte und -ende mit ihren Körperteilen repräsentiert:

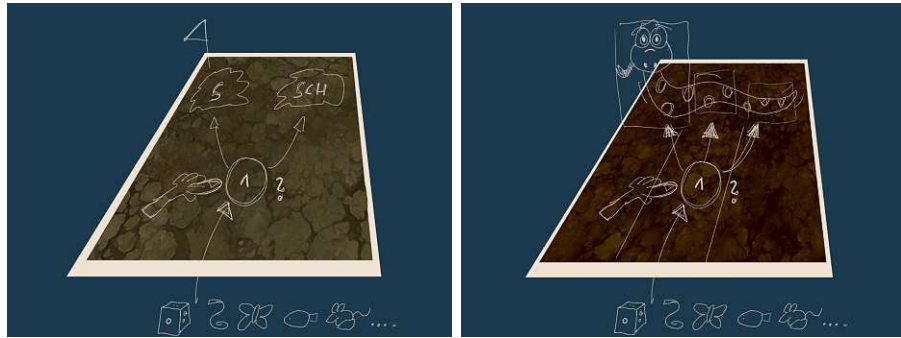


Abbildung 4.2: Mockup Übung Phonemdifferenzierung  
 Abbildung 4.3: Mockup Übung Lokalisation

Handelt es sich beispielsweise ('S' bei 'Maus') bei dem relevanten Phonem um einen Auslaut, wird der Gegenstand zum Schwanz der Schlange gezogen, etc. pp.

#### 4.6 Iterationsschritt 4: Erster Prototyp mit der Übung 'Lokalisation'

Im folgenden Schritt wurden die zuvor definierten Anforderungen im gewählten Framework auf Machbarkeit getestet und weiter angepasst. Primärer Fokus in diesem Schritt war das Umsetzen der grundlegenden AR-relevanten Funktionalität zum korrekten Ausführen der genannten Übungen:

- Korrekte Abbildung der für den Übungsablauf nötigen 3D-Gegenstände in der Realität
- Zuordenbarkeit der Lernwörter ihren entsprechenden Positionen am Spielbrett
- Abbildung der 'Spielwelt' in der korrekten Skalierung samt Aufrechterhaltung des getrackten Status während dem Spielablauf

Als Grundlage für das Projekt diente die bereits eingangs genannte Lösung Unity mit AR Foundation. Folgende Versionen von Engine und nötigen Packages wurden auf Kompatibilität und Stabilität untereinander getestet und letztendlich für die Entwicklung herangezogen:

- Unity 2020.3.15f2
- AR Foundation 4.1.7
- ARCore XR Plugin 4.1.7



- ARKit XR Plugin 4.1.7

Mangels der Verfügbarkeit von XCode, MacOS und der benötigten Hardware wurde die Applikation grundsätzlich für Android auf einem Windows PC entwickelt und getestet. Als Mindestanforderung für das Android-fähige Zielgerät wurde Android 7.0 (Nougat, API Level 24) gewählt, für die initialen Tests kamen zwei Geräte der Marke Samsung (Galaxy A50 und Galaxy A70) zum Einsatz. Ebendort wurden zusätzlich Developer Options und USB debugging aktiviert.

Als Entwicklungsumgebung für die Scripterstellung in C Sharp wurde hier auf Visual Studio Code (Version 1.62.3) gesetzt.

Für einen ersten Testdurchlauf wurde die Übung 'Lokalisation' zur Umsetzung gewählt und das thematische Setting anhand der für den Übungsablauf nötigen Gegenstände genauer definiert:

- Das Lernwort wird als 3D-Gegenstand über ein Scheunentor vor Zuggleisen präsentiert.
- Der Spieler soll den Gegenstand dem der Phonemposition entsprechenden Waggon eines herangefahrenen Zuges mittels Antippen mit dem Finger auf dem Endgerät zuordnen.
- Ist die Zuordnung korrekt, wird der Gegenstand im Zug 'verstaubt', dieser fährt weg und ein neuer Gegenstand wird präsentiert.
- Eine zugehörige Zugstation soll innerhalb der generierten Spielwelt den aktuellen Erfolgstatus der Übung visuell entsprechend vermitteln.

### 4.6.1 Modellierung erster 3D-Modelle und Spielepräsentation

Die einzelnen 3D-Gegenstände wurden allesamt mit dem 3D-Grafikprogramm Blender erstellt und anschließend in das Unity-Framework importiert. Abbildungen 4.4, 4.5 und 4.6 zeigen den Modellierungsprozess im Programm in der vereinfachten Darstellung 'SSolid View'. Bei der Erstellung wurde zugunsten einer uneingeschränkten Anwendung für Smartphones darauf geachtet, die Polygonanzahl der einzelnen Modelle möglichst gering zu halten und Optimierungen wie 'Subdivision Surface' für ein organischeres Gesamtbild nur gezielt einzusetzen.

Eine initial aufwendige Texturen-Generierung inklusive Normal (Tiefenwerte) und Specular(Glanzwerte) Mapping, zusätzlich zum diffusen Mapping, via Node-Setup in Blender inklusive anschließendem Export in die Spieleengine wurde letztendlich aus Performancegründen wieder verworfen, und stattdessen direkt in Unity mit dort generierten einfarbigen Materials gearbeitet.

## 4. ERGEBNIS

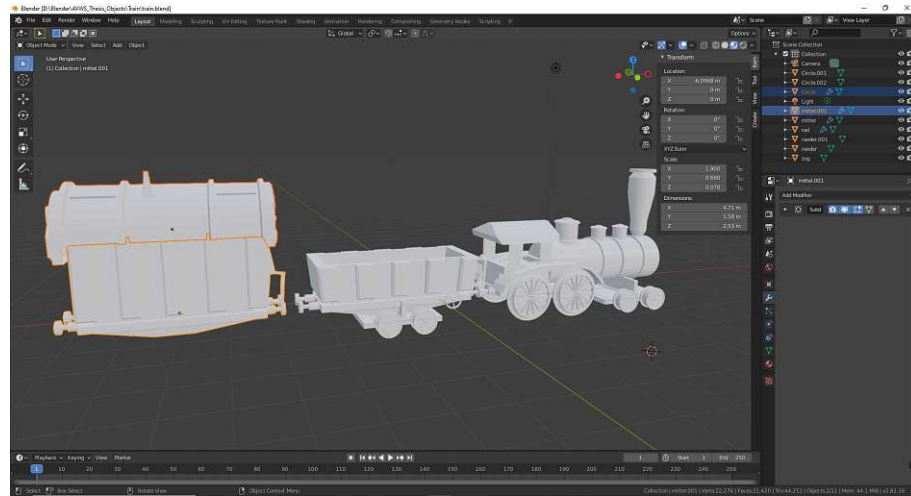


Abbildung 4.4: 3D-Modellierung des Objektes 'Zug' in Blender

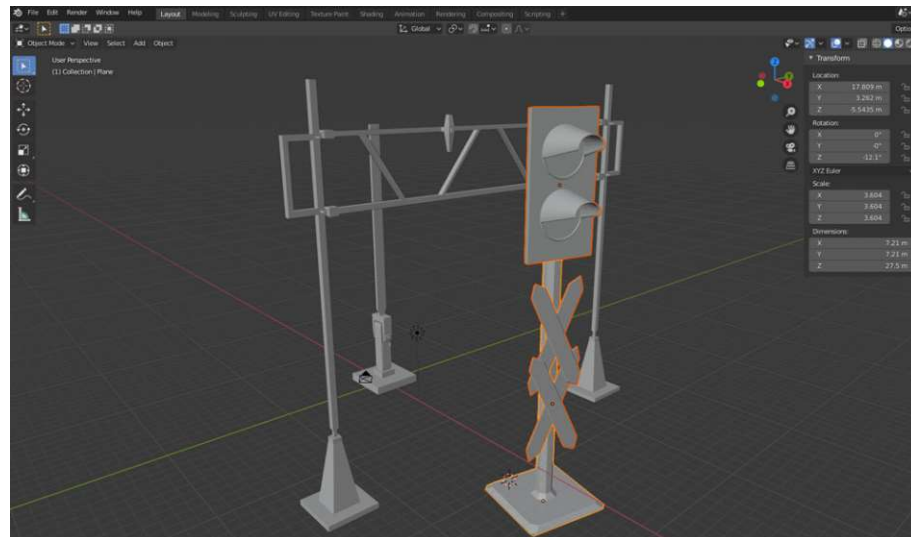


Abbildung 4.5: 3D-Modellierung des Objektes 'Station' in Blender

Um einen ersten lauffähigen Durchgang mit der Übung 'Lokalisation' und unterschiedlichen Lautpositionen testen zu können, wurden die für den Laut 'S' relevanten Wörter 'Hase', 'Sessel', 'Maus', 'Haus' modelliert.

Als - die Lautpositionen abbildende - Ablagefläche wurde ein Zug mit zwei optisch klar differenzierbaren Waggons für drei Möglichkeiten 'Anlaut', 'Inlaut', 'Auslaut' entworfen.

Das Spielbrett wurde in einem herkömmlichen Bildbearbeitungsprogramm mittels Grafiktablett handgezeichnet und anschließend mit einer Größe von 50x50cm ausgedruckt. Abbildungen 4.7 und 4.8 zeigen die Schritte im Designprozess.

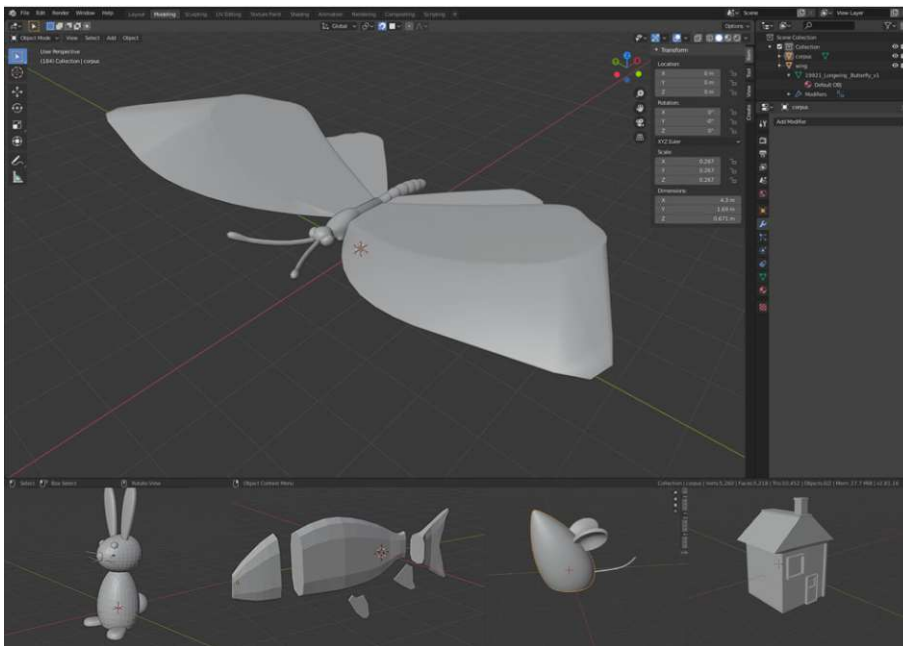


Abbildung 4.6: 3D-Modellierung der Lernwörter 'Schmetterling', 'Hase', 'Fisch', 'Maus', 'Haus' in Blender

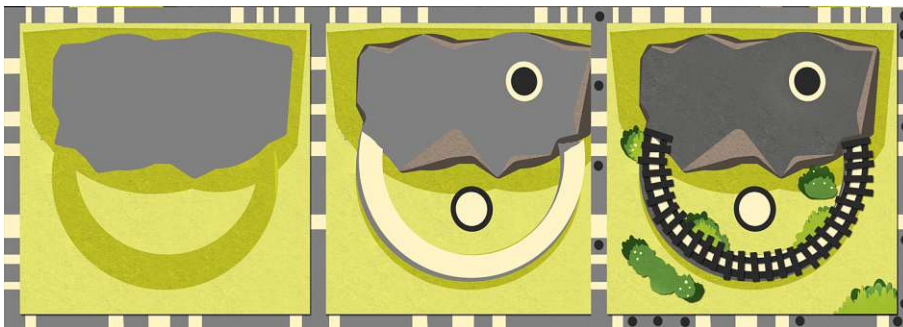


Abbildung 4.7: Entwurfsschritte beim Design des haptischen Spielbretts

#### 4.6.2 Grundlegende Komponenten in AR Foundation

Wesentlicher Grundpfeiler der Entwicklung mit AR Foundation ist das World Tracking, welches für die Positionierung und Ausrichtung des Endgerätes im Realraum verantwortlich ist. Die Logik wird durch das Importieren entsprechender Unity-Gameobjects, wie sie in Abbildung 4.9 zu sehen sind, bewerkstelligt:

- AR Session überwacht den Lifecycle der AR Session samt aktuellem Tracking-Status.
- AR Session Origin ist für die korrekte Positionierung und Ausrichtung der virtuellen Objekte, der sogenannten Trackables, in der realen Umgebung verantwortlich.

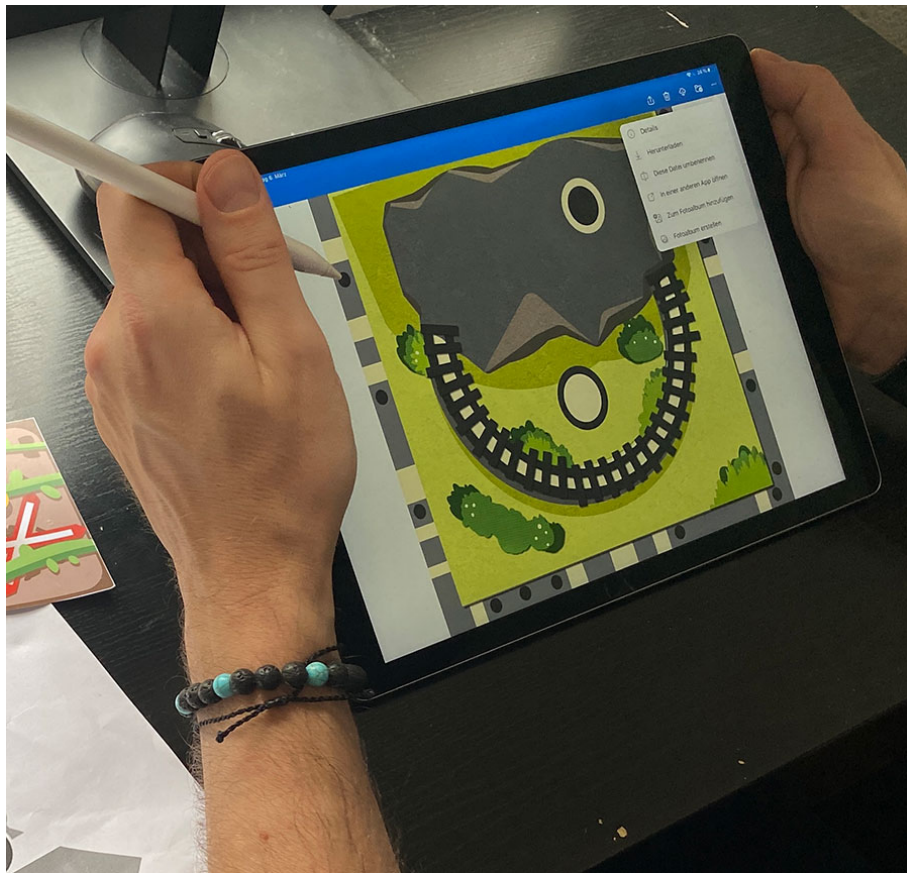


Abbildung 4.8: Design des Spielbretts

- AR Plane Manager als Sub-Komponente von AR Session Origin ist für das Erkennen von flachen (vertikalen und horizontalen) Oberflächen notwendig. Auf ihnen können anschließend virtuelle Objekte platziert werden.
- AR Raycast Manager verwaltet das Schneiden von Strahlen (rays), welche im 3D-Raum ausgesendet werden mit Trackables.
- AR Tracked Image Manager zum Tracken von Referenzbildern.
- AR Point Cloud Manager zur Anzeige von in der Umgebung getrackten Features. In dieser Applikation nur für Testzwecke inkludiert.

### 4.6.3 Programmierbarkeit der Spielelogik

Während in Unity die Ausführung der Anwendung, das korrekte Verhalten von 3D-Objekten zur realen Umgebung samt Erkennung von Ebenen und Markern dank der vorgefertigten Komponenten grundsätzlich wenig Eingriff bedarf, kann die eigentliche Spielelogik samt Interaktion mit Umgebung und 3D-Objekten über Scripting in der

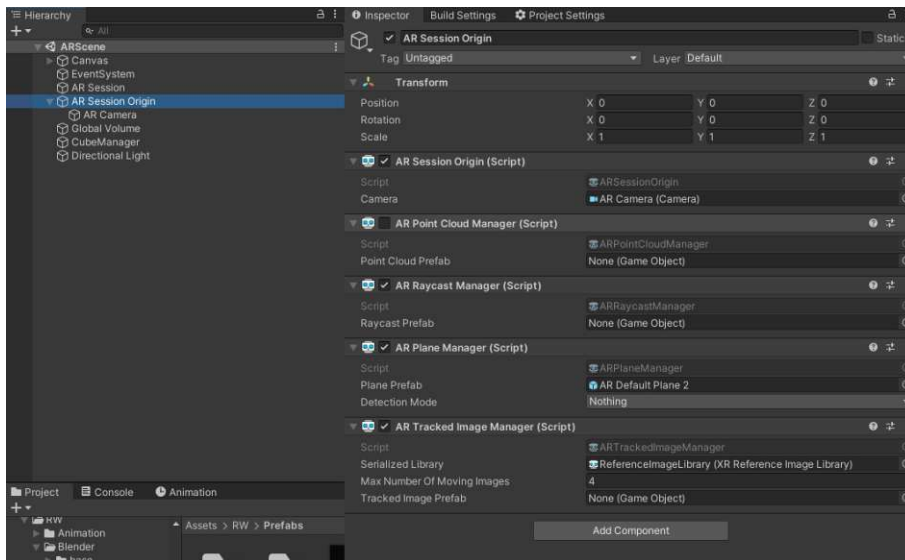


Abbildung 4.9: Unity Interface mit 'AR Session Origin' und den zugehörigen Komponenten

Programmiersprache C Sharp erfolgen. Über diesen Weg wird etwa das Verhalten bei Benutzerinteraktion, der Ablauf der Übung, sowie das korrekte Platzieren der nötigen Objekte vorgenommen.

#### 4.6.4 Simulation der Beleuchtung

Um die erstellten Objekte in die Szenerie glaubwürdig einzubetten, wurden die aktuellen Lichtverhältnisse der realen Umgebung mittels der Light Estimation API in AR Foundation, welche Teil der AR Camera Komponente sind, erkannt und auf diese übertragen: die so erhaltenen Werte wie Position, Ausrichtung, Stärke und Farbtemperatur der realen Beleuchtung können so auf eine virtuelle Lichtquelle abgebildet werden und dank der damit simulierten Beleuchtung für eine realistischere Darstellung sorgen.

#### 4.6.5 Positionierung und Spieleaufbau mittels Imagetracking

Initial war eine statische Positionierung für Scheunentor, Zuggleise und Zugstation basierend auf der Position des Spielbrettes angedacht: 3D-Objekte wurden relativ zur Ausrichtung ebenjenes mit fixen Abständen und Rotationen positioniert.

Das Erkennen des Spielbrettes wird über die Subkomponente 'AR Tracked Image Manager' von AR Session Origin geregelt. Diese referenziert auf eine spezifisch angelegte Bibliothek an Referenzbilddaten bzw. Markern. Hier reichen Bilder im .jpg-Format, welche in ausreichender Auflösung daliegen sollen. Die API extrahiert anschließend Features dieser Bilder, um diese in der realen Welt zu erkennen und zu tracken.

Folgende Kriterien werden für eine optimale Erkennung des Referenzbildes empfohlen [52]:

- das Bild muss statisch und flach sein
- die Größe des zur trackenden Bildes in der realen Welt sollte 15cm x 15 cm nicht unterschreiten.
- die Auflösung des Referenzbildes sollte mindestens 300px x 300px betragen.
- das zu erkennende Bild sollte für die Ersterkennung mindestens 25 Prozent des Kamera-Suchfeldes einnehmen.
- Farbwerte sind für die Erkennung letztendlich irrelevant, da für die Feature-Berechnung das Bild in Grauwerte umgewandelt wird
- es sollten niedrige Kontraste, verschwommene Flächen und Übergänge vermieden werden
- repetitive Features, geometrische Merkmale und Muster sollen vermieden werden

Für die Qualität des Referenzbildes wurde das bei ARCore SDK mitgelieferte Tool arcoring verwendet - hiermit lässt sich die Tracking-Qualität des Bildes anhand einer Bewertungskala von 0 - 100 feststellen. Als Mindest-Zielwert für ein brauchbares Ergebnis wird hier ein Wert von mindestens 75 empfohlen [24].

Findet der Tracked Image Manager ein angegebenes Referenzbild, wird diesem von der API fortan einer der folgenden Zustände zugewiesen:

- 'None': Das Referenzbild wird nicht getrackt. Das ist der Ausgangszustand, bevor das Bild zum ersten Mal erkannt wird.
- 'Limited': Das Referenzbild wird getrackt, wenn auch nur eingeschränkt. Das kann passieren, wenn das Bild nicht oder nur teilweise von der Kamera gesehen wird oder von Teilen der realen Umgebung verdeckt wird.
- 'Tracking': Das Referenzbild wird aktiv getrackt.

Anhand dem nun getrackten Bild - in diesem Fall dem Spielbrett - werden über ein entsprechendes Script, welches ebenfalls dem AR Session Origin Gameobject hinzugefügt wurde, die relevanten 3D-Objekte in relativem Abstand zueinander einmalig als Gameobjects instanziiert und der Ausrichtung des Spielbrettes entsprechend mit Rotation, Skalierung und Position versehen.

### 4.6.6 Interaktion durch Raycasting

Die Interaktion des Benutzers mit den virtuellen Objekten mittels Endgerät wird über den AR Raycast Manager gesteuert - welcher auch hier wieder dem AR Session Origin untergeordnet ist. Eine Update() Methode eines entsprechend erstellten Scripts (siehe Abbildung 4.10) reagiert mittels der Unity-Klasse Touch, falls der Bildschirm mit dem Finger berührt wurde und projiziert anschließend einen Strahl (Ray) entlang der gedachten Linie durch das AR Camera Objekt und die Fingerposition in den Raum. Folgend überprüft die Methode potentielle virtuelle Objekte im Raum auf Kollision mit diesem Strahl und handelt entsprechende Reaktionsmöglichkeiten der Applikation ab.

Dieser Mechanismus ist für den Übungsablauf grundlegend notwendig, da der Anwender die präsentierten Lernwörter den korrekten virtuellen Objekten mittels Fingerdruck zuordnen muss.

```

if (Input.touchCount > 0)
{
    var touch = Input.GetTouch(0);
    if (touch.phase == TouchPhase.Began) {
        Ray ray = arCamera.ScreenPointToRay(touch.position);
        RaycastHit rhit;
        if (Physics.Raycast(ray, out rhit)) {
            Debug.Log("Physic Raycast Hit!" + rhit.collider.name);
            if (rhit.collider.name=="Entry" || rhit.collider.name=="Exit") {...}

            if (rhit.collider.name == "Tree_03") {...}

            if (_activeObject) {...}

            if (rhit.collider.GetComponent<InteractionManager>()) rhit.collider.GetComponent<InteractionManager>().toggleActive();
            targetObject = rhit.collider.gameObject;
        }
    }
}

```

Abbildung 4.10: Raycast-Methode zur Überprüfung auf 'geschnittene' 3D-Objekte

### 4.6.7 Ergebnis



Abbildung 4.11: Applikation nach Abschluß des 4 Iterationsschrittes

In diesem Stadium wurde ein erster funktioneller Prototyp der Übung 'Lokalisation' erfolgreich umgesetzt. Mit Start der Applikation muss vom Anwender zuerst das Spielbrett

erfolgreich getrackt werden, um einen Aufbau des Szenarios zu ermöglichen: So werden ein Scheunentor, Schienen mit Zug und eine Zugstation mit dem Spielbrett entsprechenden Fixabständen erzeugt. Das User Interface besteht zu diesem Zeitpunkt aus genau einem Button, welcher neue Lernwörter auf Zufallsbasis generiert. Diese virtuellen Objekte erscheinen nun mittels Animation - das Scheunentor öffnet sich - über diesem Startpunkt und sind durch Objektanimation von allen Seiten sichtbar. Zur selben Zeit wird das Hereinfahren eines dreiteiligen Zuges auf den zuvor platzierten Gleisen animiert. Der Spieler muss nun anhand der Position des Lautes den entsprechenden Teil des Zuges mit dem Finger berühren. Ist das auf korrekte Weise geschehen, wird mittels Animation das Lernwort in den entsprechenden Teil des Zuges geschoben und dieser zum Weiterfahren animiert. Mittels Buttondruck kann nun ein weiteres zufälliges Lernwort am Startpunkt generiert werden bis schließlich alle Lernwörter der offenen Übung durchgearbeitet sind. Abbildung 4.12 zeigt das Aktivitätsdiagramm für die Übung, Abbildung 4.11 zeigt den aktuellen Stand der Applikation auf einem Samsung A40 Endgerät: Das präsentierte Lernwort ist 'Maus' und muss damit dem letzten Waggon (Auslaut) zugeordnet werden.

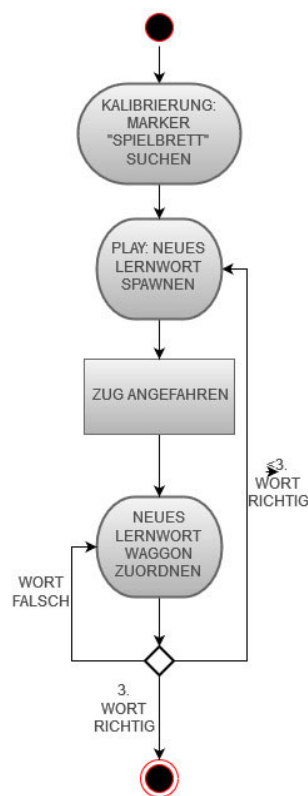


Abbildung 4.12: Aktivitätsdiagramm "Lokalisation"



## 4.7 Iterationschritt 5: Verfeinerung des Prototypen und Implementierung der Übung 'Phonemdifferenzierung'

Der folgende Iterationschritt diente dem Hinzufügen der zweiten Übung 'Phonemdifferenzierung', der Erweiterung von UX um Navigation, Auswahlmenü und Hilfestellungen sowie ersten Gamification-Elementen (Spielstatus und Resultat).

### 4.7.1 Simultane Verwendung mehrfacher Referenzbilder

Da sich das Spielfeld im letzten Schritt als zu starr präsentierte und durch die fix vorgegebenen Positionen vor allem hinsichtlich Sichtbarkeit bei unterschiedlichen Bildschirmgrößen Probleme vermieden werden sollten, wurde in diesem Iterationsschritt das Spielbrett als Referenz für die Platzierung verworfen und stattdessen auf multiple Marker für die einzelnen spielerelevanten Elemente gesetzt. Startpunkt, Ablagefeld und Feedbackobjekte wurden mit diesem Schritt durch die jeweiligen Referenzbilder platzierbar gemacht.

Verantwortlich dafür war der `ARTrackedImageManager.trackedImagesChanged` Callback, anhand dem noch nicht platzierte Objekte mit einer Liste an Gameobjects verglichen und -falls noch nicht geschehen - instanziiert wurden. Ausrichtung und Position entsprechen in dem Fall dem getrackten Bild.

### 4.7.2 Erweiterung Wortliste der definierten Lernwörter um zusätzliche Phoneme

In diesem Iterationsschritt wurden zusätzlich für das Ausführen der Differenzierung des Paares S-SCH und die zugehörigen Sprachlaute 'Sch' und 'S' die Modelle 'Schmetterling', 'Fisch', 'Tisch' und 'Sonne' gezeichnet und anschließend in Blender modelliert. 4.13 zeigt sämtliche mit Iterationsschritt 5 für den Prototypen implementierte Lernwörter jeweils in 2D und 3D Darstellung.

### 4.7.3 Implementierung der Übung 'Phonemdifferenzierung'

Für die Unterscheidung der Phoneme wurden initial entsprechende Modelle der Buchstaben sowie Behälter modelliert, welche - durch einen entsprechenden neuen Marker bzw. Referenzbild - im Spielfeld platziert werden können. Nachdem sich die Übung durch das korrekte Platzieren des übungsrelevanten Markers ergeben soll, wurde bewusst auf ein entsprechendes Auswahlssystem auf Menüebene verzichtet. Der Kontext und das Setup der gewählten Marker alleine soll die entsprechende Übung bestimmen. Abbildung ?? zeigt das Aktivitätsdiagramm für die Übung "Phonemdifferenzierung" von Applikationsstart bis zum erfolgreichen Abschluss der Übung.

Wie schon in der ersten Übung wird das korrekte Zuordnen mit Fingerdruck auf das korrekte Ablagefeld ausgelöst und mit einer Animation - dem Verschieben des Lernwortes

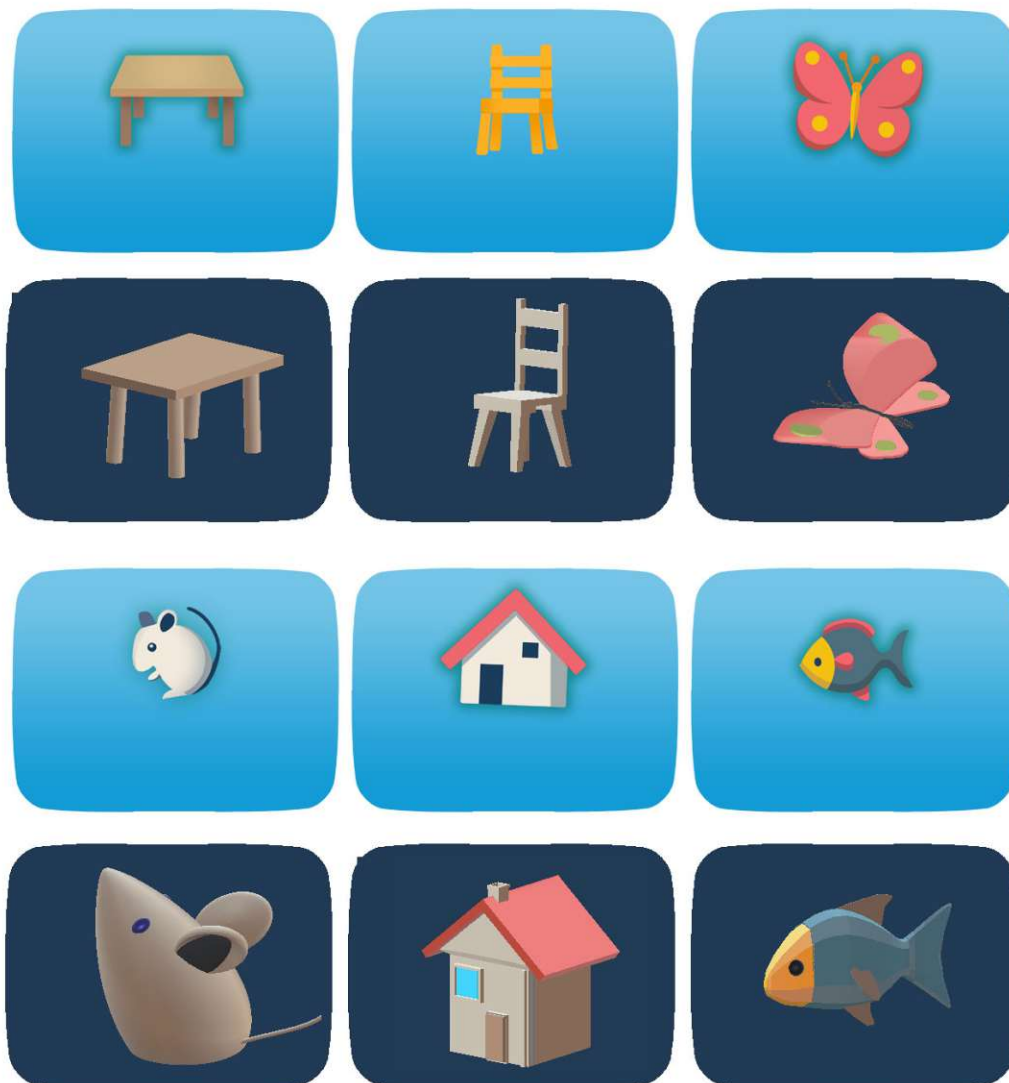


Abbildung 4.13: In der Übung enthaltene Lernwörter

in das richtige Fach - abgeschlossen. Für die Übung wurde ein zusätzliches Zielobjekt "Truhe" modelliert, welches in Abbildung 4.15 zu sehen ist.

#### 4.7.4 Anpassung und Erweiterung des UX

Ziel war es zu diesem Zeitpunkt - vor allem auch aufgrund der anvisierten Benutzergruppe - die Bedienung möglichst einfach zu halten und die UX-Auswahl auf das Wesentliche zu beschränken.

Folgende essentielle Punkte wurden nach Rücksprache mit den fachlichen Experten

4.7. Iterationschritt 5: Verfeinerung des Prototypen und Implementierung der Übung 'Phonemdifferenzierung'

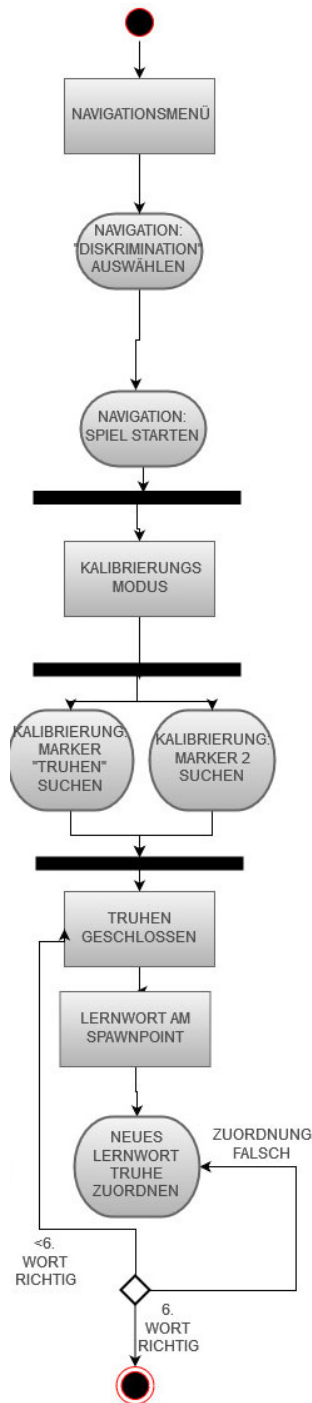


Abbildung 4.14: Aktivitätsdiagramm "Phonemdifferenzierung"

umgesetzt:

#### 4. ERGEBNIS



Abbildung 4.15: 3D-Modellierung des Objektes 'Truhe' in Blender



Abbildung 4.16: Übung "Lokalisation" mit aktivierter Hilfe und erster UI-Navigation

- Das Lernwort wird zusätzlich zur Präsentation als 3D-Modell im Spiel als kleines 2D-Bild mit Schriftbild am unteren Bildschirmrand dargestellt. Das Zuschalten der Abbildung geschieht durch den Druck auf einen Button am linken oberen Bildschirmrand.

- Ein Status am oberen Bildschirmrand gibt Aufschluss über die noch offenen und bereits abgeschlossenen Zuordnungen an Lernwörtern. Dieser wird durch einen kontinuierlichen Balken dargestellt. Ist dieser vollständig ausgefüllt, gilt die Übung als abgeschlossen.
- Die Übung kann mit einem 'Beenden'-Button am oberen Bildschirmrand jederzeit abgebrochen werden. Der Benutzer kommt anschließend in das Hauptmenü.
- Ist die Übung erfolgreich abgeschlossen, wird das dem Benutzer akustisch und visuell am Bildschirm mitgeteilt. Im aktuellen Entwicklungsstand geschieht das durch eine animierte Darstellung eines Pokals.

Abbildung 4.16 zeigt die erste Umsetzung mit einem reduzierten User Interface, angewandt bei der Übung "Lokalisation". Zu diesem Zeitpunkt kann die Übung durch den Button links oben jederzeit abgebrochen werden, für das Aufrufen eines neuen Lernwortes muss der entsprechende Spiel-Button links oben (2.v.l.) gedrückt werden. Auch ist hier die Hilfe aktiviert: Mit Druck auf den Button am rechten oberen Bildschirmrand wird das Lernwort - in diesem Fall "Fisch" - zusätzlich zur 3D-Darstellung in der realen Umgebung links unten in 2D-Darstellung samt schriftlicher Bezeichnung präsentiert. Das Erscheinungsbild entspricht hier jeweils den in Abbildung 4.13 gelisteten Darstellungen. Auch die Verwendung von mehreren Markern ist hier ersichtlich: für die beiden spielrelevanten Spielelemente wurden jeweils zwei Bilder am Tisch platziert, auf denen dann die 3D-Gegenstände "Zug" und "Startpunkt" instanziiert wurden.

#### 4.7.5 Ingame-Spielhilfen im virtuellen Spielfeld

Zusätzlich zur Abbildung des aktiven Lernwortes mit Schrift und 2D-Bild werden nun die Interaktionselemente Zug und Truhe jeweils um zuschaltbare 2D-Tafeln erweitert, welche mittels repräsentativen Elementen die Auswahlmöglichkeiten darstellen sollen. Das Aktivieren der Hilfe geschieht durch einen Button am linken oberen Bildschirmrand.

Für den Modus "Lokalisation" sind das jeweils für An-, In- und Auslaut dem Laut entsprechend:

- "Schaf", "Dusche", "Busch" für den Laut "SCH"
- "Seil", "Pinsel", "Eis" für den Laut "S"

Die entsprechenden 2D-Grafiken der Bilder sind in Abbildung 4.17 dargestellt.

Die den Lauten entsprechenden Waggon des Zuges werden in diesem Modus mit den zugehörigen Farben umrandet.

Für den Modus "Diskrimination" wurden - den Vorschlägen der LogopädInnen bzw. den gewohnten Übungsabläufen entsprechend- die zwei Referenzbilder "Zug" und "Schlange" für die Laute "S" und "SCH" auf den 2D-Tafeln abgebildet.



Abbildung 4.17: Referenzbilder für die Übung "Lokalisation"



Abbildung 4.18: Referenzbilder für die Übung "Diskrimination"



Abbildung 4.19: Design der Bilder "Zug" (links) und "Busch" (rechts)

Die entsprechenden 2D-Grafiken der Bilder für "Diskrimination" sind in Abbildung 4.18 dargestellt. Abbildung 4.19 zeigt den Gestaltungsprozess des Referenzbildes "Zug" sowie des Lernwortes "Busch".

Abbildung 4.20 zeigt den aktualisierten Spielablauf mit aktivierten Ingame-Spielhilfen: Über den drei Waggons befinden sich für den Laut "SCH" die drei Bilder für An-, In- und Auslaut. In Kombination mit den entsprechend umrandeten 3D-Gegenständen wird so dem Anwender verdeutlicht, welcher Zuordnungen der jeweiligen Lautposition entsprechen.

Abbildung 4.18 zeigt die Übung "Diskrimination" mit den zugehörigen Spielhilfen in der realen Umgebung. Schlange und Zug repräsentieren jeweils den Laut, welcher der farblich ident gestalteten - Truhe entspricht.

Zusätzlich wird - unabhängig von den zuschaltbaren Spielhilfen - künftig der Input des Benutzers auch visuell deutlich dargestellt: bei korrekter Zuordnung des Wortes durch

#### 4.7. Iterationschritt 5: Verfeinerung des Prototypen und Implementierung der Übung 'Phonemdifferenzierung'



Abbildung 4.20: Übung "Lokalisation" mit aktivierten Ingame-Spielhilfen



Abbildung 4.21: Übung "Diskrimination" mit visueller Rückmeldung "Falsch"

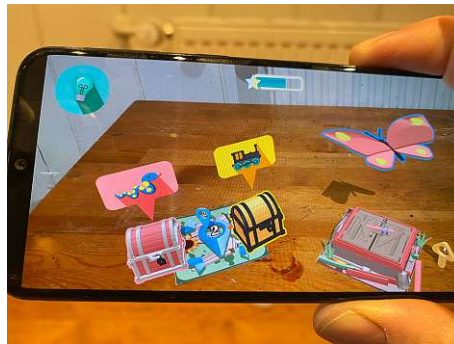


Abbildung 4.22: Übung "Diskrimination" mit aktivierten Ingame-Spielhilfen

ein grünes Häkchen, bei falscher Zuordnung durch ein rotes Kreuz, wie auf Abbildung 4.21 zu sehen.

#### 4.7.6 Erweiterung um Resultatsanzeige nach Übungsabschluß

Nach erfolgreichem Beenden der Übung wird Bildschirm über den Erfolg Auskunft geben. Einerseits geschieht dies durch eine visuell ansprechende Grafik- und Texteinblendung



Abbildung 4.23: Übungabschluss mit visueller Erfolgsmeldung

mit 'Erfolgsmeldung' entsprechend der Zahl der korrekt zugeordneten Gegenstände. 4.23 zeigt den Übungabschluss bei erfolgreicher Zuordnung aller präsentierten Lernwörter, realisiert mit einer Pokal-Animation. Mittig oben ist die Fortschrittsanzeige mit blauem Balken zu sehen, die vollständig ausgefüllt ist.

#### 4.7.7 Navigationsmenü zu Übungs- und Lautauswahl

Nach Implementierung der zweiten Übung wurde die Applikation um ein Menü erweitert, in dem sich alle bis dahin implementierten Modi vor Spielstart auswählen lassen. Durch Druck auf den entsprechenden Button kann so zwischen den beiden Übungen "Lokalisation" und "Diskrimination", jeweils durch optisch sinngemäß dargestellte Grafiken repräsentiert, umgeschaltet werden. Mit einem weiteren Button lässt sich zwischen den Lauten "S" und "SCH", sofern "Lokalisation" aktiviert ist, wählen. Wurde "Diskrimination" selektiert, wird diese Anzeige durch die Paarung "SCH/S" ersetzt. Abbildung 4.24 und Abbildung 4.25 zeigen jeweils den Zustand des Hauptmenüs bei entsprechend selektierter Übung.

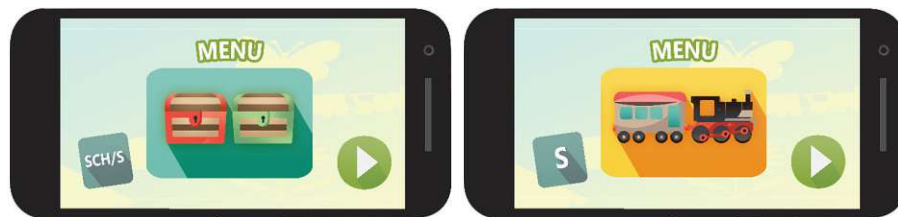


Abbildung 4.24: Navigationsmenü "Diskrimination"      Abbildung 4.25: Navigationsmenü "Lokalisation"

#### 4.7.8 Ergebnis

Mit Abschluss dieser Iteration wurde die grundlegend angedachte Funktionalität der Applikation erfolgreich umgesetzt: der Benutzer kann sich zwischen zwei Übungsvarianten entscheiden, welche durch Ablauf und optische Darstellung ausreichend differenziert sind.



Anhand der bis dahin implementierten Wortliste können die Laute "S" und "SCH" ausreichend als Testmaterial erhalten, um die jeweiligen Szenarien (jeweils 3 Wörter für Lokalisation "S" und "SCH", sowie 6 Wörter für Diskrimination) durchzuspielen. Der Abschluss ist jeweils möglich und kann im Hauptmenü jederzeit neu gestartet werden. Weitere Abbildungen zu den erstellten 3D-Modellen und Navigationselementen finden sich im Anhang.

### 4.8 Iterationsschritt 6: Optimierung von Tracking und Ingame-Darstellung

Im Folgenden verhältnismäßig kurzen Iterationsschritt erfolgte der letzte Feinschliff an diversen Stellen, um die optimierte Variante auch von Kindern spielbar zu machen.

#### 4.8.1 Tracking-Optimierung und Usability

Es erfolgte eine erneute Evaluierung der zu trackenden Bilder: da die zuvor erstellten Symbole nicht ausreichend stabil getrackt wurden, kam es mitunter bei schlechten Lichtverhältnissen (z.B. durch direkte Sonnenbestrahlung) öfters zu Ausfällen und inkorrekt Positionierung der spielrelevanten Objekte. Die Tracker wurden deshalb um weitere Details angereichert und in mehreren Versuchen so weit optimiert, bis eine zufriedenstellende und rasche Erkennung bei normalen Lichtverhältnissen gewährleistet werden konnte. Abbildungen 4.26 und 4.27 zeigen die Entwicklungsschritte bis zum letztendlichen Design der Marker. Zwar entsprechen die Anforderungen bereits bei der ersten Iteration den Mindestanforderungen hinsichtlich Größe und Auflösung, werden aber aufgrund der fehlenden Details bei schlechten Lichtverhältnissen nur ungenau getrackt. Die finalen Tracker rechts wurden schließlich an das Farbschema des Spielekonzepts angepasst.

Für die Bedienbarkeit der Applikation wurden weitere Elemente hinzugefügt: Ein, dem Signalstärke-Icon bei herkömmlichen Mobiltelefonen angelehntes, Status-Icon am rechten unteren Bildschirmrand gibt dynamisch Auskunft über die Anzahl der in dem Moment erfolgreich getrackten Bilder. Verliert die Applikation etwa bei einem hinzugefügten getrackten Bild den Status "Tracking" und schaltet auf "Limited", weil das Bild z.B. verdeckt oder bewegt wird, passt sich die Statusanzeige entsprechend farblich an.

Zusätzlich müssen vor Spielbeginn zumindest alle relevanten Bilder zumindest einmal vom Benutzer erfolgreich getrackt werden. Abbildung 4.28 stellt diesen nötigen Kalibrierungsschritt dar: Im User Interface werden die beiden den Trackern entsprechenden Symbole mit einer Lupenanimation dargestellt. Der Anwender muss nun mit dem Mobilgerät die Kamera auf beide Marker richten, damit diese erkannt werden und die 3D-Objekte korrekt im realen Raum positioniert werden können. Sind beide erfolgreich aufgenommen, verschwindet die Kalibrierungsaufforderung und der Start-Button für den Übungsbeginn erscheint, wie in Abbildung 4.29 gezeigt.



Abbildung 4.26: Evolution der Marker für den Prototypen



Abbildung 4.27: Entwurfsschritte beim Design des finalen Markers '1'

#### 4.8.2 Flat Design und spielgerechtes Farbschema

Weiters wurden in einem finalen Schritt Farbschema der UI-Elemente und 3D-Objekte homogenisiert und auf eine reduzierte, nicht-realistische Bildsprache im sogenannten "Flat Design" gesetzt: Die Darstellung - für eine ansprechendere Gestaltung für Kinder als Zielgruppe - verzichtet auf realistische Beleuchtungs- und Relief-Effekte wie Normal- oder Displacement-Mapping und intensiviert so die Farbeindrücke der einzelnen Objekte umso mehr.



Abbildung 4.28: Initiale Kalibrierung des Spielfeldes durch Marker-Suche

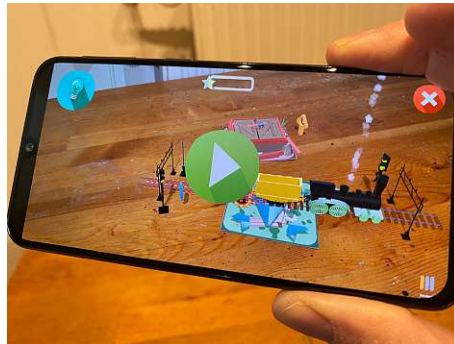


Abbildung 4.29: Startbildschirm nach erfolgreiche Marker-Kalibrierung mit erfolgreich positionierten 3D-Objekten

Einzig ein Schattenwurf der am Tracker platzierten Objekte im realen Raum soll für eine immersivere Einbindung der generierten 3D-Modelle in die reale Welt sorgen: Hierfür wurde ein eigens geschriebener Shader auf ein transparentes Material gelegt, welches nur Schattenwerte darstellt. Der eingangs im Iterationsschritt 2 vorgestellte "AR Plane Manager" erstellt nach Erkennung die erste Grundfläche mit diesem Material und richtet sie im Tracking-Schritt nach Positionierung der 3D-Objekte als deren Grundfläche aus.

### 4.8.3 Ergebnis

Durch die Vereinheitlichung und Festlegung bei der Darstellung und Verbesserung der Marker wurden zusätzlich potentiell Frustpotential bei Kindern als Anwendern reduziert: das korrekte "Spiaufbau" durch die Marker wird nun eindeutig signalisiert und geschieht deutlich schneller. Zudem verliert das Spiel auch während dem Übungsablauf selten den Tracking-Status der Interaktionsobjekte und sorgt so für einen unterbrechungsfreien Durchgang.

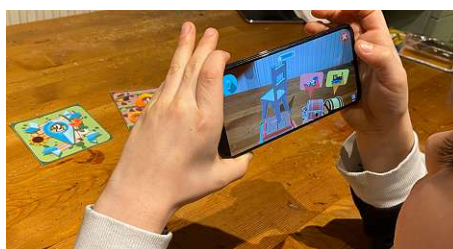


Abbildung 4.30: Ausführung der Übung durch Kind im Volksschulalter (9 Jahre)

### 4.9 Iterationsschritt 7: Evaluierung des fertig implementierten Prototypen

Der fertige Prototyp wurde abschließend mit den teilnehmenden LogopädInnen nochmals evaluiert. 6 Teilnehmer (1,2,3,4,7) konnten für diesen finalen Testdurchgang der beiden implementierten Übungen gewonnen werden, zusätzlich wurde mit zwei Kindern im Alter von 9 Jahren probegespielt (siehe Abbildung 4.30). Während die LogopädInnen im Prinzip die Applikation ungeleitet starten und nach Belieben durchspielen konnten, wurden für die beiden Kinder überwachte Übungsabläufe im Zeitrahmen von maximal 15 Minuten definiert. Die unmittelbaren Eindrücke, Erfahrungen und Rückmeldungen wurden bereits während dem Testlauf dokumentiert anschließend anhand von Interviews eingehender diskutiert.

Folgende Schwerpunkte wurden hierbei behandelt:

- Akzeptanz der Spielidee und Motivation: Im Prinzip stieß das Konzept, haptische Elemente (Papiermarker und Spielbrett) mit 3D-Elementen und AR zu verknüpfen, auf positive bis sehr positive Resonanz. Eine Person aus der ExpertInnengruppe äußerte aufgrund auch weiterhin leichter Skepsis am Einsatz von Mobilgeräten bei der Therapie von Kindern in dem Alter - als Grund wurde eine potentielle Suchtgefährdung bei einem übermäßigen Konsum genannt - für die übrigen 4 LogopädInnen stellte das, sofern in einem Zeitrahmen von 15 - 30 Minuten und gegebenenfalls mit Überwachung stattfindend, kein Risiko dar. Im Gegenteil: das Kombinieren von Realumgebung und Computerelementen stellt für die ExpertInnen ein probates Mittel zur Motivationssteigerung dar, um Kinder auch bei regelmäßigem Üben bei der Stange halten zu können. Auch die Kinder waren von der Idee rasch begeistert - die Motivation zum Weiterspielen war auch nach den 15 Minuten Spielzeit gegeben.
- Bedienbarkeit: Auch hier schien die Applikation - wohl aufgrund der simplen und übersichtlich gestalteten Struktur von User Interface und Übungsablauf - keine Probleme zu machen. Das - unvermeidbare Initialisieren der Marker - wurde bei 2 LogopädInnen zwar als etwas schwierig empfunden, konnte aber nach mehrmaligem Wiederholen gut gemeistert werden. Hier hängt die Performance zudem stark von

der verwendeten Hardware, beispielsweise der im Mobilgerät eingebauten Kamera, ab: leistungsfähigere Geräte konnten die Tracker deutlich schneller tracken, was den Übungsstart nur unmerklich unterbrach. Auch die Kinder taten sich mit der Bedienung der Knöpfe am Handy leicht, die Objekte konnten gut zugeordnet werden.

- Ein positiver Therapieeffekt konnte aufgrund der geringen Anzahl an Teilnehmern und der Zeitspanne, in der die Applikation getestet wurde, nicht gemessen werden.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

## Diskussion

Die Entwicklung eines Prototypen zu computerunterstützten Therapie bei einer vorliegenden AVWS für Kinder im Volksschulalter war Ziel dieser Arbeit. Hierfür wurden in einem iterativen Prozess geeignete wissenschaftliche ExpertInnen eingebunden und entsprechende Anforderungen für den finalen Prototypen definiert. Die implementierte Applikation wurde mit ausgewählten ExpertInnen evaluiert und im Kontext der wissenschaftlichen Fragen diskutiert. Im Folgenden werden diese Erkenntnisse dementsprechend diskutiert.

Einführend wurde der implementierte Prototyp nochmals den in der State-of-the-Art-Analyse ermittelten Anforderungen gegenübergestellt und mit den zuvor beschriebenen Anwendungen verglichen:

- **Behandlung auditiver Teilfunktionen:** Der Prototyp lässt sich für zwei Teilfunktionsstörungen, welche mit AVWS in Verbindung stehen können, anwenden: Diskrimination und Lokalisation.
- **Alter der Zielgruppe:** Gestaltung, Spielablauf und Bedienbarkeit wurden speziell für Kinder im Volksschulalter angepasst.
- **Individualisierbarkeit:** für beide Übungsmodi lassen sich unterschiedliche Laut(paarungen) auswählen. Zusätzlich können mit Knopfdruck Hilfeoptionen zugeschaltet werden, um den Übungsablauf für den Anwender vom Schwierigkeitsgrad entsprechend zu gestalten. Es kann zudem bei der Zuordnung auf Bilder oder Schrift fokussiert werden. Der Spielaufbau und die Positionierung der Interaktionselemente am Spielbrett können zudem aufgrund der jeweiligen Marker nach Belieben gestaltet werden.
- **Präsentation & Zugänglichkeit:** Durch das erfolgreiche Umsetzen der Applikation als Augmented-Reality-Spiel hebt sich der Prototyp alleine schon durch die dreidimensionale Darstellung von anderen AVWS-Programmen positiv ab. Eine dennoch übersichtliche Gestaltung wird durch das klar definierte, auf das nötige

reduzierte User-Interface garantiert. Die Bedienung ist - mit speziellem Fokus auf die Anwender im Volksschulalter - nicht überladen, jedoch klar verständlich.

- **Serious Gaming:** Durch das erfolgreiche Einbinden der digitalen Übung in die reale Spielumgebung wird der Motivationsfaktor enorm gesteigert. Das zuvor nötige individuelles Aufbauen der Spielumgebung durch die Positionierung der Marker sorgt bereits für ein gesteigertes Immersionsgefühl. Erscheinen letztlich die - teils animierten - 3D-Objekte am ansprechend gestalteten Spielfeld, welches mit der Kamera des Mobilgerätes quasi frei erkundet werden kann - steht das im starken Kontrast zu den starren Übungspräsentationen der statischen, auf stationäre Heimcomputer gebundene Präsentation anderer AVWS-Anwendungen.
- **Mobile Anwendung:** Der Prototyp wurde auf einem herkömmlichen Android-Gerät mit durchschnittlicher Hardware entwickelt und getestet. Dementsprechend sind -abgesehen von den ausdrückbaren Bildmarkern - weder kostspielige Hardware, noch zusätzliches technisches Equipment nötig, um die Anwendung flüssig und störungsfrei zu benutzen.

Primäre Ansatz der Applikation als Serious Game war, die bisher haptische Komponente der herkömmlichen Übungsausführung mit der immersiven Wirkung von Augmented Reality zu bereichern und damit für eine Motivationssteigerung zu sorgen. Der User kann so in eine spannende und grafisch anspruchsvolle 3D-Umgebung eintauchen, ohne auf altbewährte Übungsabläufe verzichten zu müssen. Der Gedanke, Kinder mit der Applikation auch daheim üben zu lassen, war für die meisten ExpertInnen ein durchaus positiver. Das dafür notwendige Equipment, ein Mobilgerät mit Kamera und zwei ausgedruckte Bilder, sollte der einhelligen Meinung nach kein Hindernis darstellen.

Es folgt eine Auseinandersetzung mit den in dieser Arbeit definierten wissenschaftlichen Fragen.

### **5.1 Forschungsfrage 1: Welche Anforderungen ergeben sich bei computerunterstützten Therapiemöglichkeiten?**

Folgende Anforderungen für den Einsatz von computerunterstützten Therapien wurden festgehalten:

- Aufgrund ausführlicher Literaturrecherche, State-of-the-Art-Analyse und Befragung der ExpertInnen wurde schnell klar, dass es ganzheitliche Behandlungsansätze bei einer auftretenden AVWS im Prinzip nicht gibt. Vielmehr muss auf die Defizite in Teilfunktionen der auditiven Verarbeitung individuell eingegangen werden. Oftmals handelt es sich - so die Meinung aller befragten LogopädInnen - nur sehr selten um eine "reine" AVWS, sondern um eine phonologische Schwäche, die in Kombination



## 5.2. Forschungsfrage 2: Welche motivationsfördernden Methoden können zur Erfüllung der Anforderungen eingesetzt werden?

---

mit anderen Defiziten, wie einer Lese-Rechtschreibschwäche in Erscheinung treten kann. Dementsprechend zielt die Behandlung auch auf Problemstellen ab, die unter Umständen auch bei ähnlichen Krankheitsbildern (z.B. einer ADHS) auftauchen können. Die angebotenen Therapieprogramme zeigen es vor, bieten sie doch im Normalfall für die Teilfunktionen spezifische Einzelübungen an. Das Ergebnis: auch der implementierte Prototyp bietet zur Therapie mit "Diskrimination" und "Lokalisation" zwei spezifische Übungsmodi an, die jeweils auf potentielle Schwächen bei einer möglichen AVWS anwendbar sind.

- Nachdem die Zielgruppe der Anwendung mit Kindern im Volksschulalter festgelegt wurde, unterlagen Design von User Interface und die Handhabung der Übung strengen Auflagen: Auch wenn die Anwendung grundsätzlich - wie von den LogopädInnen präferiert - nur im Beisein einer anleitenden Aufsichtsperson durchgeführt werden sollte, müssen Navigation und Übungsbedienung möglichst reduziert und klar definiert sein. Zusätzliche Hilfestellungen, idealerweise in Bild und Schrift, wurden bereits initial als hoch priorisiert. Im Rahmen dieser Arbeit nicht umgesetzter, aber dennoch letztendlich öfters geäußelter Wunsch war das Entwerfen eines Avatars und Übungsdemonstrationen. So soll ersterer - im Idealfall auch akustisch - durch die Übungen leiten und beim Aussprechen der Lernwörter helfen. Ein Probelauf der Übung vor dem eigentlichen Übungsstart kann dem Kind zusätzlich den Ablauf verständlicher erklären.
- Auch wenn der motivationssteigernde Effekt der Applikation ein grundlegendes Ziel bei der Applikationsentwicklung war, wurden von ExpertInnen klare Restriktionsmöglichkeiten bei der Anwendungsdauer kommuniziert: diese sollte entweder von einer Kontrollperson oder der Applikation selbst eingeschränkt werden und im Schnitt 15 - 30 Minuten nicht überschreiten.

## 5.2 Forschungsfrage 2: Welche motivationsfördernden Methoden können zur Erfüllung der Anforderungen eingesetzt werden?

Entsprechend der Analyse vergleichbarer Anwendungen wurde bei der Entwicklung auf eine ansprechende Gestaltung Wert gelegt. Die Applikation präsentiert sich mit dreidimensionalen Objekten und Animationen, der Übungsabschluss wird positiv motivierend vermittelt. Das Rückmelden bei falschen Zuordnungen von Lernwörtern - in Abstimmung mit den ExpertInnen eher als Demotivationsfaktor betrachtet - wurde bewusst auf ein Minimum reduziert. Prinzipiell gibt es nur bei korrekter Zuordnung ein entsprechendes Feedback der Applikation durch Animationen und das Wachsen des Fortschrittsbalken. Da vor allem in der Logopädie bisweilen oft auf analoge Brettspiele gesetzt wurde, war ein Hauptthema der Arbeit das Einbinden von digitalen Elementen in die gewohnte, reale Übungsumgebung. Dieser Ansatz wurde dementsprechend als motivationsfördernder Aspekt in die Entwicklung aufgenommen und das modulare, individuelle Einrichten der

persönlichen Spielumgebung vor dem eigentlichen Übungsstart als relevanter Spassfaktor betrachtet.

### **5.3 Forschungsfrage 3: Können fortschrittliche Anzeigetechnologien einen positiven Einfluss auf die Therapie haben?**

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Methoden Virtual Reality und Augmented Reality für einen möglichen Einsatz näher betrachtet. Aufgrund der Festlegung der Zielgruppe auf Kinder im Volksschulalter wurde die Verwendung von VR-Brillen sehr rasch verworfen: Auch wenn grundsätzlich nicht alle LogopädInnen der Idee abgeneigt waren, stellten vor allem die empfohlenen Hersteller-Angaben zum Mindestalter für den Autor ein unüberbrückbares Hindernis dar. Anders dagegen gestaltete sich die Ansicht bei einem möglichen Einsatz von Augmented Reality Technologien, sofern dafür keine Datenbrillen nötig waren. Weder Hersteller noch literarische Recherche konnten hier Bedenken präzisieren. Die Idee wurde - auch teilweise initiativ von den LogopädInnen ausgehend - als Anwendungsmöglichkeit vorgeschlagen. Moderate Hardwareanforderungen - in dem Fall ein mobiles Endgerät mit Kamera - stehen hier einem hohen immersiven Potential gegenüber. Zwar beschränkte sich das Evaluieren dieser Arbeit auf zwei Testpersonen im Alter der Zielgruppe mit fix vorgegebenen Testdauern von 15 Minuten - die unmittelbaren Reaktionen deuteten allerdings auf hohes Interesse und den Wunsch, die Applikation möglichst schnell wieder auszuprobieren, hin. Auch von 4 der 5 in der finalen Evaluierungsphase involvierten LogopädInnen wurde ebensolches mit dem Wunsch - den Prototypen in der eigenen Praxis ausgiebig zu testen - geäußert.

## Zusammenfassung und Ausblick

Der über mehrere Iterationsphasen hinweg konzipierte und letztendlich implementierte Prototyp richtet sich an Kinder mit Lese-Rechtschreib-Schwächen, wie sie bei einer AVWS großteils auftauchen können und bietet hierfür sinnvolle Möglichkeiten zur computerunterstützten Therapie. Dabei wurden Aspekte des Serious Gaming erfolgreich berücksichtigt und Konzepte wie etwa immersionssteigerndes Augmented Reality, kindgerechte Bedienung und ansprechende Übungsgestaltung für ein Anhalten der Motivation - zufriedenstellend umgesetzt. Die zwei Übungen "Diskrimination" und "Lokalisation" lassen sich bereits allumfänglich durchführen, anhand der Anzahl an fertig modellierten Lernwörtern ist ein alltagsnaher Testlauf der Anwendung gut möglich. Sowohl die Verknüpfung von digitalen Methoden und herkömmlichen analogen Herangehensweisen - wie sie bis dato im Großteil der logopädischen Praxen noch in Verwendung sind - als auch der Blick über den Tellerrand anhand des Einsatzes von AR stießen auf euphorische Resonanz und gesteigertes Interesse für künftige Erweiterungen in dem Bereich.

Neben den in dieser Arbeit gewonnenen positiven Ergebnissen gibt es allerdings durchaus Bereiche, welche in den Evaluierungsphasen zur Sprache kamen und sich für eine weiterführende Auseinandersetzung in dem Gebiet anbieten würden:

- Evaluierung: Zwar wurde der fertig implementierte Prototyp in einem letzten Iterationsschritt den teilnehmenden LogopädInnen vorgeführt und mögliche Effekte auf Erfahrungsbasis dieser wissenschaftlichen ExpertInnen eingehend diskutiert. Allerdings können über die eigentliche Zielgruppe, nämlich Kinder im Volksschulalter mit entsprechenden AVWS-Symptomen, nur vage Aussagen getroffen werden. Erstens ist hier die mit zwei Probanden zu niedrige Teilnehmerzahl nicht aussagekräftig genug, zweitens hatten beide Kinder keine entsprechende Funktionsstörung. Hier würde sich ein Testlauf mit PatientInnen über einen längeren Zeitraum hinweg, idealerweise unter Anleitung der LogopädInnen in der Praxis, für eine umfang-

reiche Evaluierung hinsichtlich Akzeptanz, Langzeitmotivation und detailliertere Benutzeranforderungen anbieten.

- Erweiterung der Zielgruppe: Wie von Anfang an durchgehend thematisiert, ist das Zuordnen von phonologischen Funktionsstörungen zu einem spezifischen Krankheitsbild ein schwieriges Thema. Die bei diesem Prototypen fokussierte Lese-Rechtschreib-Schwäche kann bei einer AVWS auftreten und ist eine Störung, die in einer logopädischen Therapie in den meisten Fällen behandelt wird bzw. werden muss. Das belegen die ausführlichen qualitativen Interviews mit ExpertInnen, in denen der Themen-Schwerpunkt fast ausnahmslos in diese Richtung gelenkt wurde. Dass eine Lese-Rechtschreib-Schwäche, als Problem in der phonologischen Bewusstheit, allerdings auch bei ähnlichen Krankheitsbildern (zum Beispiel ADHS) vorkommen kann, lässt ein deutlich breiteres Anwendungsspektrum des Prototypen zu, als ursprünglich angenommen.
- Funktionale und inhaltliche Erweiterung: nicht zuletzt aufgrund der oben genannten erweiterbaren Einsatzmöglichkeiten empfiehlt es sich, den Prototypen um ähnliche logopädische Übungen mit Lernwörtern zu erweitern. Exemplarisch dafür stehen etwa die in der Interviewphase zusätzlich beschriebenen Übungen "Reimwörter finden und erkennen" und "Silbensegmentierung", welche letztendlich nicht implementiert wurden. Für einen ausführlichen und langfristigen Test ist außerdem die Anzahl der aktuell implementierten Lernwörter zu gering: die Herausforderung ist leider überschaubar, die Kinder können die präsentierten Objekte (6 Stück) recht früh automatisch zuordnen - hier ist Abwechslung nötig, um den eigentlichen Übungseffekt nicht durch ein ungewolltes Auswendiglernen auszuhebeln. Auch der - abgesehen von der Implementierung der AR-Funktionalität- recht rudimentäre Ansatz von Gamification-Elementen kann noch feinfühlicher ausgebaut werden.

Mit dem in dieser Arbeit entwickelten Prototypen wurde somit eine solide Basis geschaffen, die als Proof-of-Concept alle drei wissenschaftlichen Fragen zur Behandlung von AVWS mit computerunterstützten Ansätzen positiv bestätigen und reichlich Möglichkeiten zu künftigen Erweiterungen bezüglich Funktionalität und Anwendungsbereich bieten kann.

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Phasen der Methodik und Teilergebnisse . . . . .	4
2.1	Das menschliche Hörsystem.[2] . . . . .	9
2.2	Modell der auditiven Verarbeitung nach Lauer [57] . . . . .	11
2.3	Serious Games und Gamification [66] . . . . .	28
2.4	Flow Theorie [42] . . . . .	30
2.5	Phasen des UCD [93] . . . . .	37
2.6	Requirements Engineering Phasen [42] . . . . .	40
3.1	Audiolog 4 [5] . . . . .	48
3.2	Mini Lük Hörspaß [62] . . . . .	49
3.3	Würzburger Trainingsprogramm Multimedia Spiele [54] . . . . .	49
3.4	Hören-Sehen-Lernen [3] . . . . .	50
4.1	Anwendung AR und Spielbrett . . . . .	71
4.2	Mockup Uebung Phonemdifferenzierung . . . . .	72
4.3	Mockup Uebung Lokalisation . . . . .	72
4.4	3D-Modellierung des Objektes 'Zug' in Blender . . . . .	74
4.5	3D-Modellierung des Objektes 'Station' in Blender . . . . .	74
4.6	3D-Modellierung der Lernwörter 'Schmetterling', 'Hase', 'Fisch', 'Maus', 'Haus' in Blender . . . . .	75
4.7	Entwurfsschritte beim Design des haptischen Spielbretts . . . . .	75
4.8	Design des Spielbretts . . . . .	76
4.9	Unity Interface mit 'AR Session Origin' und den zugehörigen Komponenten	77
4.10	Raycast-Methode zur Überprüfung auf 'geschnittene' 3D-Objekte . . . . .	79
4.11	Applikation nach Abschluß des 4 Iterationsschrittes . . . . .	79
4.12	Aktivitätsdiagramm "Lokalisation" . . . . .	80
4.13	In der Übung enthaltene Lernwörter . . . . .	82
4.14	Aktivitätsdiagramm "Phonemdifferenzierung" . . . . .	83
4.15	3D-Modellierung des Objektes 'Truhe' in Blender . . . . .	84
4.16	Übung "Lokalisation" mit aktivierter Hilfe und erster UI-Navigation . . .	84
4.17	Referenzbilder für die Übung "Lokalisation" . . . . .	86
4.18	Referenzbilder für die Übung "Diskrimination" . . . . .	86
4.19	Design der Bilder "Zug" (links) und "Busch" (rechts) . . . . .	86

4.20	Übung "Lokalisation" mit aktivierten Ingame-Spielhilfen . . . . .	87
4.21	Übung "Diskrimination" mit visueller Rückmeldung "Falsch" . . . . .	87
4.22	Übung "Diskrimination" mit aktivierten Ingame-Spielhilfen . . . . .	87
4.23	Übungsabschluss mit visueller Erfolgsmeldung . . . . .	88
4.24	Navigationsmenü "Diskrimination" . . . . .	88
4.25	Navigationsmenü "Lokalisation" . . . . .	88
4.26	Evolution der Marker für den Prototypen . . . . .	90
4.27	Entwurfsschritte beim Design des finalen Markers '1' . . . . .	90
4.28	Initiale Kalibrierung des Spielfeldes durch Marker-Suche . . . . .	91
4.29	Startbildschirm nach erfolgreiche Marker-Kalibrierung mit erfolgreich positionierten 3D-Objekten . . . . .	91
4.30	Ausführung der Übung durch Kind im Volksschulalter (9 Jahre) . . . . .	92
1	Drahtgittermodell Schmetterling . . . . .	113
2	Drahtgittermodell Truhe . . . . .	113
3	Drahtgittermodell Zug . . . . .	113
4	Drahtgittermodell Zugstation . . . . .	114
5	Drahtgittermodell Scheunentor . . . . .	114
6	Drahtgittermodell Fisch . . . . .	114
7	Drahtgittermodell Station . . . . .	114
8	Drahtgittermodell Haus . . . . .	115
9	Drahtgittermodell Hase . . . . .	115
10	Spielerbutton Truhe . . . . .	115
11	Spielerbutton Zug . . . . .	115
12	Hilfe Aus Icon . . . . .	116
13	Hilfe An Icon . . . . .	116
14	Spielstart Icon . . . . .	116
15	Spielerabbruch Icon . . . . .	116
16	Fortschrittsanzeige . . . . .	116
17	Icon Spielererfolg . . . . .	116

# Tabellenverzeichnis

2.1	Entwicklung der auditiven Teilfunktionen . . . . .	16
3.1	State of the Art Analyse der Applikationen: + gut, o befriedigend, - nicht vorhanden . . . . .	52
4.1	Übersicht der Schritte bis zur Implementierung und Präsentation eines spiel- baren Prototypen . . . . .	58
4.2	Am Gestaltungsprozess beteiligte wissenschaftliche ExpertInnen . . . . .	59
4.3	Wortliste Phonemdifferenzierung SCH . . . . .	62
4.4	Wortliste Phonemdifferenzierung S . . . . .	62
4.5	Wortliste Silbensegmentierung . . . . .	63
4.6	Wortliste Reimwörter . . . . .	63
4.7	Liste Funktionelle Anforderungen . . . . .	69
4.8	Liste Nicht-Funktionelle Anforderungen . . . . .	70



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



# Literaturverzeichnis

- [1] Flexoft - Hörtrainingsprogramm Audiva 4. <https://www.flexoft.de>, Besucht am 01.03.2021.
- [2] Niedersächsischer Bildungsserver - Hörschädigung. <https://www.nibis.de/~lbzh/allelbz/drhajo/hoerschaedigung.htm>, Besucht am 01.06.2017.
- [3] Hören - Sehen - Lernen, 2010. <https://www.muelicom.ch>, Besucht am 01.03.2022.
- [4] *ICD-10 : International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems : Tenth Revision*. World Health Organization (WHO), 2018.
- [5] Audiolog 4, 2022. <https://www.ergotherapie.de>, Besucht am 01.03.2022.
- [6] C. Abt. *Serious Games*. University Press of America, 1987.
- [7] M. Angermaier. *Psycholinguistischer Entwicklungstest*. Weinheim, 1977.
- [8] H.-J. Backe. *Strukturen und Funktionen des Erzählens im Computerspiel: eine typologische Einführung (German)*. Königshausen Neumann, 2008.
- [9] J. Backhaus and A. Mulot. Schatz im Silbensee, 2014. [https://www.prolog-shop.de/media/pdf/23/da/5f/schatz\\_im\\_silbensee\\_-\\_anleitung.pdf](https://www.prolog-shop.de/media/pdf/23/da/5f/schatz_im_silbensee_-_anleitung.pdf), Besucht am 06.03.2022.
- [10] N. Bevan and I. Curson. Planning and Implementing User-Centred Design. page 137–138, 01 1999.
- [11] J. Bodner, H. Felder, S. Fraundorfer, G. Giselbrecht, S. Kopp, I. Niel, M. Wagner, and A. Weishaupt. *Integration in der Praxis – Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung*. Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur, 2008.
- [12] A. Brocke. "Personas als Standardwerkzeug des User Centered Designs: Methode mit Tücken.". *i-com Journal of Interactive Media*, 8:58, 08 2009.
- [13] M. Broy. *Ein Requirements-Engineering-Referenzmodell*. Informatik-Spektrum, 2007.

- [14] M. Brunner, C. Baeumer, and K. Ouis. "Was bewirkt logopädische Therapie bei AVWS in Zusammenhang mit LRS?"(German). *Deutsche Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie. 26. Wissenschaftliche Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie (DGPP)*, 2009.
- [15] M. Brunner, A. Dierks, and A. Seibert. *Heidelberger Lautdifferenzierungstest*. Westra Druck, 1998.
- [16] K. Butt. *Unterstützungsmaßnahmen und Fördermöglichkeiten im schulischen Alltag bei Kindern mit AVWS. Sprachförderung und Sprachtherapie in Schule und Praxis Themenheft: Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (AVWS)*. Verlag modernes Lernen, 2016.
- [17] T. Bücklein and T. Joekel. Kinder Sprache fördern, 2022. [www.trialogo.de](http://www.trialogo.de), Besucht am 06.03.2022.
- [18] Y. Charrotton and A. Fauquex. Serious Games & Virtual Reality: The Future of the Neurorehabilitation.
- [19] G. Chermak and F. Musiek. *Central Auditory Processing Disorders : New Perspectives*. Singular Publishing Group, 1997.
- [20] E. Christopoulou and S. Xinogalos. Overview and Comparative Analysis of Game Engines for Desktop and Mobile Devices. *IJSG*, 4(4), Dec. 2017.
- [21] F. Coninx and P. Stumpf. *Hören – Sehen – Lernen*. Vandenhoeck Ruprecht, 2007.
- [22] T. M. Connolly, E. Boyle, and E. MacArthur. A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. *Computers Education*, 59:661–686, 03 2012.
- [23] M. Contero, A. Cascales-Martínez, I. Laguna, D. López, and P. Perona. Augmented Reality for Preschoolers: An Experience around Natural Sciences Educational Contents. 06 2012.
- [24] AR Core. Das Arcoreimg-Tool, 2022. <https://developers.google.com/ar/develop/java/augmented-images/arcoreimg>, Besucht am 03.03.2022.
- [25] J. Cornet. Virtual And Augmented Reality, Serious Games, And 5g In Mental Health. *Digital Health Observatory*, 2019.
- [26] B. Cowan and B. Kapralos. A survey of Frameworks and Game Engines for Serious Game Development. *2014 IEEE 14th International Conference on Advanced Learning Technologies*, pages 662–664, 2014.
- [27] M. Csikszentmihalyi. *Das flow-Erlebnis. Jenseits von Angst und Langeweile: im Tun aufgehen*. Klett-Cotta, 2010.

- [28] J. Deutsch and S. Westcott McCoy. Virtual Reality and Serious Games in Neurorehabilitation of Children and Adults: Prevention, Plasticity, and Participation. *Pediatr Phys Ther*, pages 23–26, July 2017.
- [29] G. Doujak. *Serious Games und Digital Game Based Learning. Spielebasierte E-Learning Trends der Zukunft*. GRIN Verlag, 2005.
- [30] R. Dörner, S. Göbel, W. Effelsberg, and J. Wiemeyer. *Serious Games*. Springer International Publishing, 2016.
- [31] C. Eichenberg. Serious Games in der Psychotherapie: Computerspiele mit Potenzial. *Deutsches Ärzteblatt*, page 130, 03 2018.
- [32] C. Eichenberg, G. Grabmayer, and N. Green. Acceptance of Serious Games in Psychotherapy: An Inquiry into the Stance of Therapists and Patients. *Telemedicine and e-Health*, 22 11:945–951, 2016.
- [33] Pudding Entertainment. Unity vs libGDX — what to choose in 2020?, 2020. <https://pudding-entertainment.medium.com/unity-vs-libgdx-what-to-choose-in-2020-60254609fef5>, Besucht am 01.02.2022.
- [34] G. Esser, Ch. Anderski, and A. Birken. *Auditive Wahrnehmungsstörungen und Fehlhörigkeit bei Kindern im Schulalter*. Thieme Verlag, 1987.
- [35] J. Ferre. *Managing children’s central auditory processing deficits in the real world*. Seminars in Hearing 4, 2002.
- [36] T. M. Fleming, L. Bavin, and K. Stasiak. Serious Games and Gamification for Mental Health: Current Status and Promising Directions. 2017.
- [37] G. Friedrich, W. Bigenzahn, and P. Zorowka. *Phoniatrie und Pädaudiologie*. Verlag Hans Huber, 2013.
- [38] D. Gajsek. Unity vs Unreal Engine for XR Development: Which One Is Better?, 2021. <https://circuitstream.com/blog/unity-vs-unreal/>, Besucht am 06.03.2022.
- [39] Epic Games. Unreal Engine. <https://www.unrealengine.com/>, Besucht am 06.03.2022.
- [40] S. Gathercole. Cognitive approaches to the development of short-term memory. *Trends in Cognitive Science*, pages 410–419, 1999.
- [41] G. Giselbrecht, M. Koppitsch, and A. Weishaupt. *Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (AVWS) – Hören und doch nicht verstehen*. Bundesministerium für Bildung, 2017.

- [42] Pfeffermind Consulting GmbH. pfeffermind.de, 2022. <https://pfeffermind.de>, Besucht am 06.03.2022.
- [43] S. Gobron. *Gamification Serious Games 2016*. HE-Arc / HES-SO, 2016.
- [44] E. Gregory. Understanding Video Gaming's Engagement: Flow and Its Application to Interactive Media. *Media Psychology Review* 1, 1, 2008.
- [45] G. Guazzaroni. Virtual and Augmented Reality in Mental Health Treatment. *Advances in Psychology, Mental Health, and Behavioral Studies*, 2019.
- [46] T. Hall. *Requirements problems in twelve software companies: an empirical analysis*. Software, IEEE Proceedings, 2002.
- [47] S. Hammoudi and L. F. Pires. *Model-Driven Engineering and Software Development, 8th Edition*. Springer-Verlag, 2020.
- [48] A. Herrmann. *Grundlagen der Anforderungsanalyse*. Springer Verlag, 2022.
- [49] H. Günther and W. Günther. *Diagnose auditiver Störungen bei Sprachauffälligkeiten und Lese-Rechtschreibschwierigkeiten im Primarbereich*. Die Sprachearbeit, 1992.
- [50] L. Horne-Moyer. The Use of Electronic Games in Therapy: a Review with Clinical Implications. *Current Psychiatry Reports*, 16, 2014.
- [51] G. Laudel J. Gläser. *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse : als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2010.
- [52] A. Jakl. 2D Image Tracking with AR Foundation, 2021. <https://www.andreasjakl.com/2d-image-tracking-with-ar-foundation-part-4/>, Besucht am 06.03.2022.
- [53] D. Karch. *Leitlinie Auditive Wahrnehmungsstörung*. Sozialpädiatrie und Jugendmedizin, 2017.
- [54] P. Küspert, E. Plume, and W. Schneider. Multimedia - Spiele aus dem Würzburger Trainingsprogramm zur phonologischen Bewusstheit, 2000. <https://silotips/download/>, Besucht am 01.03.2022.
- [55] R. Laier. Die Möglichkeiten der frühen Prävention von Lese- Rechtschreibproblemen durch eine Förderung der phonologischen Bewusstheit, 2008. <http://www.phonologische-bewusstheit.de>, Besucht am 02.03.2021.
- [56] J. Lang. *Klinische Anatomie des Ohres (German Edition)*. Springer Verlag, 2012.
- [57] N. Lauer. *Auditive Verarbeitungsstörungen im Kindesalter*. Georg Thieme Verlag, 2014.

- [58] A. Leonhardt. *Frühes Hören*. Ernst Reinhardt Verlag München Basel, 2012.
- [59] F. Liarakapis and S. de Freitas. A case study of augmented reality serious games. *Looking Toward the Future of Technology-Enhanced Education: Ubiquitous Learning and the Digital Native*, pages 178–191, 01 2010.
- [60] T. Lowdermilk. *User-Centered Design*. O’Reilly Media, 2013.
- [61] N. Lupberger. *Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung im Kindesalter*. Schulz-Kirchner Verlag, 2015.
- [62] C. Macht. LÜK - miniLÜK - Förderspiele Hörspaß CD-ROM, 2022. <https://www.brandora.de/Product/ProductDetails>, Besucht am 01.03.2022.
- [63] M. Maguire. Methods to support human-centred design. *International Journal Human- Computer Studies*, (55):587–634, 2001.
- [64] J.-Y. Mao, K. Vredenburg, P. W. Smith, and T. Carey. The state of user-centered design practice. *Communications Of The ACM*, pages 105–109, March 2005.
- [65] A. Marcus. *Design, User Experience, and Usability. Theory, Methods, Tools and Practice*. Springer-Verlag, 2011.
- [66] A. Marczewski. Game Thinking. Even Ninja Monkeys Like to Play: Gamification, Game Thinking and Motivational Design, 2013. <https://www.gamified.uk/gamification-framework/differences-between-gamification-and-games/>, Besucht am 06.03.2022.
- [67] S. Mayer and S. Schneider. Serious Games in der Therapie von Kindern und Jugendlichen(German). *Paediatr. Paedolog. Austria 52*, pages 209–215, 2017.
- [68] M.Brunner, J. Troost, B. Pfeiffer, C. Heinrich, and U. Pröschel. *Heidelberger Vorschulscreening zur auditiv-kinästhetischen Wahrnehmung und Sprachverarbeitung*. WESTRA, 2001.
- [69] R. Menzies, A. Waller, and H. Pain. Peer Interviews: An Adapted Methodology for Contextual Understanding in User-Centered Design. page 273–274, 2011.
- [70] M. Minhua and Z. Huiru. *Virtual Reality and Serious Games in Healthcare*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2011.
- [71] F. Musiek, J. Shinn, and C. Hare. *Plasticity, auditory training, and auditory processing disorders*. *Semin Hear 23*, 2002.
- [72] A. Mäde. Usability in Germany e.V. <https://www.usability-in-germany.de>, Besucht am 01.03.2022.

- [73] A. Nickisch, A. am Zehnhoff-Dinnesen, R. Berger, M. Ptok M. Gross, R. Schönweiler, and W. Delb. *Leitlinie Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen*. Deutsche Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie, 2015.
- [74] A. Nickisch, M. Gross, R. Schönweiler, V. Uttenweiler, A. G. Dinnesen, R. Berger, H. J. Radü, and M. Ptok. *Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen Konsensus-Statement*. dgpp, 2006.
- [75] A. Nickisch, D. Heber, and J. Burger-Gartner. *Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (AVWS) bei Schulkindern: Diagnostik und Therapie*. Verlag modernes Lernen, 2016.
- [76] A. Nickisch, A. Heuckmann, C. Burger, and T. Massinger. *Münchener Auditiver Screeningtest für Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (MAUS)*. Thieme Verlag, 2006.
- [77] L. Nielsen. *Personas - User Focused Design (Human-Computer Interaction Series)*. Springer-Verlag, 2019.
- [78] F. Paetsch, A. Eberlein, and F. Maurer. *Requirements Engineering and Agile Software Development*. IEEE Computer Society, 2003.
- [79] P. Papadopoulou, K. Chui, L. Daniela, and M. Lytras. *Virtual and Augmented Reality in Medical Education and Training: Innovative Ways for Transforming Medical Education in the 21st Century*, pages 109–150. 01 2019.
- [80] C. Pappas. Gamification And Serious Games: Differences And Benefits eLearning Pros Need To Know, 2017. <https://elearningindustry.com/>, Besucht am 06.03.2022.
- [81] K. Pohl. *Requirements Engineering. Grundlagen, Prinzipien, Techniken*. dpunkt.verlag, 2008.
- [82] J. Qin, Y.-P. Chui, W.-M. Pang, K.-S. Choi, and P.-A. Heng. *Learning Blood Management in Orthopedic Surgery through Gameplay*. IEEE Computer Graphics and Applications, 2010.
- [83] L. Reinke. Ui Design für Kids – Beispiele und Tipps, 2022. <https://page-online.de/tools-technik/ui-design-fuer-kids-beispiele-und-tipps/>, Besucht am 06.02.2021.
- [84] M. Richter and M. Flückiger. *User-Centered Engineering: Creating Products for Humans*. Springer-Verlag, 2014.
- [85] T. Risse and C. Kiese-Himmel. *Der Mottier-Test: Teststatistische Überprüfung an 4- bis 6-jährigen Kindern*. HNO. 57, 2009.
- [86] J. Rohen. *Funktionelle Anatomie des Nervensystems*. Schattauer, 1994.

- [87] H. Rosenkötter. *Auditive Wahrnehmungsstörungen. Kinder mit Lern- und Sprachschwierigkeiten behandeln*. Klett-Cotta, 2003.
- [88] R. Schmidt and G. Thews. *Physiologie des Menschen*. Springer Verlag, 1995.
- [89] A. Samčović. *Serious games in health care based on multimedia technologies*. 21st Telecommunications Forum Telfor, 2013.
- [90] L. Schenk-Danzinger and K. Rieder. *Entwicklungspsychologie*. öbvht, 2002.
- [91] C. Schröter. AVWS meets LRS. *Spektrum Patholinguistik*, page 159–171, 11 2013.
- [92] G. Schulte-Körne and K. Galuschka. *Diagnostik und Behandlung von Kindern und Jugendlichen mit Lese- und / oder Rechtschreibstörung (German)*. Deutsche Gesellschaft für Kinder und Jugendpsychiatrie, Psychosomatik und Psychotherapie, 2015.
- [93] O. Shepherd. Was ist User Centered Design?, 2013. <https://www.thinkneuro.de/2013/11/24/was-ist-user-centered-design/>,  
Besucht am 06.03.2022.
- [94] K. Sherwin and J. Nielsen. *Children's UX: Usability Issues in Designing for Young People*. Nielsen Norman Group, January 2019.
- [95] K. Sherwin and J. Nielsen. *UX Design for Children (Ages 3-12)*. Nielsen Norman Group, 2019.
- [96] J. Stackhouse and B. Wells. *Children's Speech and Literacy Difficulties*. Whurr Publishers, 1997.
- [97] S. Strahinger and C. Leyh. *Gamification und Serious Games*. Springer Verlag, 2017.
- [98] W. Sturm. *Aufmerksamkeitsstörungen*. Thieme Verlag, 2002.
- [99] E. Tosik and B. Atasoy. The Effects of Augmented Reality on Elementary School Students' Spatial Ability and Academic Achievement. *TED EĞİTİM VE BİLİM*, 42, 08 2017.
- [100] D. Michael und S. Chen. *Serious Games: Games That Educate, Train, and Inform*. Thomson Course Technology PTR, 2006.
- [101] D. von Cramon and J. Zihl. *Neuropsychologische Rehabilitation: Grundlagen - Diagnostik - Behandlungsverfahren*. Springer-Verlag, 2013.
- [102] M. Metz W. Becker. *Digitale Lernwelten - Serious Games und Gamification*. Springer Verlag, 2022.

- [103] N. Wagener, J. Schöning, and Y. Rogers. Mitigating the Negative Impacts when Designing Educational VR Applications for Children. 03 2020.
- [104] P. Wouters and C. van Nimwegen. A meta-analysis of the cognitive and motivational effects of serious games. *Journal of Educational Psychology*, page 249, 2013.
- [105] N. Yusof and R. Rias. Serious game based therapeutic: Towards therapeutic game design model for adolescence. *IC3e 2014 - 2014 IEEE Conference on e-Learning, e-Management and e-Services*, pages 40–45, 04 2015.
- [106] M. Zyda. From visual simulation to virtual reality to games. *IEEE Computer Society*, pages 25–32, 2005.



# Anhang

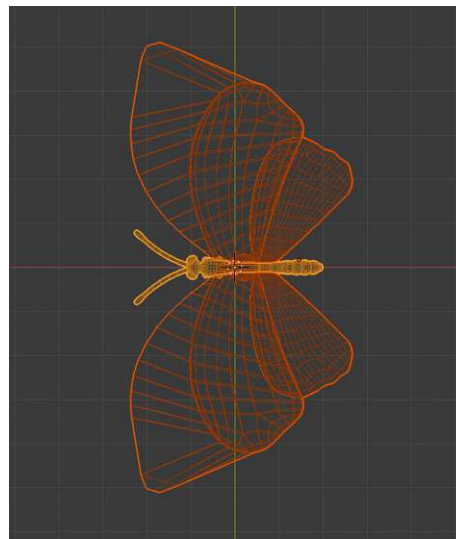


Abbildung 1: Drahtgittermodell Schmetterling

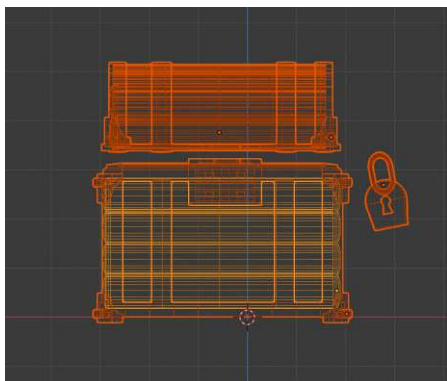


Abbildung 2: Drahtgittermodell Truhe

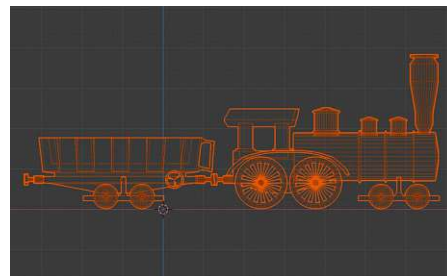


Abbildung 3: Drahtgittermodell Zug

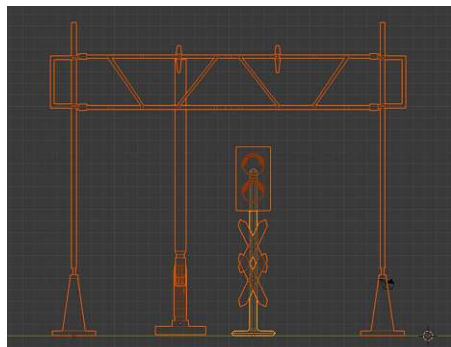


Abbildung 4: Drahtgittermodell  
Zugstation

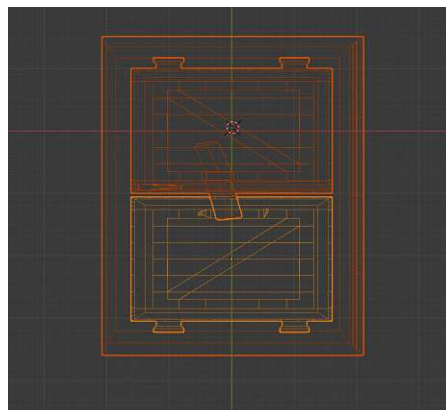


Abbildung 5: Drahtgittermodell  
Scheunentor

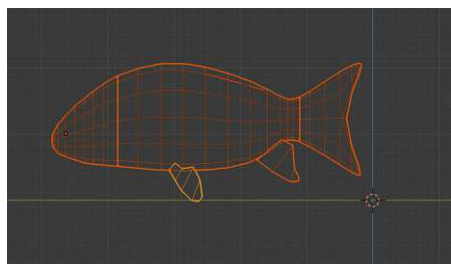


Abbildung 6: Drahtgittermodell  
Fisch

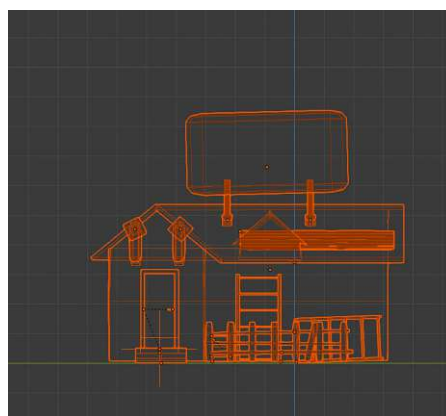


Abbildung 7: Drahtgittermodell Sta-  
tion

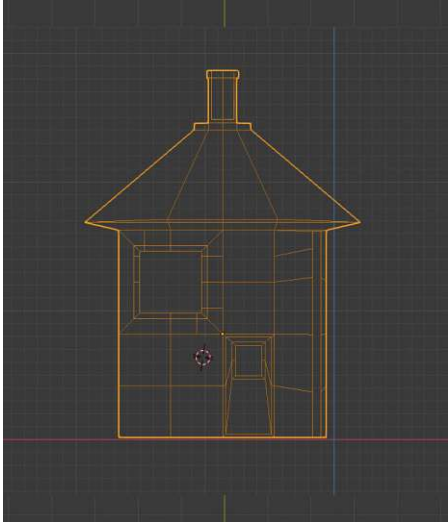


Abbildung 8: Drahtgittermodell Haus

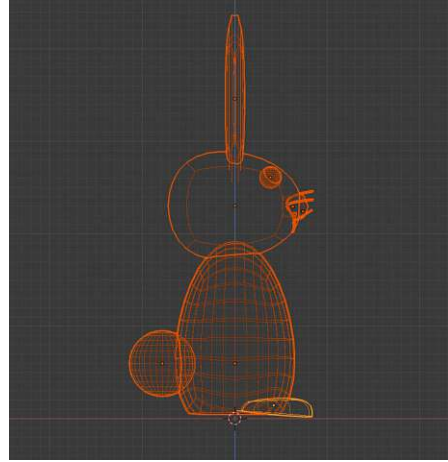


Abbildung 9: Drahtgittermodell Hasse

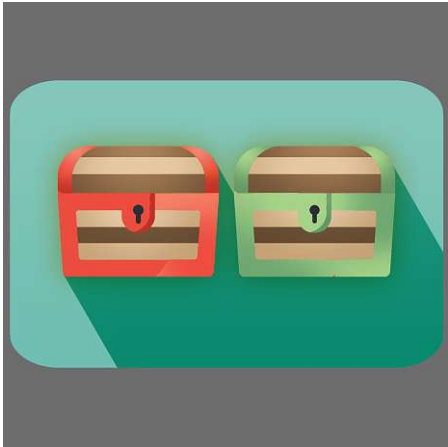


Abbildung 10: Spielebutton Truhe



Abbildung 11: Spielebutton Zug



Abbildung 12: Hilfe Aus Icon

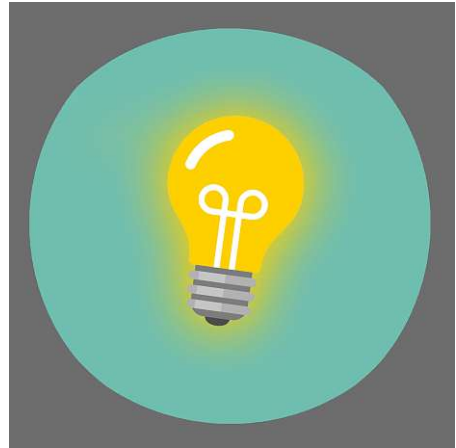


Abbildung 13: Hilfe An Icon



Abbildung 14: Spielstart Icon



Abbildung 15: Spieleabbruch Icon

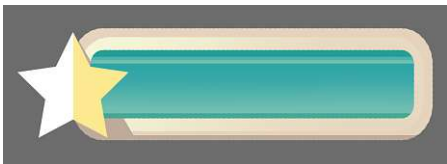


Abbildung 16: Fortschrittsanzeige



Abbildung 17: Icon Spieleerfolg