



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

Serious Games im Mathematikunterricht

verfasst von / submitted by

Markus Resch

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2020 / Vienna, 2020

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

UA 190 333 406

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Diplomstudium Lehramtsstudium
UF Deutsch UF Mathematik

Betreut von / Supervisor:

Doz. Dr. Franz Embacher

Abstract

Deutsch

Serious Games – ein Begriff, der schon seit mehreren Jahrzehnten Thema des wissenschaftlichen Diskurses ist und doch gibt es keine einheitliche Definition. Diese Arbeit untersucht die unterschiedlichen Perspektiven und versucht eine exakte Definition anzubieten. Darüber hinaus beschäftigt sie sich mit „Best Practice“ Serious Games, die für den Fachbereich Mathematik entwickelt wurden, verortet diese in dem österreichischen Lehrplan und knüpft sie an die wichtigen Grundkompetenzen. Nach einer genauen Auseinandersetzung mit dem Feld des Game Designs wurde im Zuge der Arbeit das Serious Game „*Patorimath*“ eigens entwickelt, das sich im Bereich der Kurvendiskussion, Differential- und Integralrechnung verorten lässt. Ein Prototyp dieses Spiels wurde, nach der Entwicklung, in Wiener Schulen getestet und evaluiert.

English

Serious Games – even though this term has been the focus of scientific discussions for several decades, it lacks a standardised definition to this date. This thesis investigates the different points of view and tries to offer a standalone answer to this problem. Furthermore, it introduces “best practice” serious games, that focus on Mathematics and places them in the Austrian school curriculum. After looking into the subject of game design a new serious game “*Patorimath*” was designed and developed, that focuses on the topics curve-tracing, differential and integral calculus. The games prototype was tested and evaluated in Viennese schools.

Inhaltsverzeichnis

1	VORWORT.....	1
2	EINLEITUNG.....	2
3	WISSENSCHAFTLICHER STAND.....	4
3.1	SPIELE.....	4
3.1.1	Definition: Game bzw. Spiel.....	4
3.1.2	Genres.....	9
3.1.2.1	Allgemeine Begrifflichkeiten und wichtige Genres.....	10
3.1.2.1.1	COTS oder OTS Games:.....	10
3.1.2.1.2	Platformer oder Platform Game.....	11
3.1.2.1.3	RPG.....	12
3.1.2.1.4	Upgrade.....	13
3.1.2.2	Serious Games.....	14
3.1.2.3	Weitere wichtige Begrifflichkeiten im Serious Games Kontext.....	18
3.1.2.3.1	Edutainment.....	18
3.1.2.3.2	E-Learning.....	19
3.1.2.3.3	Gamification.....	19
3.1.2.3.4	(Digital) Game Based Learning - DGBL/ GBL.....	20
3.1.2.3.5	Educational Games - Lernspiele.....	21
3.1.2.3.6	Epistemic Games.....	21
3.2	GAME DESIGN.....	22
3.2.1	Idee und Game Design Dokument (GDD).....	23
3.2.2	Erstellung eines Prototyps.....	25
4	MATHEMATISCHE SPIELE UND SERIOUS GAMES - EIN VERGLEICH..	26
4.1	SPIELE, UM KOPFRECHNEN ZU ÜBEN - AM BEISPIEL VON „ZEUS VS MONSTERS“.....	27
4.2	2048.....	28
4.3	DRAGONBOX.....	29
4.3.1	Numbers und Big Numbers.....	29
4.3.2	Elements.....	33
4.3.3	Algebra 5+ und Algebra 12+.....	38
4.4	„SINERIDER“.....	48
5	EIGENE ENTWICKLUNG - DAS SERIOUS GAME PATORIMATH.....	52
5.1	PATORIMATH - GAME DESIGN DOKUMENT.....	52
5.2	AKTUELLER PROTOTYP.....	57

5.3	ENTWICKLUNG DES PROTOTYPS.....	61
5.3.1	Entwicklungsumgebung - Unity	61
5.3.2	Wichtige Elemente und Schritte in der Entwicklung.....	62
5.3.2.1	Kurvige Umgebungen - „Sprite shape editor“	62
5.3.2.2	Bewegung auf der Umgebung - Raycasting	63
5.3.2.3	Kristalle an Nullstellen, Extremstellen und Wendestellen.....	64
5.3.2.4	Meditieren	65
5.3.2.5	Wechseln zwischen den Layern.....	65
5.3.2.6	Canvas -Elemente, Sprachen	66
5.3.2.7	Game Data Script, Highscore	66
5.4	MATHEMATISCHE ASPEKTE DES SPIELS	67
5.4.1	Lehrplanbezug.....	69
5.4.2	Ähnliche Schulbuchbeispiele.....	70
5.4.3	Abgedeckte Grundkompetenzen	72
5.5	EINBETTUNG IN DEN UNTERRICHT - UNTERRICHTSKONZEPT	73
5.6	EMPIRISCHE UNTERSUCHUNG, FELDTTESTUNG UND ANALYSE.....	74
5.6.1	Fragebögen	75
5.6.1.1	Fragebogen „vor dem Spielen“ für Lehrende (Lehrerinnen und Lehrer):.....	75
5.6.1.2	Fragebogen „nach dem Spielen“ für Lehrende (Lehrerinnen und Lehrer):	76
5.6.1.3	Fragebogen „vor dem Spielen“ für Lernende (Schülerinnen und Schüler):.....	77
5.6.1.4	Fragebogen „nach dem Spielen“ für Lernende (Schülerinnen und Schüler):	79
5.6.2	Untersuchungsabsichten.....	81
5.6.3	Auswertung der Fragebögen.....	82
5.6.3.1	Auswertung - Fragebogen Lehrende.....	82
5.6.3.2	Auswertung - Fragebogen Lernende.....	85
6	DISKUSSION UND AUSBLICK.....	89
7	REFERENZEN.....	90
7.1	LITERATURVERZEICHNIS.....	90
7.2	INTERNETQUELLEN:	93
7.3	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	95
7.4	TABELLENVERZEICHNIS.....	97
7.5	DIAGRAMMVERZEICHNIS.....	97

1 Vorwort

Ich beschäftige mich schon seit vielen Jahren mit Spielen und Serious Games. Als begeisterter PC- Spieler ist für mich der Zugang zu digitalen Spielen ein sehr natürlicher. Wenn ich zurückblicke, ist es immer wieder spannend zu sehen, wie sich die Technik entwickelt hat. Serious Games selbst sind vor gut fünf Jahren stark in meinen Fokus gerückt, als ich das Mobbing- Präventions- Tool und (Serious) Tale Telling Game ¹ „*Stop the Mob*“ entwickelt habe. Mit dieser Erfahrung habe ich die Stärke von Spielen für das pädagogische Feld entdeckt und immer mehr über die Geschichte und das Spektrum von Serious Games gelernt.

Ich möchte mich bei einer Vielzahl von Menschen bedanken, die mich bei meiner Diplomarbeit unterstützt haben, mir Kraft gegeben haben, weiterzumachen, und die mich inspiriert haben. Allen voran bei meiner Partnerin und Seelengefährtin Theresa, die mir nicht nur Kraft gegeben, sondern mich auch in meinen düsteren Momenten ertragen hat, bei meinen Eltern und meinen Brüdern, die oft mehr oder weniger still gezittert, aber stets in mich vertraut, mich motiviert und unterstützt haben. Danke meinen Wahlschwestern, Birgit und Katharina, für die Geduld und die zusätzlichen Augen. Besonders danke ich meinem Diplomarbeitsbetreuer Doz. Dr. Franz Embacher – Danke, Franz, dass Du trotz meiner langen Anlaufphase immer geduldig warst, mir immer gut zugesprochen hast und meine Arbeit und das entwickelte Spiel mehrmals so genau, kritisch und konstruktiv mit mir besprochen hast. Ich hoffe, dass Du auch in Zukunft Zeit und Interesse hast für die ein oder andere Weiterentwicklung.

Danke auch all denen, die mein Spiel immer wieder getestet haben, mir Feedback gegeben haben und mich auf dem ein oder anderen Schritt begleitet haben.

Von ganzem Herzen möchte ich euch allen sagen – DANKE!

¹ Ein Spiel, das eine Geschichte erzählt.

2 Einleitung

Ein Serious Game ist ein Spiel, das mehr ist als „nur“ ein Spiel. Es ist ein Spiel, das einen edukativen Mehrwert hat und nicht nur den Selbstzweck des Spielens, Spaß, verfolgt.² Wie man diesen edukativen Mehrwert von Serious Games für den Mathematikunterricht nutzbar machen kann, ist das Thema dieser Diplomarbeit.

Digitale Serious Games sind schon seit der Jahrtausendwende immer mehr im Fokus der Bildungswissenschaften und der Pädagogik. Auch in der Privatwirtschaft, in Gesundheitsorganisationen und in der beruflichen Aus- und Weiterbildung wird immer mehr in Methoden investiert, die spielerisch für Betriebe wichtige Inhalte vermitteln. In der Schule und der Universität ist der Zugang flächendeckend allerdings noch nicht so weit verbreitet.

„Das Spiel ist mehr als eine rein physiologische Erscheinung oder eine rein physiologisch bestimmte psychische Reaktion. Das Spiel als solches geht über die Grenzen rein biologischer oder doch rein physischer Betätigung hinaus. Es ist eine sinnvolle Funktion. Im Spiel <spielt> etwas mit, was über den unmittelbaren Drang nach Lebensbehauptung hinausgeht und in die Lebensbetätigung einen Sinn hineinlegt. Jedes Spiel bedeutet etwas.“³

Diese Definition und Funktion eines Spiels steht in einem engen Zusammenhang mit dem Lernprozess – auch dieser soll als sinnvoll und bedeutsam erlebt werden. Das Lernen mit dem Spiel zu verbinden, erscheint daher nur logisch.

Diese Arbeit setzt sich daher nach einer Diskussion des Begriffs „Spiel“, mit Serious Games an sich auseinander, um dann auf die mögliche Verknüpfung mit dem Vermitteln mathematischer Kompetenzen einzugehen. Einer genauen Studie von Best-Practice- Beispielen für den Mathematikunterricht folgt die Entwicklung eines eigenen Serious Games. Dazu war eine ausführliche Auseinandersetzung mit dem Feld Game Design notwendig. So wurde das Spiel *Patorimath* designt und in der Entwicklungsumgebung Unity umgesetzt. Dieses Spiel thematisiert die Kurvendiskussion und soll Schülerinnen und Schülern speziell die Thematik der Null-, Extrem- und Wendestellen näherbringen, aber auch ersichtlich machen, wie Differenzieren und Integrieren den Graphen einer Funktion verändern. Außerdem

² vgl. Abt, Clark C.: Ernste Spiele. Lernen durch gespielte Wirklichkeit. Köln: Kiepenheuer & Witsch 1971, S. 26.

³ Huizinga, Johan H.: Homo Ludens - Vom Ursprung der Kultur im Spiel; Routledge; London; 1956, S. 9.

ermöglicht das Spiel auch eine Diskussion von Monotonie und Stetigkeit. Genau hierfür gibt es wenige Spiele, die das Lernen spielerischer unterstützen. Um zu sehen, ob dieses Ziel, das Vermitteln der obengenannten mathematischen Kompetenzen mittels eines spielerischen Zugangs, erreicht wird, wurde *Patorimath* an mehreren Schulen von Lehrerinnen, Lehrern, Schülerinnen und Schülern getestet und mittels eines Fragebogens evaluiert. Die Ergebnisse dieser Umfrage werden abschließend vorgestellt und diskutiert.

3 Wissenschaftlicher Stand

3.1 Spiele

“That’s what games are, in the end. Teachers. Fun is just another word for learning. One wonders, then, why learning is so damn boring to so many people. It’s almost certainly because the method of transmission is wrong. We praise good teachers by saying that they “make learning fun.” Games are very good teachers... of something. The question is, what do they teach?”⁴

3.1.1 Definition: Game bzw. Spiel

Da es sich im Folgenden fast immer um den Terminus *Game* bzw. Spiel – ein essenzieller Teil der Begriffsbezeichnung *Serious Game* – dreht, ist es unabdinglich, zuerst zu definieren, was ein Game oder Spiel eigentlich ist. Wird ein Wörterbuch zu Rate gezogen, erhält man folgende Erklärung:

„Tätigkeit, die ohne bewussten Zweck, ziellos, zum reinen Vergnügen, zur bloßen Entspannung, aus Freude an ihr selbst und an ihrem Resultat ausgeübt wird“⁵

Da aber der anglikanische Raum jener ist, der die Forschung in diesem Bereich primär vorantreibt und es im Englischen, im Gegensatz zum Deutschen, eine gewichtige Differenzierung zwischen *game* und *play* gibt, muss dieser Unterschied als Nächstes thematisiert werden. Die direkte Übersetzung liefert die folgenden Bedeutungen:

- game (Nomen): das Spiel
- to game (Verb): verspielen, bereit sein
- play (Nomen): das (Theater-) Spiel
- to play (Verb): (auf-)spielen, jemanden darstellen

Dass es damit allerdings nicht getan ist, wird ersichtlich, wenn man einen philosophischen Blickwinkel einnimmt. Unter jenem scheint der Unterschied noch weit gravierender zu sein.

„In play the child simply assumes one role after another of persons and animals that have in some way or other entered into its life. [...] In the game, however, one has become, as it were, all of the others implicated in the common activity – must have within one’s self the whole organized activity in order to successfully play one’s own part.“⁶

Play bezeichnet somit, so es sich um das Tun handelt, ein intuitives Verhalten, bei dem eine beliebige, selbstgewählte Rolle angenommen wird. Darüber hinaus wird damit

⁴ Koster, Raph: A Theory of Fun for Game Design. O’Reilly Media² 2013, S. 43.

⁵ <https://www.duden.de/rechtschreibung/Spiel> [Letzter Zugriff am 14.01.2019].

⁶ Mead, George Herbert; Charles W. Morris (Hg.): Mind, Self, and Society from the Standpoint of a Social Behaviorist. London: University of Chicago Press 1972, S xxiv.

auch das spontane⁷, oder, anders formuliert, das unreflektierte und kindliche⁸ Spiel assoziiert. Diesbezüglich darf aber nicht vernachlässigt werden, welche Rolle gesellschaftliche Normen hierbei haben, da der/die Spielende Vorgelebtes imitiert. Der Terminus *game* hingegen bezieht sich auf ein vorgegebenes und in höherem Maße kontrolliertes Spiel, bei dem die Regeln und Grenzen vorab klar definiert sind und der Akt des Spielens erst dann erfolgreich vollzogen werden kann, wenn alle Faktoren verinnerlicht und befolgt werden.

„Summing up the formal characteristics of play we might call it a free activity standing quite consciously outside "ordinary" life as being "not serious", but at the same time absorbing the player intensely and utterly. It is an activity connected with no material interest, and no profit can be gained by it. It proceeds within its own proper boundaries of time and space according to fixed rules and in an orderly manner. It promotes the formation of social groupings which tend to surround themselves with secrecy and to stress their difference from the common world by disguise or other means.“⁹

Folglich ist ein Spiel also auch eine Aktivität, die freiwillig ausgeführt wird, die keinen tieferen Sinn hat/ haben muss und anderen Gesetzen folgt als das normale Leben. Hier verwendet JOHAN HUIZINGA auch die genauere Beschreibung „not serious“ – also nicht ernsthaft –, was die Auseinandersetzung mit der Thematik *Serious Games* im weiteren Verlauf dieser Arbeit aber nicht weiter hemmen soll. Die Schwelle, die die fiktive Welt von der realen trennt, nennt JOHAN HUIZINGA auch „magic circle“¹⁰.

Genauer definiert er damit die Grenze, ab der andere Regeln, Handlungsoptionen, Gesetzmäßigkeiten, Ziele und Normen als die der realen Alltagswelt gelten. Die Spielenden müssen in dieses andere Universum schreiten, da sonst ein Spiel nicht spielbar oder lustig wäre. Nimmt man zum Beispiel „Mensch ärgere Dich nicht“ zur Hand, gilt, dass man das „Haus“ erst verlässt, wenn eine Sechse gewürfelt wurde. Nur wenn sich alle Spielenden an diese Grundregel halten, kann das Spiel funktionieren und Spaß machen. Der Philosoph beleuchtet mit der von ihm definierten Begrifflichkeit allerdings auch andere Lebenssituationen bzw. Alltagsrealitäten, wie religiöse Stätten, den Arbeitsplatz, ein Sportfeld oder ähnliches. Hier sind die

⁷ vgl. Wenz, Karin: Game Art - In: Britta Neitzel (Hg.): Das Spiel mit dem Medium. Partizipation - Immersion – Interaktion. Marburg; Schüren 2006, S. 39.

⁸ vgl. Böhle, Fritz: Computerspiele - nicht zu viel, sondern eher zu wenig Spiel. Eine Betrachtung aus kultur- und arbeitssoziologischer Sicht - In: Christian Holtorf, Claus Pias (Hg.): Escape! Computerspiele als Kulturtechnik; Köln; Böhlau; 2007, S. 111.

⁹ Huizinga, Johan H.: Homo Ludens - Study of the Play Element in Culture; Routledge; London; 1980, S. 13.

¹⁰ vgl. Hunzinga, ebendas, S. 20.

Schwellen, die übertreten werden, im Gegensatz zu vielen heute gängigen Spielen, klar sichtbar, wenngleich sie oft nicht aktiv wahrgenommen werden. Sei es die Tür, durch die man in eine Kirche oder Moschee geht, oder die Grenzen eines Volleyballfeldes, außerhalb derer man sich während eines Ballwechsels nicht befinden darf: Ein Begriff hierfür ist die von EDWARD CASTRONOVA geprägte „Membran“¹¹. Dieser wird allerdings stärker im Sektor der Computer- und Konsolenspiele verwendet. Auch hier ist der Wechsel zwischen „den Welten“ spannend zu betrachten, da die Geräte und Programme oft vielfältige Zwecke, von Arbeit bis Spiel, erfüllen können.

Nachdem nun sowohl die Begrifflichkeiten Spiel/ Game als auch Membran/ „magic circle“ beleuchtet und definiert wurden, ist es, um im Sinne dieser Arbeit eine sinnvolle und fundierte Definition erstellen zu können, essenziell, die Überlegung anzustellen, welche Eigenschaften ein Spiel, neben unterhaltsam oder lustig, überhaupt haben kann:

„Spiele können bedeutungsvoll sein und doch nicht feierlich, interessant ohne überschäumende Heiterkeit, ernst und absichtsvoll und doch nicht humorlos, schwierig, ohne zu entmutigen.“¹²

Bis jetzt wurde beschrieben, wie sich das Spiel und die „reale Welt“ voneinander unterscheiden oder abgrenzen. Nun stellt sich die Frage, warum Menschen den Trieb verspüren, diese Grenze zu überschreiten. Die Freiwilligkeit, von der HUIZINGA schon schreibt, ist ein Kernpunkt dieser Frage. Offensichtlich scheint sich diese Frage mit der Begrifflichkeit der Motivation zu beantworten, doch bei näherer Betrachtung stellt sich dieser Begriff als wenig trivial heraus.

„Motivation ist keine überdauernde Persönlichkeitseigenschaft, sie entsteht vielmehr aus dem Zusammenspiel zwischen Eigenschaften der Person, Zielen und Erfordernissen sowie den Anreizen, die bei Erreichung des Zieles in Aussicht gestellt sind, und der Situation. Motivation ist somit der Gesamtprozess, durch den zielgerichtetes Verhalten initiiert und so lange in eine bestimmte Richtung gelenkt wird, bis das Ziel erreicht ist.“¹³

Dieser Prozess „Motivation“ wird unterschieden in „intrinsisch“ und „extrinsisch“, frei übersetzt, Motivation, deren Antrieb „von innen“ und „von außen“ kommt. Wie bereits bei MEAD ist für das Spiel essenziell, dass es eine selbstbestimmte Handlung

¹¹ vgl. Castronova, Edward: Synthetic worlds - the business and culture of online games. London: University of Chicago Press 2005, S. 147.

¹² Abt, Clark C.: Ernste Spiele. Lernen durch gespielte Wirklichkeit. Köln: Kiepenheuer & Witsch 1971, S. 26.

¹³ Kirchler, Erich; Walenta, Christa: „Motivation“ Wien: Facultas Wuv 2010, S. 9.

verkörpert, also die Aktion selbstgewählt ist und somit der intrinsischen Motivation zugeschrieben werden kann. Ein Spiel ist also dann erst ein richtiges Spiel, wenn sich die spielende Person selbst dazu entscheidet, es zu spielen. In den Spielwissenschaften wird daher oft weniger von Motivation, sondern von „Engagement“ bzw. „Commitment“, „Immersion“ und von „Identification“¹⁴ gesprochen¹⁵. Die These ist, dass je mehr sich ein Spieler bzw. eine Spielerin mit einem Charakter oder einem Spiel identifizieren kann, desto größer ist die Verbindlichkeit dem Spiel gegenüber oder desto mehr beschäftigt man sich damit.

Es ist somit möglich, zu definieren, was ein Spiel ist, bevor besprochen wird, aus welchen Elementen sich ein Spiel zusammensetzt. Die Definition, die sich aus den bereits genannten Erklärungen ergibt, sei auch die, die diese Arbeit für sich als gültig sieht:

Ein Spiel ist eine Handlung, die ein Spieler bzw. eine Spielerin freiwillig und aus einer intrinsischen Motivation heraus verfolgt, die primär ihrem Selbstzweck dient. In einem Spiel gelten Gesetze, die denen der realen Welt entsprechen können, aber nicht müssen. Es gibt eine klare Grenze zwischen der realen und der Spielwelt, den „magic circle“, die wissentlich übertreten wird. Inhaltlich gibt es keine Thematik, die nicht in einem Spiel behandelt werden können soll.

Das Herzstück jedes Spieles ist die *Core-Mechanik*, die Kernidee. Diese definiert die wichtigste Funktion und die wichtigsten Regeln eines Spieles und gibt klar das Ziel des Spieles vor. Hier eingeschlossen ist auch, wie dieses Ziel erreicht werden kann, also welche Steuerung und welche Mechanismen die Spielenden verwenden müssen, um zu gewinnen.¹⁶ Von dieser *Core-Mechanik* können weitere Funktionen abgeleitet werden, es kann auch sein, dass ein Spiel mehrere *Core-Mechaniken* vereint; dies ist bei komplexeren Produktionen oft der Fall. Hier ist es wichtig, dass eine gute Verknüpfung stattfindet, einerseits, damit die Lernkurve nicht zu schwer ist, andererseits, damit sich die Funktionen nicht (unabsichtlich) widersprechen.

¹⁴ Engagement = Beschäftigung, Commitment = Verpflichtung; Immersion=Vertiefung; Identification = Identifikation: Langenscheidt Englisch – Deutsch Wörterbuch; 2001.

¹⁵ vgl. <http://www.gamestudies.org/0102/newman/> [Letzter Zugriff am 01.02.2020].

¹⁶ vgl. Hicks, Andrew; Barnes, Tiffany; u.a.: Design Tools and Data-Driven Methods to Facilitate Player Authoring in a Programming Puzzle Game. North Carolina State University: ProQuest Dissertations and Theses 2017, S. 8.

Bei digitalen Spielen haben sich einige Steuerelemente, Inputs, etabliert, die als Status Quo angesehen werden können. Hierbei wird grundlegend unterschieden zwischen PC-Spielen, Konsolen-Spielen und Spielen, die für Touch-Geräte entwickelt werden. Die Belegung der Tasten oder Bewegungen ist, was Basics wie Bewegung, Ziele oder das Aktivieren von Objekten betrifft, üblicherweise gleich. Würde diese Steuerung verändert werden, oder kämen weitere Funktionen dazu, müssten Spieleentwickelnde zusätzliche Energie darauf verschwenden, das *Engagement* zu steigern, weswegen dies nur mit gutem Grund passiert.

Etablierte Steuerungen:

- Am PC:
 - *W, A, S, D* oder *Pfeiltasten* zur Bewegung
 - *Leertaste*, um zu springen
 - *Shift*, um zu sprinten (sich schneller zu bewegen)
 - Bewegung der *Maus*, um sich im dreidimensionalen Raum zu orientieren oder um zu zielen, beispielsweise bei Shooter - Spielen, bei denen man schießt (Spiele die zweidimensional angelegt sind, kommen oft ohne Maus aus.)
 - *Maustaste, E* oder *F* zur Interaktion mit Objekten
- Auf Touch Geräten
 - Tap (einmaliges Antippen) - zur Interaktion mit Objekten
 - Doubletap (doppeltes Antippen) - oft, um etwas zu aktivieren
 - Wischen (stetige Bewegung über den Bildschirm) - oft, um etwas zu löschen oder etwas zu durchtrennen
 - Tap + Wischen (Antippen eines Objektes, gefolgt von einer Wischbewegung - ohne Unterbrechung) - zum Verschieben eines Objektes
- Auf Konsolen
 - ist abhängig von den Konsolen, aber allgemein kann gesagt werden:
 - Bewegung mit 1 oder 2 Joysticks
 - Pfeiltasten
 - vier Eingabetasten
 - Tasten für Zeigefinger

3.1.2 Genres

Es gibt in der Welt der Spiele viele Genres und Sub-Genres. Diese Klassifizierung beginnt schon bei der Frage analog oder digital, also mit oder ohne technische Unterstützung. Typischerweise werden Spiele, die digitaler Natur sind, grob eingeteilt in die Plattformen, auf denen sie spielbar sind, also PC, Konsolen oder Handheld Devices. Weiters kann auch bei Spielen, die ohne Technik auskommen, zumindest zwischen herkömmlichen *Brettspielen* und Spielen wie *Pen & Paper* oder *Roleplay* unterschieden werden. Weiters soll hier erwähnt werden, dass ein Spiel in der Regel nicht nur einem Genre zugeschrieben werden kann, sondern stets eine Schnittmenge mehrerer Bereiche ist. Das Schauspielen oder das Ausführen von Sportarten werden in der folgenden Auseinandersetzung mit dem Terminus „spielen“ außer Acht gelassen.

Da sich diese Arbeit primär mit Spielen, die einen edukativen Mehrwert haben, beschäftigt, wird ein besonderer Fokus auf diese gelegt. Zuvor jedoch werden wichtige Kategorien vorgestellt, die für diese Arbeit relevant sind. Auf Grund der Vielzahl – in vielen Aufzählungen finden sich an die 50 unterschiedliche Genres¹⁷ – wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben. Es wird versucht, wichtige Vertreter zu selektieren, die ihrerseits oft in beiden vorab definierten Mengen beheimatet sind. Dieses Kapitel soll in einer fundierten und gültigen Definition für *Serious Games* münden, die sich aus wichtigen Elementen dieser Arbeit herauskristallisiert hat und die, auch über ihre Grenzen hinaus, für den weiteren wissenschaftlichen Diskurs ein Angebot sein möchte.

¹⁷ vgl. www.vsrecommendedgames.fandom.com/wiki/A_List_and_Guide_to_Game_Genres oder [de.wikipedia.org/wiki/Genre_\(Computerspiele\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Genre_(Computerspiele))[Letzter Zugriff am 20.01.2020].

3.1.2.1 Allgemeine Begrifflichkeiten und wichtige Genres

3.1.2.1.1 COTS oder OTS Games:

COTS steht für „commercial off-the-shelf“ Games, also für alle Arten von erwerblichen Spielen. Für die *Serious Games*-Forschung ist dies insofern spannend, da vielen dieser Spiele ein „Serious Game – Aspekt“ zugeschrieben werden kann. Bekannte Beispiele dafür sind unter anderem *Minecraft*¹⁸ oder *Assassin's Creed*¹⁹.

Minecraft ist ein Spiel, bei dem sich die Spielenden in einer Welt bewegen, die sich lediglich aus Würfeln zusammensetzt. Es gibt unterschiedliche Arten von Würfeln, die aus unterschiedlichen Materialien bestehen und somit unterschiedliche Eigenschaften haben. Die *Core-Mechanik* setzt sich aus dem Sammeln, Platzieren und Fusionieren von Würfeln zusammen. Damit können alle möglichen Gebilde, Bauwerke, Maschinen und Objekte erstellt werden, wobei die einzige wirkliche Limitierung die Motivation der Spielenden ist. Diesen kann dank dieser Mechanik unter anderem ein Grundverständnis im Programmieren – Blöcke können auch via Code gesetzt werden – von dreidimensionalen Körpern, Schaltkreisen oder Architektur vermittelt werden.

*“At school, Minecraft can not only help students develop problem-solving and teamwork skills, but it can also increase their motivation as well.”*²⁰

*“[...] the educational use of Minecraft fosters conditions that are beneficial for learning, and particularly for engagement, collaboration, and creativity. In addition, Minecraft boosts motivation through the use of creativity to improve problem-solving skills”*²¹

Assassin's Creed ist eine Spielreihe, in welcher der Protagonist ein Mitglied der Assassinen ist, einer geheimen Gesellschaft, die im Hintergrund agiert und wichtige historische Ereignisse beeinflusst. Die elf Hauptspiele, die von ebenso vielen Spin-offs²² begleitet werden, sind in den unterschiedlichsten Epochen angesiedelt. Die spielbaren Figuren sind zwar fiktiv, doch die Auswahl der zu erlebenden Situationen, Orte und Persönlichkeiten hat durchaus einen starken historischen Bezug, obgleich die

¹⁸ vgl. Kuhn, Jeff: *Minecraft: Education Edition*. In: *CALICO Journal* 35.2 2018, S 214-23.

¹⁹ vgl. Vorlauffer, Barbara: *History Is Our Playground: Geschichtsdarstellungen in Videospiele Am Beispiel Der Assassin's Creed-Reihe*. Wien: Universität Wien, 2017.

²⁰ Karsenti, Thierry; Bugmann, Julien: *The Educational Impacts of Minecraft on Elementary School Students*. In: *Research on e-learning and ICT in Education*, Springer 2017, S.197-198.

²¹ Karsenti, Thierry; Bugmann, Julien, u.a: *Transforming Education with Minecraft? Results of an exploratory study conducted with 118 elementary-school students*. Montréal: Library and Archives Canada, S 5.

²² Ein Spin-off ist ein Nebenprodukt/ eine Nebenproduktion, das im selben Universum spielt, aber einen anderen Fokus legt.

historische Korrektheit der Ereignisse nicht immer gegeben ist. Es wird ein besonderes Augenmerk auf die Architektur gelegt, die Nachbildungen von zum Beispiel Paris²³, Florenz oder Venedig der italienischen Renaissance sind gut recherchiert und sehr detailgetreu. Diese Genauigkeit zieht sich durch alle Spiele dieser Reihe. Auch interagieren Spielende mit historischen Persönlichkeiten wie Leonardo Da Vinci oder Benjamin Franklin. So werden nicht nur ikonische Sehenswürdigkeiten und historische Schauplätze erforscht, sondern auch Schlüsselszenen der Geschichte miterlebt. Mit der vorletzten Veröffentlichung *Assassin's Creed Origins* – angesiedelt in Ägypten, ca. 50 v.Chr. – wird ein großes Manko der Spiele, nämlich, dass man sich im Spielen nicht wirklich ohne Kampf frei bewegen kann, insofern behoben, als dass es eine *Discovery Tour*²⁴ gibt, in der man unterschiedliche virtuelle Touren durch Pyramiden machen oder den Alltag beobachten und erforschen kann. Dieses Tool kann perfekt eingesetzt werden, um geschichtliche Inhalte zu vermitteln. Allgemein bewerkstelligen die Zyklen, die es innerhalb der Reihe gibt, das auch problemlos. Schwerpunkte sind des Weiteren noch das antike Griechenland, die Kreuzzüge, die amerikanische Kolonialzeit und die Zeit der amerikanischen Revolution, die Französische Revolution und das Viktorianische Zeitalter²⁵.

3.1.2.1.2 Platformer oder Platform Game

Ein Spiel dieser Art hat als *Core-Mechanik* eine Spielfigur, die von Plattform zu Plattform oder über Hindernisse springen muss, um *Collectables*²⁶ einzusammeln oder Gegner zu besiegen. Dies kann sich entweder auf einer horizontalen oder vertikalen *Map*²⁷ abspielen. Vorreiter und sehr gute Beispiele für dieses Genre sind etwa *Super Mario Bros.*²⁸ oder *Prince of Persia*²⁹.

Eine spezielle Gattung von Plattformern sind Flow Games. Flow bezeichnet hierbei einen Zustand, der auch in der Motivationstheorie wie folgt definiert wird:

²³ <https://www.theverge.com/2014/10/31/7132587/assassins-creed-unity-paris> [Letzter Zugriff am 06.02.2020].

²⁴ vgl. <https://arstechnica.com/gaming/2017/09/discovery-tour-lets-you-explore-assassins-creed-origins-combat-free/> [Letzter Zugriff am 06.02.2020].

²⁵ vgl. https://en.wikipedia.org/wiki/Assassin's_Creed [Letzter Zugriff am 06.02.2020].

²⁶ Zu sammelnde Objekte, wie etwa Münzen, Kristalle, Pilze oder Ähnliches.

²⁷ Die Karte oder Welt, die eine Spielumgebung bildet.

²⁸ <https://supermariobros.io/> [Letzter Zugriff am 06.02.2020].

²⁹ https://www.retrogames.cz/play_102-DOS.php [Letzter Zugriff am 06.02.2020].

„Im Flow-Zustand folgt Handlung auf Handlung [...]. Er [Der Handelnde] erlebt den Prozess als ein einheitliches ›Fließen‹ von einem Augenblick zum nächsten, wobei er Meister seines Handelns ist und kaum eine Trennung zwischen Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft verspürt.“³⁰

Bei diesen Spielen wird entweder die Map stetig neu generiert oder die Spiele sind sehr umfangreich konstruiert. Sie zeichnen sich durch ein sehr starkes *Engagement* aus, indem die Spielenden stetig neue Fähigkeiten erlangen oder die Umgebung ihnen schwerere Hindernisse entgegenstellt. Diese Spiele sind sehr gute Beispiele für stetig bzw. konstant wachsende Lernmodelle.

3.1.2.1.3 RPG

RPG steht für *Role Playing Game*. Ursprünglich datiert diese Thematik weit in eine Zeit vor der digitalen Revolution³¹ zurück. Die breiteste Definition spricht hierbei davon, dass Spielende spielerisch eine andere Rolle als die eigene annehmen. Dieses Verhalten kann schon bei sehr kleinen Kindern beobachtet werden, die etwa die Rolle eines Elternteils, einer Berufsgruppe oder gar eines Tieres einnehmen.³² Dieses in andere Rollen schlüpfen wird, fernab von Technik, sehr deutlich durch Gattungen wie *Pen & Paper*³³ oder *LARPs (Life Action Role Play)*³⁴ vertreten. Bekannte *Pen & Paper* Spiele wären *Das schwarze Auge* oder *Dungeon & Dragons*.

Digitale *RPGs* zeichnen sich dadurch aus, dass Spielende einen Protagonisten bzw. eine Protagonistin steuern, deren Geschichte sie im Laufe kennenlernen und deren Zukunft sie im Rahmen des Spieles enthüllen. Für gewöhnlich setzt das auch einen gewissen Grad an Freiheit voraus, Entscheidungen im Spiel betreffend. Oft ist dieses Genre auch in einer Science-Fiction oder einem Fantasy-Setting angesiedelt, um die Rollenvielfalt durch unterschiedliche Rassen, Clans, Gilden oder ähnliche Gruppierungen so divers wie möglich zu gestalten.

³⁰ Csikszentmihalyi, Mihaly; Aebli, Hans; u.a.: *Das Flow-Erlebnis. Jenseits von Angst und Langeweile: im Tun aufgehen*. Stuttgart: Klett-Cotta⁸ 2000, S. 59.

³¹ <https://www.techopedia.com/definition/23371/digital-revolution> [Letzter Zugriff am 02.04.2020]

³² vgl. Siegbert A. Warwitz, Anita Rudolf: *Spielend ein anderer sein – Rollenspiele*. In: *Vom Sinn des Spielens. Reflexionen und Spielideen*. Hohengehren: Schneider, Baltmannsweiler⁴ 2016, S. V und 78–82.

³³ Eine Form von Gesellschaftsspiel, bei dem sich die Spielenden treffen und gemeinsam mit einem Gamemaster innerhalb des vorgegeben Settings mit selbst erstellten Charakteren Geschichten und Abenteuer erleben und diese, mittels der ihren Charakteren eigenen Fähigkeiten, bestreiten.

³⁴ *Life Action Role Play* – Eine Form von Gesellschaftsspiel, bei der sich die Spielenden komplett in eine andere Welt versetzen, indem sie sich treffen, verkleiden und die Persona ihrer Charaktere komplett annehmen und ausleben bzw. –spielen.

3.1.2.1.4 Upgrade

Dieses Genre zeichnet sich dadurch aus, dass Spielende zu Beginn des Spieles noch wenig Ausrüstung, Geld oder Fähigkeiten haben. Das klare Ziel ist es, im Laufe des Spieles Erfahrung zu sammeln, um immer wieder neue und bessere Upgrades freischalten zu können. So wird der gespielte Charakter stärker oder besser, es werden neue Gebiete erreicht oder stärkere Gegner besiegt.

3.1.2.2 Serious Games

Eine eindeutige Definition für den Terminus *Serious Games* zu finden ist nicht möglich, da es für den gut 50 Jahre alten Begriff eine Fülle an Auslegungen gibt, die oft wenig Überschneidungen miteinander haben. Wenn die Genese der Begrifflichkeit chronologisch betrachtet wird, war für die Auseinandersetzung mit Spielen, die mehr als nur Spiele sein können, CLARK ABT prägend.

„Spiele können ernsthaft oder nur so nebenbei gespielt werden. Wir haben es nur mit ernsten Spielen in dem Sinne zu tun, daß diese Spiele einen ausdrücklichen und sorgfältig durchdachten Bildungszweck verfolgen und nicht in erster Linie zur Unterhaltung gedacht sind. Das heißt nicht, daß ernste Spiele nicht unterhaltsam sind oder sein sollten. Wir weisen die etwas puritanische Vorstellung zurück, nach der ernsthafte und tugendhafte Tätigkeiten nicht Spaß machen können. Wenn eine Aktivität mit guten Bildungsergebnissen den Beteiligten zusätzlich unmittelbare, emotionale Befriedigung bieten kann, so ist das eine ideale Lernmethode, da sie das Lernen ebenso motiviert und belohnt, wie erleichtert.

Der Begriff »ernst« wird hier auch im Sinne von Studium verwendet, das Angelegenheiten von großem Interesse und großer Bedeutung zum Inhalt hat, nicht leicht zu lösende Fragen aufwirft und bedeutende Konsequenzen nach sich ziehen kann. Keiner dieser Aspekte von ernsten Spielen muss notwendigerweise mit der dem Wort »ernst« gewöhnlich angelasteten Bürde von Frömmigkeit und Feierlichkeit des Verhaltens in Verbindung gebracht werden.“³⁵

Die Definition ist, obwohl sie noch nicht mit dem Gedanken an digitale Spiele formuliert wurde, immer noch aktuell, da für ABT unverkennbar der Bildungsgedanke im Vordergrund steht. Es kann argumentiert werden, dass das hier angeführte Zitat in Kontrast zu jenem von HUIZINGA³⁶ steht, doch tatsächlich unterscheidet sich hiervon die Definition des Wortes „serious“, also „ernst“ oder „ernsthafte“. HUIZINGA sagt, ein Spiel könne sich nicht um Inhalte drehen, die lebensecht, lebenswichtig oder thematisch alltagsbezogen sind, wohingegen ABT davon spricht, dass jeder Inhalt in Form eines Spiels vermittelt werden kann, und ernsthafte Inhalte eben solche sind, die einen edukativen Zweck erfüllen. Spätestens seit dem Erfolg von Spielen wie *Truck Simulator* oder *Farmville* lässt sich ohnehin nicht mehr leugnen, dass jede Thematik im Fokus eines Spieles stehen kann.

„The Serious Games Initiative is focused on uses for games in exploring management and leadership challenges facing the public sector. Part of its overall charter is to help forge productive links between the electronic game industry and projects involving the use of games in education, training, health, and public policy.“³⁷

Der eigentliche Diskurs mit einem Schwerpunkt auf digitale *Serious Games* wurde durch die Gründung der *Serious Games Initiative* 2002 erst wirklich ins Rollen gebracht.

³⁵ Abt, Clark C, ebenda. S26.

³⁶ Siehe Seite 4.

³⁷ <http://web.archive.org/web/20150129051739/http://www.seriousgames.org/> [Stand 2015].

Die Initiative selbst wurde 2015 medial vollständig in das *Woodrow-Wilson-Center*, das die Initiative auch gegründet hat, eingegliedert und neu ausgerichtet. Die Inhalte beider Webseiten wurden miteinander verglichen, die Aktivitäten stark reduziert und auch der bis dahin geltende Leitsatz wurde umgeändert:

„The Serious Games Initiative communicates science and policy complexities through the world’s most dynamic medium: gaming.“³⁸

Doch anhand der Förderungen, dem Anstieg an Publikationen und dem Zuwachs an unter dem Banner der *Serious Games* veröffentlichten Spielen kann man erkennen, wie wichtig die Arbeit der Initiative tatsächlich war. Eine spannende Beobachtung, die im Zuge einer Metastudie 2007³⁹ bereits formuliert wurde, bringt die Auseinandersetzung mit eben diesen Publikationen, da sich zeigt, dass es bis dato keine einheitliche Definition zu dem Begriff der *Serious Games* gibt. Es mag zwar einen Tenor geben, auf den sich viele einigen können, dennoch gibt es merkbar unterschiedliche Vorstellungen und Zugänge. Auch in der im Zuge dieser Arbeit durchgeführten Erhebung zeigt sich, dass viele Befragte entweder gar nichts von der Thematik wissen oder keine genaue Definition kennen.

Die unterschiedlichen Definitionen, die sich zum Beispiel bei SUSI ET AL finden, variierten schon damals stark. So sprechen manche davon, dass *Serious Games* Spiele seien, die Unterhaltung, Vergnügen und Spaß nicht als primäre Ziele haben – dennoch diese Eigenschaften auch abdecken können.⁴⁰ Andere setzen hier den Bildungsauftrag klarer in den Fokus:

„Serious game: a mental contest, played with a computer in accordance with specific rules, that uses entertainment to further government or corporate training, education, health, public policy, and strategic communication objectives.“⁴¹

Es kann diskutiert werden, wie weit ein mentaler Wettbewerb ein Spiel ist, aber selbst wenn man diesen Aspekt außer Acht lässt, ist der hier formulierte Auftrag ganz klar ersichtlich. Hier kommt auch bereits ein weiterer Grund zum Vorschein, warum die Debatte so unterschiedliche Perspektiven zu haben scheint. Die treibenden Kräfte in

³⁸ <https://www.wilsoncenter.org/program/serious-games-initiative> [Letzter Zugriff am 01.02.2020].

³⁹ vgl. Susi, Tarja; Johannesson, Mikael u.a.: *Serious Games - An Overview*. Sweden: University of Skövde 2007, S. 3.

⁴⁰ vgl. Michael, David; Chen, Sande: *Serious games: Games that educate, train, and inform*. Boston: MA Thomson Course Technology 2006, S. 21.

⁴¹ Zyda, Michael: From visual simulation to virtual reality to games In: *Computer*, September 2005, Vol.38(9) 2005, S. 26.

der Entwicklung und Verwendung von Serious Games sind nämlich weniger Bildungseinrichtungen, sondern viel mehr Unternehmen und Regierungseinrichtungen, wie zum Beispiel in den USA das Militär. Dieser Fakt mag marginal wirken, hat aber insofern Gewicht, als dass die Zielgruppen komplett unterschiedliche sind. Die eben genannten Institutionen zielen klar auf Erwachsene ab, wohingegen die Bildung primär Kinder, Jugendliche und junge Erwachsene im Fokus hat. Auch die Inhalte sind oft nicht vereinbar. Da ein großer Stakeholder das US-Militär ist, wird viel in Spiele wie *Arma III* – „*moves you into a world of tactical opportunities. [...] and sends you to war.*“⁴² – investiert, bei denen klar Kampfszenarien und Kriegsstrategien vermittelt und geübt werden. Ein weiterer wichtiger Anwendungsbereich sind jegliche Arten von Flugsimulatoren, die heute durchgehend verwendet werden, um Pilotinnen und Piloten bezüglich ihrer Arbeitsfähigkeit zu testen.

*“Serious Games: The application of gaming technology, process, and design to the solution of problems faced by businesses and other organizations. Serious games promote the transfer and cross fertilization of game development knowledge and techniques in traditionally non-game markets such as training, product design, sales, marketing, etc.”*⁴³

Obwohl sich bei SUSI ET AL dieses Angebot einer Definition für *Serious Games* findet, fühlt man sich bei einer Recherche in der aktuellen Medien- und Forschungslandschaft teilweise in das Publikationsjahr 2007 zurückversetzt, da sich bis dato noch immer keine Vereinheitlichung der Definition findet. Worauf sich die meisten Stimmen einigen, ist der Aspekt, dass es sich bei *Serious Games* um Spiele handelt, die mit einem anderen Ziel als „nur Unterhaltung“ designt wurden. Doch es wird weitgehend verabsäumt, das Spektrum in seiner ganzen Vielfalt zu betrachten. Bei einer fundierten Auseinandersetzung mit der Thematik wird schnell klar, dass es vielerorts eine sehr strikte Trennung gibt, ob ein Spiel es schafft, in die Riege der *Serious Games* aufgenommen zu werden oder nicht. Außerdem wird fast ausschließlich digitalen Spielen die Möglichkeit an diesem Diskurs zugestanden.

Das ist aus zweierlei Gründen problematisch. Wie spätestens durch die Publikation von ABT klar sein müsste, gibt es *Serious Games* schon lange vor der digitalen Revolution. Beste Beispiele dafür sind Brettspiele, wie *Schach*, *Go* oder *Shogi*⁴⁴. In

⁴² <https://www.bohemia.net/games/arma3> [Letzter Zugriff am 02.02.2020].

⁴³ Susi et al. ebendas, S. 7.

⁴⁴ Ein japanischer Ableger von Schach, bei dem ähnliche Regeln gelten. Es unterscheidet sich von seinem westlichen Vetter insofern, als dass es andere Spielsteine gibt und diese auch fusionieren kann.

diesen Spielen wird strategisches Denken, das „Lesen“ des Gegenübers und infolgedessen das Antizipieren von Spielzügen trainiert. Es kann sogar argumentiert werden, dass die Spielenden in die Rolle eines Kriegsführers oder einer Kriegsführerin schlüpfen und eine Armee befehligen. Es darf somit kein entscheidender Faktor für die Definition sein, mit welchen Mitteln ein Spiel spielbar ist, also anders formuliert, ob es digital ist oder analog.

“The category of serious games emerged as a construction that tries to raise the cultural value of videogames in our society, but instead, it hardens the distinction between ‘entertaining commercial games’ and ‘valuable educational games’ even more.”⁴⁵

Grundsätzlich ist diese Beobachtung richtig, es zeigt sich in der Literatur eine Spaltung und Wertung, daher ist die essenzielle Frage: „Welche Inhalte sollen mittels eines Spiels vermittelt werden?“ Prinzipiell ist das der wiederkehrende Anspruch, den die Pädagogik an sich stellt: „Mittels welcher Methodik können welche Inhalte am besten und möglichst nachhaltig vermittelt werden?“ Entwickelt man eine dezidierte Methode oder bedient man sich eines bereits bestehenden Mediums, das einen guten Zugang zu den zu vermittelnden Inhalten bietet? Wie bereits gezeigt können COTS – Games dies sehr gut bewerkstelligen. Also kann ihnen, obwohl sie keine dezidierten *Serious Games* sind, ein *Serious Game Aspekt* zugeschrieben werden, den sie auf eine besondere und individuelle Art und Weise abdecken.

Unter Berücksichtigung der bereits genannten Faktoren lässt sich nun die folgende Definition formulieren:

Ein Spiel kann genau dann der Menge der Serious Games zugeschrieben werden, wenn gilt, dass es einen edukativen Mehrwert hat, also ein Ziel, das über dem der Unterhaltung steht, wenngleich das Spielen dennoch Spaß machen soll. Es können des Weiteren die folgenden Untergruppen definiert werden:

Analog Serious Game: *Ein Spiel das keinerlei technischer Unterstützung bedarf.*

Digital Serious Game: *Ein Spiel das auf einem technischen Endgerät gespielt werden kann.*

Spiel mit einem Serious (Game) Aspekt: *Ein COTS – Game, das gezielt zur Vermittlung eines bestimmten Inhalts verwendet wird.*

Full fledged Serious Game: *Ein Spiel, das designt und entwickelt wurde, um einen Inhalt zu vermitteln und das primär im Zusammenhang mit dieser Thematik zum Einsatz kommt.*

⁴⁵ Bruns, Daniela: Negotiating Fun and Seriousness in Commercial Videogames. In: Elmenreich, Wilfried; Schalleger, René Reinhold (Hg) u.a.: Savegame. Agency, Design, Engineering. Mainz: Springer, S.124.

3.1.2.3 Weitere wichtige Begrifflichkeiten im Serious Games Kontext

Eine Verortung von Serious Games im Vergleich:

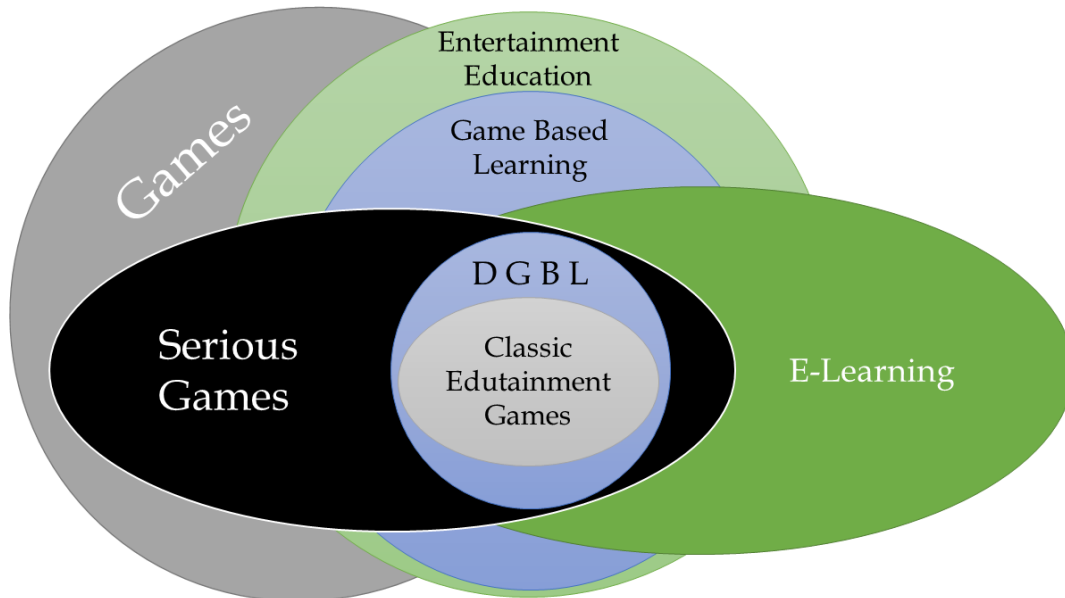


Abb. 1: Beziehung von Serious Games mit ähnlichen Konzepten⁴⁶, erweitert durch die Menge der Spiele

Um diese mengentheoretische Einordnung der *Serious Games* inhaltlich abzuschließen, sind noch weitere Definitionen nötig. Auch ist es wichtig, ein paar bedeutende Subgenres der *Serious Games* zu nennen, die eine besondere Agenda haben.

3.1.2.3.1 Edutainment

Der Begriff setzt sich zusammen aus den Wörtern *Education* und *Entertainment*, also aus Bildung und Unterhaltung. Die Philosophie ist gleich der, der die *Serious Games* folgen, nur ist der Begriff gewissermaßen vager, da er Unterhaltung im Allgemeinen umschließt. Geprägt wurde die Bezeichnung von WALT DISNEY. Ein Schwerpunkt war die Verwendung von Hypertexten (HTML), um stark verlinkte Texte und Geschichten zu erstellen, die man gerne erforscht und mit Hilfe derer Inhalte und Wissen vermittelt werden. Ein anderes Beispiel für Edutainment wäre die Verknüpfung von Musik und Wissen, wie es zum Beispiel die *Warner Bros.* mit Kurzfilmen wie „*Pinky and the Brain – Brainstem*“⁴⁷ oder „*Animaniacs – Yakko's World*“⁴⁸ meisterlich unter Beweis stellen.

⁴⁶ Breuer, Johannes; Bente, Gary (2010): Why so serious? On the Relation of Serious Games and Learning. In: *Eludamos. Journal for Computer Game Culture*. 4 (1), S. 11.

⁴⁷ <https://www.youtube.com/watch?v=snO68aJTOpM> [Letzter Zugriff am 08.02.2020].

⁴⁸ <https://www.youtube.com/watch?v=x88Z5txBc7w> [Letzter Zugriff am 08.02.2020].

3.1.2.3.2 E-Learning

Der Begriff E-Learning umfasst jegliches elektronisch unterstützte Lernen, sei es nun eine Lernplattform wie *Moodle* oder ein virtuelles Karteikartensystem. Wichtige Faktoren für die Definition sind, dass die zu erlernenden Inhalte interaktiv, multimedial und multimodal⁴⁹ sind⁵⁰. Die in der letzten Dekade immer häufiger werdenden MOOCs⁵¹ sind die Verkörperung des E-Learnings, da hier Universitäten und Institutionen international und oft unentgeltlich Kurspakete anbieten, die Videos, Texte, Textabgaben etc. vereinen. Hier wird oft auch auf das *Peer Review* System gesetzt, bei dem sich Teilnehmende gegenseitig bewerten.

3.1.2.3.3 Gamification

Gamification beschreibt ein Unterrichtskonzept, bei dem erfolgreiche Spielelemente in den Unterrichtsalltag übernommen werden, um das *Engagement* der Schülerinnen und Schüler zu steigern. Hierbei kann es sich um vielerlei Komponenten handeln, die in unterschiedlichen Kombinationen zusammengefasst werden können. Sehr oft übernommene Aspekte sind *Achievements* oder *Badges*, also Auszeichnungen und Belohnungen für spezielle Leistungen. Lehrkräfte können hier sehr stark variieren, beispielsweise kann es ein Achievement geben für die zehnte Hausübung in Folge oder besondere Tätigkeiten, besondere Hilfsbereitschaft oder vieles mehr. Auch Erfahrungspunkte und damit verbundene Levels werden häufig verwendet, um eine alternative Notengrundlage zu haben. Dies kann viele Vorzüge haben, da den Schülerinnen und Schülern ganz genau aufgeschlüsselt werden muss, wie sie Levels erreichen, welche Achievements, Tätigkeiten oder wie vieler Erfahrungspunkte es bedarf, um zu leveln. Bei einem Level Up, also einem Level-Aufstieg, gibt es dann wieder besondere Anerkennung. Auch Highscores sind ein häufig gesehenes Tool, allerdings könnte hier die Gefahr eines ungesunden Konkurrenzkampfes entstehen. Eine Alternative wäre ein gut differenziertes Leaderboard, bei dem die ganze Klasse

⁴⁹ Multimodalität zeichnet sich durch eine Verwendung unterschiedlicher semiotischer Modi wie Sprache, Bild, Schrift, Mimik, Gestik, Geräusche, Bild etc. oder einer Verknüpfung mehrerer Sinne aus. vgl. Igl, Natalia; Menzel, Julia: Illustrierte Zeitschriften Um 1900: Mediale Eigenlogik, Multimodalität und Metaisierung. Bielefeld: Transcript 2016.

⁵⁰ vgl. Rey, Günter Daniel: E-Learning: Theorien, Gestaltungsempfehlungen und Forschung. Bern: Huber, 2009.

⁵¹ Massive Open Online Course.

jederzeit sehen kann, wer bereits welche Achievements erhalten hat. Ein positiver Nebeneffekt dieser Variante ist, dass die Lernenden sehen, wen sie um Hilfe bitten können, da klar ersichtlich ist, wer welches Ziel schon erreicht hat beziehungsweise wer eine Expertin/ ein Experte in einem Themenfeld ist.

Einen besonderen Beitrag zu dieser Thematik bringt *ClassCraft*⁵². Dieses Konzept stellt eine ganze Lernplattform zur Verfügung. Es gibt Quests, Levels, Achievements und eine weitere Besonderheit, nämlich drei Klassen – Krieger, Heiler und Zauberer. Diesen Klassen können sich die Schülerinnen und Schüler selbst zuordnen und sich so ihre jeweiligen Stärken zunutze machen. Ein Krieger könnte beispielsweise unter der Verwendung von Energie seine Aufgabe einen Tag später abgeben. Ein Heiler könnte die Fähigkeit haben, jemandem in der Klasse zu helfen. All diese Fähigkeiten können durch die Lernperson adaptiert und neu definiert werden.

3.1.2.3.4 (Digital) Game Based Learning – DGBL/ GBL

(D)GBL bezeichnet eine Methode, bei der der Unterricht durch (digitale) Spiele bereichert wird. Prinzipiell ist jede Art von Spiel möglich, auch die Dauer kann beliebig sein. Das von JOHN HUNTER entwickelte World Peace Game⁵³ ist ein besonderes Beispiel dieser Kategorie. Dabei handelt es sich um ein Spiel, das teilweise über mehrere Wochen gespielt wird. Die Schülerinnen und Schüler werden in vier verschiedenen Gruppen eingeteilt, die *ingame*⁵⁴ vier verschiedene Nationen bilden. Diese unterscheiden sich in Wohlstand, Technologie, Bodenschätzen, Bevölkerung, Militär etc. Den Lernenden werden wichtige Funktionen zugeschrieben, wie Ministerposten oder Weltbankführung und die Gesamtheit der Spielenden hat den Arbeitsauftrag, 50 zusammenhängende Probleme zu lösen. Das Spiel ist dann gewonnen, wenn die Probleme gelöst sind und alle Nationen einen größeren Wohlstand haben als zu Beginn. Der Spielplan selbst ist sehr komplex, denn er besteht aus einem dreidimensionalen „Spielfeld“, das vier Ebenen umfasst. Alle Entscheidungen werden durch Interaktion der Schülerinnen und Schüler getroffen, die Lehrperson gibt lediglich den Rahmen vor, beruft in regelmäßigen Zeitabständen Versammlungen ein

⁵² vgl. <https://www.classcraft.com/de/> [Letzter Zugriff am 08.02.2020].

⁵³ vgl. <https://www.derstandard.at/story/2000056241871/politische-bildung-ganz-spielerisch> und <https://worldpeacegame.org/the-game/> [Letzter Zugriff am 08.02.2020].

⁵⁴ Innerhalb des Magic Circles eines Spiels.

und steht für Verständnisfragen zur Verfügung. Im Lauf des Spielens werden neben Mathematik, Philosophie und Politik vor allem Empathie, Verständnis und Kompromissbereitschaft geübt und gelernt.

“At first, I thought I was in charge of giving content, information. I thought that was the purpose of Education, but the Students really are the teachers, I ‘ve discovered. They have taught me, that the real point of education is to help create a really wonderful human being, because they will lead me 20, 30, 40 years later I’m hoping the effect will be, that they are a wonderful person.”⁵⁵

3.1.2.3.5 Educational Games - Lernspiele

Educational Games sind klassische Lernspiele, bei denen häufig Gelerntes geübt wird. Eine Plattform, die sowohl viele dieser Spiele anbietet, als auch einen Editor hat, mit dem neue Spiele entwickelt und geteilt werden können, ist <https://learningapps.org/>. Es gibt eine große Varietät an Umsetzungen, ob es sich nun um ein Quiz im Stil der „Millionenshow“ handelt, Rechnungen geübt oder Orte auf Landkarten zugeordnet werden. Diese Spiele haben immer einen klaren Auftrag, keine oder eine sehr nebensächliche Story und zeichnen sich durch einen sehr linearen Ablauf aus.

3.1.2.3.6 Epistemic Games

“The result of such a process is a simulation that preserves the connections between knowing and doing central to the epistemic frame – a form of simulation that I refer to as an epistemic game. An epistemic game is not necessarily a game that one plays strictly for pleasure. [...] In play, we participate in a simulation of a world we want to inhabit, and epistemic play is participation in a thickly authentic simulation that gives learners access to the epistemic frame of a community of practice. When it succeeds, it is fun, not because fun is the immediate goal, but because interest – linked to identity, understanding, and practice – is an essential part of an epistemic frame, and thus of an epistemic game.”⁵⁶

Epistemic Games sind also Simulationen, die sowohl Wissen als auch Handeln in einem erkenntnistheoretischen Rahmen (=epistemic frame) vereinen. Dieser Frame wird durch eine Gruppe an Menschen mit ähnlichen Interessen gebildet, beispielsweise Berufsgruppen, die einen Wissensfundus aufbauen und weitertragen. Auf diese Weise können reale Szenarien und Gegebenheiten besser bewältigt werden. Beispiele hierfür wären Spiele, bei denen man sich mit Themen wie Stadt- oder Landschaftsplanung, Biologie, Landwirtschaft oder historischen Themen auseinandersetzt⁵⁷.

⁵⁵ Hunter, John [GLOBART]: World Peace Game // GLOBART 2014. 09.07.2014, [Youtube] <https://www.youtube.com/watch?v=avWRf6fAZCc> 01:29 – 1:55 [Letzter Zugriff am 08.02.2020].

⁵⁶ Shaffer, David Williamson: Epistemic Games. In: *Innovate* 1 (6) Florida: NSU 2005, S.2.

⁵⁷ vgl. Shaffer, David Williamson: Video games and the future of learning. Madison: University of Wisconsin- Madison 2004. S16.

3.2 Game Design

Da im Zuge dieser Arbeit ein Spiel entwickelt wurde, ist es an dieser Stelle notwendig die wichtigsten Arbeitsschritte und Prozesse festzuhalten.

„Unfortunately, at present, there is no ‘unified theory of game design’, no simple formula that shows us how to make good games. So, what can we do? We are in a position something like the ancient alchemists. In the time before Mendeleev discovered the periodic table, showing how all the fundamental elements were interrelated, alchemists relied on a patchwork quilt of rules of thumb about how different chemicals could combine.“⁵⁸

Game Designs haben, auch wenn es keine allgemeingültige Formel gibt, zumindest eine Gemeinsamkeit. Sie alle beginnen mit einer Idee. Dieser wird mittels eines Grundentwurfes, eines Gamedokuments, eine Form gegeben. In einem stetigen Zyklus aus Idee, Feedback, Umsetzung und Testen wird die Idee soweit geformt, bis ein gutes Zwischen- oder Endergebnis, ein gutes Design oder fertiges Produkt entsteht.

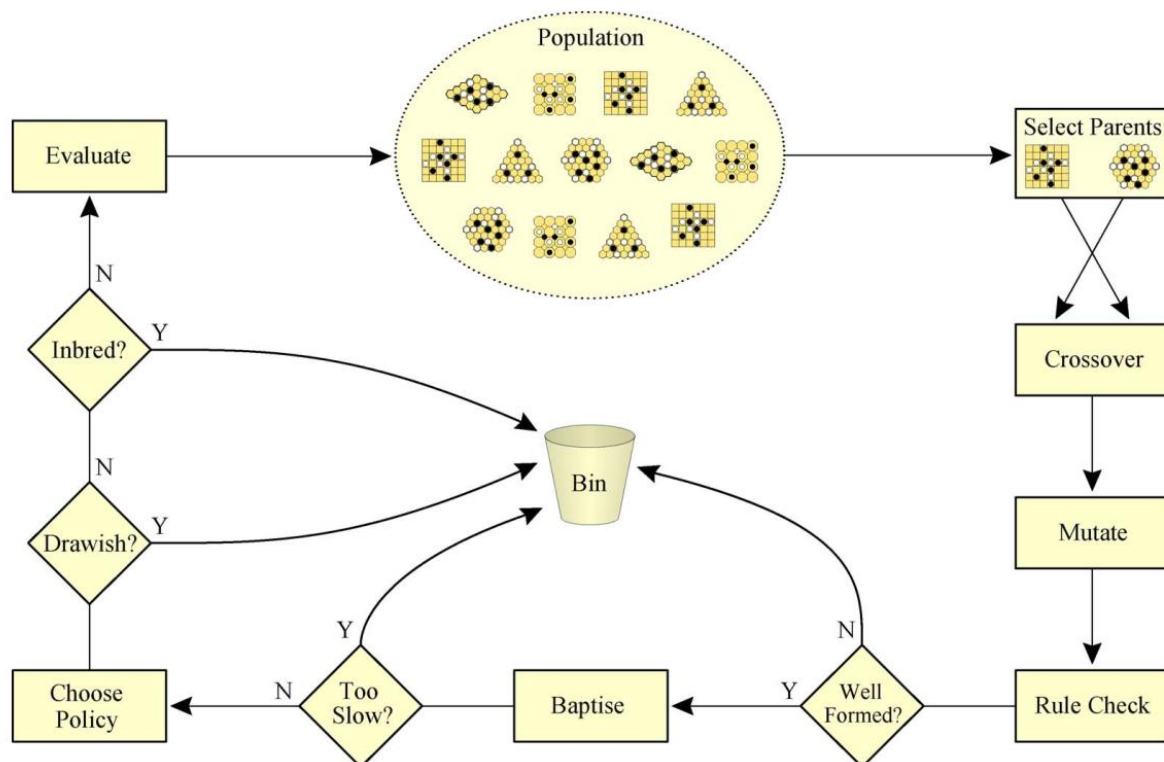


Abb. 2: Game Entwicklungs- bzw. Lebenszyklus⁵⁹

Auf diesem Weg gilt es sehr kritisch zu sein und viele Experimente wieder zu verwerfen. SCHELL definiert dies in seinem Buch 116 unterschiedliche „Lupen“, die Game Designerinnen und Designern helfen sollen, ihre Entwürfe aus so vielen

⁵⁸Schell, Jesse: The Art of Game Design. A Book of Lenses. Boca Raton, FL: CRC Press LLC³ 2020, S. xxxviii.

⁵⁹Browne, Cameron; Maire, Frederic: Evolutionary Game Design. In: IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games. Vol. 2, Nr. 1 2010, S. 8.

Perspektiven wie möglich kritisch zu betrachten, um so ein rundum gutes und zufriedenstellendes Endprodukt zu erhalten.

3.2.1 Idee und Game Design Dokument (GDD)

Es gibt viele verschiedene wichtige Details, die es bei einem guten Game Design zu beachten gilt. Eine Stütze hierbei gibt eine vom *Serious Games Information Center*⁶⁰ zur Verfügung gestellte DIN-Vorlage⁶¹, die eine sehr gezielte Übersicht ermöglicht, da für ein fertiges Spiel die folgenden Punkte beantwortet werden können müssen:

Bezeichner (in Englisch)	Typ	Min/ Max
SpielID (gameID)	Freitext, String (100)	1, 1
Titel (title)	Freitext, String (100)	1, 1
PrimäresZiel (primaryGoal)	Auswahlliste A1.2, String (100)	1, 1
Zielbeschreibung (goalDescription)	String (500) für zusammengesetzte Einträge nach dem Prinzip „Subjekt - Adverb - Verb“, siehe Auswahllisten A1.2.3 a-c	1, n
Zusammenfassung (abstract)	Freitext, String (2000)	1, 1
Schlagwort (keyword)	Freitext, String (100)	1, n
Genre (gameGenre)	Auswahlliste A1.5, String (100)	1, n
Spielmodus (gameMode)	Auswahlliste A1.6, String (100)	1, n
VorschauObjekt (previewObject)	Referenz auf Objekte, siehe IETF RFC 1738, <i>Uniform Resource Locators (URL)</i>	1, 1
VorschauObjektTyp (previewObjectType)	Auswahlliste A1.7, String (100)	1, 1
Spielzeit (playTime)	Freitext, String (500)	1, 1
AusgabeVersion (releaseVersion)	Freitext, String (100)	1, 1
AusgabeDatum (releaseDate)	Datum, siehe ISO 8601	1, 1
AusgabeStatus (releaseStatus)	Auswahlliste A1.9, String (100)	1, 1
Anwendungsbereich (applicationField)	Auswahllisten A2.1, String (100)	1, 1
Zielgruppe (targetUserGroup)	Auswahllisten A2.2, String (100)	1, 1
Altersfreigabe (ageRestriction)	Auswahllisten A2.3, String (100)	1, 1
Sprache (language)	Auswahlliste gemäß ISO 639	1, n
DatenerfassungWeitergabe (dataRecordingTransfer)	Freitext, String (2000)	1, 1
Distributionskanal (distributionChannel)	Auswahlliste A3.1, String (100)	1, 1
PreisInfo (priceInfo)	Freitext, String (2000)	1, 1
Kostenpflichtig (withCosts)	Auswahlliste A3.4, String (100)	1, 1
Plattform (platform)	Auswahlliste A4.1, String (100)	1, 1

⁶⁰ <https://seriousgames-portal.org/> [Letzter Zugriff am 09.02.2020].

⁶¹ DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hg.): DIN SPEC 91380. Serious Games Metadata Format. Beuth Verlag GmbH, Berlin (2018).

Systemvoraussetzungen (requirementInfo)	Freitext, String (2000)	1, 1
Institutionsname (involvedPartyName)	Freitext, String (100)	1, 1
Institutionsrolle (partyRoleCode)	Auswahlliste 5.1, String (100)	1, 1
Beschreibungssprache (metadataLanguage)	Auswahlliste gemäß ISO 639	1, 1
Zeichensatz (metadataCharacterSet)	Unicode, Iso 10646	1, 1
MetadatenformatID (metadataFormatID)	Freitext, String (100)	1, 1
MDName (metadataFormatName)	Freitext, String (100)	1, 1
MDVersion (metadataFormatVersion)	Freitext, String (100)	1, 1
MDDatum (metadataFormatReleaseDate)	Nach ISO 8601	1, 1

Tabelle 1: Informationen zum Spiel, Element-Block SpielInfo (en: gameInfo)⁶²

Ein am Beginn stehendes Design kann oft noch nicht alle hier angeführten Punkte beantworten. Daher wird an dieser Stelle der Entwicklung empfohlen, die folgenden Punkte besonders detailliert zu behandeln.^{63, 64} Im Laufe der Entwicklung sind alle hier getroffenen Entscheidungen bearbeitbar, da erst durch das tatsächliche Testen viele geplante Aspekte sich beweisen oder scheitern und andere sich als noch zu unausgereift herausstellen.

- **Gameplay:** Wie wird das Spiel gespielt? Was ist das Ziel? Was müssen Spielende tun, um das Ziel zu erreichen?
- **Story:** Was ist die Geschichte des Spiels? Es wird hier empfohlen, einen Erzählstrang zu wählen, der dem des tatsächlichen Spielverlaufes entspricht. Hier können auch bereits die Dialoge aufscheinen, sowie Hintergrundinformationen, die beispielsweise nur eine erzählende Figur kennt.
- **Spielwelt:** Hier wird das Setting des Spiels beschrieben. Wie sieht die Welt aus, in der das Spiel stattfindet? Hier können auch schon Maps beigefügt werden.
- **Charaktere:** Welche Charaktere kommen in dem Spiel vor? Welche Gegner? Hier sollte, so vorhanden, zwischen *spielbaren (PCs)* und *nicht spielbaren Charakteren (NPCs)*⁶⁵ unterschieden werden.

⁶² ebendas. S. 10.

⁶³ vgl. Ceceri, Kathy: Video Games. White River Junction: Nomad Press 2015, S. 51.

⁶⁴ vgl. Schell, Jesse: The Art of Game Design. A Book of Lenses. Boca Raton, FL: CRC Press LLC³ 2020, S.171 -193.

⁶⁵ PCs (playable characters) sind die Protagonisten bzw. Avatare, die die Spielenden steuern; NPCs (non- playable characters) sind Figuren, die von dem Spiel gesteuert werden, wie Gegner, helfende Figuren, etc. Mit diesen Charakteren können Spielende interagieren.

- **Magic Circle – funktioneller Raum:** Welchen Rahmen, welche Grenzen hat das Spiel? Wodurch zeichnet sich die Spielwelt aus? Ist die Spielwelt endlich oder unendlich? Gibt es Unterräume? Welche Regeln gelten in dieser Welt?
- **Objekte:** Welche Objekte gibt es in dem Spiel? Welche Eigenschaften haben sie? Haben sie unterschiedliche Zustände? Wie können diese wechseln?
- **Geheimnisse:** Was weiß nur das Spiel? Was wissen (welche) Spielende? Welche Geheimnisse können gefunden werden?
- **Handlungen:** Welche Aktionen gibt es in dem Spiel? Welche Strategien? Welche Handlungsmöglichkeiten soll es nicht geben?
- **Ziel (der Spielenden):** Welche Achievements, Collectables, Belohnungen etc. gibt es in dem Spiel? Was ist das Ziel? Was sind Nebenziele?
- **Skills:** Welche Fähigkeiten werden für den Spielenden vorausgesetzt? Wie ist die Gewichtung? Wie erwerben Spielende neue Skills im Spiel?
- **Plattformen:** Für welche Plattformen soll das Spiel produziert werden? Welche Steuermodule stehen zur Verfügung?
- **Playerstory:** Ein kurzer Text, der erzählt, was eine fiktive spielende Person im Moment des Spielens erlebt. Es handelt sich um einen stringenten Verlauf, als würde gerade gespielt und das Gedachte zu Papier gebracht werden. Diese Methode hilft ungemein beim Finden von Fehlern oder Lücken im Design.

3.2.2 Erstellung eines Prototyps

Ist das GDD zur Zufriedenheit ausgefüllt und abgesehen, beginnt die Hauptphase der Spielentwicklung. Es wird ein Prototyp erstellt, der entweder ein Papier Mock Up ist oder bereits eine digitale Beta Version des Spieles. Wichtig ist hier, dass die *Core-Mechanik* komplett implementiert und getestet wird. Erst wenn die komplette Engine des Spiels funktionell ist, sollte Energie in das Leveldesign gelegt werden. Optik steht hier noch nicht im Vordergrund, da Sprites⁶⁶ und Bilder im weiteren Verlauf leicht ausgetauscht werden können. Wurde die *Core-Mechanik* ausgiebig getestet, kann der Bau der einzelnen Levels bzw. Gebiete beginnen.

⁶⁶ Ein Sprite ist ein Grafikobjekt, das vor oder hinter anderen Objekten liegen kann.

4 Mathematische Spiele und Serious Games – ein Vergleich

Die meisten digitalen Spiele, die es im Bereich der Mathematik gibt, beschäftigen sich mit den Grundrechenarten und dem Kopfrechnen. Diese Spiele sind oft sehr einseitig und auch nicht sehr motivierend, da sie entweder zu einfache oder zu komplexe Probleme aufgeben. Dies kann gut veranschaulicht werden am Beispiel der Seite <https://www.mathgames.com/>⁶⁷, da hier die unterschiedlichsten Lerninhalte in einer spielähnlichen Weise getestet werden. Besagtes kann aber nicht wirklich dem Wissenserwerb oder einer Vernetzung dienen, sondern ist lediglich einem Test oder Quiz nachgeahmt.

Wenige Spiele setzen sich mit logischen Inhalten auseinander. Sehr selten werden komplexere Thematiken, wie Kurvendiskussion oder Stochastik, in Angriff genommen, weswegen es für die österreichische Sekundarstufe II wenig ernstzunehmendes und verwendbares Material gibt, das eins zu eins für den Unterricht übernommen werden kann. Es lassen sich wenige Bemühungen beobachten, die darauf hinweisen, dass sich in diesem Bereich Verbesserungen anbahnen.

Dieses Kapitel soll einen umfassenden und fundierten Vergleich bieten, der einen Einblick in die Landschaft der (Serious) Games gibt, aber einen Fokus auf „best practice“-Spiele, deren Schulbezug, auch mit Rücksicht auf den österreichischen Lehrplan, und ihre Anwendbarkeit legt.

⁶⁷ <https://www.mathgames.com/> [Letzter Zugriff am 08.12.2019].

4.1 Spiele, um Kopfrechnen zu üben – Am Beispiel von „Zeus vs Monsters⁶⁸“



Abb. 3: Zeus vs. Monsters Gameplay

In den Spielen, die diesem (dem diesem Spiel ähnelnden) Muster folgen, gibt es Gegner, denen jedes Mal Schaden zugefügt wird, wenn man die richtige Antwort auswählt. Hier gilt, je schneller richtig geantwortet wird, desto schneller gewinnt man ein Level, allerdings fügt man sich bei einer falschen Antwort oder einer zu langen inaktiven Periode selbst Schaden zu. Die Gegner wiederum fügen der Spielfigur in einem regelmäßigen Abstand Schaden zu. Die Zahlen mit denen gerechnet werden muss, werden mit der Zeit größer, wodurch die Gegner „stärker“ werden.

Die *Core-Mechanik* ist das „Millionenshow“- oder Single Choice Prinzip: eine Frage wird gestellt, es werden drei oder mehr Antwortmöglichkeiten angeboten, von denen nur eine korrekt ist. Hinzu kommen die Gegner, die aber bis auf den durch sie entstehenden Zeitfaktor keinen wirklichen Einfluss auf den Inhalt haben. Diese Spiele sollen somit wie einfache Rechenaufgaben vorhandenes Wissen festigen, beziehungsweise schnelleres Lösen solcher Aufgaben durch die Repetition und Routine ermöglichen. Das soll ihnen ihren Anwendungsbereich nicht absprechen, doch aufzeigen, dass sie kaum neues Wissen generieren können noch, aufgrund der sehr monotonen Mechanik, besonders motivierend sind. Tatsächlich stimmt die Leistungs- oder Lernkurve insofern nicht. Es fällt diesen Spielen sehr schwer einen nachhaltigen Flow- Zustand herzustellen, da Spielende entweder mit zu kleinen oder zu großen Zahlenräumen konfrontiert werden, folglich das Spiel schnell als zu leicht oder als zu schwer empfinden können

⁶⁸ <https://peaksel.com/math-games/zeus-vs-monsters-math-game/> [Letzter Zugriff am 08.12.2019].

4.2 2048

Hierbei handelt es sich um eines der beliebtesten Spiele seiner Art. Mit mehr als 10 Millionen Downloads bei Google- Play-Store allein⁶⁹ sieht man hier das enorme Potential und die Beliebtheit solcher Spiele.

In diesem Spiel werden 4x4 große Grid-Blöcke gezeigt, auf denen Zahlen mit der Basis 2 gezeigt werden. Durch eine Wischbewegung, oder eine Pfeiltaste in eine Richtung, werden alle Blöcke, die sich im Spielfeld befinden, an die Seite geschoben, die in Richtung der Bewegung liegt. Auf der gegenüberliegenden Seite wird ein neuer Grundblock generiert. Blöcke, die den gleichen Wert haben, werden fusioniert, der Wert wird addiert. Das Ziel des Spieles ist es, einen Block mit der Zahl 2048 zu bilden.

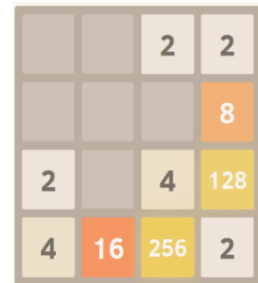


Abb. 4: 2048 - Gameplay

Was mit dem Spiel vermittelt werden kann, ist ein Verständnis der Potenzen der Basis 2, von 2^1 bis 2^{11} . Im Unterricht würde es sich anbieten, einen empirischen Einstieg zu wählen, bei dem Schülerinnen und Schüler einerseits die Zahlenwerte selbst, aber auch die Eigenschaften der Potenzrechnung, ähnlich dem Falten eines A4-Papieres, erarbeiten können.

Diese *Core-Mechanik* wurde für viele andere Zahlenmengen, -folgen oder -reihen übernommen, zum Beispiel die Fibonacci-Folge. Hier werden, wie auch in der Definition der Folge:

$$F(n) = F(n - 1) + F(n - 2) \text{ mit } F(0) = 0 \text{ und } F(1) = 1,$$

$1 \& 1, 1 \& 2, 2 \& 3, 3 \& 5, \dots$ addiert. Aber auch abstrakte Themen,

wie die LHC⁷⁰-Version (LHC steht für „Large Hadron Collider“),

bei der Spielende physikalische Partikel kollidieren lassen müssen, um neue zu generieren, zeigt, dass auch andere Inhalte behandelt werden können. Ziel des Spiels ist es, das *Higgs Boson* zu erhalten. So lassen sich komplexere Themen in derartigen Spielen anschaulich und spielerisch darstellen und Lernende können ein Gefühl für Reihen, Folgen und Zahlenmengen mit verschiedenen Basiszahlen entwickeln.

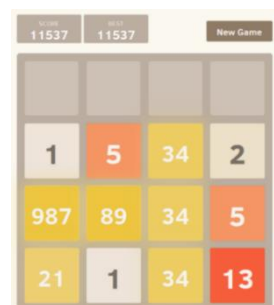


Abb. 5: 2048 Fibonacci - Gameplay

⁶⁹ https://play.google.com/store/apps/details?id=com.androbaby.game2048&hl=en_US [Letzter Zugriff am 06.06.2020].

⁷⁰ <http://www.mattleblanc.github.io/LHC/> [Letzter Zugriff am 09.12.2019].

4.3 DragonBox⁷¹

DragonBox bietet ein Sammelsurium aus fünf verschiedenen Spielen an. Diese haben allesamt die spielerische Vermittlung von mathematischen Teilgebieten im Fokus, zielen aber auf unterschiedliche Zielgruppen ab, unterteilt nach Alter und Vorwissen. Aufgrund der Inhalte ist es möglich, die Programme in drei inhaltlich verwandte Gruppen zu gliedern, die auch wissenshierarchisch aufeinander aufbauen. Insgesamt haben die 5 Spiele im Google Playstore über 90.000 Downloads. Das erste Spiel, das von WeWantToLearn entwickelt wurde, war *DragonBox Algebra*, damals noch nicht in *DragonBox Algebra 5+* und *DragonBox Algebra 12+* aufgeteilt.

Dieses Team, das eine Fülle an Expertisen abdeckt, hat es bewerkstelligt, fünf Best Practice-Serious-Games zu entwickeln, die sowohl eine Fülle an Preisen gewonnen (unter anderem: *Fun and Serious Games Festival - Best Educational Game, 2014*; *Wouap Doo Apps Jeunesse - Best Learning Game & People's Choice Awards 2016*; *Games for Change - Best Learnig Game, 2017*; uvm.), als auch bereits gemäß wissenschaftlicher Studien eine nachweisliche Lern- und Motivationssteigerung bewiesen haben.

„With its drag-and-drop interface, DragonBox makes it easy to carryout solutions steps; it offers instant feedback on nearly every action of the students. It also provides rewards for different aspects of problem solving, including stars for completing a problem, for solutions with a minimal number of steps, and for having final solutions in their simplest form.“⁷²

4.3.1 Numbers und Big Numbers

Diese beiden Spiele konzentrieren sich auf die Vermittlung der Grundrechenarten Addieren und Subtrahieren in der Menge der natürlichen Zahlen.

DragonBox - Numbers stellt die Zahlen von 1 bis 10 als individuelle Charaktere, die *Nooms*, vor. Diese wurden, in Anlehnung an die „Cuisenaire- bzw.

Montessori Rechenstäbe“⁷³, designt. Es handelt sich dabei um Holzstäbe, die einen Zentimeter breit bzw. tief sind, sich aber in Länge, ein bis zehn Zentimeter, und Farbe unterscheiden. Anwendung finden diese Stäbe in der Primarstufe, um den Schülerinnen und Schülern ein Gefühl für Zahlen und ihre Verwandtschaft zu

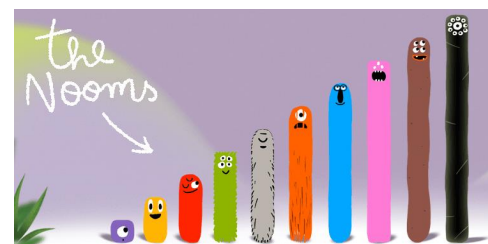


Abb. 6: *DragonBox Numbers* - die Nooms

⁷¹ <https://www.dragonbox.com> [Letzter Zugriff am 11.12.2019].

⁷² vgl. Long, Yanjin; Alevan, Vincent: Educational Game and Intelligent Tutoring System: A Classroom Study and Comparative Design Analysis. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.* 24, 3, Article 20; 2017.

⁷³ <http://www.bruehlmeier.info/cuisenaire.htm> [Letzter Zugriff am 11.12.2019].

vermitteln, da die Lernenden hier leichter die unterschiedlich langen Balken aneinanderlegen, vergleichen und durch das Stapeln addieren können. Durch das Nebeneinanderlegen kann auch das Größenverhältnis einfach verstanden werden.

In dem Spiel werden die Eigenschaften der physischen Stäbe übernommen und durch neue Funktionalitäten bereichert. So wird das Addieren umgesetzt, indem man einen *Noom* an einen anderen „verfüttert“, wodurch er sich zu dem *Noom* verwandelt, der der Summe entspricht. Sollte das Ergebnis größer als zehn sein, stapeln sich zwei *Nooms* übereinander, auf dem schwarzen, der die Länge zehn hat, setzt sich der *Noom*, der dem Rest entspricht. Die Logik wird aber auch durch die Subtraktion erweitert, indem man einen *Noom* einfach an einer bestimmten Stelle durch einen Wischer zerteilt, erhält man die beiden kleineren *Nooms* übereinanderstehend. Diese zwei Aktionen bilden die *Core-Mechanik*. Zusätzlich zu den Handlungen gibt das Spiel selbst bei jeder Aktion ein akustisches Feedback, in dem es die durchgeführte Operation beschreibt, wobei es Summanden und Summe bzw. Minuend, Subtrahend und Differenz nennt. Diese Mechaniken kommen in folgenden Spielmodi zur Anwendung:

- Ladder
- Puzzles
- Run
- Sandbox

Bei den Modi „*Ladder*“ und „*Sandbox*“ ist die Aufgabe, beliebig lange Blöcke zu erstellen, sie zu vergleichen oder spezielle Zahlen unterschiedlich darzustellen. Bei dem Modus „*Race*“ spielt man einen Plattformer, in dem sich Münzen oder Sterne auf einer gewissen Höhe zwischen eins und zehn befinden und die Spielenden versuchen, so viele wie möglich zu sammeln. Der tatsächliche Schwerpunkt liegt allerdings in der Variante „*Puzzles*“, in der Formen gebildet werden sollen.

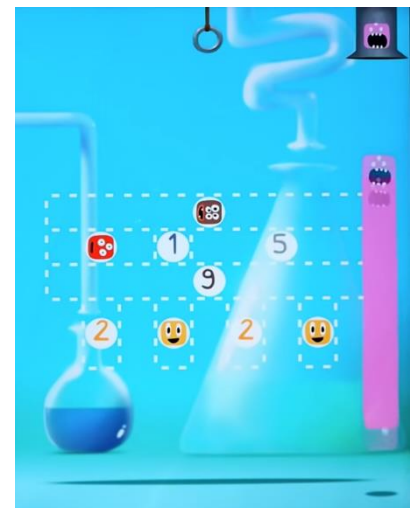
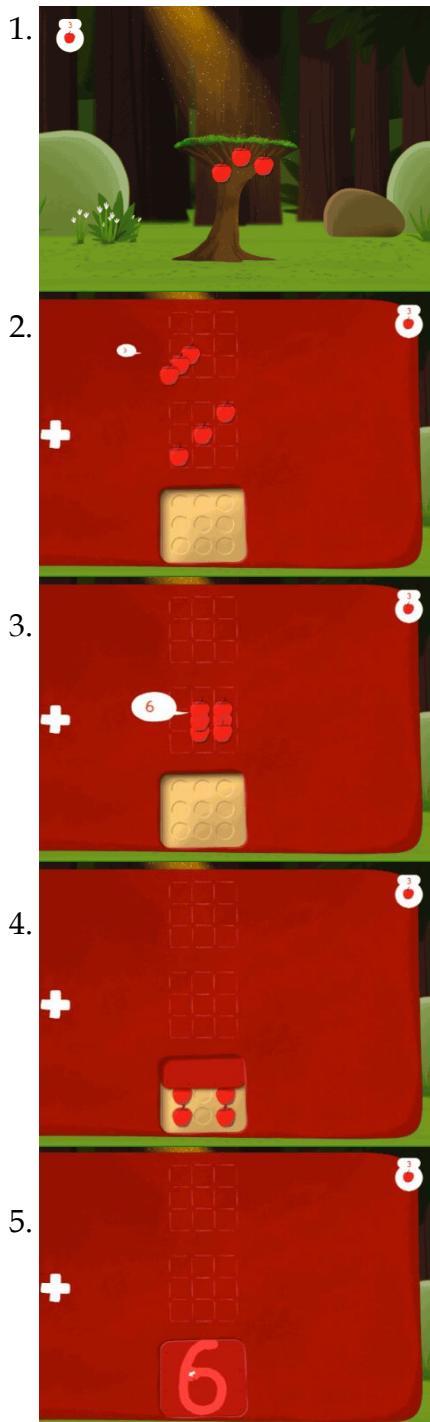


Abb. 7: DragonBox Numbers -Ein Level

In jedem Level wird durch Röhren, die sich oben rechts befinden, angezeigt, welche *Nooms* die Spielenden zur Verfügung gestellt bekommen. Klickt man auf diese Röhre, fällt der angezeigte *Noom* heraus. Es müssen jetzt durch Addition und Subtraktion die angezeigten Blöcke durch *Nooms* besetzt werden, wobei im Spielverlauf die Symbole durch Zahlen ersetzt werden, wodurch der Transfer zur Realität gelingt. Durch das

Absolvieren eines Rätsels werden Münzen freigespielt, mit denen weitere Levels freigeschaltet werden können. Die Währung wird in Zehnerschritten gestaffelt dargestellt, um schon frühzeitig das Dezimalsystem einzuführen.

Das Spiel „DragonBox – Big Numbers“ ist ein klassischer *Upgrader*. Wie bei seinem Vorgänger werden wieder die Addition und die Subtraktion der natürlichen Zahlen thematisiert. Von diesem abweichend wird bei dem Sequel allerdings mit bis zu fünfstelligen Zahlen gearbeitet.



Die *Core-Mechanik* (im nebenstehenden Bild illustriert) ist es, lediglich Objekte einzusammeln, die als eine Art Tauschwährung fungieren. Sie sind aber erst dann tatsächlich im Besitz der Spielenden, wenn sie zu den bereits vorhandenen aktiv addiert werden. Im Umkehrschluss wird bei dem Erwerb eines Upgrades eine Subtraktion verlangt. Bei jeder Operation werden die bereits vorhandenen und die hinzukommenden bzw. abzuziehenden Objekte angezeigt. Es müssen dann beide Summanden oder die Differenz in das Lösungsfeld gezogen werden. Ist das korrekt geschehen, erscheint ein Schreibfeld, in das die Ziffer jeder Stelle per Hand geschrieben werden muss. Bei Addition innerhalb einer Stelle wird, wie bei dem vorhergehenden Spiel, die Rechnung mit der Lösung, wenn sie richtig gelöst wurde, vorgelesen, ansonsten wird nur die Rechnung vorgelesen und ein Hinweis gezeigt. Nachdem alle Stellen richtig gelöst wurden, wird noch einmal die ganze Zahl gesagt.

Diese *Core-Mechanik* wird im Spiel eingebettet, indem sammelbare Objekte wie Äpfel, Steine, Fische, Kristalle oder Münzen gesammelt werden, die gehandelt oder mit denen Verbesserungen bzw. neue Gebiete freigeschaltet werden können. Durch die Möglichkeit,

Abb. 8: DragonBox - Big Numbers – Core-Mechanik

Objekte zu handeln, wird ein intuitiver Zugang zur Multiplikation bzw. Division gelegt, da die Spielenden angeregt werden, zu antizipieren, ob sie schon über genügend Ressourcen verfügen. Darüber hinaus wird auch eine Basis für die Thematik des Prozentrechnens geschaffen, da bei den Handlungspunkten auch Rabatte angeboten werden.

Beide Spiele decken die folgenden Kompetenzen, den Bildungsstandards für die 4. Schulstufe⁷⁴ folgend, ab:

Allgemeine mathematische Kompetenzen	
Kompetenzbereich: Operieren (AK 2)	
AK2.1 Mathematische Abläufe durchführen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Die Schülerinnen und Schüler können Zahlen, Größen [...] strukturieren. 2. Die Schülerinnen und Schüler können arithmetische Operationen und Verfahren durchführen.
Kompetenzbereich: Kommunizieren (AK 3)	
AK3.1 Mathematische Sachverhalte verbalisieren und begründen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Die Schülerinnen und Schüler können mathematische Begriffe und Zeichen sachgerecht in Wort und Schrift benützen. 2. Die Schülerinnen und Schüler können ihre Vorgangsweisen beschreiben und protokollieren.
AK3.2 Mathematische Sachverhalte in unterschiedlichen Repräsentationsformen darstellen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Die Schülerinnen und Schüler können ihre Vorgangsweisen in geeigneten Repräsentationsformen festhalten. 2. Die Schülerinnen und Schüler können Zeichnungen und Diagramme erstellen.
Kompetenzbereich: Problemlösen (AK 4)	
AK4.2 Lösungsstrategien (er)finden und nutzen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Die Schülerinnen und Schüler können geeignete Lösungsaktivitäten wie Vermuten, Probieren, [...] anwenden. 2. Die Schülerinnen und Schüler können zielführende Denkstrategien wie systematisches Probieren oder Nutzen von Analogien einsetzen.
Inhaltliche mathematische Kompetenzen	
Kompetenzbereich: Arbeiten mit Zahlen (IK 1)	
IK1.1 Zahldarstellungen und -beziehungen verstehen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Die Schülerinnen und Schüler können Zahlen im Zahlenraum 100 000 lesen und darstellen. 2. Die Schülerinnen und Schüler können sich im Zahlenraum 100 000 orientieren, Zahlen vergleichen und diese in Relation setzen.
Kompetenzbereich: Arbeiten mit Operationen (IK 2)	
IK2.1 Die vier Grundrechnungsarten und ihre Zusammenhänge verstehen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Die Schülerinnen und Schüler verfügen über Einsicht in das Wesen von Rechenoperationen. 2. Die Schülerinnen und Schüler können die Zusammenhänge zwischen den Grundrechnungsarten erklären.

⁷⁴ https://www.bifie.at/wp-content/uploads/2017/06/Deskriptoren_BiSt_M4.pdf [Letzter Zugriff am 11.12.2019].

IK2.3 Schriftliche Rechenverfahren beherrschen	1. Die Schülerinnen und Schüler verstehen die Algorithmen der schriftlichen Rechenverfahren. 2. Die Schülerinnen und Schüler können die Algorithmen der schriftlichen Verfahren für Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division durchführen.
Kompetenzbereich: Arbeiten mit Größen (IK 3)	
IK3.3 Mit Größen operieren	1. Die Schülerinnen und Schüler können Größen miteinander vergleichen. 2. Die Schülerinnen und Schüler können mit Größen rechnen.

Tabella 2: *DragonBox Numbers und Big Numbers - Kompetenzen*

4.3.2 Elements

„*DragonBox - Elements*“ zielt auf eine Wissensvermittlung im Bereich der Geometrie ab. Genauer liegt der Fokus auf der Vermittlung der Verwandtschaft und den unterschiedlichen Eigenschaften von Kreisen, Drei- und Vierecken. Eingeführt werden die Eigenschaften und Definitionen Schritt für Schritt, den euklidischen Axiomen folgend.

Die *Core-Mechanik* setzt sich aus zwei Komponenten zusammen, Punkten und diese Punkte verbindende Kreidezeichnungen, die entweder Strecken, Geraden oder Kreise bilden. Im Spielverlauf werden gleichlange Strecken bzw. gleichgroße Winkel farblich hinterlegt, rechte Winkel werden mit einer speziellen Symbolik versehen, und parallele Gerade werden gekennzeichnet. Diese Markierungen werden teilweise vom Spiel selbst vorgegeben, zumeist wenn neues Wissen eingeführt wird, müssen aber beim Lösen des Levels oft selbst vorgenommen werden. Im zweiten Fall folgt das Finden der gleichen Elemente immer den euklidischen Gesetzen.

Die Spielenden haben mehrere Fähigkeiten, die in vier Kategorien eingeteilt werden können. Diese Steuerungen werden im Laufe des Spiels freigeschaltet und miteinander vernetzt:

- Als primäre Aktion können durch eine durchgezogene Wischbewegung mehrere Eckpunkte zu einem Drei- bzw. Viereck verbunden werden. Durch das erfolgreiche Verbinden wird eine Kreatur beschworen, deren Aussehen mit dem der geometrischen Figur korrespondiert.



Abb. 9: *DragonBox - Elements - Core-Mechanik*

- Befindet sich ein Kreis in einem Level, kann dieser durch ein einmaliges Antippen aktiviert werden. Nun kann man durch das Rotieren des Radius, der bereits farblich hinterlegt ist, alle Strecken, die dessen Länge entsprechen, einfärben. So können auch über mehrere Kreise markierte Strecken „weitergegeben“ werden.

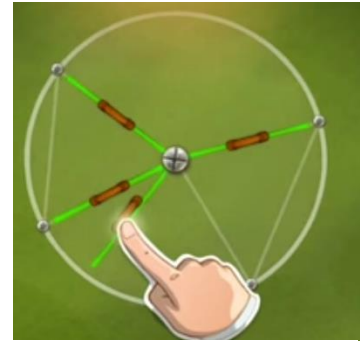


Abb. 10: DragonBox - Elements - Radien

- Winkel haben mehrere Eigenschaften:
 - Gleichgroße Winkel werde mit der gleichen Farbe markiert. Durch das einmalige Antippen kann ein Winkel aktiviert werden, um entweder eine Kreatur weiterzuentwickeln oder einen Gegenwinkel zu aktivieren.

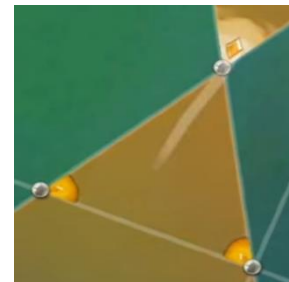


Abb. 11: DragonBox - Elements - Winkel und Gegenwinkel

- Ein Gegenwinkel kann von einem bereits aktivierten Winkel durch ein Wischen gefunden werden.

- Ein aktivierter rechter Winkel kann wie der Gegenwinkel gefunden werden, das gilt in diesem Spezialfall aber auch für die beiden benachbarten Winkel. Befindet sich der Winkel in einem Viereck und ist die Gerade auf der gegenüberliegenden



Abb. 12: Rechte Winkel

Seite parallel zu der, auf der der bekannte rechte Winkel liegt, muss der gegenüberliegende Winkel auch 90° haben und kann somit aktiviert werden.

- Parallele Linien werden mit farblich gleichen „fliegenden Augen“ gekennzeichnet. Gibt es mehrere parallele Geraden, bei denen bei je zwei verschiedenen diese Verwandtschaft bereits angegeben ist, können diese Augen fusioniert werden. Sind zwei Geraden nachweislich parallel, weil sie beispielsweise ein „Parallelogramm“ einschließen, können die Augen aktiviert werden.

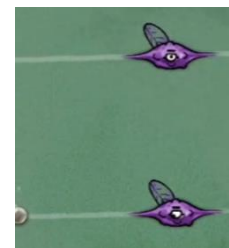




Abb. 13: DragonBox - Elements - fliegendes Auge

Es können die folgenden Kreaturen beschworen werden:

	Wofür steht die Kreatur	Wie wird die Kreatur im Spiel beschworen?
 Abb. 14: Triangulum	Triangulum: Die Kreatur symbolisiert ein allgemeines Dreieck.	Durch das Verbinden von einer dreiseitigen geometrischen Figur.
 Abb. 15: Isosceles	Isosceles: Die Kreatur symbolisiert ein gleichschenkeliges Dreieck.	Befindet sich ein <i>Triangulum</i> in einem gleichschenkeligen Dreieck, wird dies ersichtlich dadurch, dass zwei Seiten die gleiche Farbe haben. Werden beide angetippt, entwickelt es sich zu dieser Form. Befindet sich ein <i>Isosceles</i> in einem Dreieck und leuchtet, können die Seiten oder Winkel mit einem Double-Tab eingefärbt werden.
 Abb. 16: Aequilaterus	Aequilaterus: Die Kreatur symbolisiert ein gleichseitiges Dreieck. (alle Seiten sind gleich lang, alle Winkel haben 60°)	Ein gleichseitiges Dreieck wird dadurch gekennzeichnet, dass alle drei Seiten dieselbe Farbe haben, selbes gilt für die Winkel. Werden alle angetippt, entwickelt er sich zu dieser Form. Befindet sich ein <i>Aequilaterus</i> in einem Dreieck und leuchtet, können die Seiten oder Winkel mit einem Double-Tab eingefärbt werden.
 Abb. 17: Quadrilaterum	Quadrilaterum: Die Kreatur symbolisiert ein allgemeines Viereck.	Durch das Verbinden von einer vierseitigen geometrischen Figur.
 Abb. 18: Rhombus	Rhombus: Die Kreatur symbolisiert eine Raute. (je 2 Seiten sind parallel, alle Seiten sind gleich lang)	Sind alle Seiten, die ein <i>Quadrilaterum</i> einschließen, gleich lang, können diese angetippt werden, um es zu einem <i>Rhombus</i> weiterzuentwickeln. Leuchtet ein <i>Rhombus</i> , können mit einem Double-Tab alle umliegenden Seiten eingefärbt werden.
 Abb. 19: Trapezium	Trapezium: Die Kreatur symbolisiert ein Trapez. (2 Seiten sind parallel)	Liegen zwei Seiten eines <i>Quadrilaterums</i> auf zwei durch gleichfärbige „fliegende Augen“ als parallel gekennzeichneten Geraden, können diese angetippt werden, um es zu einem <i>Trapezium</i> weiterzuentwickeln. Leuchtet ein <i>Trapezium</i> , kann man mit einem Double-Tab ein Paar „fliegende Augen“ beschwören.
 Abb. 20: Parallelogrammum	Parallelogrammum: Die Kreatur symbolisiert ein Parallelogramm. (je 2 Seiten sind parallel und gleich lang)	Liegen alle Seiten, die ein <i>Quadrilaterum</i> einschließen, auf je zwei durch gleichfärbige „fliegende Augen“ als parallel gekennzeichnete Geraden, können diese paarweise angetippt werden, um es zu einem <i>Parallelogrammum</i> weiterzuentwickeln. Leuchtet ein <i>Parallelogrammum</i> , können mit einem Double-Tab zwei Paare „fliegende Augen“ beschwört werden.




 Abb. 21: <i>Rectangulum</i>	Rectangulum: Die Kreatur symbolisiert ein Rechteck. <i>(je 2 Seiten sind parallel und gleich lang, alle Winkel haben 90°)</i>	Ist ein <i>Quadrilaterum</i> von vier rechten Winkeln umgeben, können diese alle angetippt werden, um es zu einem <i>Rectangulum</i> weiterzuentwickeln. Leuchtet ein <i>Rectangulum</i> , können mit einem Double-Tab alle umliegenden Winkel als rechte Winkel markiert werden.
 Abb. 22: <i>Trirectus</i>	Trirectus: Die Kreatur symbolisiert ein rechtwinkliges Dreieck. <i>(2 Seiten schließen einen 90° Winkel ein)</i>	Ist ein <i>Triangulum</i> in einem Dreieck, in dem ein rechter Winkel ist, kann dieser angetippt werden, um es zu einem <i>Trirectus</i> weiterzuentwickeln
 Abb. 23: <i>Quadrum</i>	Quadrum: Die Kreatur symbolisiert ein Quadrat. <i>(je 2 Seiten sind parallel, alle sind gleich lang, alle Winkel haben 90°)</i>	Ist ein <i>Quadrilaterum</i> von vier gleich langen/farbigen Seiten und von vier rechten Winkeln umgeben, können diese alle angetippt werden, um es, über ein <i>Rectangulum</i> oder einen <i>Rhombus</i> , zu einem <i>Quadrum</i> weiterzuentwickeln.

Tabelle 3: DragonBox Elements - Spielelemente

Unabhängig, ob es sich bei einer geometrischen Form um eine spezielle Form handelt, wird immer zuerst ein *Triangulum* oder ein *Quadrilaterum* erschaffen. Sonderformen müssen von den Spielenden erkannt und, teils schrittweise, hergeleitet werden.

Das Spiel deckt die folgenden Kompetenzen des Bildungsstandards für die 4. Schulstufe⁷⁵ und die 8. Schulstufe⁷⁶ ab:

Bildungsstandards für die 4. Schulstufe	
Allgemeine mathematische Kompetenzen	
Kompetenzbereich: Operieren (AK 2)	
AK2.1 Mathematische Abläufe durchführen	1. Die Schülerinnen und Schüler können [...] geometrische Figuren strukturieren. 3. Die Schülerinnen und Schüler können geometrische Konstruktionen durchführen.
Inhaltliche mathematische Kompetenzen	
Kompetenzbereich: Arbeiten mit Ebene und Raum (IK 4)	
IK4.1 Geometrische Figuren erkennen, benennen und darstellen	1. Die Schülerinnen und Schüler können geometrische Körper und Flächen benennen. 2. Die Schülerinnen und Schüler können die Eigenschaften geometrischer Figuren beschreiben. 3. Die Schülerinnen und Schüler können Modelle von geometrischen Körpern herstellen. 4. Die Schülerinnen und Schüler können geometrische Figuren zeichnen oder konstruieren.
IK4.2 Beziehungen bei	2. Die Schülerinnen und Schüler können vorgegebene geometrische Muster erkennen, selbst entwickeln oder fortsetzen.

⁷⁵ https://www.bifie.at/wp-content/uploads/2017/06/Deskriptoren_BiSt_M4.pdf [Letzter Zugriff am 11.12.2019].

⁷⁶ https://www.bifie.at/wp-content/uploads/2017/06/Deskriptoren_BiSt_M8.pdf [Letzter Zugriff am 12.12.2019].

geometrischen Figuren erkennen	3. Die Schülerinnen und Schüler können den Zusammenhang zwischen Plan und Wirklichkeit herstellen.
IK4.3 Mit geometrischen Figuren operieren	1. Die Schülerinnen und Schüler können geometrische Figuren zerlegen und sie wieder zusammensetzen. 2. Die Schülerinnen und Schüler können Netze den entsprechenden Körpern zuordnen und umgekehrt.
Bildungsstandards für die 8. Schulstufe	
Handlungsbereich H1: „Darstellen, Modellbilden“	
Inhaltsbereich I3: „Geometrische Figuren und Körper“	
H1.I3.K1	Die Schülerinnen und Schüler können gegebene geometrische Sachverhalte in eine (andere) mathematische Darstellung übertragen, wobei dafür das unmittelbare Einsetzen von Grundkenntnissen erforderlich ist.
H1.I3.K2	Die Schülerinnen und Schüler können gegebene geometrische Sachverhalte in eine (andere) mathematische Darstellung übertragen, wobei dafür auch Verbindungen zu anderen mathematischen Inhalten (Begriffen, Sätzen, Darstellungen) oder Tätigkeiten hergestellt werden müssen.
Handlungsbereich H2: „Rechnen, Operieren“	
Inhaltsbereich I3: „Geometrische Figuren und Körper“	
H2.I3.K2	Die Schülerinnen und Schüler können elementare geometrische Konstruktionen durchführen, wobei dafür auch Verbindungen zwischen Konstruktionsschritten, mit anderen mathematischen Inhalten (Begriffen, Sätzen, Darstellungen) oder Tätigkeiten hergestellt werden müssen.
H2.I3.K3	Die Schülerinnen und Schüler können Aussagen zur Abfolge, Zulässigkeit und Korrektheit elementarer geometrischer Konstruktionen machen und bewerten sowie Konstruktionsabläufe dokumentieren
Handlungsbereich H3: „Interpretieren“	
Inhaltsbereich I3: „Geometrische Figuren und Körper“	
H3.I3.K1	Die Schülerinnen und Schüler können geometrische Figuren, Körper und Eigenschaften/Beziehungen beschreiben und im jeweiligen Kontext deuten.
H3.I3.K2	Die Schülerinnen und Schüler können geometrische Figuren, Körper und Eigenschaften/Beziehungen beschreiben und im jeweiligen Kontext deuten, wobei dafür auch Verbindungen zu anderen mathematischen Inhalten (Begriffen, Sätzen, Darstellungen) oder Tätigkeiten hergestellt werden müssen.
H3.I3.K3	Die Schülerinnen und Schüler können Aussagen zur Angemessenheit und Aussagekraft kontextbezogener Interpretationen von geometrischen Figuren, Körpern und Eigenschaften/Beziehungen machen und bewerten.
Handlungsbereich H4: „Argumentieren, Begründen“	
Inhaltsbereich I3: „Geometrische Figuren und Körper“	
H4.I3.K1	Die Schülerinnen und Schüler können mathematische Argumente nennen bzw. Begründungen angeben, die für oder gegen ein bestimmtes geometrisches Modell, eine geometrische Darstellung, eine geometrische Konstruktion, eine geometrische Eigenschaft/Beziehung oder einen bestimmten geometrischen Lösungsweg sprechen.
H4.I3.K2	Die Schülerinnen und Schüler können mathematische Argumente nennen bzw. Begründungen angeben, die für oder gegen ein bestimmtes geometrisches Modell, eine geometrische Darstellung, eine geometrische Konstruktion, eine geometrische Eigenschaft/Beziehung oder einen bestimmten geometrischen Lösungsweg sprechen, wobei dafür auch Verbindungen zu anderen mathematischen Inhalten (Begriffen, Sätzen, Darstellungen) oder Tätigkeiten hergestellt werden müssen.

Tabelle 4: DragonBox Elements - Kompetenzen

4.3.3 Algebra 5+ und Algebra 12+

„DragonBox – Algebra 5+“ und „DragonBox – Algebra 12+“ fokussieren, dem Namen folgend, den Kernbereich der Algebra. Das vorhergehende Spiel „DragonBox Algebra“ wurde mit der Absicht, eine breitere Zielgruppe zu haben und niederschwelliger zu sein, aufgeteilt. Die erste Variante zielt auf Kinder ab dem Alter von fünf Jahren ab, die zweite ab einem Alter von neun bzw. zehn Jahren. Inhaltlich gibt es eine Überlappung, aber die Geschwindigkeit sowie die Lernschritte unterscheiden sich drastisch. Im Zuge des Spieles werden die Spielenden intuitiv mit den wichtigen Grundpfeilern der Algebra vertraut gemacht.

Definition Eine Gruppe ist ein Monoid G , so dass jedes Element von G ein inverses Element besitzt. Im Einzelnen bedeutet dies, man hat eine Menge G mit einer Verknüpfung $G \times G \rightarrow G, (a, b) \mapsto ab$, welche folgenden Eigenschaften genügt:

- (i) Die Verknüpfung ist assoziativ, d. h. es gilt $(ab)c = a(bc)$ für $a, b, c \in G$.
- (ii) Es existiert ein Einselement, d. h. ein Element $e \in G$ mit $ea = a = ae$ für alle $a \in G$.
- (iii) Zu jedem $a \in G$ gibt es ein inverses Element, d. h. ein $b \in G$ mit $ab = e = ba$. Die Gruppe heißt kommutativ oder abelsch, falls die Verknüpfung kommutativ ist, d. h. falls
- (iv) $ab = ba$ für alle $a, b \in G$ gilt.⁷⁷

Wenngleich diese Definition nicht verbalisiert wird, werden Spielende im Zuge des Spielverlaufes behutsam an sie herangeführt. Außerdem wird ein Nullelement von Beginn an verwendet. Die Grundidee des Spieles ist es, den Spielenden niederschwellig Äquivalenzumformungen näherzubringen und ihnen das hier zitierte nötige Werkzeug zu vermitteln, sie zu lösen und im Folgeschritt tiefer in die Materie der Algebra vorzudringen.

Die Core-Mechanik beider Spiele setzt sich zusammen aus dem hier gezeigten Spielfeld, das sich aus zwei Feldern und einem „Deck“, den „Karten“, die Spielenden zur Verfügung stehen, bildet. Neben dieser Spielumgebung, auf die im



Abb. 24: Dragonbox Algebra 5+ Gameplay

Anschluss noch weiter eingegangen wird, sind die der folgenden Tabelle entnehmbaren Spielelemente von essenzieller Bedeutung:

⁷⁷ Bosch, Siegfried: Algebra. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 2009, S.11.


Einstiegs- Abstraktion	Im weiteren Spielverlauf	Beschreibung
 Abb. 25	 Abb. 26	Die DragonBox beinhaltet einen Drachen, der alleine in seinem Feld sein möchte. Ein weiteres Merkmal sind Funken, die die Box umkreisen. Diese Funken umkreisen auch das X, das die Box im Spielverlauf immer wieder ersetzt. Folglich handelt es sich hierbei um die Unbekannte.
 Abb. 27	 Abb. 28	Es gibt mehrere Karten, auf denen Tiere abgebildet sind. Sie stehen für Konstante und werden im weiteren Spielverlauf oft durch die Buchstaben a-f ersetzt. Hier zu sehen ist die „Day-Card“, die positiv ist.
 Abb. 29	 Abb. 30	Die „Night-Card“ oder „Gegenkarte“ steht immer für das <i>inverse Element</i> . In diesem Fall wird das Inverse Element der vorherigen Karte abgebildet. Werden Symbole verwendet, ist das inverse Element immer schwarz hinterlegt, angelehnt an den Gegensatz Tag und Nacht, werden Variablen oder Ziffern verwendet, gibt es aber keinen farblichen Unterschied mehr, da das Minus verwendet wird.
 Abb. 31	 Abb. 32	Ein Vortex entsteht, wenn eine Day- und eine Night-Card des selben Typs fusioniert werden. Tippt man auf den Vortex, verschwindet dieser. Im späteren Spielverlauf wird ersichtlich, dass es sich hierbei um die 0 handelt.
 Abb. 33	 Abb. 34	Zahlen werden in Form von Würfeln eingeführt, und später mit arabischen Ziffern geschrieben. Die „Night-Card“ ist entweder ein farblich invertierter Würfel, oder eine Minuszahl.
 Abb. 35	 Abb. 36	Das Einselement wird später eingeführt und durch die Verknüpfung mit dem Punkt dargestellt. Im Game Design wird damit gearbeitet, indem das Einselement mit der verbundenen Karte fusioniert wird und dadurch verschwindet.

Tabelle 5: DragonBox Algebra 5+ & 12+ - Spielelemente
Abb. 22.-33. Zeigen die wichtigsten Elemente von DragonBox Algebra

Die *Core-Mechanik* beider Spiele lässt sich wie folgt beschreiben:

In den beiden Feldern befinden sich, neben der DragonBox, Karten. Ziel jedes Levels ist es, die Box auf einer Seite zu isolieren, damit sich der Drache aus seiner Box wagt. Dieses Ziel wird erreicht, indem Karten mit ihrem inversen Element kombiniert werden. Dies bildet einen *Vortex*, der mittels Antippens verschwindet. Ist die Box alleine, scannt sie das Feld, in dem sie sich befindet, und das Level ist gelöst. Bei der Auswertung, den Belohnungen, sind bis zu drei Sterne pro Level erreichbar, ein Stern für das Lösen, ein Stern dafür, dass ein Minimum an Zügen, mathematisch gesehen also Operationen, verwendet wurde. Ein dritter Stern wird für die richtige Menge an übrig gebliebenen Karten vergeben, also die „schönste“ Lösung, bei der keine

Redundanzen auf der anderen Seite vorkommen, wie zum Beispiel ein Vortex oder das (inverse) Pendant einer Karte.

Ein wichtiger Faktor in beiden Spielen ist auch die stetige Lernkurve. Bei „DragonBox Algebra 5+“ wird beim Einstieg mittels einer Animation das primäre Ziel erklärt (2 Felder, eine Box, die isoliert gehört). Um das zu bewerkstelligen, müssen in den



Abb. 37: DragonBox Algebra 5+ - Aufbau: Vortex

ersten beiden Levels lediglich *Vortices* durch einfaches Antippen entfernt werden. Das Wissen, dass eine 0 wegfällt, ist essenziell für das Spiel, aber ebenso für die Algebra selbst.

Im nächsten Schritt wird gezeigt, wie diese Wirbel gebildet werden können, nämlich indem Karten mit ihrem inversen Element fusioniert werden. Von Beginn an werden sowohl Tierkarten als auch Würfel verwendet. Damit wird schon sehr bald das Konzept von Konstanten vermittelt. Das



Abb. 38: DragonBox Algebra 5+ Aufbau: inverses Element

Kommutativgesetz wird hier bereits indirekt eingeführt, denn, wo die Blöcke in dem Feld liegen, verändert sich das Gleichgewicht zwischen den beiden Feldern nicht. Viel später wird die additive Verknüpfung auch durch das Anzeigen eines „+“ Symbols explizit sichtbar gemacht. Die Subtraktion wird hier nicht direkt gezeigt, sondern durch die inversen Elemente.

Als nächstes wird das Deck eingeführt und mit diesem die erste Operation durchgeführt. In diesem Level wird explizit darauf hingewiesen, dass eine Äquivalenzumformung immer beide Seiten betrifft. Das Spiel verhindert konsequent jede Handlung, solange ein Element nicht in beiden Feldern hinzugefügt wurde. Ein weiterer Hinweis wird durch die Vertiefung auf dem noch unvollständigen Feld gegeben. Anfangs werden die Karten fix vorgegeben, doch nach einer kurzen Eingewöhnungsphase wird die Fähigkeit aktiviert, durch ein Antippen der Karten im Deck



Abb. 39: DragonBox Algebra 5+ Aufbau: 1. Operation

selbst zu entscheiden, ob man sich für die helle oder die dunkle Seite entscheidet.

Diese Symbolik wird bei den nächsten Mechaniken, die eingeführt werden, übernommen. Gegen Ende jedes Kapitels wird der abstrakte Zugang immer konkreter durch Terme dargestellt. Die Box wird durch ein X ersetzt, die Tiere und Würfel stetig durch Konstante und Zahlen. So soll den Spielenden der Transfer zu realen mathematischen Problemen besser gelingen.

Im Zuge des Durchspiels werden als Nächstes Brüche eingeführt. Das Kürzen wird hierbei so erklärt, dass, so es möglich ist, die Karte aus dem Zähler zu der im Nenner gezogen wird. Dadurch entsteht ein Einselement. Dieses kann entweder stehen bleiben oder, wenn es durch eine Multiplikation an ein anderes Element gebunden ist, mit selbigem fusioniert werden.

Der letzte und wichtigste Schritt ist die Möglichkeit, Brüche zu erweitern, indirekt aber, die Multiplikation einzuführen.

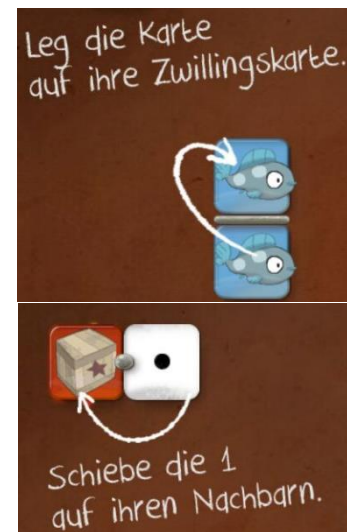


Abb. 40: DragonBox Algebra 5+ Aufbau: Brüche und Einselement



Abb. 42: DragonBox Algebra 5+ Aufbau: Brüche erstellen

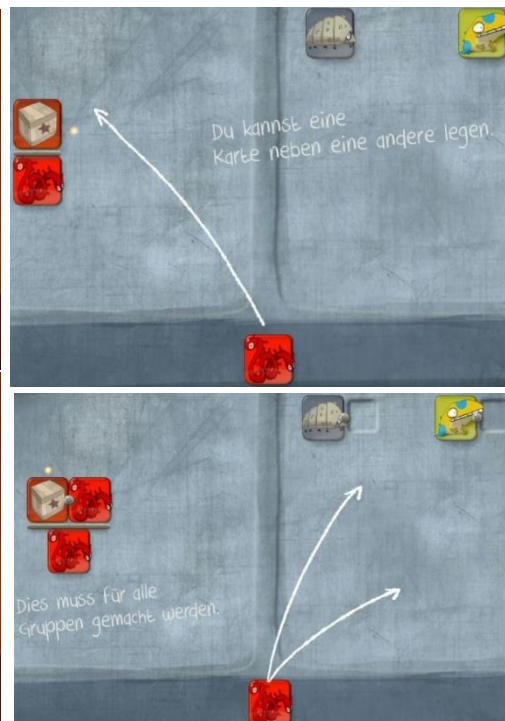


Abb. 42: DragonBox Algebra 5+ Aufbau: Brüche multiplikativ erweitern

Hier wird wieder implizit erklärt, dass eine derartige Operation alle Elemente betrifft. Das Gelernte wird dann bis zum Ende von Kapitel 3 geübt und gefestigt.

In Kapitel 4 wird den Spielenden gezeigt, dass es sich tatsächlich um Gleichungen handelt, indem die einzelnen Elemente mit einem + - Symbol verknüpft werden und

in Kapitel 5 wird der nächste Abstraktionsschritt vorgenommen, indem die Felder nicht mehr angezeigt werden. Hier wird die Kommutativität nun explizit gezeigt, da die additiven Elemente einfach vertauscht werden können.

Wurde das Spiel einmal durchgespielt, gibt es einen Modus, in dem alle Level mit Termen und Zahlen noch einmal bestreitbar sind.



Abb. 44: DragonBox Algebra 5+ Transfer in Kapitel 4



Abb. 44: DragonBox Algebra 5+ Transfer in Kapitel 5

"DragonBox 12+ helped to enhance algebraic thinking and attitudes toward algebra among students compared to students taught using conventional methods"⁷⁸

Die Fortsetzung, *DragonBox 12+*, hat ein zügigeres Tempo. In zwei der zehn Kapitel, die auch weniger Level enthalten, werden die bereits beschriebenen Funktionen wiederholt. Direkt darauf folgt eine Fähigkeit, die bereits ein tieferes Verständnis voraussetzt und das Gameplay beschleunigt. Ab Kapitel 3 können Spielende einen Summanden von einem Feld in das andere verschieben, wobei die Karte auf die „Night“- oder die „Day-Side“ geflippt wird oder das Vorzeichen automatisch durch einen einäugigen „Night-Side“ Würfel, bzw. später eine (-1), erweitert wird. Ab Kapitel 4 können Würfel und Zahlenkarten zu einer Karte, die die Summe anzeigt, fusioniert werden. Ebenso kann mit einem Doubletap eine Zahl in ihre Faktoren zerlegt werden. Indirekt wird hier die Primfaktorzerlegung angewendet, oder genauer, ihr erster Schritt. Das Ergebnis ist ein Produkt aus den kleinsten Primfaktoren der Zahl und dem multiplikativen Rest. Veranschaulicht werden kann das im Spiel mit Zahlen von 1 bis 99.



Abb. 46: DragonBox Algebra 12+ Produkt teilen und bilden

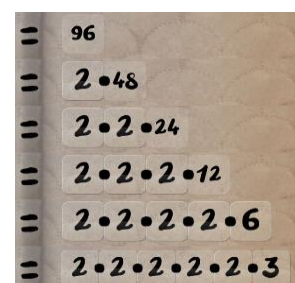


Abb. 45: DragonBox Algebra 12+ Primfaktorzerlegung

⁷⁸ Siew, Nyet Moi, Geoffrey, Jolly u.a.: Students' Algebraic Thinking and Attitudes towards Algebra: The Effects of Game-Based Learning using Dragonbox12+ App. In: Electronic Journal of Mathematics & Technology, 10(1). Blacksburg: Mathematics & Technology, LLC 2016, S.75.

Kapitel 5 führt die Umwandlung zweier multiplizierter Blöcke zu deren inversen Seite ein. Befinden sich zwei negative Karten in einem Produkt, können sie so umgewandelt werden, ist keine oder nur eine Karte negativ, so wird automatisch ein einäugiger „Night-Side“ Würfel bzw. eine (-1) Karte generiert. Dies wird in jeder Variation, bei Brüchen, aber auch bei Multiplikationen mit den Karten, die Bilder zeigen, und mit den Karten, die Variablen und Zahlen zeigen, gefestigt.

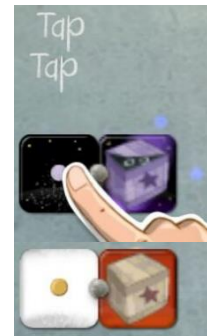


Abb. 47: DragonBox Algebra 12+ Umwandeln negativ und positiv

In Kapitel 6 wird das Rechnen mit Klammern thematisiert. Auch hier wird ein didaktisch fundierter Rahmen gewählt. Als erstes wird ein neues Element und damit einhergehend eine neue Fähigkeit vorgestellt. Es handelt sich hierbei um *Blasen*, die in ihrem Erscheinen an Seifenblasen erinnern, die eine oder mehrere Karten oder auch *Blasen* beinhalten können. Innerhalb der *Blasen* wird immer eine additive Verknüpfung angezeigt, auch in Levels, in denen sonst darauf verzichtet wird. Mittels eines Doubletaps kann eine solche *Blase* zum Platzen gebracht werden, also die Klammer aufgelöst werden. Da allgemein nur mit der Addition zwischen Elementen gearbeitet wird, gibt es hier keine Gefahr, einen Vorzeichenwechsel zu übersehen.



Abb. 48: Dragon-Box Algebra 12+ Einführen Klammern

Nachdem diese Tatsache in allen Variationen präsentiert wurde, wird gezeigt, dass diese *Blasen* mit einer Karte multipliziert bzw. durch eine Karte dividiert werden können. Sobald eine derartige Operation vorliegt, friert die äußerste *Blase* zu einem Eisblock ein. Innerhalb dieser Figur kann gearbeitet werden, aber das Element selbst kann erst dann eliminiert werden, wenn das Distributivgesetz angewandt wurde, so dass die Multiplikation oder die Division für jedes Element innerhalb des Blockes durchgeführt wurde, wodurch das Eis „schmilzt“, das Eis zu einer *Blase* wird und somit entfernt werden kann. Dieses Erweitern wird weiter gefestigt, bis es komplett mit Variablen und Zahlen geübt wurde.



Abb. 49: DragonBox Algebra 12+: Klammern mit Multiplikation/ Division

Das nächste Kapitel behandelt ebenso das Distributivgesetz, allerdings die Umkehrung des vorherigen Abschnittes. Wenn jede Gruppe in einer *Blase*, unabhängig von ihrem Status, ein gleiches Element hat, kann dieses herausgehoben werden, wodurch es vor die Klammer gestellt und durch eine Karte mit dem Wert „1“ ersetzt wird. Dadurch entstehen eine Multiplikation bzw. Division mit einer *Blase*, die, sofern das noch nicht der Fall war, einfriert und mit der dann weitergearbeitet werden kann. Außerdem wird explizit darauf verwiesen, dass additive Elemente in eine *Blase* hinzugefügt werden können oder *Blasen* auch ganz neu erstellt werden können.



Abb. 50: DragonBox Algebra 12+: Herausheben

Zur Vollständigkeit wird hier auch das Erweitern von Zahlen eingeführt. Eine Karte kann durch ein *Wischen* nach links oder rechts um das Einselement erweitert werden. Sobald dieses existiert, kann dieses durch ein *Wischen* nach unten zu einem Bruch erweitert werden, indem auf eine andere existierende Karte getippt wird. Im weiteren Verlauf dieses Kapitels wird das Erweitern und Kürzen von Brüchen und Zusammenfassen in Klammern geübt.



Abb. 51: DragonBox Algebra 12+: Brüche erweitern

Nachdem in Kapitel 8 das Fusionieren von Gruppen, die die gleiche Karte und einen Koeffizienten enthalten, eingeführt wird, führt Kapitel 9 das Fusionieren von mehreren Karten oder *Blasen/ Eisblöcken* zu einer einzelnen Karte ein, gefolgt von dem Umwandeln einer solchen Karte in den eingeschlossenen Block. In den letzten beiden Teilen des Hauptspieles wird auch die letzte Transferleistung vollzogen, indem die *Blasen* sich zu Klammern wandeln, bei denen nicht mehr gezeigt wird, ob man sie auflösen kann oder nicht. Ab diesem Zeitpunkt werden negative Blöcke, so sie Variablen oder Zahlen zeigen, auch mathematisch korrekt mit Klammern gezeigt.

Neben dem normalen Spielmodus wird, nach dem Absolvieren desselben, ein neuer Modus namens „B-Side“ freigeschalten. In diesem können explizit die folgenden Themengebiete geübt werden:

- Variablen
- Ausmultiplizieren
- Faktorisieren
- Terme
- Brüche
- X im Nenner

Im Spiel kann man, wenn man es für gewisse Zwecke verwenden will, bedauerlicherweise keinen eigenen Level erstellen, aber im Rahmen der Level, die vorgegeben sind, können neben der bereits erwähnten Primfaktorzerlegung auch Doppelbrüche gezeigt werden. Diese können nicht durch einen Kehrwert oder ähnliches gelöst werden, aber die Illustration kann Schülerinnen und Schülern einen leichteren Einstieg in die oft so negativ besetzte Materie ermöglichen. Ein didaktischer Zugang könnte beispielsweise sein, gewisse Formen darzustellen und zu lösen und den Vorgang mit Screenshots zu dokumentieren.

Beide Spiele decken die folgenden Kompetenzen ab:

Bildungsstandards für die 4. Schulstufe	
Allgemeine mathematische Kompetenzen	
Kompetenzbereich: Modellieren (AK 1)	
AK1.1 Eine Sachsituation in ein mathematisches Modell (Terme und Gleichungen) übertragen, dieses lösen und auf die Ausgangssituation beziehen	2. Die Schülerinnen und Schüler können passende Lösungswege finden.
AK1.2 Ein mathematisches Modell in eine Sachsituation übertragen	1. Die Schülerinnen und Schüler können zu Termen und Gleichungen Sachaufgabenerstellen.
Kompetenzbereich: Operieren (AK 2)	
AK2.1 Mathematische Abläufe durchführen	2. Die Schülerinnen und Schüler können arithmetische Operationen und Verfahren durchführen.
Kompetenzbereich: Kommunizieren (AK 3)	
AK3.1 Mathematische Sachverhalte verbalisieren und begründen	1. Die Schülerinnen und Schüler können mathematische Begriffe und Zeichen sachgerecht in Wort und Schrift benützen. 2. Die Schülerinnen und Schüler können ihre Vorgangsweisen beschreiben und protokollieren. 3. Die Schülerinnen und Schüler können Lösungswege vergleichen und ihre Aussagen und Handlungsweisen begründen.
AK3.2 Mathematische Sachverhalte in unterschiedlichen Repräsentationsformen darstellen	1. Die Schülerinnen und Schüler können ihre Vorgangsweisen in geeigneten Repräsentationsformen festhalten.
Inhaltliche mathematische Kompetenzen	
Kompetenzbereich: Arbeiten mit Zahlen (IK 1)	
IK1.3	1. Die Schülerinnen und Schüler können Bruchzahlen darstellen,

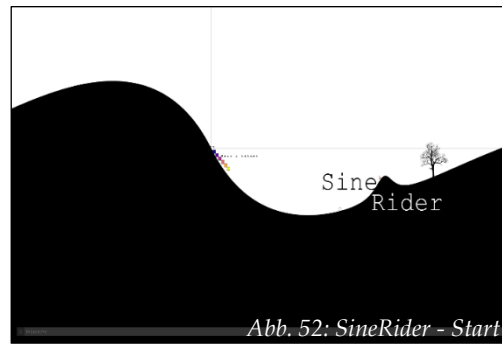
Das Wesen der Bruchzahl verstehen	2. Die Schülerinnen und Schüler können Bruchzahlen vergleichen, ordnen und zerlegen.
Kompetenzbereich: Arbeiten mit Operationen (IK 2)	
IK2.1 Die vier Grundrechnungsarten und ihre Zusammenhänge verstehen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Die Schülerinnen und Schüler verfügen über Einsicht in das Wesen von Rechenoperationen. 2. Die Schülerinnen und Schüler können die Zusammenhänge zwischen den Grundrechnungsarten erklären. 3. Die Schülerinnen und Schüler können Umkehroperationen verwenden, auch zur sinnvollen Überprüfung des Ergebnisses. 4. Die Schülerinnen und Schüler können Tausch-, Nachbar- und Analogieaufgaben verwenden.
IK2.2 Mündliches Rechnen sicher beherrschen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Die Schülerinnen und Schüler beherrschen sicher und schnell additive Grundaufgaben im Zahlenraum 20. 2. Die Schülerinnen und Schüler beherrschen sicher und schnell multiplikative Grundaufgaben im Zahlenraum 100. 3. Die Schülerinnen und Schüler können nicht automatisierte Rechenoperationen in Teilschritten durchführen. 4. Die Schülerinnen und Schüler können einfache Gleichungen mit Platzhaltern lösen. 5. Die Schülerinnen und Schüler können Ergebnisschätzungen mit Hilfe von Überschlagsrechnungen durchführen.
IK2.3 Schriftliche Rechenverfahren beherrschen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Die Schülerinnen und Schüler verstehen die Algorithmen der schriftlichen Rechenverfahren. 2. Die Schülerinnen und Schüler können die Algorithmen der schriftlichen Verfahren für Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division durchführen.
Bildungsstandards für die 8. Schulstufe	
Handlungsbereich H1: „Darstellen, Modellbilden“	
Inhaltsbereich I2: „Variable, funktionale Abhängigkeiten“	
H1.I3.K1	Die Schülerinnen und Schüler können gegebene geometrische Sachverhalte in eine (andere) mathematische Darstellung übertragen, wobei dafür das unmittelbare Einsetzen von Grundkenntnissen erforderlich ist.
H1.I3.K2	Die Schülerinnen und Schüler können gegebene geometrische Sachverhalte in eine (andere) mathematische Darstellung übertragen, wobei dafür auch Verbindungen zu anderen mathematischen Inhalten (Begriffen, Sätzen, Darstellungen) oder Tätigkeiten hergestellt werden müssen.
Handlungsbereich H2: „Rechnen, Operieren“	
Inhaltsbereich I1: „Zahlen und Maße“	
H2.I1.K1	Die Schülerinnen und Schüler können elementare Rechenoperationen (+, -, •, /) mit konkreten Zahlen und Größen durchführen [...].
H2.I1.K2	Wie [H2.I1.K1], wobei diese (Rechen-)Operationen miteinander, mit anderen mathematischen Inhalten (Begriffen, Sätzen, Darstellungen) oder Tätigkeiten verbunden werden müssen.
H2.I1.K3	Die Schülerinnen und Schüler können Aussagen zur Abfolge, Wirkung, Zulässigkeit, Genauigkeit und Korrektheit arithmetischer Operationen und Lösungswege machen und bewerten sowie Rechenabläufe dokumentieren.
H2.I2.K1	Die Schülerinnen und Schüler können elementare Rechenoperationen (+, -, •, /) mit Variablen und Termen durchführen, einfache Terme und (Un-)Gleichungen umformen sowie einfache (Un-)Gleichungen [...] lösen.

H2.I2.K2	[H2.I2.K1], wobei diese (Rechen-)Operationen miteinander, mit anderen mathematischen Inhalten (Begriffen, Sätzen, Darstellungen) oder Tätigkeiten verbunden werden müssen.
H2.I2.K3	Die Schülerinnen und Schüler können Aussagen zur Abfolge, Wirkung, Zulässigkeit und Korrektheit algebraischer Operationen und Lösungswege machen und bewerten sowie Rechenabläufe dokumentieren.
Handlungsbereich H4: „Argumentieren, Begründen“	
Inhaltsbereich I1: „Zahlen und Maße“	
H4.I1.K1	Die Schülerinnen und Schüler können mathematische Argumente nennen bzw. Begründungen angeben, die für oder gegen ein bestimmtes arithmetisches (Rechen-)Modell, eine arithmetische Operation, eine arithmetische Eigenschaft/Beziehung, einen arithmetischen Lösungsweg oder eine bestimmte Lösung sprechen.
H4.I1.K2	Die Schülerinnen und Schüler können mathematische Argumente nennen bzw. Begründungen angeben, die für oder gegen ein bestimmtes arithmetisches (Rechen-)Modell, eine arithmetische Operation, eine arithmetische Eigenschaft/Beziehung, einen arithmetischen Lösungsweg oder eine bestimmte Lösung sprechen, wobei dafür auch Verbindungen zu anderen mathematischen Inhalten (Begriffen, Sätzen, Darstellungen) oder Tätigkeiten hergestellt werden müssen.
H4.I1.K3	Die Schülerinnen und Schüler können zutreffende und unzutreffende mathematische Argumente bzw. Begründungen bezüglich arithmetischer (Rechen-)Modelle, arithmetischer Operationen, arithmetischer Eigenschaften/Beziehungen, arithmetischer Lösungswege oder Lösungen erkennen sowie begründen, warum eine arithmetische Argumentation oder Begründung un-/zutreffend ist.
Inhaltsbereich I2: „Variable, funktionale Abhängigkeiten“	
H4.I2.K1	Die Schülerinnen und Schüler können mathematische Argumente nennen bzw. Begründungen angeben, die für oder gegen ein bestimmtes algebraisches oder funktionales Modell, eine algebraische oder funktionale Darstellung, eine algebraische Operation oder einen bestimmten algebraischen Lösungsweg sprechen.
H4.I2.K2	Die Schülerinnen und Schüler können mathematische Argumente nennen bzw. Begründungen angeben, die für oder gegen ein bestimmtes algebraisches oder funktionales Modell, eine algebraische oder funktionale Darstellung, eine algebraische Operation oder einen bestimmten algebraischen Lösungsweg sprechen, wobei dafür auch Verbindungen zu anderen mathematischen Inhalten (Begriffen, Sätzen, Darstellungen) oder Tätigkeiten hergestellt werden müssen.
H4.I2.K3	Die Schülerinnen und Schüler können zutreffende und unzutreffende mathematische Argumente bzw. Begründungen bezüglich algebraischer oder funktionaler Darstellungen und Modelle, bezüglich algebraischer Operationen oder algebraischer Lösungswege erkennen sowie begründen, warum eine algebraische oder funktionale Argumentation bzw. Begründung un-/zutreffend ist.

Tabelle 6: DragonBox Algebra 5+ & 12+ - Kompetenzen

4.4 „SineRider“⁷⁹

Bei dem Spiel „SineRider“ handelt es sich auch um ein Best Practice Serious Game, das sich seit Mai 2014⁸⁰, die erste Veröffentlichung war im Oktober desselben Jahres⁸¹, stetig in Entwicklung befindet. Es beschäftigt sich mit der grafischen Darstellung von Funktionen und



wurde inspiriert durch das Spiel „LineRider“, in dem Spielende eine Linie zeichnen, auf der eine Spielfigur auf einem Schlitten, den Gesetzen der Schwerkraft folgend, entlanggleitet. Diese Adaption besteht derzeit aus 20 mathematischen Rätseln, die durch die Veränderung einer Funktion gelöst werden können. Die Veränderung wird live durch ein Kalkulationssystem erfasst und graphisch umgesetzt. Der Graph selbst fungiert dabei als Untergrund, auf dem die Figur sich wie bei „LineRider“ verhält. Alles unter dem Graphen der Funktion Liegende wird schwarz eingefärbt, alles Darüberliegende weiß. In jedem Level befinden sich Quadrate, die, sobald die Spielfigur sie berührt, farblich gefüllt werden. Ist das mit allen Objekten in einem Level passiert, gilt dieses als gelöst. Zu Beginn jedes Levels sieht man, wo sich die Objekte befinden, wo sich die Spielfigur befindet und wie die aktuelle Funktion geplottet wird. Darüber hinaus gibt es in jedem Level einen Lösungshinweis. Wurde die Funktion nach den eigenen Vorstellungen bearbeitet, wird durch das Drücken des „Start“-Buttons die Spielfigur, der Schwerkraft folgend, in Bewegung versetzt. Primärziel des Spiels ist eine Vermittlung des Verhaltens von Funktionen, der Verwandtschaft zwischen Funktion und Graph und die Auswirkungen der Veränderung des ersten auf das zweite. Ein sekundäres Ziel ist das Vermitteln der Abbildung von besonderen Funktionen. Mit jedem Level wird neues Wissen vermittelt. Für die Vermittlung der behandelten mathematischen Felder ist das von Vorteil. Ein Nachteil allerdings ist, dass es, im Gegensatz beispielsweise zu DragonBox Algebra, keine Wiederholungen und somit auch kein Üben gibt.

⁷⁹ <http://www.sinerider.com/> [Letzter Zugriff am 22.12.2019].

⁸⁰ <http://www.imgur.com/a/SjhII> [Letzter Zugriff am 22.12.2019].

⁸¹ <http://www.web.archive.org/web/20141018090925/http://sineridergame.com/> [Letzter Zugriff am 22.12.2019].

Dennoch besteht sicherlich ein Mehrwert durch dieses zusätzliche Angebot für Lernende. Lehrende können ausgewählte Level verwenden, um spezielle Funktionen und deren besondere Eigenschaften gut zu illustrieren oder selbst eine Funktion eingeben und ein Level erstellen.

Das Spiel beginnt mit einer Funktion 1. Grades, die parallel zur X-Achse ist, mit der „vorgeschlagenen“ Funktion $y = -2$. Durch (mehrmaliges) Probieren und Hilfestellungen wird man zu der Lösung, $y = 4$,

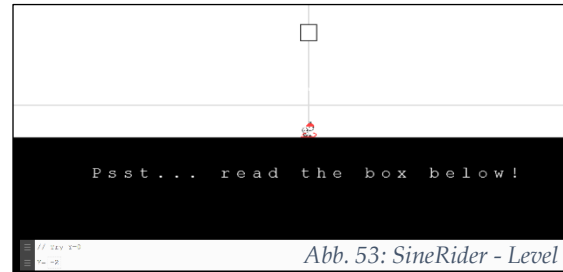


Abb. 53: SineRider - Level

geführt. Ziel dieses Levels ist es, die Spielerinnen und Spieler mit der Mechanik vertraut zu machen. In den folgenden vier Etappen werden unterschiedliche Geraden im Raum auf jede mögliche Art verändert, das Wissen bezüglich der negativen Zahlen und Brüche wird vorausgesetzt, der Einfluss der Konstanten „k“ und „d“ hingegen wird aufgezeigt. In Level 7 wird dann ein Faktor „t“, eine zeitliche Komponente, eingeführt, die einen Graphen stetig verändert.

Anschließend wird zu Polynomfunktionen übergegangen und auch hier nähergebracht, welche Auswirkungen die Veränderung der Koeffizienten auf den Graphen hat. Der Einstieg wird über die Parabel x^2 gemacht, wobei nicht nur die Verschiebung entlang der

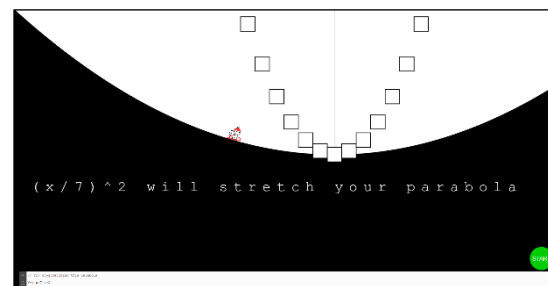


Abb. 54: SineRider - Parabeln

X- bzw. Y- Achse, sondern auch die Streckung umgesetzt wird. Abschließend wird die Sinusfunktion behandelt.

Da es hier wie in wenigen anderen Applikationen gelingt, einen direkten Konnex zwischen einer Funktion und ihrem Graphen herzustellen und in Realtime die der Veränderung einzelner Koeffizienten grafisch umgesetzt wird, kann spielerisch eine Fülle an Erkenntnissen herbeigeführt werden. Das Programm kann aber nicht nur dem Verständniserwerb dienlich sein, sondern auch bei der Wissensfestigung und -wiederholung zum Einsatz kommen. Dem Grundkompetenzkatalog der

standardisierten Mathematikmatura⁸² folgend, deckt das Spiel eine Fülle an Teilkompetenzen ab.

AG	Inhaltsbereich Algebra und Geometrie
AG1	Grundbegriffe der Algebra
AG 1.2	Wissen über algebraische Begriffe angemessen einsetzen können: Variable, Terme, Formeln, (Un-)Gleichungen, Gleichungssysteme; Äquivalenz, Umformungen
FA 4	Polynomfunktion $[\sum_{i=0}^n a_i \cdot x^i \text{ mit } n \in \mathbb{N}]$
AG 2.2	lineare Gleichungen aufstellen, interpretieren, umformen/lösen und die Lösung im Kontext deuten können
AG 2.3	quadratische Gleichungen in einer Variablen umformen/lösen, Lösungen und Lösungsfälle (auch geometrisch) deuten können
FA	Inhaltsbereich Funktionale Abhängigkeiten
FA1	Funktionsbegriff, reelle Funktionen, Darstellungsformen und Eigenschaften
FA 1.1	Für gegebene Zusammenhänge entscheiden können, ob man sie als Funktionen betrachten kann
FA 1.2	Formeln als Darstellung von Funktionen interpretieren und den Funktionstyp zuordnen können
FA 1.4	Aus Tabellen, Graphen und Gleichungen von Funktionen Werte(paare) ermitteln und im Kontext deuten können
FA 1.5	Eigenschaften von Funktionen erkennen, benennen, im Kontext deuten und zum Erstellen von Funktionsgraphen einsetzen können: Monotonie, Monotonie Wechsel (lokale Extrema), Wendepunkte, Periodizität, Achsensymmetrie, asymptotisches Verhalten, Schnittpunkte mit den Achsen
FA 1.7	Funktionen als mathematische Modelle verstehen und damit verständlich arbeiten können
FA 1.9	Einen Überblick über die wichtigsten Typen mathematischer Funktionen geben, ihre Eigenschaften vergleichen können
FA 2	Polynomfunktion $f(x) = k \cdot x + d$
FA 2.1	Verbal, tabellarisch, grafisch oder durch eine Gleichung (Formel) gegebene lineare Zusammenhänge als lineare Funktionen erkennen bzw. betrachten können; zwischen diesen Darstellungsformen wechseln können
FA 2.2	Die Wirkung der Parameter k und d kennen und die Parameter in unterschiedlichen Kontexten deuten können
FA 3	Potenzfunktion mit $f(x) = a \cdot x^z + b, z \in \mathbb{Z}; f(x) = a \cdot x^{\frac{1}{2}} + b$
FA 3.1	Verbal, tabellarisch, grafisch oder durch eine Gleichung (Formel) gegebene Zusammenhänge dieser Art als entsprechende Potenzfunktionen erkennen bzw. betrachten können
FA 3.3	Die Wirkung der Parameter a und b kennen und die Parameter im Kontext deuten können
FA 4	Polynomfunktion $[\sum_{i=0}^n a_i \cdot x^i \text{ mit } n \in \mathbb{N}]$
FA 4.1	typische Verläufe von Graphen in Abhängigkeit vom Grad der Polynomfunktion (er)kennen
FA 5	Exponentialfunktion $f(x) = a \cdot bx$ bzw. $f(x) = a \cdot e^{\lambda x}, a, b \in \mathbb{R}$
FA 5.1	grafisch oder durch eine Gleichung (Formel) gegebene exponentielle Zusammenhänge als Exponentialfunktion erkennen bzw. betrachten können

⁸²https://www.matura.gv.at/fileadmin/user_upload/downloads/Begleitmaterial/MA/srp_ma_grundkonzept_2019-09-03.pdf [Letzter Zugriff am 06.06.2020].

FA 5.3	Die Wirkung der Parameter a und b (bzw. $e^{\lambda x}$) kennen und die Parameter in unterschiedlichen Kontexten deuten können
FA 5.4	Charakteristische Eigenschaften $f(x + 1) = b \cdot f(x)$; $(e^x)' = e^x$ kennen und im Kontext deuten können
FA 6	Sinusfunktion, Cosinusfunktion
FA 6.1	Grafisch oder durch eine Gleichung (Formel) gegebene Zusammenhänge der Art $f(x) = a \cdot \sin(b \cdot x)$, allgemeine Sinusfunktion erkennen bzw. betrachten können; zwischen diesen Darstellungsformen wechseln können
FA 6.3	Die Wirkung der Parameter a und b kennen und die Parameter im Kontext deuten können
FA 6.4	Periodizität als charakteristische Eigenschaft kennen und im Kontext deuten können

5 Eigene Entwicklung – Das Serious Game *Patorimath*

Im folgenden Kapitel wird das von mir entworfene und entwickelte Spiel *Patorimath* beschrieben. Es handelt sich dabei um ein Serious Game, das den Spielenden einen anderen Zugang zu dem mathematischen Feld der Kurvendiskussion, genauer Themen wie Differential- und Integralrechnung oder den Null-, Extrem- und Wendestellen, ermöglichen soll. Es wird auch der Entwicklungsprozess auszugsweise beschrieben, von den ersten Schritten weg, also dem Game Design Dokument, bis hin zur Beschreibung des aktuellen Prototyps. Anschließend werden die Umsetzung, *Core-Mechanik* und wichtige Funktionen eingehend beleuchtet.

Vorweg sei erwähnt, dass sich die Spielfigur auf den Graphen der unterschiedlichen Funktionen bewegt, die im Spiel gewechselt werden können. Der Terminus Spielebene oder Ebene stammt aus den Feldern Grafik und Design und bedeutet „Schicht“, da es sich dabei um mathematische Ebenen handelt, die alle zueinander parallel auf der Z-Achse verschoben werden. Da der Begriff Ebene aber im Kontext irreführend sein könnte, wird im Weiteren hier die Bezeichnung **Layer** verwendet.

5.1 *Patorimath* – Game Design Dokument

Titel	<i>Patorimath</i>
Primäres Ziel	Ein Spiel, um Graphen von Funktionen besser zu verstehen
Zusammenfassung	Ein Spiel, in dem Spielende sich in einer gekrümmten Landschaft bewegen. Durch einen „Meditationsmodus“ können Integrale/ Ableitungen angezeigt werden, über Plattformen kann zwischen den unterschiedlichen Layern gewechselt werden. Das Ziel ist es, in einem Level alle Kristalle zu finden, um das Portal zu aktivieren, das den Weg ins nächste Level freigibt.
Schlagwort	Integration; Mathematik; Ableiten; Null-, Extrem-, Wendestelle; Monotonie, Integral-, Differentialrechnung; Kurvendiskussion
Genre	Rollenspiel (RPG), Logik- und Denkspiel, Plattformspiel
Spielmodus	Einzelspielermodus
Spielzeit	20 - 40 min
Anwendungsbereich	Bildung, Schulen, Universitäten
Zielgruppe	Schüler*innen, Studierende, Lehrer*innen
Altersfreigabe	PEGI-3
Sprache	Deutsch, Englisch
Distributionskanal	Browser Game
Kostenpflichtig	Nein
Plattform	Browser
Institutionsrolle	Designer, Entwickler, Fachexperte

Tabelle 7: Game Design Dokument *Patorimath*

- **Gameplay:** Das HUD⁸³/ Interface besteht aus:
 - einer Minimap
 - „Steuerkreuz“/ Joystick (bei digitaler App) – bei einer Desktop App Steuerung durch das Steuerkreuz oder via WASD und Maus
 - Buttons, um Layer zu wechseln
 - Dem Boden/ der Umgebung. Er/ Sie hat ein hügeliges Aussehen, ist bewaldet, grasig, steinig etc. und ist abstrahier-/reduzierbar auf einen Graphen einer Funktion n. Grades
 - Figur – Spieler*in – kann entlang der horizontalen Achse (links & rechts) bewegt werden und u.U. springen, ducken – zumindest in späteren Versionen/ höheren Levels
 - Startpunkt – hier startet die Figur in jedem Level, kann später u.U. nicht erreichbar sein *oder ist Teil des Bodens und wandert mit* (eher zweiteres).
 - Sammelbare Objekte, um Bonuspunkte zu sammeln/ Skills freizuschalten, u.U. auch ein Key, der das Portal erst aktivieren kann
 - Zielpunkt/-portal – ist am Anfang nicht erreichbar, erst durch das Modulieren des Bodens kann es erreicht werden
 - Optional:
 - In späteren Leveln Hindernisse, Wasser etc.
 - Mehrere zu verändernde Strecken
- **Spielwelt:** Die Welt besteht grundlegend aus zwei Ansichten, der normalen Ansicht, auf der sich die Spielfigur bewegen kann, und der abstrakten Ansicht, auf die sie kommt, wenn sie meditiert und auf der sie die zugrundeliegende Funktion sehen kann:
 - Auf der „**normalen**“ **Ansicht** startet jedes Level. Sie stellt eine gebirgige, hügelige Landschaft dar, die unterschiedliche Untergründe, Hintergründe und Objekte beherbergt. Die *Figur* startet in einem designierten Startbereich und die anderen Elemente befinden sich an unterschiedlichen erreichbaren und unerreichbaren Orten auf dem Bildschirm (dem Spielfeld, so selbiges über den Bildschirmrand hinaus geht). Die *Figur* kann sich, den Gesetzen

⁸³ Heads Up Display.

der Schwerkraft folgend, auf dem *Boden* bewegen, gesteuert durch den simulierten Joystick. Es gibt zumindest einen Layer, auf dem man sich bewegen kann.

- Die abstrakte/ astrale/ mathematische Ansicht kann durch das Drücken eines Buttons erreicht werden. In dieser Ansicht kann sich die Figur nicht bewegen. Das vorher bunte Farbspektrum wird reduziert auf einen Blaupausenstil (blauer Hintergrund, weiße Zeichnung, unterschiedliche Schraffierungen) und ein Koordinatensystem wird eingeblendet (je nach dem Graphen ist nur der spezielle Quadrant sichtbar oder alle 4). Der vorher als Umgebung dargestellte Graph einer Funktion, ist jetzt klar als solcher erkennbar. Anstatt des Joysticks werden unterschiedliche Möglichkeiten angezeigt, wie der Graph verändert werden kann:
 - Integrieren
 - Differenzieren
 - An der X - Achse verschieben
 - An der Y - Achse verschieben
 - „Erschaffen“ einer Tangente in einem bestimmten Punkt
- **Charaktere:** Die Spielfigur wird in und zwischen den beiden vorher beschriebenen Layern gesteuert. Am Weg zum Ziel des Levels hat man die Möglichkeit nach links bzw. rechts zu gehen und zu springen. Im Zuge des Bewegens gibt es die Möglichkeit, Objekte einzusammeln, um Bonuspunkte zu erhalten. Da allerdings das Zielportal zu Beginn jedes Levels nicht erreicht werden kann, muss (mehrmals) zwischen den Layern gewechselt werden, um die Umgebung zu verändern. Sobald auf die astrale Ansicht gewechselt wird, kann sich die Spielfigur nicht bewegen. Sie nimmt optisch eine Meditationshaltung ein und schwebt leicht über dem Boden. Nachdem eine Funktion ausgewählt wurde, um die Veränderung vorzunehmen, und somit auf die normale Ansicht gewechselt wird, gibt die Figur eine „Beschwörungsformel/Zauberformel“ von sich. Diese Beschwörungsformel spiegelt die mathematisch korrekte Formelveränderung wider.

- **Magic Circle - funktioneller Raum:** Die Spielfigur kann sich in einem abgegrenzten Gebiet bewegen. Die Graphen kann sie immer beim Meditieren sehen, dabei ist aber keine Bewegung möglich.
- **Objekte:** Es gibt in jedem Level Kristalle, die man einsammeln kann. Das Ziel jedes Levels ist es, so ein Portal zu aktivieren und zu durchschreiten, um ins nächste Level zu gelangen.
- **Handlungen:** Im Spiel ist es möglich, zu springen, hin- und herzulaufen, zwischen den unterschiedlichen Plattformen zu wechseln, indem man meditiert, sowie Objekte einzusammeln.
- **Ziele (der Spielenden):** sind unterteilt in ein primäres und ein sekundäres (versteckt). Hier sei angemerkt, dass die beschriebenen Ziele aus Entwicklerperspektive genau gegensätzlich gewichtet sind.
 - **Primärziel:** Das Goal jedes Levels ist es, das Portal zu erreichen und am Weg Punkte zu sammeln. Das Ziel des Spieles ist es, so viele Wege wie möglich zu finden, die einzelnen Level zu *clearen*⁸⁴, mehrere Fähigkeiten freizuschalten u.U. auch eigene Level zu entwickeln. Zeit, Fehleranzahl und Effizienz können für einen Highscore herangezogen werden.
 - **Sekundärziel:** Ein mathematisches Verständnis entwickeln bezüglich des Zusammenhangs zwischen einer Funktion und ihrem Graphen. Faktoren die hier berücksichtigt werden sind
 - die Differenzierung,
 - das Integrieren und
 - das Verständnis der Abhängigkeiten/ des Zusammenhangs von Nullstelle, Extremstelle und Wendestelle.
 - Die Veränderung bestimmter Koeffizienten (um eine Verschiebung an den X-/Y- Achsen herbeizuführen) und
 - die Darstellung einer Tangente (unterschiedliche Elemente, die „hintereinander“ liegen – also auf der Z-Achse hinter dem Hauptlayer.
→ vergleiche „Old Mans Journey“⁸⁵ – und zwischen denen man hin und

⁸⁴ Das Ziel eines Levels zu erreichen und somit im Spielverlauf weiterkommen.

⁸⁵ vgl. Old Mans Journey: <http://www.oldmansjourney.com/> [Letzter Zugriff am 12.09.2019].

her switchen („springen“) kann). Hier ist auch die Thematik wichtig, was von Schüler*innen oft fälschlicherweise eingelehrt wird, dass eine Tangente nur einen Berührungspunkt mit einem Objekt hat (ist bei dem gelernten Wissen bei der Kreisgleichung zu verorten).

- **Skill:** Spielende sollten schon mit der Materie der Funktionen vertraut sein und möglicherweise auch mit der Thematik des Differenzierens bzw. Integrierens. Wichtig ist weiters, dass sie mit einer Tastatur umgehen können.
- **Story:** In dem Spiel verkörpert die spielende Person eine fiktive Kreatur, die auf einem, der Erde ähnlichen, Planeten lebt. Diese alternative Realität teilt viele geschichtliche und ökologische Aspekte mit unserer Wirklichkeit. Die Spezies, der der Charakter angehört, heißt »Patorimath« und hat die Fähigkeit, die Grundstruktur, die die Landschaft formt, während einer Meditation mathematisch zu analysieren und zu manipulieren. In dem Zustand der Meditation sieht die Spielfigur, und durch sie die Spielerinnen und Spieler, die Welt in einem anderen Licht. Es erscheint ein Koordinatensystem und darin der Graph der Funktion, der von der Umgebung approximiert werden kann.

5.2 Aktueller Prototyp



Abb. 55: Patorimath - Startbildschirm

Aktuell hat das Spiel Patorimath⁸⁶ 12 Level, die vollständig auf Deutsch und Englisch spielbar sind, die Sprachauswahl ist immer oben rechts platziert. Bereits absolvierte Levels sind über die Levelauswahl – das „Level Menü“ –, sobald es freigespielt wurde, immer wieder spielbar.

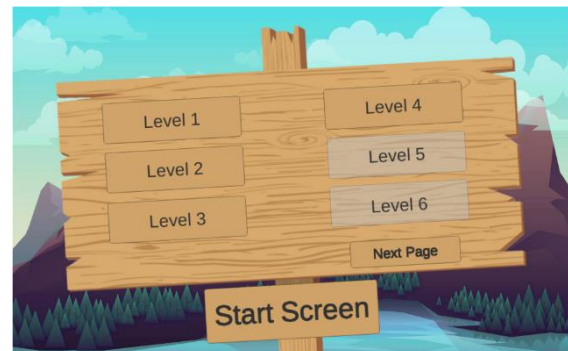


Abb. 56: Patorimath - Level Menü

Die Steuerung des Spiels funktioniert wie folgt:

- „A“ & „D“ oder „Pfeil“ - Tasten, um sich nach links oder rechts zu bewegen
- „Leertaste“, um zu springen
- „E“ - Taste, um mit Schildern, Kristallen, Plattformen (Steinen) oder Portalen zu interagieren
- „M“ - Taste, um in den Meditationsmodus zu gehen. In diesem Modus können die unterschiedlichen Graphen und auch die sichtbaren Kristalle gesehen werden, aber es ist nicht möglich, Layer zu wechseln

⁸⁶ Die Version der Diplomarbeit, ist unter dem folgenden Link aufrufbar: <http://www.serious-gamers.at/projects/2020/patorimath/Diplomarbeit> [Letzter Zugriff 13.02.2020].

- „Enter“ oder „Anklicken“, um Textfelder zu schließen
- „Linke Maustaste“, um Buttons auszuwählen

Das Spiel setzt sich aus vielerlei Objekten zusammen. Gesteuert wird eine Spielfigur, die sich auf einem Boden bewegen kann. Als Untergrund dienen drei verschiedene Layer, von denen immer nur einer sichtbar ist. Diese haben die Form von Graphen, genauer startet jedes Level mit dem Graphen einer Funktion und kann durch das Interagieren mit speziellen Plattformen, die wie farbige Steine aussehen, auf den Graphen des Integrals oder der Ableitung gewechselt werden. Auf den unterschiedlichen Layern befinden sich an den Null-, Extrem- oder Wendestellen der jeweiligen Graphen Kristalle – die farbliche Kodierung schreibt Nullstellen blaue, Extremstellen grüne und Wendestellen orange Kristalle zu. Diese werden, beginnend mit den grünen, im Laufe des Spiels nach und nach vorgestellt:



Abb. 57: Patorimath - Plattformen/Steine, um Layer zu wechseln.

Das Ziel jedes Levels ist es, ein Portal zu passieren, das zu Beginn jedoch erst aktiviert werden muss. Um das zu bewerkstelligen, muss eine Aufgabe, die durch den Spielmodus definiert ist, erfüllt werden. Der erste Modus, mit dem auch immer gearbeitet wird, wenn ein neuer Aspekt vorgestellt wird, ist der Modus „einsammeln“. Hierbei sind alle Kristalle von Anfang an sichtbar und müssen lediglich eingesammelt werden. Da diese Tätigkeit aber auf Dauer nicht wirklich herausfordernd ist und auch nicht zum Denken anregt, gibt es den zweiten Modus „platzieren“. Bei diesem sind zu Levelbeginn alle Kristalle unsichtbar. Die Spielenden haben den Auftrag, bestimmte Edelsteine zu platzieren und werden durch die Anzeige, das *Quest Feld*, immer über den aktuellen Levelverlauf informiert. Die Anzeige selbst gibt im ersten Modus nur an, wie viele Kristalle insgesamt gesammelt werden müssen, im zweiten allerdings wird genau angegeben, wie viele Kristalle mit welcher Farbe zu platzieren sind.

Der Modus „einsammeln“ ist eine Lernhilfe und wird immer dann verwendet, wenn die Spielenden mit einer neuen Art von Kristall bekannt gemacht werden. Um den Wechsel zu dem normalen Spielmodus „platzieren“ zu erleichtern, ist die Umgebung

des Folgelevels stets die gleiche. Ein weiteres Hilfsmittel für Spielende sind die Schilder, die überall in der Welt stehen. Diesen können Spielende wichtige Informationen, Hinweise oder Tipps entnehmen.



Abb. 58: Patorimath - Schilder mit Hinweisen

Ein subtileres Hilfsmittel, das erst ab dem 4. Level wichtig wird, ist der Horizont, der das türkise Meer und die Berge im Hintergrund trennt. Er liegt immer auf der gleichen Höhe wie die X-Achse, wodurch alle Kristalle, die an den Nullstellen liegen, eindeutig zuordenbar sind.

Eine Auflistung der 12 Levels:

Level	Grad der Grundfunktion	Modus	Kristalltypen
1	2	einsammeln	grün
2	2	platzieren	grün
3	2	platzieren	grün
4	1	einsammeln	blau
5	1	platzieren	blau
6	1	platzieren	blau
7	2	einsammeln	blau und grün
8	2	platzieren	blau und grün
9	3	einsammeln	orange
10	3	platzieren	orange
11	3	einsammeln	grün und orange
12	3	platzieren	grün und orange

Tabelle 8: Patorimath - Auflistung der Level

Das HUD/ Interface von Patorimath ist folgendermaßen aufgebaut:

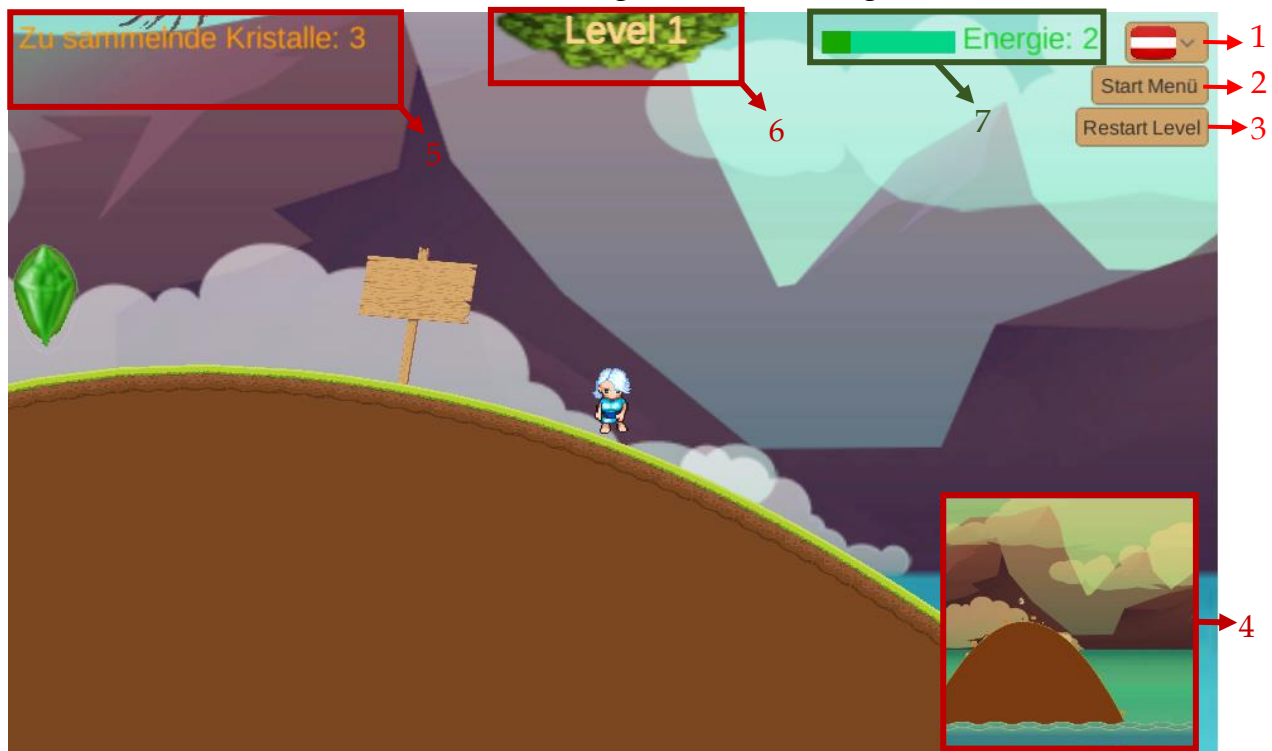


Abb. 59: Patorimath - HUD

1. Dropdown „Sprachauswahl“ – Hier kann jederzeit zwischen Deutsch und Englisch gewechselt werden. Damit werden sowohl alle HUD Texte, Buttonbeschriftungen, als auch die Texte auf den Schildern kontrolliert.
2. Button „Start Menü“ – Mit diesem Button kann jederzeit zum Startmenü gewechselt werden. Von dort aus ist auch die Menüauswahl erreichbar.
3. Button „Restart Level“ – Dieser Button startet das aktuelle Level neu. Da im Hintergrund bei jedem Levelstart der aktuelle Energiewert (siehe Punkt 7) gespeichert wird, führt das zu keinem Nachteil.
4. Minimap – Die Karte zeigt einen größeren Ausschnitt des Levels, damit eine bessere Übersicht möglich ist. Die normale aktive Kamera, die an die Spielfigur geknüpft ist und das aktuelle Geschehen zeigt, hat ein zu geringes Blickfeld, um die Graphen gut erkennen zu können.
5. Textfeld „Quest“ – in diesem Textfeld wird der aktuelle Arbeitsauftrag gezeigt. Im Modus „sammeln“ wird angezeigt, wie viele Kristalle sich noch in der Welt verstecken, unabhängig von ihrer Farbe. Im Modus „platzieren“ wird klar angegeben, wie viele Kristalle von welcher Farbe noch zu platzieren sind.
6. Textfeld „aktuelles Level“ – Dieses Feld gibt das aktuelle Level an. Es dient den Spielenden als Orientierung.
7. Textfeld und Balken „Energie“ – Die Energie kann einen Wert zwischen „0“ und „10“ einnehmen, diesen Betrag spiegelt auch der Balken wider.

5.3 Entwicklung des Prototyps

5.3.1 Entwicklungsumgebung - Unity

“Unity offers a visual workflow with drag-and-drop capabilities and supports scripting with C#, a very popular programming language. Unity has long supported 3D and 2D graphics, and the toolsets for both grow more sophisticated and user-friendly with each release. Unity has several tiers of licenses and is free for projects with revenues up to \$100k. It offers cross-platform support for 27 different platforms and takes advantage of graphics APIs specific to the system architecture, including Direct3D, OpenGL, Vulkan, Metal, and several others. Unity Teams offers cloud-based project collaboration and continuous integration.”⁸⁷

Aus den hier angeführten Gründen wurde für die Umsetzung dieses Spiels die Game Engine⁸⁸ Unity (Version 2019.2.11f1) verwendet. Ein weiterer Punkt, der sehr für die Umgebung spricht, ist, neben den vielen Standard Assets, die Fülle an Tools, die sich in Entwicklung befinden, aber schon, frei nach der Open Source Philosophie, zur Verfügung stehen. Visual Studio wird als Standard mit Unity mitinstalliert und dient somit als Programmierumgebung, die über eine obligatorische Autocomplete-Funktion⁸⁹ verfügt. In Unity selbst wird die komplette hierarchische (Ordner-)Struktur und Verknüpfung von Objekten mit Code vorgenommen. Sowohl Visual Studio, als auch Unity, verfügen über einen Compiler⁹⁰, der live gespeicherte Skripten testet und Fehler genau anzeigt. In Unity selbst kann dann, wenn der Code kompilierbar ist, jederzeit das Spiel gestartet und live getestet werden. Wenngleich prinzipiell zwischen 2D und 3D unterschieden wird, befindet sich jedes Spiel in einem dreidimensionalen Raum, was die Arbeit mit der Tiefe möglich macht, optisch, aber auch interaktiv.

Der Aufbau des Interfaces ist prinzipiell den Anwendern überlassen, was das höchste Maß an Individualisierung ermöglicht, einerseits in Bezug auf die persönlichen Präferenzen, andererseits aber auch in Bezug auf die technischen Möglichkeiten. Ein wichtiger Faktor ist allerdings die Dimension des Spielfeldes, da dieser, so nicht anders eingestellt, direkt von der Größe des Fensters abhängt und sich auch mit seiner Veränderung direkt wandelt.

⁸⁷ Halpern, Jared: Developing 2D Games with Unity. New York: Apress, 2019, S. 10.

⁸⁸ Eine Game Engine ist ein Softwarepaket, das sich aus vielen Tools zusammensetzt, die die Produktion von digitalen Spielen erleichtert und verbilligt. Bekannte Engines sind Unity, Unreal oder SCUMM (=Script Creation Utility for Maniac Mansion). Große Firmen wie Blizzard (World of Warcraft) oder Bethesda (The Elder Scrolls) haben hier interne Engines, die nicht öffentlich verfügbar sind.

⁸⁹ Eine Autocomplete - Funktion ist eine Funktion, bei der das Programm aufgrund der ersten Buchstaben eines Wortes alle möglichen Optionen vorschlägt.

⁹⁰ Ein Compiler ist ein Programm, das Programmiercode in Computercode übersetzt.

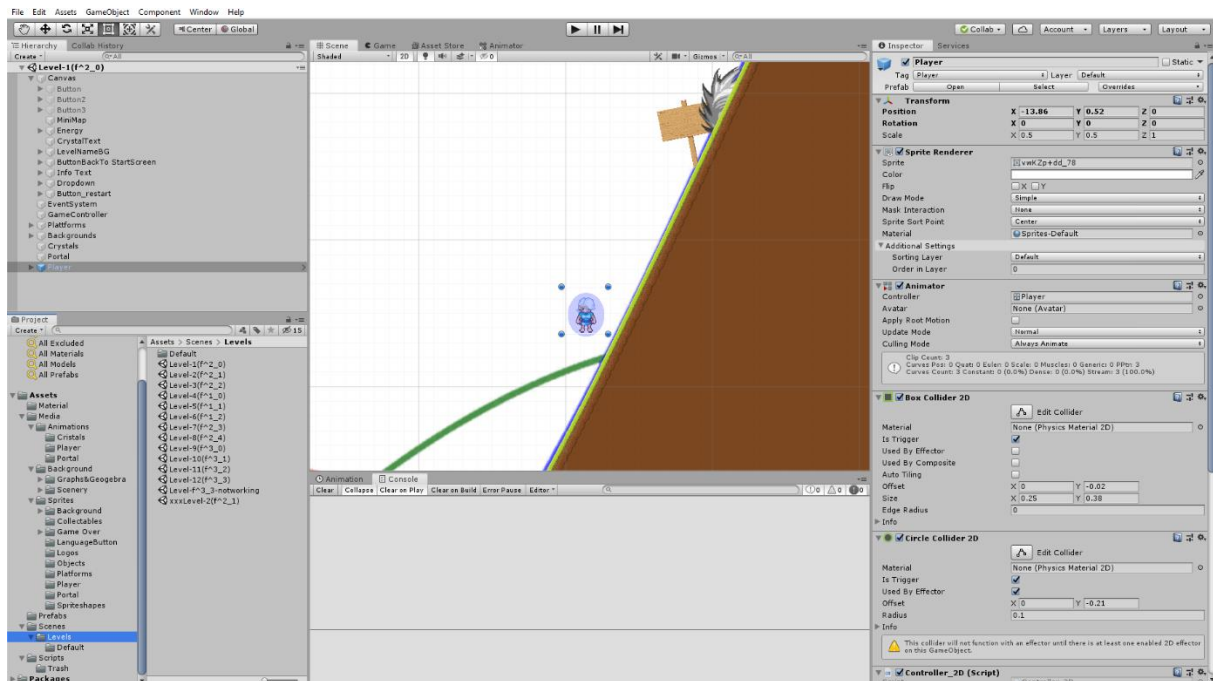


Abb. 60: Unity UI - Am Beispiel des Spiels Patorimath

Wie hier sichtbar ist, arbeitet man in Unity sowohl mit einer szeneninternen Hierarchie und einer Ordnerstruktur, zu sehen in der linken Spalte, sowie einer genauen Aufschlüsselung des aktuell ausgewählten Objekts im Inspektor, zu sehen in der rechten Spalte. Das Game- und das Szene-Fenster liegen im selben Bereich. Ein weiteres Feature ist der Canvas, ein Overlay, der als Einblendung in der aktuell gewählten Kamera dient und alle Texte, Buttons etc. anzeigt.

5.3.2 Wichtige Elemente und Schritte in der Entwicklung

5.3.2.1 Kurvige Umgebungen - „Sprite shape editor“

Die meisten Spiele der Kategorie Plattformer arbeiten mit rechteckigen Formen. Das Asset *Sprite Shape Editor*⁹¹ ermöglicht allerdings die einfache Erstellung von gekrümmten Umgebungen. Die mit *GeoGebra*⁹² erstellten Graphen der Funktionen gelten hierbei als Schablone, über die dann die Form der Umgebung der der Graphen angepasst wird. In der Abbildung können sowohl die Anker-, als auch die Kontrollpunkte gezeigt werden, mit denen sowohl die

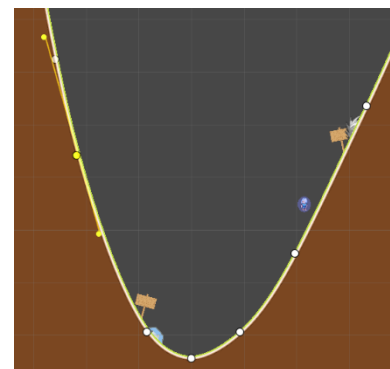


Abb. 61: Sprite Shape Editor

⁹¹ vgl. <https://blogs.unity3d.com/2018/09/20/intro-to-2d-world-building-with-sprite-shape/> [Letzter Zugriff 12.02.2020].

⁹² vgl. <https://www.geogebra.org> [Letzter Zugriff 12.02.2020].

Krümmung der Kurve als auch die Fixpunkte bearbeitet werden können. Ein großer Vorteil dieses Tools ist die Vektorisierung der Sprites, wodurch eine kontinuierliche Figur geformt werden kann. Außerdem wird von dem Asset automatisch ein *Edge Collider*⁹³ über die Figur gelegt und mit jeder Veränderung live angepasst.

5.3.2.2 Bewegung auf der Umgebung - Raycasting

Bei Raycasting handelt es sich allgemein um eine Technik, bei der von einem Objekt Strahlen (rays) ausgesendet werden und gemessen wird, wie lange sie sind. Vulgo wird diese Technik oft Laser Imaging genannt. Hierbei wird durch das feine Messen mit vielen Strahlen ein dreidimensionales Abbild erstellt. Medizinische Verfahren wie das CT oder das MRT basieren auch auf dieser Technik.

Da in dem Spiel die Interaktion zwischen Spielfigur und kurvigem Untergrund nicht makellos mit den Standard-Unity-Tools funktioniert – ab einer gewissen Steigung wäre die Bewegung nicht mehr möglich, und je steiler eine Umgebung ist, desto langsamer bewegt sich der Charakter – musste ein Skript geschrieben werden, das die Bewegung möglich macht. Ein weiterer Vorteil liegt in der genauen Ermittlung des Winkels, der sich zwischen Boden und Spielfigur bildet. Dadurch wird der genaue Steigungswinkel in jedem Punkt ermittelt und die Möglichkeit geschaffen, in späteren Weiterentwicklungen mit Tangenten zu arbeiten.

Der Raycasting Code ist das Herzstück der Bewegungssteuerung des Spieles. Neben der Bewegung ermöglicht er auch die Interaktion mit allen Objekten, die im Verlauf vorkommen. Zu Beginn wird die Anzahl der Rays definiert (über den Inspector jederzeit variierbar, aber auf eine Minimalmenge von zwei gesetzt) und der Collider mit den Strahlen verknüpft. In der `Move()` Methode werden die Methoden `HorizCol()` und `VertCol()` aufgerufen, die Berührungen horizontal und vertikal messen. Die Methoden `ClimbSlope()` und `DescendSlope()` überprüfen, ob sich Winkel zwischen Spielfigur und Umgebung kleiner als der maximal/minimal erlaubte Winkel darstellen. Die Strahlen selbst werden durch `RaycastOrigins()` und

⁹³ Ein Collider ist eine Komponente, die erkennt, ob andere Objekte, die auch einen Collider brauchen, mit dem verknüpften Objekt kollidieren. Was dann passiert, ist abhängig von anderen, meist programmierten, Faktoren. Es gibt hierbei unterschiedliche Formen, beispielsweise rechteckige, kubische, polygone oder zylindrische.

CalcRaySpacing() erzeugt. Ersteres setzt die äußersten Eckpunkte der Strahlen, zweiteres normalisiert die Abstände der einzelnen Strahlen. UpdateRaycastOrigins() überprüft die Position des Colliders und bewegt die RaycastOrigins mit. CollInfo() registriert Berührungen.

5.3.2.3 Kristalle an Nullstellen, Extremstellen und Wendestellen

An den Nullstellen, den Extremstellen und den Wendestellen befinden sich farblich unterschiedene Kristalle. Diese Kristalle werden automatisch durch das Spiel in jedem Level generiert. Bei der Levelerstellung müssen lediglich die X-, Y- und Z-Koordinaten im Inspektor des Gamecontrollers⁹⁴ eingegeben werden. Ein anzuspreekender Aspekt ist, dass die Koordinaten nicht mit den des ingame angezeigten Koordinatensystems übereinstimmen. Das liegt daran, dass der Abgleich zwischen dem dreidimensionalen Koordinatensystem von Unity mit dem des Bildes bis dato nicht normalisiert möglich ist. Ein Skript platziert nun bei dem Start jedes Levels über eine Schleife die hier angegebenen Kristalle.

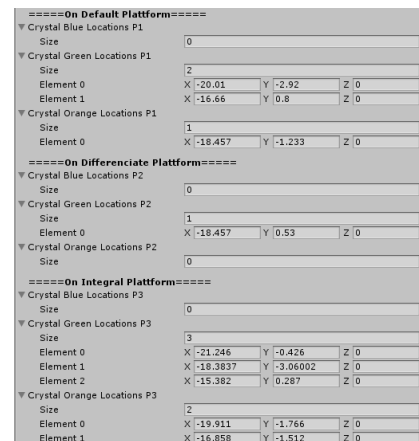


Abb. 62: Eingabe der Positionen der Kristalle auf den unterschiedlichen Graphen

Ein zweiter wichtiger Aspekt hierbei ist, dass es zwei Spielmodi gibt. Zu Beginn jeder Passage sind die Kristalle sichtbar und müssen eingesammelt werden. Damit aber die Spielenden aktiv üben, wo die Null-, Extrem- oder Wendestellen sind, gibt es auch den „Finden“-Modus. In diesem müssen die Kristalle an der richtigen Stelle platziert werden. Im Hintergrund sind alle Kristalle schon unsichtbar vorhanden, ihr Collider ist allerdings aktiv. Wenn der Collider der Spielfigur den der Kristalle berührt und die Spielenden „platzieren“ drücken, werden die Kristalle angezeigt und ihre Collider deaktiviert, wodurch keine weitere Interaktion möglich ist.

⁹⁴ Ein Objekt im Spiel, das nicht sichtbar ist, aber die wichtigen Vernetzungen und Steuerungen zwischen allen Spielobjekten und Skripten übernimmt.

5.3.2.4 Meditieren

Der Meditationsmodus ist ein wichtiger Faktor der Lernkomponente des Spiels, da er den Spielenden jederzeit erlaubt, die Umgebung zu abstrahieren und über die `MouseOver()` Funktion, also das Schweben des Mausursors über einem Button, die unterschiedlichen Graphen und das Koordinatensystem anzuzeigen.

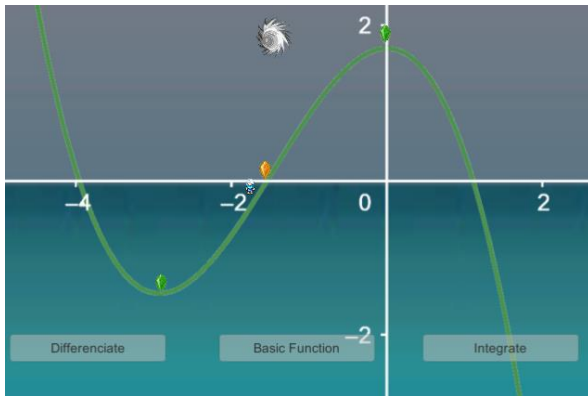


Abb. 64: Patorimath Meditationsmodus default

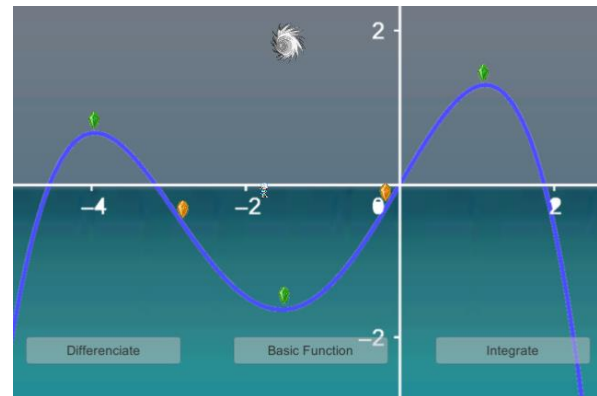


Abb. 64: Patorimath Meditationsmodus Mouseover bei Integral-Button

Gerade wenn der Modus des Levels „Finden“ ist, können die Punkte, wo die Kristalle sein sollen, klar zugeordnet werden. Außerdem können Spielende sehen, wo sie schon Kristalle gefunden haben und wo noch welche platziert werden müssen, um das Portal freizuschalten.

5.3.2.5 Wechseln zwischen den Layern

In der aktuellen Version des Prototyps gibt es Plattformen bzw. Steine, auf denen die Spielfigur stehen muss, damit sie zwischen den Layern wechseln kann. Die roten Steine verbinden die Grundfunktion mit der Ableitung, die blauen Steine die Grundfunktion mit dem Integral. Damit der Wechsel zwischen den Layern ohne einen Glitch⁹⁵ passiert, wird die Position der Plattformen ermittelt und die Spielfigur direkt darüber platziert.

Vor der Methode mit den Plattformen war es möglich, an jeder Stelle Layer zu wechseln. Aus mehreren Gründen wurde zu der aktuellen Methode gewechselt. Die Plattformen rücken das Ableiten und das Integrieren noch mehr in den Fokus. Außerdem sind die Plattformen derzeit immer an Stellen, an denen sich die Graphen schneiden. Es gab weiters Probleme an manchen Stellen, da die erste Lösung des

⁹⁵ Spielejargon für eine Störung oder einen Fehler, meistens, wenn die Spielfigur durch eine Wand läuft oder durch einen Boden fällt.

Layerwechsels die X-Koordinate der Spielfigur ermittelte und dann die Y-Position des neuen Layers ermittelte. Diese sind aber aus mathematischer Sicht nicht immer existent und liegen aus Entwicklersicht außerhalb des Spielbereichs. Somit musste die Spielfigur auf die Startposition versetzt werden, was allerdings bei den Testenden eher zu Verständnisproblemen führte.

5.3.2.6 Canvas -Elemente, Sprachen

Alle Elemente auf dem Canvas sind von der Auswahl der Sprache abhängig. Dementsprechend gibt es ein 1120 Zeilen langes Skript, das sich nur mit der richtigen Betextung beschäftigt. Hier sind alle Texte, die auf den Schildern zu lesen sind, definiert. Eine weitere wichtige Information, die hier angegeben wird, ist, abhängig vom Spielmodus, was das aktuelle Ziel ist. Sind Kristalle einzusammeln, wird angegeben, wie viele Kristalle es noch gibt. Sind allerdings spezielle Kristalle zu platzieren, so wird genau angegeben, von welcher Farbe wie viele noch zu positionieren sind.

5.3.2.7 Game Data Script, Highscore

Levelübergreifende Daten werden mittels eines eigenen Skriptes gespeichert, das „Game Date Script“. Dieses Skript ist an kein Objekt geknüpft und verfügt lediglich über eine `get()`- und eine `set()`-Funktion. Andere Skripte können so aktuelle Daten abfragen oder selbige überschreiben. So wird über die einzelnen Szenen gewährleistet, dass die Einstellung der Sprache übernommen wird, dass die bereits gespielten Levels in der Levelauswahl freigeschalten werden, dass die aktuelle Energie gespeichert wird, damit sie bei einem Levelneustart noch erhalten bleibt, und dass der Highscore mitgeschrieben wird.

5.4 Mathematische Aspekte des Spiels

Das entwickelte Spiel *Patorimath* kann, dem österreichischen Lehrplan folgend, primär im Mathematikunterricht der Sekundarstufe 2 verortet werden.

Das Programm legt einen spieltheoretischen Fokus auf das Themenfeld der Polynomfunktionen. Über einen spielerisch erforschenden Zugang sollen Lernende ein Grundverständnis dafür entwickeln, wie sich Graphen von Polynomfunktion verhalten und welche wichtigen Kriterien sie haben. So wird das ganze Spiel hindurch das graphische Bestimmen von Null-, Extrem- und Wendestellen geübt. Dies wird dadurch bewerkstelligt, dass sich an eben diesen Stellen Kristalle befinden. Hier wird eine farbliche Unterscheidung vorgenommen, damit klar ist, dass es sich um unterschiedliche Kriterien handelt. Vom Startlayer ausgehend, dem die Grundfunktion des Levels zugrunde liegt, kann jeweils auf zwei andere Layer gewechselt werden, die durch die Stammfunktion und die Ableitung gebildet werden. An den Nullstellen befinden sich blaue Kristalle, an den Extremstellen grüne und an den Wendestellen orange. Um das Wissen ob der Position auch aktiv zu üben, wird nach einem Übungslevel, in dem die Objekte angezeigt und eingesammelt werden, die Aufgabe gestellt, die Kristalle selbst an den richtigen Positionen zu platzieren. Hierfür muss die Spielfigur an die exakt richtige Stelle bewegt werden und aktiv über eine Eingabe ein Kristall gesetzt werden – die Konsequenz dafür, dass sich die Figur an der falschen Stelle befindet, ist der Verlust von Energie, die mit Zehn nach oben hin beschränkt ist und sobald sie Null erreicht, zu einem Game Over führt.

Um die Nullstellen auch tatsächlich zu finden, können Spielende sich stets an der Horizontlinie orientieren, die sich auf Höhe der X-Achse befindet. Das ermöglicht sowohl eine gute Schnittstelle mit der Theorie, die besagt, dass bei $f(x)=0$ stets eine Nullstelle zu finden ist, als auch eine gute Verknüpfung zur graphischen Darstellung. Darüber hinaus kann man zu jeder Zeit ein kartesisches Koordinatensystem einblenden lassen, wobei das Verständnis dafür und der Umgang mit selbigem vorausgesetzt wird. Durch dieses aktive Platzieren müssen die Schülerinnen und Schüler also aktiv wissen, welche Voraussetzungen für die einzelnen Punkte erfüllt sein müssen und wie man sie an einem Graphen ablesen kann.

Für den Fall Extremstellen kann man das Layer wechseln, um die Ableitung der Funktion erhalten. Das hilft, gleich wie bei der Nullstelle, die mathematischen Eigenschaften einer Extremstelle zu erkennen, dass nun nämlich $f'(x)=0$ gilt, und zeigt im selben Schritt, wie sich der Graph an einer solchen Stelle verhält. Selbst der Fall eines Sattelpunktes, an dem die Ableitung der Funktion zwar den Wert 0 annimmt, aber weder ein Minimum noch ein Maximum der Funktion ist, kann so schön und veranschaulicht dargestellt werden.

Wird von der Grundfunktion ausgegangen, gibt es für selbige keinen Graphen der Ableitung 2. Ordnung, doch es gibt für Wendepunkte, die durch $f''(x)=0$ definiert sind, die Option des Abgleichs mit der zugehörigen Extremstelle. Außerdem zeigt sich, auch von der Grundfunktion ausgehend, die Verwandtschaft der zweiten Ableitung zwischen dem Integral und der Ableitung. Durch das wiederholte Spielen ist ein schnelles Erkennen der Punkte am Graphen, und damit einhergehend eine Festigung der Grundkompetenzen, möglich. Zusätzlich wird durch das Wechseln in den Graphen der 1. Ableitung eine Verknüpfung zwischen Wendepunkten der Funktion und den kritischen Punkten der Ableitung sichtbar.

Ein anderer Ansatz, der den vorhin genannten Zusammenhang noch verdeutlichen soll, ist das Wechseln in die Ansicht der Stammfunktion. Hier wird noch einmal verdeutlicht, dass die Verbindung der Wende- und Extremstelle auch in die andere „Richtung“ gilt, sprich für die Stammfunktion. Da der x -Wert der Wendestelle der Stammfunktion der der Extremstelle der Grundfunktion und der der Nullstelle der Ableitung gleich, können Spielende so diese Verwandtschaft gut verinnerlichen, ihr Wissen festigen und graphische Zusammenhänge sehen.

Das Spiel zielt auf die Stärkung der Fähigkeiten der Spielenden ab, das Ablesen und Deuten der unterschiedlichen Funktionsgraphen und deren Ableitungen beziehungsweise Stammfunktionen zu beherrschen und verzichtet daher auf den expliziten Rechenweg. Eine der wichtigsten Grundkompetenzen ist das Wissen über die Gemeinsamkeiten der unterschiedlichen Ableitungsgrade untereinander. Die Lernenden sollen so automatisieren, dass es eine Beziehung zwischen Null-, Extrem- und Wendestelle von Ableitungs-, Grund- und Stammfunktion gibt und wie diese aussieht. Dieser visuelle Zugang soll also einerseits als Einstieg dienen, aber auch

helfen, mentale Hürden und Verständnisprobleme abzubauen. So kann man also die Lernenden diese Eigenschaften entweder selbst erkennen oder, wenn sie bereits bekannt sind, untersuchen lassen.

Die Graphen selbst wurden mit der Hilfe von GeoGebra erstellt. In dem Programm wird die Integrationskonstante gleich 0 gesetzt, wodurch sich bei dem Graphen der integrierten Funktion eine Nullstelle immer im Ursprung befindet.

5.4.1 Lehrplanbezug

Polynomfunktionen sind in der ganzen Oberstufe ein wichtiger Faktor des österreichischen Lehrplans. Eingeleitet wird die Thematik über die linearen Funktionen und steigert sich graduell über die Lernjahre hinweg. So finden sich für das Spiel *Patorimath* im aktuellen Lehrplan für die AHS Oberstufe⁹⁶ überall Anknüpfungspunkte. Da von dem Programm kein Vorwissen vorausgesetzt wird, kann es auch in jeder Schulstufe zur Anwendung kommen, um Inhalte einzuführen, aufzufrischen oder verbalisieren zu lassen. Durch das Spiel kann der folgende Lehrstoff abgedeckt werden:

5. Klasse:

Funktionen

- Arbeiten mit Funktionen in anwendungsorientierten Bereichen

6. Klasse:

Reelle Funktionen

- Untersuchen von Eigenschaften reeller Funktionen (Monotonie, globale und lokale Extremstellen, Symmetrie, Periodizität)
- Beschreiben von Änderungen durch Änderungsmaße (absolute und relative Änderung)

7. Klasse:

Differentialrechnung

- Kennen des Begriffes Ableitungsfunktion
- Deuten der zweiten Ableitung in inner- und außermathematischen Bereichen
- Untersuchen einfacher und im Hinblick auf Anwendungen sinnvoller Funktionen bezüglich Monotonie und Krümmungsverhalten, Ermitteln von Extrem- und Wendestellen
- Präzisieren einiger Grundbegriffe und Methoden der Differentialrechnung (insbesondere des Begriffes Grenzwert) unter Einbeziehung des Begriffes

8. Klasse:

Integralrechnung

- Kennen des Zusammenhangs zwischen Differenzieren und Integrieren

⁹⁶ http://atfd.pbworks.com/w/file/fetch/107507691/lp_neu_ahs_07_11859.pdf [Stand.06-07.2020].

5.4.2 Ähnliche Schulbuchbeispiele

Das Spiel ist mit der Fassung einiger Schulbuchbeispiele vergleichbar. Gerade bei diesem Typ Aufgabe der Schulbuchreihe *Mathematik Verstehen* werden die Schülerinnen und Schüler dazu angehalten zu antizipieren, wie sich Polynomfunktionen durch das Differenzieren bzw. Integrieren verändern. In der 11. Schulstufe⁹⁷ liegt hier der Fokus auf dem Kennen- und Erlernen der Differentialrechnung.

Ziel dieser Aufgabe ist, dass Lernende wissen, dass die Ableitungsfunktion eine Funktion vom Grad 2 sein muss und wie sich deren Monotonie verhält.

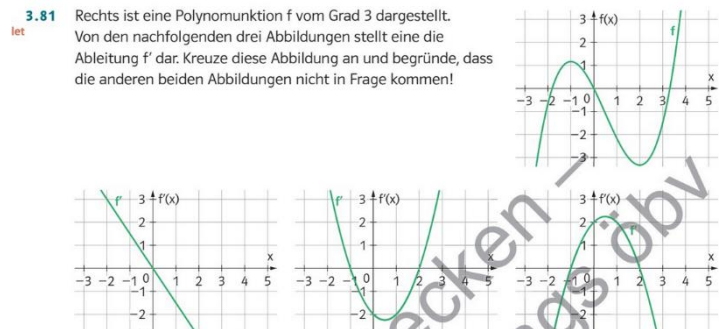


Abb. 65 Schulbuchbeispiel 3.81

Dieses Wissen soll in der 7. Klasse AHS auch über mehrere Ableitungen hinweg angewandt werden können, wie die nächsten beiden Beispiele zeigen.

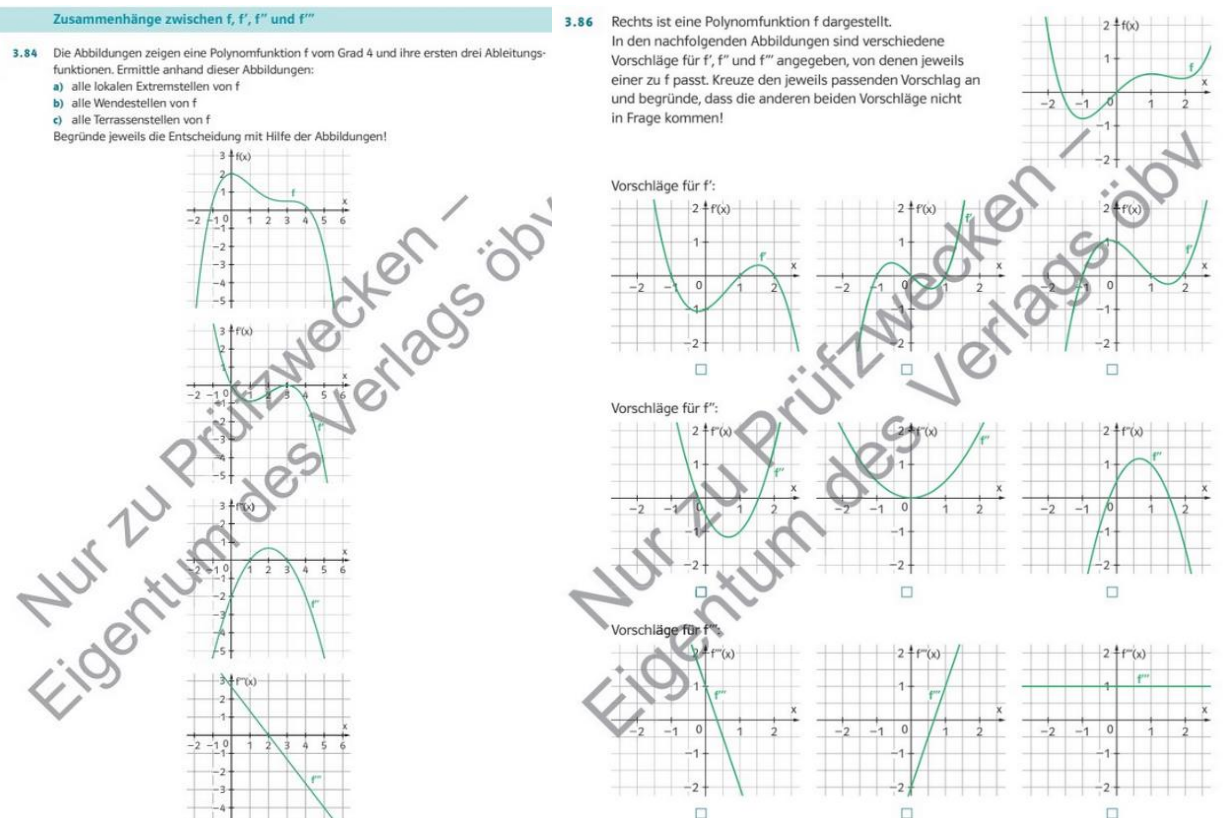


Abb. 66 Schulbuchbeispiele 3.84, 3.86

⁹⁷ Malle, Günther; Koth, Maria u.a.: *Mathematik Verstehen: 7, Schulbuch*. 1. Auflage. ed. Wien: öbv, 2019, S. 67, 68.

In dem Mathematikbuch *Mathematik Verstehen 8⁹⁸* für die 12. Schulstufe liegt der Fokus auf der Integralrechnung und im weiteren Verlauf auf dem Wiederholen und der Vorbereitung auf die Matura. Die folgende Aufgabe bezieht sich auf die Verknüpfung von Funktion und Stammfunktion.

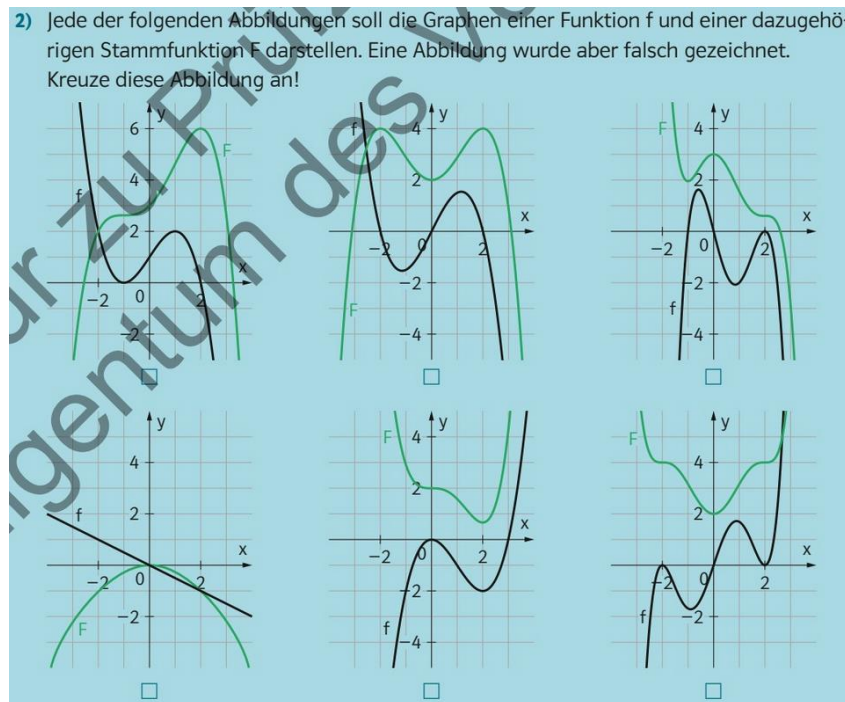


Abb. 67 Schulbuchbeispiel 1.53

Im Spiel *Patorimath* üben die Spielenden durch das Wechseln zwischen den unterschiedlichen Layern stetig diese Faktoren. Einerseits wird durch das wachsame Spielen erfahren, wie die Zusammenhänge zwischen den Graphen der Funktion und denen ihrer Ableitungs- bzw. Stammfunktion aussehen. Andererseits werden im Spielverlauf durchgehend die Zusammenhänge der Null-, Extrem- und Wendestellen der unterschiedlichen Layer verwendet. Beim Spielen werden diese über das Platzieren der Kristalle durchgehend herausgestrichen

⁹⁸ Malle, Günther; Koth, Maria u.a.: *Mathematik Verstehen: 8, Schulbuch*. 1. Auflage. ed. Wien: öbv, 2019, S.25.

5.4.3 Abgedeckte Grundkompetenzen

Wird der Fokus des Spiels auf den Grundkompetenzen-Katalog für die standardisierte Mathematik Matura⁹⁹ gelegt, kann auch eine Vielzahl von Kriterien zugeordnet werden. Diese sind Teil der Funktionalen Abhängigkeiten und der Analysis:

FA	Inhaltsbereich Funktionale Abhängigkeiten
FA1	Funktionsbegriff, reelle Funktionen, Darstellungsformen und Eigenschaften
FA 1.5	Eigenschaften von Funktionen erkennen, benennen, im Kontext deuten und zum Erstellen von Funktionsgraphen einsetzen können: Monotonie, Monotonie Wechsel (lokale Extrema), Wendepunkte, Periodizität, Achsensymmetrie, asymptotisches Verhalten, Schnittpunkte mit den Achsen
FA 1.6	Schnittpunkte zweier Funktionsgraphen grafisch ermitteln und im Kontext interpretieren können
FA 1.9	Einen Überblick über die wichtigsten Typen mathematischer Funktionen geben, ihre Eigenschaften vergleichen können
FA 4	Polynomfunktion $[\sum_{i=0}^n a_i \cdot x^i \text{ mit } n \in \mathbb{N}]$
FA 4.1	typische Verläufe von Graphen in Abhängigkeit vom Grad der Polynomfunktion (er)kennen
FA 4.4	den Zusammenhang zwischen dem Grad der Polynomfunktion und der Anzahl der Null-, Extrem- und Wendestellen wissen
AN	Inhaltsbereich Analysis
AN 3	Ableitungsfunktion / Stammfunktion
AN 3.1	Den Begriff Ableitungsfunktion/Stammfunktion kennen
AN 3.2	Den Zusammenhang zwischen Funktion und Ableitungsfunktion (bzw. Funktion und Stammfunktion) in deren grafischer Darstellung erkennen und beschreiben können
AN 3.3	Eigenschaften von Funktionen mithilfe der Ableitung(sfunktion) beschreiben können: Monotonie, lokale Extrema, Links- und Rechtskrümmung, Wendestellen

⁹⁹

https://www.matura.gv.at/fileadmin/user_upload/downloads/Begleitmaterial/MA/srp_ma_grundkonzept_2019-09-03.pdf [Letzter Zugriff am 06.06.2020].

5.5 Einbettung in den Unterricht - Unterrichtskonzept

Das Spiel kann in mehreren Schulstufen verwendet werden. In jedem Fall ist der Unterricht in dem Bereich des *Game Based Learning* zu verorten. Der Unterricht sollte nicht nur auf dem Spiel basieren, aber es bietet sich an, um das Lernen der Schülerinnen und Schüler zu bereichern und einen graphischen und interaktiven Zugang bereitzustellen. Für die 10. und 11. Schulstufe kann es einerseits einen guten Einstieg bieten, da über einen entwickelnden Unterricht mithilfe des Spiels viele Aspekte der Lerninhalte von Lernenden artikuliert werden können, ohne dass sie die mathematische Nomenklatur bereits kennen müssen. Durch eine intensive Auseinandersetzung mit dem Spiel kann man einerseits bei den Kristallen anknüpfen, andererseits bei den Graphen selbst. Auch wenn nicht gezeigt wird, wie sich die Funktion selbst verändert, bietet diese Darstellung einen spielerischen Weg, die Folgen zu zeigen, gerade wenn diese Beschreibung ein Arbeitsauftrag ist.

Aber auch als Ergänzung zu den gelernten Begriffen eignet sich das Spiel hervorragend, da der graphische Zugang zu Gelerntem, das Festigen und Begreifen erleichtert. So kann es auch als Hausaufgabe, Fördermaßnahme für Schülerinnen und Schüler, die zusätzliche Materialien und/oder Aufmerksamkeit benötigen, aber auch als Abwechslung für den Unterrichtsalltag eingesetzt werden.

Um das selbständige Lernen zu fördern und auch Lernen ohne Lehrperson zu ermöglichen, wurden Schilder in das Spiel implementiert. Die auf jenen Schildern befindlichen Hinweise stoßen einerseits Denkprozesse an und geben andererseits Antworten. Warum beispielsweise eine Parallele zur X-Achse keine Nullstellen haben kann, kann tatsächlich erlebt werden. Gleiches gilt für Funktionen 1. Grades, die keine Extremstellen, sowie jene 2. Grades, die keine Wendestellen besitzen.

In der 12. Schulstufe kann das Spiel zum Wiederholen des Stoffes und zum Erarbeiten von Argumenten verwendet werden, welche Aspekte bei der Differential- und Integralrechnung wichtig sind wie etwa die Verwandtschaft zwischen Null-, Extrem- und Wendestellen. Weiters kann das Spiel als Unterstützung für Schüler und Schülerinnen dienen, die Lernschwächen aufweisen. Sie können durch die Möglichkeit des stetigen Wiederholens den Stoff selbständig erlernen oder vertiefen, selbst wenn sie ihn anfänglich nicht verstanden haben.

5.6 Empirische Untersuchung, Feldtestung und Analyse

Um zu untersuchen, ob die Ziele des entwickelten Spieles auch erreicht werden, wurden im Zuge dieser Arbeit sowohl Lehrende als auch Lernende befragt. Für beide Zielgruppen gab es je zwei Fragebögen, die jeweils vor und nach dem Spielen von »Patorimath« ausgefüllt wurden. Ein Teil der Spielenden wurde während der Befragung und dem Spielen begleitet und beobachtet.

Bei allen Befragten wird zuerst ihre Vorerfahrung mit Spielen im Allgemeinen erhoben, um Tendenzen bezüglich des Umgangs mit digitalen Spielen herauskristallisieren zu können. Dies soll Aufschluss darüber geben, ob der Spielerfolg im Zusammenhang damit steht, wie viel die Testpersonen in ihrem Alltag spielen.

Bei den Lehrenden wurde vorab erfragt, inwieweit sie mit den Begriffen *Serious Games* bzw. *GBL* vertraut sind, deren Bedeutung kennen und wie lange sie bereits als Lehrerinnen oder Lehrer tätig sind. Danach wurde ein Schwerpunkt auf gewohnte Unterrichtsmethoden zum Einführen der betreffenden Thematik gelegt, sowie erhoben, inwieweit digitale Medien, Spiele und *GBL* im Unterricht der Lehrerinnen und Lehrer zur Anwendung kommen. Der zweite Teil des Fragebogens, der nach dem Spielen ausgefüllt wurde, befasst sich mit dem Spielerlebnis und soll erheben, wieweit die Lehrenden das Spiel in Bezug auf die Wissensvermittlung bzw. -festigung der einzelnen Bereiche als sinnvoll erachten. Abschließend wurden Optimierungsvorschläge und Präferenzen bezüglich des Einsatzes der Anwendung erfragt.

Die Schülerinnen und Schüler wurden explizit nach der Verwendung von Lernspielen und den Unterrichtsmethoden ihrer Lehrerinnen und Lehrer, mit Schwerpunkt auf Spielen, befragt. Anschließend wurde themenspezifisch durch theoretische Fragen und explizite Beispiele das Grundwissen der Schülerinnen und Schüler erhoben. Der Teil des Fragebogens, der nach dem Spiel ausgefüllt wurde, stellt ähnliche fachliche Fragen, um zu sehen, ob das Verständnis durch das Spiel eine Erweiterung erfahren hat. Erfragt werden auch Anschaulichkeit, Einfachheit, Freude am Spiel, wo es Probleme bzw. Bugs gab und ob sie sich den Einsatz dieses oder eines ähnlichen Spieles in ihrem regulären Unterricht wünschen würden.

5.6.1 Fragebögen

Anmerkung: In den Fragebögen wird mit * gegendert.

Erklärung der Fragetypen:

- [W] Ja oder Nein bzw. „True or False“
- [T] Text
- [S] Skala von 1-6
- [M] Fachmathematische Frage
- [A] Auswahl

5.6.1.1 Fragebogen „vor dem Spielen“ für Lehrende (Lehrerinnen und Lehrer):

1. [T] Bitte geben Sie ein Pseudonym oder einen Begriff ein, das oder der mit dem 2. Teil des Fragebogens gematcht werden kann.
2. [T] Wie viele Jahre unterrichten Sie bereits?
3. [W] Haben Sie bereits Video – bzw. PC-/Konsolenspiele gespielt?
 - a. [A] Wenn ja, wie oft?
 - b. [T] Wenn ja, welche drei waren die häufigsten?
 - c. [T] Wenn nein, warum nicht?
4. [T] Was verstehen Sie unter dem Begriff „*Serious Games*“?
5. [T] Was verstehen Sie unter dem Begriff „*Game Based Learning*“?
6. [W] Verwenden Sie irgendeine spielerische Methode im Mathematikunterricht?
 - a. [T] Wenn Ja, welche digitalen Spiele verwenden Sie?
 - b. [T] Wenn Ja, welche Spiele ohne Technikeinsatz verwenden Sie?
 - c. [T] Wenn Nein, warum nicht?
7. [T] Wie führen Sie die folgenden Themen in Ihrem Unterricht ein? (Bitte eine kurze Beschreibung der wichtigsten Schritte und des benötigten Vorwissens)
 - a. Funktionen
 - b. Nullstelle, Extrempunkte, Wendestellen
 - c. Differenzieren
 - d. Integrieren

5.6.1.2 Fragebogen „nach dem Spielen“ für Lehrende (Lehrerinnen und Lehrer):

1. [T] Bitte geben Sie das Pseudonym oder den Begriff ein, den sie im 1. Fragebogen verwendet habe.
2. [A] Bis zu welchem Level haben Sie gespielt?
3. [T] Wie fanden Sie das Spiel?
4. [S] Hat Ihnen das Spielen Spaß gemacht?
5. [T] Welche mathematischen Elemente konnten Sie dem Spiel entnehmen?
6. [T] Wie finden Sie diese umgesetzt?
7. [S] Wie sinnvoll finden Sie das Spiel für das Vermitteln der folgenden Bereiche?
 - a. Funktionen allgemein
 - b. Nullstelle, Extrempunkte, Wendestellen
 - c. Differenzieren
 - d. Integrieren
8. [T] Wo sehen Sie Verbesserungspotential? (Bitte Verbesserungsvorschläge angeben)
9. [W] Würden Sie das Spiel in ihrem Mathematikunterricht verwenden?
 - a. [T] Wenn Ja, für welche Bereiche und wie?
 - b. [T] Wenn Nein, was fehlt Ihnen, damit sie das Spiel verwenden würden?
10. [T] Wie stehen Sie (jetzt) zu der Verwendung von *Serious Games* als zusätzliches Mittel für die Unterrichtsgestaltung?

5.6.1.3 Fragebogen „vor dem Spielen“ für Lernende (Schülerinnen und Schüler):

1. [T] Bitte gib Deinen Namen, ein Pseudonym oder einen Begriff ein, damit dieser Fragebogen mit dem anderen gematcht werden kann.
2. [A] In welche Klasse gehst Du?
3. [S] Wie sehr interessiert Dich das Fach Mathematik?
4. [W] Hast Du bereits Video - bzw. PC-/Konsolenspiele gespielt?
 - a. [A] Wenn Ja, wie oft?
 - b. [T] Wenn Ja, welche drei waren die häufigsten?
 - c. [T] Wenn Nein, warum nicht?
5. [T] Was verstehst Du unter dem Begriff „*Serious Games*“?
6. [T] Hast Du schon einmal *Lernspiele* verwendet?
7. [W] Verwenden Lehrer*innen von Dir Spiele in ihrem Unterricht?
 - a. [T] Wenn Ja, welche digitalen Spiele verwenden sie?
 - b. [T] Wenn Ja, welche Spiele ohne Technikeinsatz verwenden sie?
 - c. [T] Wenn Nein, würdest Du dir das wünschen? In welchem Fach? Warum?
8. [T] Was verstehst Du unter den folgenden Begriffen:
 - a. Funktionen
 - b. Nullstelle, Extrempunkte, Wendestellen
 - c. Differenzieren
 - d. Integrieren
9. [T] Wie verändert sich der Graph einer Funktion, wenn sie differenziert („abgeleitet“) wird?
10. [T] Wie verändert sich der Graph einer Funktion, wenn sie integriert wird?
11. [T] Was ist die Monotonie einer Funktion und wie verändert sie sich?

12. [M] Bestimme die *Nullstellen* der folgenden Grafik!

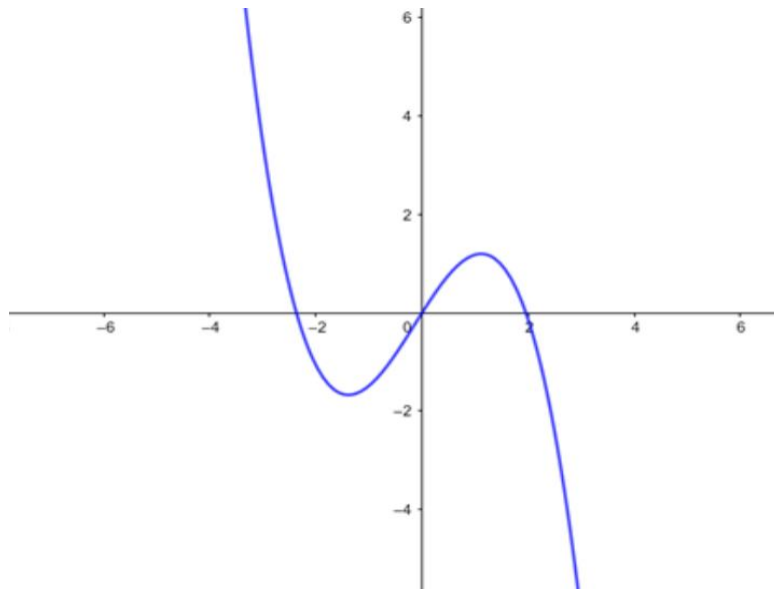


Abb. 68: GeoGebra Graph 1

13. [M] Bestimme die *Extremstellen* der folgenden Grafik!

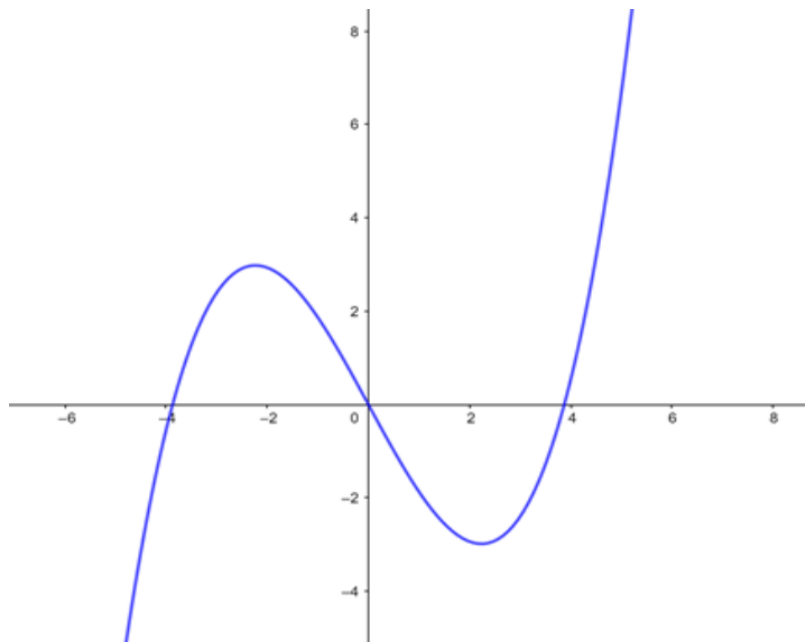


Abb. 69: GeoGebra Graph 2

5.6.1.4 Fragebogen „nach dem Spielen“ für Lernende (Schülerinnen und Schüler):

1. [T] Bitte gib das Pseudonym oder den Begriff ein, den Du im 1. Fragebogen verwendet hast.
2. [A] Bis zu welchem Level hast Du gespielt?
3. [T] Wie findest Du das Spiel?
4. [S] Wie viel Spaß hat es Dir gemacht?
5. [T] Welche mathematischen Elemente hast Du in dem Spiel erkannt? Wie würdest Du sie interpretieren?
6. [T] Wie findest Du sie umgesetzt?
7. [T] Hast Du irgendwo Schwierigkeiten gehabt?
8. [T] Wie würdest Du nach dem Spielen folgende Begriffe beschreiben?
 - a. Funktionen
 - b. Nullstelle, Extrempunkte, Wendestellen
 - c. Differenzieren
 - d. Integrieren
 - e. Monotonie
9. [T] Wie verändert sich der Graph einer Funktion, wenn sie differenziert („abgeleitet“) wird?
10. [T] Wie verändert sich der Graph einer Funktion, wenn sie integriert wird?
11. [M] Bestimme die *Nullstellen* der folgenden Grafik!

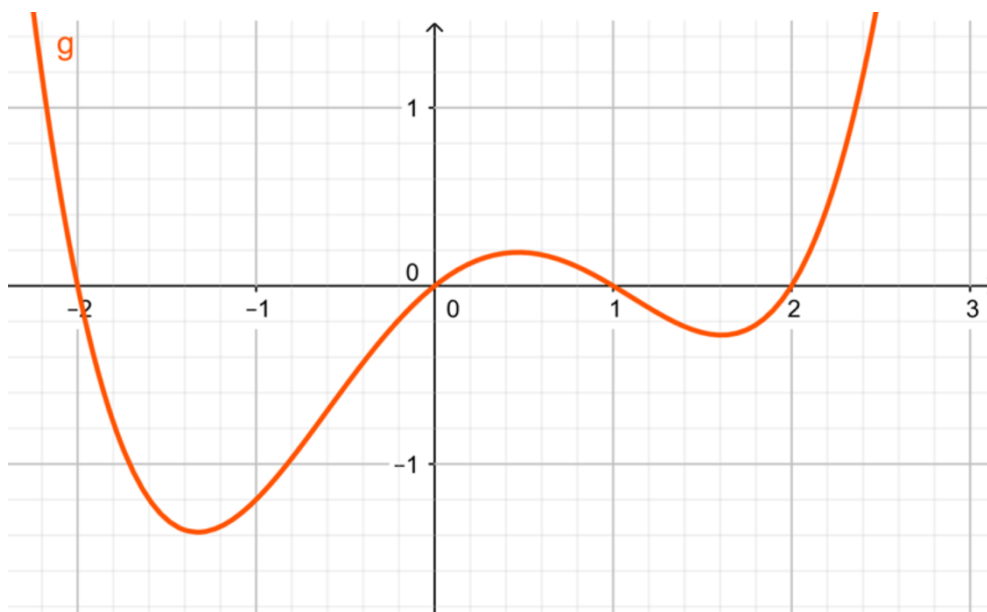


Abb. 70: GeoGebra Graph 3

12. [M] Bestimme die *Extremstellen* der folgenden Grafik!

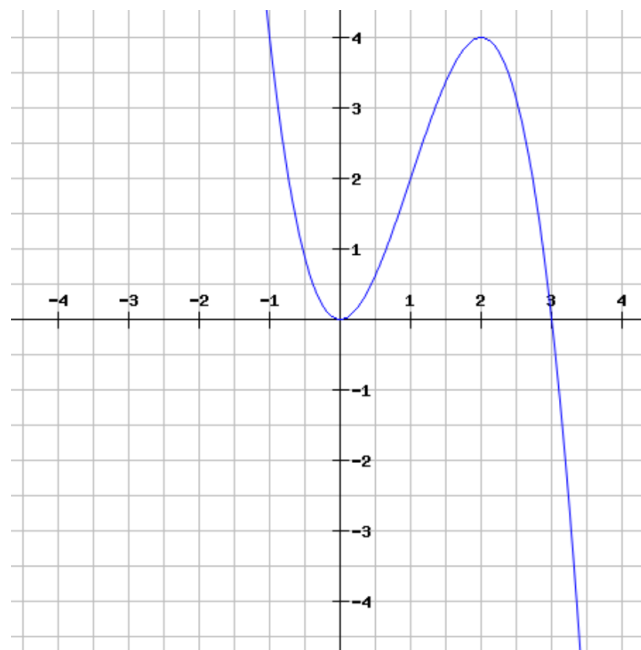


Abb. 71: GeoGebra Graph 4

13. [M] Bestimme die *Wendestellen* der folgenden Grafik!

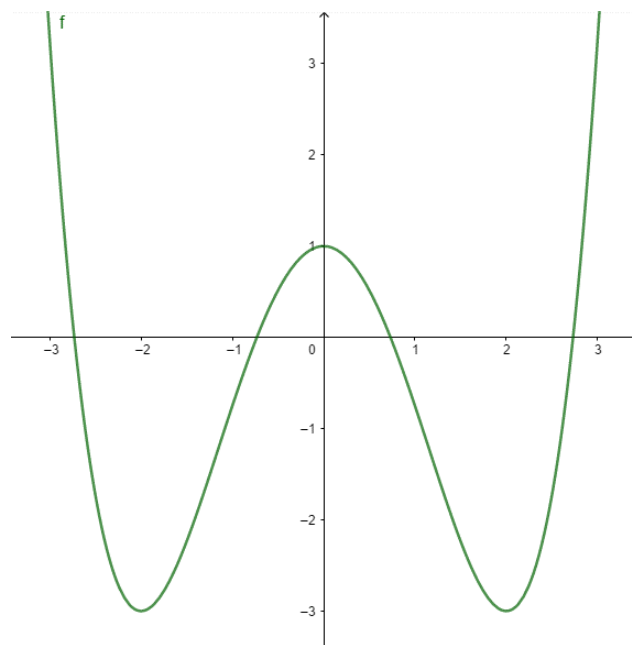


Abb. 72: GeoGebra Graph 5

14. [T] Hast Du Bugs entdeckt? Siehst Du sonst noch Verbesserungspotential?

15. [W] Hast Du jetzt Lust bekommen, andere Spiele mit Lerninhalten (*Serious Games* oder Lernspiele) zu spielen?

- a. [T] Wenn Ja, warum?
- b. [T] Wenn Nein, warum nicht?

16. [W] Würdest Du Dir wünschen, dass Lehrer*innen vermehrt ihren Unterricht um ein Spiel wie dieses erweitern?

5.6.2 Untersuchungsabsichten

Es wird erwartet, dass circa die Hälfte der Lehrenden und mehr als 80 Prozent der Schülerinnen und Schüler Erfahrung mit digitalen Spielen haben. Bezüglich des genauen Wissens ob *Serious Games* oder *Game Based Learning* wird interessant, ob die Definitionen der Begriffe bekannt sind, wenngleich vermutlich Lernspiele im Unterricht sicher mittlerweile Verwendung finden. Technischer Einsatz ist durch GeoGebra zumindest sicher gegeben. Es stellt sich die Frage, inwieweit das als Spiel gesehen wird. Es soll auch ersichtlich werden, wie das Spiel angenommen wird. Allgemein soll untersucht werden, ob die vorhergehende Spielerfahrung mit dem Spielerfolg und dem Spielvergnügen korreliert, sowie, ob sich die Einstellung nach dem Spielen von Patorimath verändert hat. Auch wird gehofft, dass seitens der Lehrenden Verbesserungsvorschläge gemacht werden, die helfen, das Spiel besser an die tatsächliche Schulsituation anzupassen.

Bei den Schülerinnen und Schülern wurde untersucht, ob das Spiel das Verständnis der abgefragten mathematischen Themen verändert und verbessert. Interessant ist des Weiteren, ob der Spielerfolg mit dem angegebenen Spielkonsum oder der angegebenen Affinität zu dem Fach Mathematik korreliert oder ob es eine Hürde für ungeübte Spielende gibt und wie die allgemeine Einstellung zu untypischen bzw. interaktiven Unterrichtsformen wie *Game Based Learning* ist. Es wird gehofft, dass es bei der verbalen Erklärung nach dem Spielen eine fundiertere Definition gibt, allerdings auf Grund des aktuellen Status des Prototyps, ist nicht ganz absehbar, wie weit diese Erwartung erfüllt werden wird. Ein weiterer Aspekt ist die Motivation der Schülerinnen und Schüler, abhängig von ihrer Schulstufe und ihrem Vorwissen. Diese Motivation wurde gemessen an der Anzahl der gespielten Level und der ernsthaften Herangehensweise bei dem Bearbeiten der Fragebögen.

5.6.3 Auswertung der Fragebögen

Im Zuge der Befragung wurden folgende Personengruppen befragt:

- 13 Mathematiklehrerinnen und -lehrer, **11** haben sowohl den 1. als auch den 2. Fragebogen ausgefüllt
- 34 Schülerinnen und Schüler der 9. Schulstufe, **30** haben sowohl den 1. als auch den 2. Fragebogen ausgefüllt
- 2 Schülerinnen und Schüler der 10. Schulstufe
- 26 Schülerinnen und Schüler der 11. Schulstufe, **23** haben sowohl den 1. als auch den 2. Fragebogen ausgefüllt
- 13 Schülerinnen und Schüler der 12. Schulstufe, **12** haben sowohl den 1. als auch den 2. Fragebogen ausgefüllt

Es wurden nur die Fragebögen der Befragten, die beide Befragungen vollständig ausgefüllt hatten, ausgewertet. Es können deshalb 11 Fragebögen der Lehrenden und 67 der Lernenden verwendet werden. Bei der Auswertung werden kurz die Ergebnisse der Lehrerinnen und Lehrer beleuchtet, der Fokus wird aber primär auf die Fragebögen gelegt, die von den Schülerinnen und Schülern ausgefüllt wurden.

5.6.3.1 Auswertung - Fragebogen Lehrende

Wie die Grafik rechts zeigt, spielt ca. ein Drittel der befragten Lehrenden mindestens einmal in der Woche. Diese Daten sind vor allem im Vergleich mit dem Spielekonsum der Schülerinnen und Schüler spannend, da hier die Generationen offensichtlich einen sehr unterschiedlichen Umgang mit dem

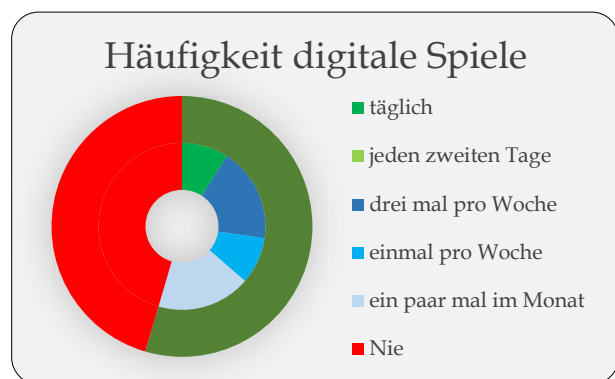


Diagramm 1: Auswertung Lehrende - Häufigkeit des Konsums von digitalen Spielen.

Medium pflegen. Es ist allgemein eine Argumentation des Serious-Games-Kontextes, dass durch das Verwenden von Spielen im Lehr- und Lernkontext auch verstärkt ein für Jugendliche gewohntes Medium genutzt werden kann.

Überraschend ist, dass von keiner Lehrperson weder für *Serious Games* noch für *Game Based Learning* eine annähernd korrekte Definition angegeben wurde. Der Terminus

Serious Games wurde entweder direkt übersetzt oder, der Umfrage geschuldet, einem pädagogischen Feld zugeschrieben. *GBL* wird fälschlicherweise mit einem mit Spielen versehenen Unterricht assoziiert. Die Aussagen überschneiden sich auch stark mit den verwendeten Applikationen, außer *Kahoot* und *eSquirrel* werden keine digitalen Spiele verwendet.

In Hinblick auf dieses Vorwissen ist die Einstellung gegenüber dem Spiel *Patorimath* überraschend positiv, wie die Antworten auf Frage 3 des zweiten Lehrenden-Fragebogens („Wie fanden Sie das Spiel?“) zeigen:

„Sehr nett zu spielen und gut geeignet zum Wiederholen und Üben.“

„Sehr cool und sehr innovativ! Es hat echt Spaß gemacht, wenn man mal das Prinzip verstanden hat. Es ist anfangs etwas unklar, was man genau machen muss. [...] Wenn man Lvl 12 geschafft hat, ist es etwas „deprimierend“, wenn es plötzlich vorbei ist. Also vielleicht andere Lvl mit weiteren Funktionen. :)

Das Spiel schafft es einen „Productive Struggle“ zu erzeugen. Das fördert ein Growth-Mindset.“

„Supiii!!!!1111

visuell ansprechend, intuitiver Zugang zu Funktionen,

Anweisungen anfangs nicht ganz klar (lesen der Schilder, Bedienung der Plattformen, Aufbrauchen der Energie)“

„Das Spiel ist sehr gut,

Die Steuerung ist etwas schwerfällig, da man an den Integral/Differenzial Portalen teilweise nur schwer vorbeikommt (wenn man zu nahe steht und springen will geht das nicht).

Es fehlt mir etwas eine Erklärung, was die verschiedenen Kristallfarben bedeuten (mir als Mathematiker schon klar, Nullstelle, Wendestellen und Extremstelle).“

„Ganz cool, weil es mich an meine Zeit von Computerspielen erinnert (Super Mario)“

„Es war interessant zu analysieren, wie man zu den Steinen oder Portalen kommt. Gut war die Übersicht in der rechten unteren Ecke.“

„Gut. Nachdem ich verstanden habe, wie alles funktioniert und was das Spiel von mir will, wollte ich es auch zu Ende spielen.“

Interessant ist, dass das Feedback insofern mit dem Spielfortschritt korreliert, als dass diejenigen, die das Spiel kürzer gespielt haben, ersichtlich an dem höchsten erreichten Level, mit der Spielmechanik mehr Probleme hatten und das Spiel als unausgereifter betiteln.

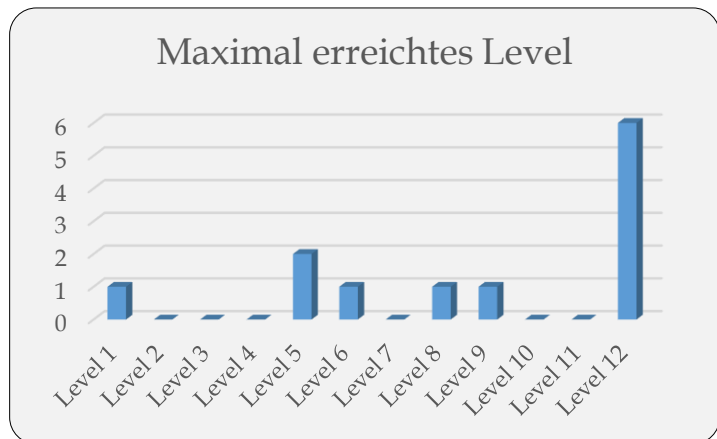


Diagramm 2: Auswertung Lehrende - Maximal erreichtes Level

Hier, sowie aus den Verbesserungsvorschlägen, geht hervor, dass die *Core-Mechanik* definitiv Anklang findet und, dass die Lehrenden den Zugang als sinnvoll erachten. Ein großer Kritikpunkt ist hier, dass das Spiel nicht intuitiv, die Steuerung noch nicht ausgereift genug ist, sowie, dass es zu textlastig ist. Positiv werden der spielerische Zugang, die graphische Umsetzung und die gute Anknüpfungsmöglichkeit für Schülerinnen und Schüler unterstrichen.

Aus der Frage nach den einzelnen thematischen Gebieten geht klar hervor, dass der Bereich der Null-, Extrem- und- Wendestellen am besten umgesetzt wurde.

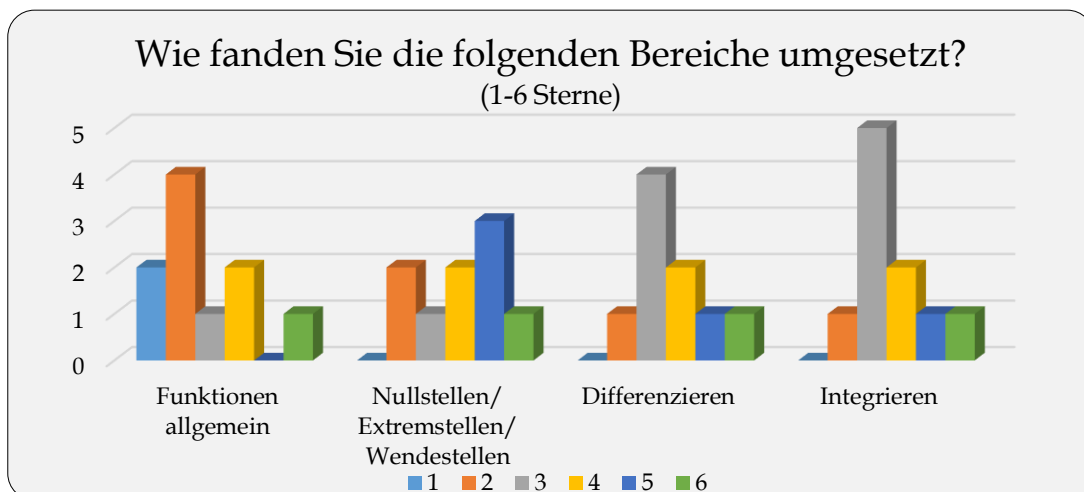


Diagramm 3: Auswertung Lehrende - Umsetzung der unterschiedlichen mathematischen Bereiche

Mehr als die Hälfte der Befragten würden das Spiel in der aktuellen Version als Einstieg oder Revision verwenden, ein weiteres Drittel würde es einsetzen, nachdem einige Modifikationen vorgenommen wurden. Dies allein spricht stark dafür, dass die Kerbe, in die das Spiel schlägt, für Lehrende interessant und ansprechend ist.

5.6.3.2 Auswertung - Fragebogen Lernende

Der Großteil der befragten Schülerinnen und Schüler stammt aus der 9. Schulstufe, anteilig sind die Lernenden der 10. Schulstufe am geringsten vertreten. Die Verteilung ermöglicht die Beobachtung des Zusammenhangs des Spielverhaltens mit dem Vorwissen. Ein entscheidender Faktor bei dem Testen des Spieles war eine unterschiedliche Spieldauer, abhängig von dem Vorwissen der Spielenden. Die weitere Auswertung hat gezeigt, dass die Spielmotivation nicht eindeutig mit der Einstellung zum Mathematikunterricht korreliert.

Betrachtet man das Spielverhalten der Jugendlichen in Hinblick auf das Ausmaß des Spielens, wie auf die meistgespielten Spiele, wird, wie bereits bei dem vorhergehenden Abschnitt bemerkt, ersichtlich, dass diese Generation weit mehr digitale Spiele spielt. Alle von den Schülerinnen und Schülern angegebenen Spiele sind *COST* Spiele, von denen aber mindestens ein Drittel einen *Serious-Game-Aspekt*

beinhalten. Eine weitere interessante Beobachtung ist die Tatsache, dass verhältnismäßig wenig Smartphoneapps aufgezählt wurden. Hier hat eine Diskussion

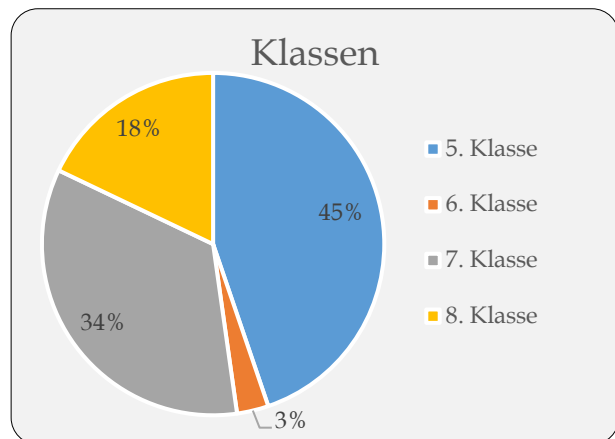


Diagramm 4: Auswertung Lernende - Klassen

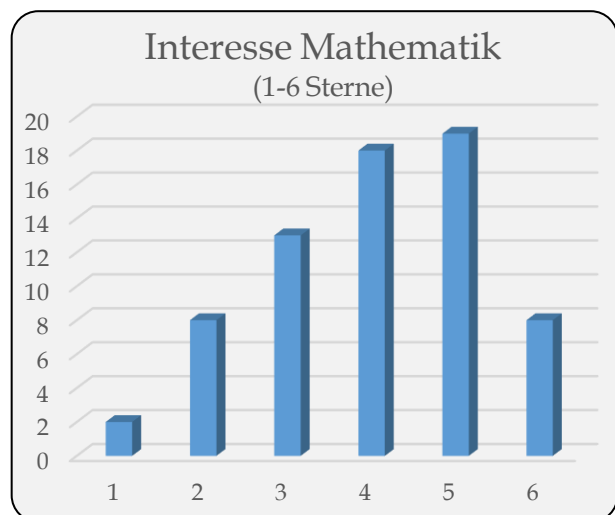


Diagramm 5: Auswertung Lernende - Interesse am Mathematikunterricht.

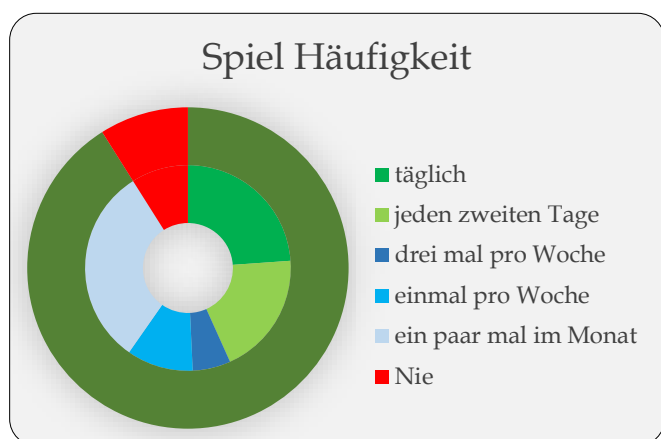


Diagramm 6: Auswertung Lernende -- Häufigkeit des Konsums von digitalen Spielen.

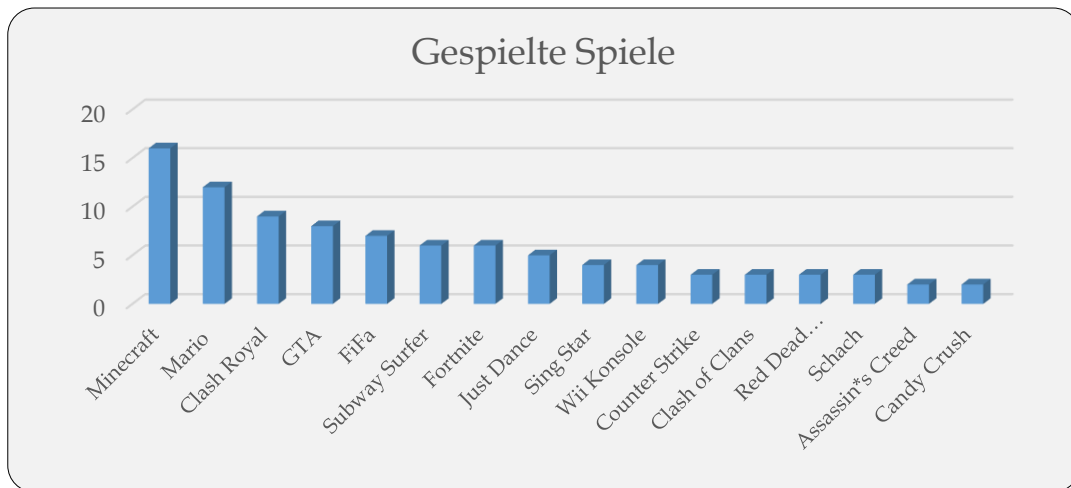


Diagramm 7: Auswertung Lernende - Meistgespielten Spiele

aufgezeigt, dass die Befragten diese Spiele oft nicht als Spiele wahrnehmen. Es ist also anzunehmen, dass die Zahl der gespielten Spiele tatsächlich sogar höher ist.

Betrachtet man nun die Spiele, die laut den Schülerinnen und Schülern im Mathematikunterricht verwendet werden, so bestätigen sich die Aussagen der Lehrenden durchaus. Allerdings wird hier ersichtlich, dass die Lehrerinnen und Lehrer tatsächlich öfter Spiele verwenden, als sie angeben. Vor allem sogar jene, die nicht digital unterstützt werden oder klar in die Kategorie der COTS fallen.

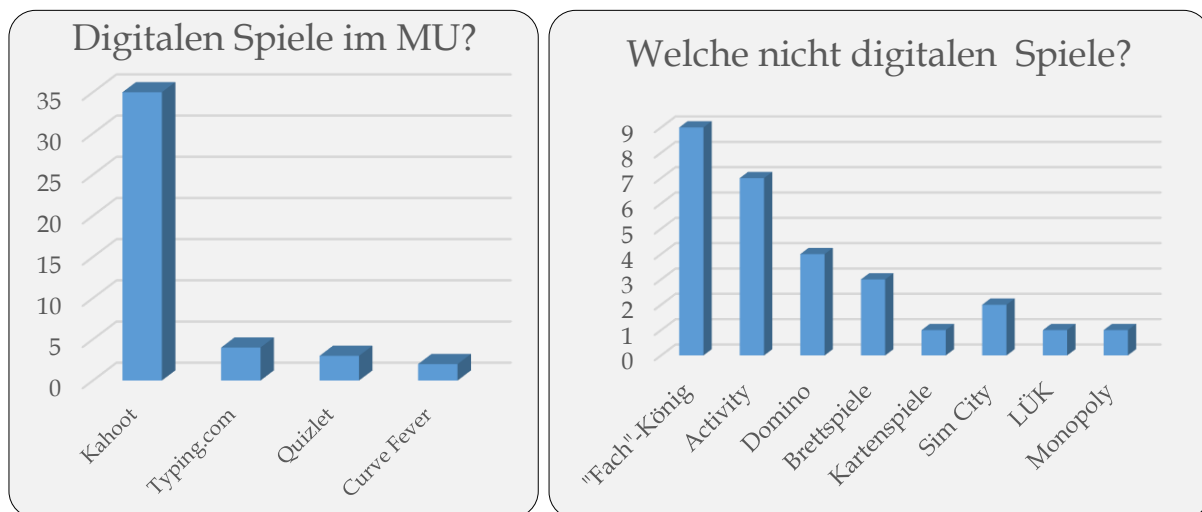


Diagramm 8: Auswertung Lernende - Im Mathematikunterricht verwendete digitale & analoge Spiele

Die Auswertung des zweiten Fragebogens, den die Lernenden beantworteten, zeigt ein sehr klares Bild. Nicht nur waren die Jugendlichen sehr motiviert, das Spiel Patorimath zu spielen, interessanterweise war dies auch nicht davon abhängig, wie viel Vorwissen bereits vorhanden war. Die Motivation wird wieder mit dem maximal erreichten Level visualisiert. Ein überaus interessantes Detail ist auch, dass keine Person, die die 12. Schulstufe besucht, über das Level 10 hinausgekommen ist. Weiters

wird durch das verbale Feedback auch ersichtlich, dass die Schülerinnen und Schüler den Zugang überwiegend positiv wahrnehmen. Selbst diejenigen, die angaben, teilweise gescheitert oder frustriert gewesen zu sein, haben das Spiel in großer Zahl durchgespielt und die mathematischen Elemente zu benennen gewusst.

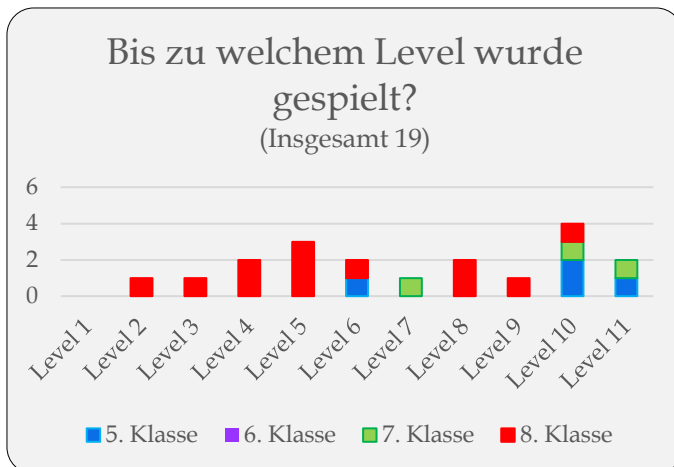
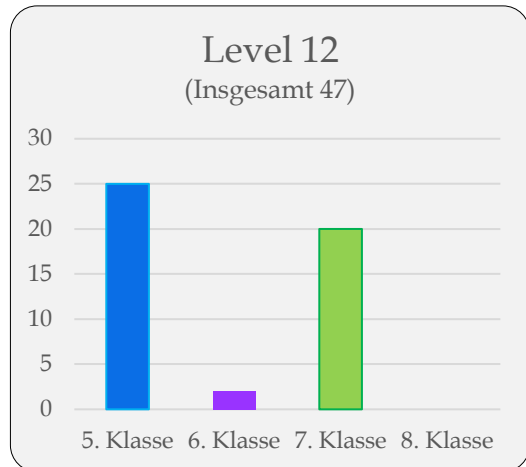


Diagramm 9: Auswertung Lernende - maximal erreichtes Level



Beim Spielen gaben mehr als zwei Drittel der Jugendlichen zumindest 4/6 Sterne ab - in Summe ein überaus positives Ergebnis und auch die Gespräche stützten diese Beobachtung. Hier konnten die Schülerinnen und Schüler in einem Freitext antworten. Um eine gute Übersicht zu erhalten, wurden aussagekräftige und sich wiederholende Schlagwörter markiert und gebündelt:

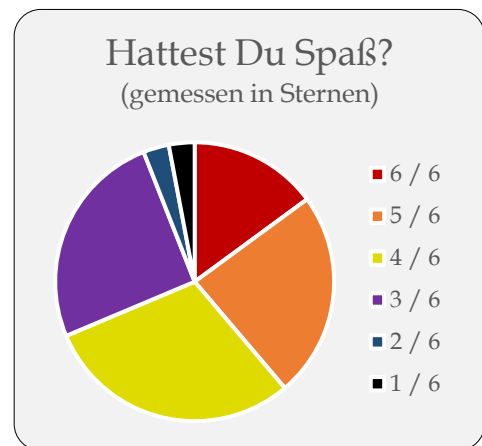


Diagramm 11: Auswertung Lernende - Spaßfaktor



Diagramm 10: Auswertung Lernende - verbale Bewertung des Spiels

Auch hier ist ersichtlich, dass positiv konnotierte Aussagen bei weitem überwiegen. Um zu erheben, ob es auch eine Beobachtung oder Erkenntnisse bezüglich der mathematischen Aspekte des Spieles gab, wurde neben einer freien Aufzählung aller mathematischen Komponenten ein Wissenserwerb überprüft, indem die Schülerinnen vor und nach dem Spielen Null-, Extrem- und Wendestellen zuordnen mussten. Betrachtet man die einzelnen Ergebnisse, kann gesehen werden, dass es bei den Extremstellen eine klare Verbesserung gibt und bei den Nullstellen der Wissensstand gleichzubleiben scheint. Da die Wendestellen lediglich nach dem Spielen abgefragt wurden, kann hier kein Vergleich gezogen werden.

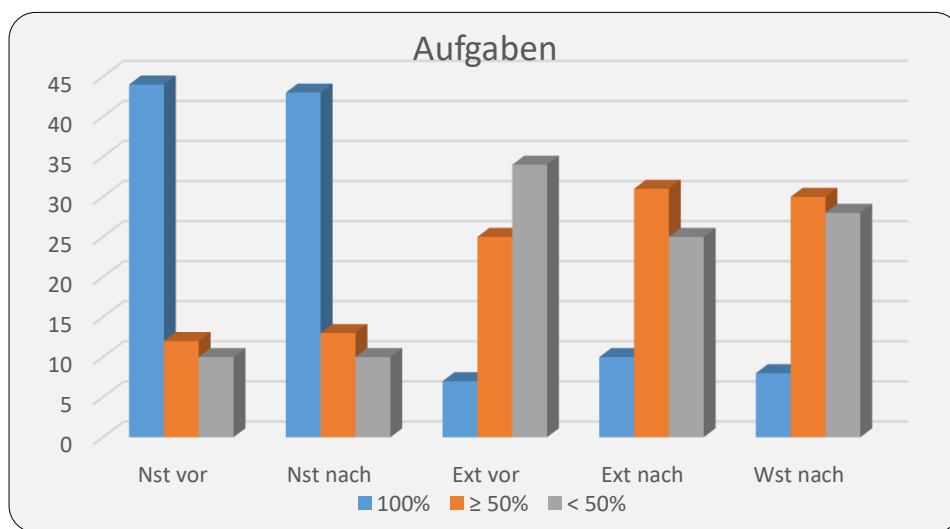


Diagramm 12: Auswertung Lernende - Auswertung Aufgabestellungen

Vergleicht man allerdings die Antworten der einzelnen Befragten und setzt sie in Abhängigkeit zueinander, wird ersichtlich, dass doch eine Vielzahl der Schülerinnen und Schüler entweder auf dem gleichen Stand geblieben sind oder sich verbessert haben.

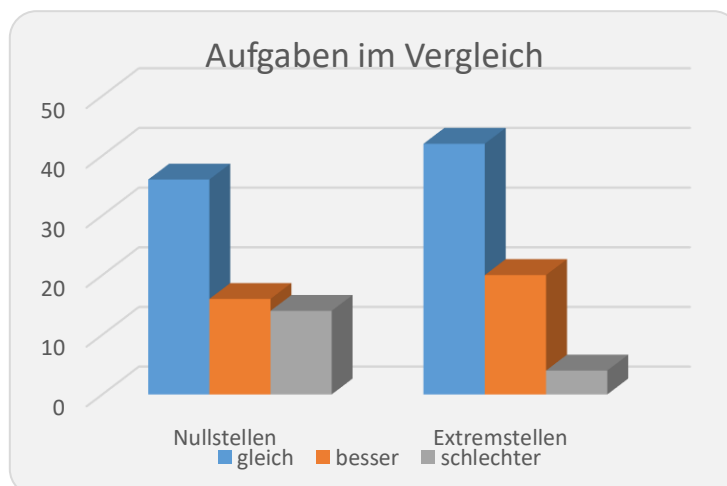


Diagramm 13: Auswertung Lernende - Auswertung Aufgabestellungen im Vergleich

6 Diskussion und Ausblick

Es wurde ersichtlich, dass Serious Games ein großes Potential bergen, auch bezüglich der Vermittlung von mathematischen Inhalten. Eine der größten Hürden allerdings, die sich derzeit einer tieferen Auseinandersetzung und einer umfangreicheren Anwendung in den Weg stellen, ist die Tatsache, dass es kaum gut kuratierte Plattformen gibt, die ein breites Spektrum an Spielen sammeln, kategorisieren und mit Vorschlägen für die Anwendung im Schulwesen versehen. Hier muss in den nächsten Jahren viel Arbeit investiert werden, gerade weil Initiativen wie die Digitale Grundbildung sonst gefährdet sein könnten, solange es keine Brücke zwischen den existierenden Ressourcen und den Lehrenden gibt.

Bezüglich des im Zuge der Arbeit entwickelten Spieles Patorimath hat sich gezeigt, dass sowohl Schülerinnen und Schüler, als auch Lehrerinnen und Lehrer, das Spiel sehr positiv annehmen. Es muss allerdings noch um einige Elemente erweitert werden, was aber immer, wenn etwas Neues entwickelt wird, zu erwarten ist. Wichtige Elemente und Funktionen, die entweder bereits geplant waren oder im Zuge der Umfragen aufgekommen sind, umfassen:

- Eine aktive Veränderung der Funktion, entweder durch ein Verschieben entlang der X- oder Y- Achse oder durch eine Veränderung der Koeffizienten. Hierfür muss die Engine um einen CAS erweitert werden, der die Graphen live plottet und auch modellierbar werden lässt.
- Mehr Möglichkeiten, um Fehler zu machen
- Eine rudimentäre Überarbeitung des Tutorial Systems
- Das Anzeigen der Funktion
- Eine Visualisierung der zusammenhängenden Null-, Extrem- und Wendestellen
- Eine Editor-Umgebung, in der Lehrende schnell Level erstellen können.
- Weitere Levels

Das Spiel soll in Zukunft weiterentwickelt werden und vielen Schülerinnen und Schülern ein Angebot sein, um Mathematik lieben zu lernen und zu sehen, dass Mathematik unsichtbar immer in ihrem Leben ist. Wie im Spiel.

7 Referenzen

7.1 Literaturverzeichnis

- Abt, Clark C.: Ernste Spiele. Lernen durch gespielte Wirklichkeit. Köln: Kiepenheuer & Witsch 1971.
- Böhle, Fritz: Computerspiele - nicht zu viel, sondern eher zu wenig Spiel. Eine Betrachtung aus kultur- und arbeitssoziologischer Sicht - In: Christian Holtorf, Claus Pias (Hg.): Escape! Computerspiele als Kulturtechnik; Köln; Böhlau; 2007.
- Bosch, Siegfried: Algebra. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 2009.
- Breuer, Johannes; Bente, Gary (2010): Why so serious? On the Relation of Serious Games and Learning. In: Eludamos. Journal for Computer Game Culture. 4 (1).
- Browne, Cameron; Maire, Frederic: Evolutionary Game Design. In: IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games. Vol. 2, Nr. 1 2010.
- Bruns, Daniela: Negotiating Fun and Seriousness in Commercial Videogames. In: Elmenreich, Wilfried; Schalleger, René Reinhold (Hg) u.a.: Savegame. Agency, Design, Engineering. Mainz: Springer.
- Castronova, Edward: Synthetic worlds - the business and culture of online games. London: University of Chicago Press 2005.
- Ceceri, Kathy: Video Games. White River Junction: Nomad Press 2015.
- Csikszentmihalyi, Mihaly; Aebli, Hans; u.a.: Das Flow-Erlebnis. Jenseits von Angst und Langeweile: im Tun aufgehen. Stuttgart: Klett-Cotta⁸ 2000.
- DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hg.): DIN SPEC 91380. Serious Games Metadata Format. Beuth Verlag GmbH, Berlin (2018).
- Halpern, Jared: Developing 2D Games with Unity. New York: Apress, 2019.
- Hicks, Andrew; Barnes, Tiffany; u.a.: Design Tools and Data-Driven Methods to Facilitate Player Authoring in a Programming Puzzle Game. North Carolina State University: ProQuest Dissertations and Theses 2017.
- Huizinga, Johan H.: Homo Ludens - Study of the Play Element in Culture; Routledge; London; 1980.
- Huizinga, Johan H.: Homo Ludens - Vom Ursprung der Kultur im Spiel; Routledge; London; 1956.
- Hunter, John [GLOBART]: World Peace Game // GLOBART 2014. 09.07.2014, [Youtube] <https://www.youtube.com/watch?v=avWRf6fAZCc> 01:29 - 1:55 [Letzter Zugriff am 08.02.2020].

- Karsenti, Thierry; Bugmann, Julien, u.a.: Transforming Education with Minecraft? Results of an exploratory study conducted with 118 elementary-school students. Montréal: Library and Archives Canada.
- Karsenti, Thierry; Bugmann, Julien: The Educational Impacts of Minecraft on Elementary School Students. In: Research on e-learning and ICT in Education, Springer 2017.
- Kirchler, Erich; Walenta, Christa: „Motivation“ Wien: Facultas Wuv 2010.
- Koster, Raph: A Theory of Fun for Game Design. O'Reilly Media² 2013.
- Kuhn, Jeff: Minecraft: Education Edition. In: *CALICO Journal* 35.2 2018.
- Long, Yanjin; Alevin, Vincent: Educational Game and Intelligent Tutoring System: A Classroom Study and Comparative Design Analysis. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.* 24, 3, Article 20; 2017.
- Malle, Günther; Koth, Maria u.a.: Mathematik Verstehen: 7, Schulbuch. 1. Auflage. ed. Wien: öbv, 2019.
- Malle, Günther; Koth, Maria u.a.: Mathematik Verstehen: 8, Schulbuch. 1. Auflage. ed. Wien: öbv, 2019.
- Mead, George Herbert; Charles W. Morris (Hg.): Mind, Self, and Society from the Standpoint of a Social Behaviorist. London: University of Chicago Press 1972.
- Michael, David; Chen, Sande: Serious games: Games that educate, train, and inform. Boston: MA Thomson Course Technology 2006.
- Rey, Günter Daniel: E-Learning: Theorien, Gestaltungsempfehlungen und Forschung. Bern: Huber, 2009.
- Schell, Jesse: The Art of Game Design. A Book of Lenses. Boca Raton, FL: CRC Press LLC³ 2020.
- Shaffer, David Williamson: Epistemic Games. In: *Innovate* 1 (6) Florida: NSU 2005.
- Shaffer, David Williamson: Video games and the future of learning. Madison: University of Wisconsin- Madison 2004.
- Siegbert A. Warwitz, Anita Rudolf: Spielend ein anderer sein – Rollenspiele. In: Vom Sinn des Spielens. Reflexionen und Spielideen. Hohengehren: Schneider, Baltmannsweiler⁴ 2016.
- Siew, Nyet Moi, Geoffrey, Jolly u.a.: Students' Algebraic Thinking and Attitudes towards Algebra: The Effects of Game-Based Learning using Dragonbox12+ App. In: *Electronic Journal of Mathematics & Technology*, 10(1). Blacksburg: Mathematics & Technology, LLC 2016.

Susi, Tarja; Johannesson, Mikael u.a.: Serious Games - An Overview. Sweden: University of Skövde 2007.

Vorlaufer, Barbara: History Is Our Playground: Geschichtsdarstellungen in Videospiele Am Beispiel Der Assassin's Creed-Reihe. Wien: Universität Wien, 2017.

Wenz, Karin: Game Art - In: Britta Neitzel (Hg.): Das Spiel mit dem Medium. Partizipation - Immersion - Interaktion. Marburg: Schüren 2006.

Zyda, Michael: From visual simulation to virtual reality to games In: Computer, September 2005, Vol.38(9) 2005.

7.2 Internetquellen:

http://atfd.pbworks.com/w/file/fetch/107507691/lp_neu_ahs_07_11859.pdf
[Stand.06-07.2020].

<http://web.archive.org/web/20150129051739/http://www.seriousgames.org/>
[Letzter Zugriff am 2015].

<http://www.bruehlmeier.info/cuisenaire.htm> [Letzter Zugriff am 11.12.2019].

<http://www.gamestudies.org/0102/newman/> [Letzter Zugriff am 01.02.2020].

<http://www.ingur.com/a/SjhJJ> [Letzter Zugriff am 22.12.2019].

<http://www.mattleblanc.github.io/LHC/> [Letzter Zugriff am 09.12.2019].

<http://www.oldmansjourney.com/> [Letzter Zugriff am 12.09.2019].

<http://www.serious-gamers.at/projects/2020/patorimath/Diplomarbeit>
[Letzter Zugriff 13.02.2020].

<http://www.sinerider.com/> [Letzter Zugriff am 22.12.2019].

<http://www.web.archive.org/web/20141018090925/http://sineridergame.com/>
[Letzter Zugriff am 22.12.2019].

<https://arstechnica.com/gaming/2017/09/discovery-tour-lets-you-explore-assassins-creed-origins-combat-free/> [Letzter Zugriff am 06.02.2020].

<https://blogs.unity3d.com/2018/09/20/intro-to-2d-world-building-with-sprite-shape/> [Letzter Zugriff 12.02.2020].

[https://de.wikipedia.org/wiki/Genre_\(Computerspiele\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Genre_(Computerspiele))
[Letzter Zugriff am 20.01.2020].

https://en.wikipedia.org/wiki/Assassin's_Creed [Letzter Zugriff am 06.02.2020].

<https://peaksel.com/math-games/zeus-vs-monsters-math-game/>
[Letzter Zugriff am 08.12.2019].

https://play.google.com/store/apps/details?id=com.androbaby.game2048&hl=en_US [Letzter Zugriff am 06.06.2020].

<https://seriousgames-portal.org/> [Letzter Zugriff am 09.02.2020].

<https://supermariobros.io/> [Letzter Zugriff am 06.02.2020].

https://vsrecommendedgames.fandom.com/wiki/A_List_and_Guide_to_Game_Genres [Letzter Zugriff am 20.01.2020].

<https://worldpeacegame.org/the-game/> [Letzter Zugriff am 08.02.2020].

https://www.bifie.at/wp-content/uploads/2017/06/Deskriptoren_BiSt_M4.pdf
[Letzter Zugriff am 11.12.2019].

https://www.bifie.at/wp-content/uploads/2017/06/Deskriptoren_BiSt_M4.pdf
[Letzter Zugriff am 11.12.2019].

https://www.bifie.at/wp-content/uploads/2017/06/Deskriptoren_BiSt_M8.pdf
[Letzter Zugriff am 12.12.2019].

<https://www.bohemia.net/games/arma3> [Letzter Zugriff am 02.02.2020].

<https://www.classcraft.com/de/> [Letzter Zugriff am 08.02.2020].

<https://www.derstandard.at/story/2000056241871/politische-bildung-ganz-spielerisch> [Letzter Zugriff am 08.02.2020].

<https://www.dragonbox.com> [Letzter Zugriff am 11.12.2019].

<https://www.duden.de/rechtschreibung/Spiel> [Letzter Zugriff am 14.01.2019].

<https://www.geogebra.org> [Letzter Zugriff 12.02.2020].

<https://www.mathgames.com/> [Letzter Zugriff am 08.12.2019].

https://www.matura.gv.at/fileadmin/user_upload/downloads/Begleitmaterial/MA/srp_ma_grundkonzept_2019-09-03.pdf [Letzter Zugriff am 06.06.2020].

https://www.retrogames.cz/play_102-DOS.php [Letzter Zugriff am 06.02.2020].

<https://www.techopedia.com/definition/23371/digital-revolution>
[Letzter Zugriff am 02.04.2020].

<https://www.theverge.com/2014/10/31/7132587/assassins-creed-unity-paris>
[Letzter Zugriff am 06.02.2020].

<https://www.wilsoncenter.org/program/serious-games-initiative>
[Letzter Zugriff am 01.02.2020].

<https://www.youtube.com/watch?v=snO68aJTOpM> [Letzter Zugriff am 08.02.2020].

<https://www.youtube.com/watch?v=x88Z5txBc7w> [Letzter Zugriff am 08.02.2020].

7.3 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Beziehung von Serious Games mit ähnlichen Konzepten, erweitert durch die Menge der Spiele	18
Abb. 2: Game Entwicklungs- bzw. Lebenszyklus	22
Abb. 3: Zeus vs. Monsters Gameplay	27
Abb. 4: 2048 - Gameplay	28
Abb. 5: 2048 Fibonacci - Gameplay	28
Abb. 6: DragonBox Numbers - die Nooms	29
Abb. 7: DragonBox Numbers -Ein Level.....	30
Abb. 8:DragonBox - Big Numbers - Core-Mechanik.....	31
Abb. 9: DragonBox - Elements - Core-Mechanik	33
Abb. 10: DragonBox - Elements - Radian.....	34
Abb. 11: DragonBox - Elements - Winkel und Gegenwinkel	34
Abb. 12: Rechte Winkel.....	34
Abb. 13: DragonBox - Elements - fliegendes Auge.....	34
Abb. 14:Triangulum	35
Abb. 15: Isosceles	35
Abb. 16: Aequilaterus	35
Abb. 17: Quadrilaterum.....	35
Abb. 18: Rhombus	35
Abb. 19: Trapezium.....	35
Abb. 20: Parallelogrammum.....	35
Abb. 21: Rectangulum.....	36
Abb. 22: Trirectus.....	36
Abb. 23: Quadrum.....	36
Abb. 24: Dragonbox Algebra 5+ Gameplay.....	38
Abb. 25: Dragonbox Algebra Unbekannte Symbol	39
Abb. 26: Dragonbox Algebra Unbekannte Term	39
Abb. 27: Dragonbox Algebra Konstante Symbol.....	39
Abb. 28: Dragonbox Algebra Konstante Term.....	39
Abb. 29: Dragonbox Algebra negative Konstante Symbol.....	39
Abb. 30: Dragonbox Algebra negative Konstante Term.....	39
Abb. 31: Dragonbox Algebra Vortex/Null Symbol	39

Abb. 32: Dragonbox Algebra Vortex/ Null Term	39
Abb. 33: Dragonbox Algebra Zahl Symbol.....	39
Abb. 34: Dragonbox Algebra Zahl	39
Abb. 35: Dragonbox Algebra Einselement Symbol	39
Abb. 36: Dragonbox Algebra Einselement Term	39
Abb. 37: DragonBox Algebra 5+ - Aufbau: Vortex.....	40
Abb. 38: DragonBox Algebra 5+ Aufbau: inverses Element.....	40
Abb. 39: DragonBox Algebra 5+ Aufbau: 1.Operation	40
Abb. 40: DragonBox Algebra 5+ Aufbau: Brüche und Einselement.....	41
Abb. 42: DragonBox Algebra 5+ Aufbau: Brüche erstellen.....	41
Abb. 42: DragonBox Algebra 5+ Aufbau: Brüche multiplikativ erweitern	41
Abb. 44: DragonBox Algebra 5+ Transfer in Kapitel 4	42
Abb. 44: DragonBox Algebra 5+ Transfer in Kapitel 5	42
Abb. 45: DragonBox Algebra 12+ Primfaktorzerlegung.....	42
Abb. 46: DragonBox Algebra 12+ Produkt teilen und bilden.....	42
Abb. 47: DragonBox Algebra 12+ Umwandeln negativ und positiv	43
Abb. 48: Dragon-Box Algebra 12+ Ein-führen Klammern	43
Abb. 49: DragonBox Algebra 12+: Klammern mit Multiplikation/ Division	43
Abb. 50: DragonBox Algebra 12+: Herausheben	44
Abb. 51: DragonBox Algebra 12+: Brüche erweitern	44
Abb. 52: SineRider - Start Screen.....	48
Abb. 53: SineRider - Level	49
Abb. 54: SineRider - Parabeln	49
Abb. 55: Patorimath - Startbildschirm.....	57
Abb. 56: Patorimath - Level Menü	57
Abb. 57: Patorimath - Plattformen/ Steine, um Layer zu wechseln.....	58
Abb. 58: Patorimath - Schilder mit Hinweisen.....	59
Abb. 59: Patorimath - HUD.....	60
Abb. 60: Unity UI - Am Beispiel des Spiels Patorimath.....	62
Abb. 61: Sprite Shape Editor	62
Abb. 62: Eingabe der Positionen der Kristalle auf den unterschiedlichen Graphen...	64
Abb. 64: Patorimath Meditationsmodus default	65

Abb. 64: Patorimath Medidationsmodus Mouseover bei Integral-Button	65
Abb. 65 Schulbuchbeispiel 3.81	70
Abb. 66 Schulbuchbeispiele 3.84, 3.86	70
Abb. 67 Schulbuchbeispiel 1.53	71
Abb. 68: GeoGebra Graph 1	78
Abb. 69: GeoGebra Graph 2	78
Abb. 70: GeoGebra Graph 3	79
Abb. 71: GeoGebra Graph 4	80
Abb. 72: GeoGebra Graph 5	80

7.4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:Informationen zum Spiel, Element-Block SpielInfo (en: gameInfo)	24
Tabelle 2: DragonBox Numbers und Big Numbers - Kompetenzen.....	33
Tabelle 3:DragonBox Elements - Spielelemente.....	36
Tabelle 4:DragonBox Elements - Kompetenzen.....	37
Tabelle 5:DragonBox Algebra 5+ & 12+ - Spielelemente.....	39
Tabelle 6: DragonBox Algebra 5+ & 12+ - Kompetenzen.....	47
Tabelle 7: Game Design Dokument Patorimath	52
Tabelle 8:Patorimath - Auflistung der Level	59

7.5 Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Auswertung Lehrende - Häufigkeit des Konsums von digitalen Spielen.....	82
Diagramm 2: Auswertung Lehrende - Maximal erreichtes Level.....	84
Diagramm 3: Auswertung Lehrende - Umsetzung der unterschiedlichen mathematischen Bereiche.....	84
Diagramm 4: Auswertung Lernende - Klassen	85
Diagramm 5: Auswertung Lernende - Interesse am Mathematikunterricht	85
Diagramm 6: Auswertung Lernende -- Häufigkeit des Konsums von digitalen Spielen.....	85
Diagramm 7: Auswertung Lernende - Meistgespielten Spiele.....	86
Diagramm 8: Auswertung Lernende - Im Mathematikunterricht verwendete digitale & analoge Spiele.....	86
Diagramm 9: Auswertung Lernende - maximal erreichtes Level.....	87
Diagramm 10: Auswertung Lernende - Spaßfaktor	87
Diagramm 11: Auswertung Lernende - verbale Bewertung des Spiels.....	87
Diagramm 12: Auswertung Lernende - Auswertung Aufgabestellungen.....	88
Diagramm 13: Auswertung Lernende - Auswertung Aufgabenstellungen im Vergleich	88