

Bachelorarbeit zum Thema

Spielend die Welt verstehen – Gamification in der Kartografie

Entwicklung eines interaktiven Lernspiels zur Vermittlung
kartografischer Grundlagen in der Grundschule



Angefertigt von:

Sebastian Dreier
XXXXXXXXXXXXXXXXXX

Studiengang: GeoVisual Design – Geomatics

Matrikelnummer: XXXXXXXX

Erstbetreuer: Prof. Dr. Sven Fuhrmann (HM)

Praxisbetreuer: Thomas Meier (LDBV)

Die Arbeit wurde angefertigt in Kooperation mit dem Landesamt
für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (LDBV)

Landesamt für Digitalisierung,
Breitband und Vermessung



Sommersemester 2026

Abgabetermin: 24. April 2026

Abstract

Das primäre Ziel dieser Bachelorarbeit ist die Entwicklung eines funktionsfähigen Lernspiel-Prototypen, der speziell darauf ausgerichtet ist, kognitive Hürden beim Erwerb kartografischer Basiskompetenzen in der Grundschule zu reduzieren. Im Fokus steht dabei die Unterstützung des komplexen Abstraktionsprozesses von der dreidimensionalen Lebenswelt zur zweidimensionalen Darstellung einer Karte. Zentrales Element ist die Überwindung des Perspektivwechsels von der Frontalansicht zur orthogonalen Draufsicht.

Die Arbeit folgt einem interdisziplinären Ansatz, der fachdidaktische Anforderungen des Geografieunterrichts mit modernen Prinzipien des Game-Based Learning verknüpft. Zur Ermittlung zielgruppengerechter Kartensymbole wurde ein Vorab-Fragebogen mit über 200 Rückläufern aus der Zielgruppe ausgewertet. Die technische Realisierung des Prototyps erfolgte in der Open-Source-Game-Engine Godot. Dabei kam sowohl generative Künstliche Intelligenz (u. a. Google Gemini, ElevenLabs) für Grafiken bzw. Sprachausgabe als auch „klassische“ 3D-Modeling-Verfahren in Blender zum Einsatz.

Das Kernstück des entwickelten Prototyps basiert auf einem interaktiven Perspektiv-Slider, der einen stufenlosen Kameranachschwenk zwischen Schräg- und Draufsicht ermöglicht. Es wurde nachgewiesen, dass die Integration einer hochwertigen, KI-generierten Sprachausgabe als Informationskanal die visuelle Aufmerksamkeit der Kinder bei der Kartenarbeit effektiv entlastet. Technische Herausforderungen zeigten sich insbesondere beim automatisierten Rigging komplexer 3D-Modelle.

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass die kognitive Hürde der Transformation von 3D zu 2D durch interaktive Mitarbeit für Grundschüler leichter überwindbar ist als durch statische Analogmedien. Der Einsatz generativer KI erweist sich als effizientes Werkzeug zur Asset-Erstellung, erfordert jedoch unter Umständen auch ein gewisses Maß an manueller Nachbearbeitung. Zukünftige Weiterentwicklungen könnten den Lernerfolg durch eine Erweiterung um reale Geodaten und eine personalisierte Sprachausgabe weiter steigern.

Vorwort

Zu meiner Grundschulzeit war an Gamification im Unterricht leider nicht zu denken. Wobei ... Ich hatte immerhin den Little Professor – ein Gerät, das optisch an einen Taschenrechner erinnert. Aber anders als bei einem echten Taschenrechner wurden mir als Nutzer dröge Grundrechenaufgaben gestellt und dann auch noch versucht, mir das Ganze mit rudimentären Animationen als „Spaß“ zu verkaufen. Also, vielen Dank nochmals dafür, Texas Instruments!

Und dann war da noch das allseits bekannte „Eckenrechnen“, ein Bewegungsspiel, bei dem man sich durch schnelles Kopfrechnen im Klassenzimmer von Ecke zu Ecke „kämpfte“. Fällt sowas bereits unter Gamification? Es hat zumindest Spaß gemacht. Ob es nachhaltig die Mathematik-Fähigkeiten gefördert hat, sei dahingestellt, aber als Methode zur Auflockerung erfüllte es seinen Zweck allemal.

Im Rahmen meines Informatik-Studiums folgte dann der erste wirkliche Berührungspunkt mit Gamification. Der Hamster-Simulator diente der Einführung von Java-Syntax und ersten Programmierlogiken wie Konditionen, Schleifen usw. Man musste die Geschicke eines virtuellen Hamsters programmatisch lenken. Durch den hohen Spaßfaktor und die emotionale Bindung zu dem lieb gewonnenen Nagetier hatte man schnell verdrängt, dass man gerade tief in einem Lernprozess steckte. Dies ist ein hervorragendes Beispiel für die Wirkung von Gamification, wobei ich diesen Ansatz – mit dem Kenntnisstand nach dieser Arbeit – eher als Game-Based Learning bezeichnen würde (vgl. Kapitel „2.3.1 Begriffsdefinitionen“).

Die grobe Idee zu dieser Arbeit kam durch meine Tätigkeiten im Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (LDBV), wo ich mit der Game

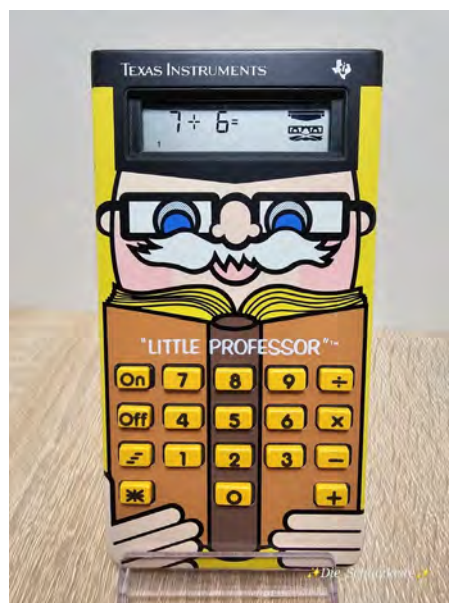


Abbildung 1: Little Professor (Quelle: Die_Schatzkiste1988, ebay.de, 2026)

Engine Godot in Berührung kam. Sofort entstand der Wunsch, meine Bachelorarbeit in irgendeiner Form der Verbindung von Spiel und Lernen zu widmen.

Nachfolgend möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Arbeit fachlich und emotional unterstützt haben.

Meinem Erstbetreuer, Prof. Dr. Sven Fuhrmann, bin ich zu Dank verpflichtet, da er mir mit seiner Expertise wichtige und vor allem notwendige Leitplanken auf dem Weg durch dieses Projekt bereitgestellt hat.

Ebenfalls danke ich meinem Praxisbetreuer Thomas Meier vom LDBV, der mich stets in meinen Vorhaben unterstützt und mir den nötigen Freiraum gegeben hat. Auch Anna Waldherr, die mir mit wertvollem Input beratend zur Seite stand, danke ich herzlich.

Ein besonderer Dank gilt allen Lehrkräften und vor allem den Kindern, die durch ihre Teilnahme an der Befragung dieses Projekt inhaltlich vorangetrieben haben.

Das größte Dankeschön gilt allerdings der Person, ohne die dieses Studium nicht möglich gewesen wäre und die mir immer verständnisvoll den Rücken freigehalten hat: meiner Frau Sita. Vielen Dank! :x

In dem vorliegenden Dokument wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit ausschließlich das generische Maskulinum verwendet. Dabei beziehen sich die verwendeten Personenbezeichnungen – sofern nicht anders kenntlich gemacht – auf Personen jeglichen Geschlechts.

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis.....	10
Listingverzeichnis	10
Abbildungsverzeichnis	11
1 Einleitung und allgemeine Grundlagen.....	14
1.1 Problemstellung und Relevanz	14
1.2 Zielsetzung	16
1.3 Forschungsfrage	17
1.4 Aufbau der Arbeit	18
2 Theoretische Grundlagen	20
2.1 Didaktik	20
2.1.1 Lernbegriff und Informationsverarbeitung	21
2.1.2 Wesentliche Narrative Elemente im didaktischen Kontext	22
2.1.3 Didaktische Unterstützungsstruktur: Scaffolding	23
2.1.4 Motivationspsychologische Aspekte in der Didaktik	24
2.2 Kartografie in der Grundschule	25
2.2.1 Raumwahrnehmung und räumliche Orientierungskompetenz....	25
2.2.2 Von der 3D-Realität zur 2D-Abstraktion	26
2.3 Lernansatz Spielifizierung	27
2.3.1 Begriffsdefinitionen	27
2.3.2 Abgrenzung zu verwandten Themen	28
2.3.3 Analyse bestehender Lernansätze und Referenzmodelle	29
3 Konzeption der Lernanwendung	34
3.1 Didaktische Anforderungen und Erfolgskriterien	34
3.1.1 Lernziele	35
3.2 Didaktisches Design und UI-Konzept	36
3.2.1 Narrative Elemente: Identifikationsfiguren.....	37

3.2.2	Aufbau der Lernanwendung	38
3.2.3	Tutorial: Spielmechaniken erklären	40
3.2.4	Haupt-Szenario: Stadt-Level.....	40
3.3	Story: Finn und das große Durcheinander	41
3.4	User centered Design – Nutzerzentrierte Symbolentwicklung	42
3.4.1	Zielgruppenbefragung	43
3.4.2	Methodik und Auswertung des Vorab-Fragebogens.....	43
3.4.3	Ableitung der finalen Kartensymbole	46
3.5	Eingesetzte Technologien	47
3.5.1	Godot	47
3.5.2	Blender	47
3.5.3	Adobe Creative Cloud.....	47
3.5.4	Künstliche Intelligenz	48
4	Technische Umsetzung	50
4.1	Aufbau der Lernanwendung	50
4.1.1	Story (Intro).....	51
4.2	Implementierung der Kernmechaniken.....	52
4.2.1	Erstellung der 3D-Welt (Stadt-Level).....	52
4.2.2	Dynamischer Perspektivwechsel	53
4.3	UX/UI-Design	54
4.3.1	Intuitive Steuerung durch Touch.....	54
4.3.2	Drag-and-Drop für Kartenelemente.....	55
4.4	Erstellung der narrativen Charaktere	56
4.4.1	2D-Rigging.....	56
4.4.2	3D-Modell-Erstellung	58
4.4.3	3D-Modell-Rigging und -Animation	60
4.5	Sound-Design.....	62
4.5.1	Musik.....	63
4.5.2	Soundeffekte (SFX).....	64
4.5.3	Sprache.....	64
4.6	Visuelle Effekte	65
4.6.1	Shader	65

4.6.2 Partikelsysteme	65
4.7 Der Prototyp in der Umsetzung	66
4.7.1 3D-Kacheln für Stadtszene	67
4.7.2 Spritesheet zum Performance-Gewinn	69
4.8 Exemplarischer Nutzungsablauf des Prototyps.....	70
5 Diskussion und Ausblick.....	76
5.1 Kriterienkatalog zur Bewertung des Prototyps	76
5.2 Beantwortung der Forschungsfragen.....	77
5.2.1 Gestaltung der Verbindung von Lerninhalt und Spielmechanik..	77
5.2.2 Potenzial der visuellen Manipulation zur Unterstützung der Transformationsleistung.....	78
5.2.3 Bedeutung narrativer Identifikationsfiguren.....	78
5.2.4 Zentrale Forschungsfrage	79
5.3 Analyse der Ergebnisse	79
5.4 Grenzen der Anwendung und technisches Optimierungspotenzial....	80
5.5 Methoden zur Evaluierung des Lernerfolgs	81
5.5.1 In-Game-Analytics (Logging)	81
5.5.2 Vergleich mit Kontrollgruppen	82
5.6 Mögliche (Weiter)Entwicklungen der Lernanwendung	82
5.6.1 Eingangs-Szenario: Wald-Level	82
5.6.2 Vertiefungs-Szenario: Himmelsrichtungen.....	83
5.6.3 Vertiefungs-Szenario: Maßstab	84
5.6.4 Echte 3D-Daten	85
5.6.5 Erweiterung der Sprachausgabe.....	85
5.7 Reflexion	86
Eigenständigkeitserklärung	89
Anhang	90
Glossar	93
Literatur- und Quellenverzeichnis	96

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der Anforderungen der Zielgruppe und finale Umsetzung der Zeichen.	46
Tabelle 2: Kriterienkatalog zur Bewertung des Prototyps	77
Tabelle 3: Auflistung aller Charaktere und ihren Auftritten (Stimme und Beschreibung: ElevenLabs, o. D.)	90
Tabelle 4: Auflistung aller im Prototyp verwendeten Assets	91

Listingverzeichnis

Listing 1: Kameraschwenk bei Schwellenwert.	53
Listing 2: Aktivierung der Kartensymbole per Touch.	55
Listing 3: Auszug aus dem Quellcode zur Generierung einer zufälligen 3D-Stadt	67

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Little Professor (Quelle: Die_Schatzkiste1988, ebay.de, 2026).....	4
Abbildung 2: Befragung: Rückgang der Bedeutung des Schulfachs Geografie (Quelle: Fögele et al., 2025, Folie 7, eigene Darstellung).....	16
Abbildung 3: Blooms Taxonomie (überarbeitete Version nach Krathwohl und Anderson). Quelle: Oray 2010, S. 43, eigene Darstellung.	22
Abbildung 4: Mathe einmal anders, der Mathe-Shooter eines Indie-Entwicklers (Quelle: Crosse Studios, 2025).	29
Abbildung 5: Learning-by-Gaming: Geschichtsunterricht „wider Willen“ (Quelle: Paintbucket Games, 2024).....	30
Abbildung 6: Beispielhaftes humanitäres Kartierungsprojekt (Quelle: hotosm, 2026).	31
Abbildung 7: Schematisches Layout des Interface.	38
Abbildung 8: Kognitiver Prozess bei der Aufgabenbewältigung.....	39
Abbildung 9: Zeichen im offiziellen Kartenmaterial des Bayernatlases, analog zu den im Prototyp verwendeten Zeichen (Quelle: Bayerische Vermessungsverwaltung, 2024).	42
Abbildung 10: Vorab-Fragebogen: Anleitung für Lehrkräfte und erste Seite: Offene Fragestellung (Quelle: Mockups-Design, o. D.).	43
Abbildung 11: Vorab-Fragebogen: Zweiter Teil der Befragung: Geschlossene Fragestellung (Bildquelle: Mockups-Design, o. D.).	44
Abbildung 12: Beispielhaftes Ergebnis eines ausgefüllten Fragebogens.	45
Abbildung 13: Ausschnitt aus der Animations-Zeitleiste für die Einleitungssequenz.....	51
Abbildung 14: Mögliche Muster einer Kachelung des Stadt-Levels.	52
Abbildung 15: Kameraposition per Slider verstellen. Links: Schrägsicht (15°), Rechts: Draufsicht (90°).	54

Abbildung 16: Konsistentes Ergebnis der Charaktererzeugung bei wiederholter Generierung (Quelle: Google Nano Banana 2, 2025).....	56
Abbildung 17: Generierung der Mundbilder als Vorlage mit teils unbrauchbaren Ergebnissen (Quelle: Google Nano Banana 2, 2025).....	58
Abbildung 18: Ergebnisvergleich der KI-basierten 3D-Modellierung verschiedener Anbieter (Quellen: Deemos Corporation, 2026; Tencent, 2026; Mathmagic, 2026).....	59
Abbildung 19: Ergebnis der Auftragsarbeit von Eirene S auf Fiverr.	59
Abbildung 20: Vergleich der Mesh-Topologie in Blender (li. Hunyuan/Tencent, re. Eirene/Fiverr)	60
Abbildung 21: Ein misslungenes, aber erwartbares Rigging in Adobe Mixamo (Quelle: Adobe, 2026).	61
Abbildung 22: Ein nicht optimal angepasstes Rigging führt zu Verformungen im Mesh. (Farbabstufung: rot: viel Einfluss, blau: wenig Einfluss; schwarz: kein Einfluss)	62
Abbildung 23: Abmischen aller Sounds für die Einleitungssequenz (Story).....	63
Abbildung 24: Kachelerstellung mittels Gridmaps	68
Abbildung 25: Sprite-Sheet der Lernanwendung (Hintergrund aus Kontrastgründen hinzugefügt)	70
Abbildung 26: Icon in der Taskbar eines Android-Tablets	70
Abbildung 27: Startbildschirm (li.) und Startmenü (re.) des Prototyps.....	71
Abbildung 28: Erklärung der Oberfläche durch den narrativen Charakter Finn.....	72
Abbildung 29: Foto-Modus, bei der Suche nach verschollenen Tieren.....	73
Abbildung 30: Feedback für aufgenommene Fotos (li.) und Fotoalbum (re.)	73
Abbildung 31: Unterstützungsfigur Frieda bringt falsch positionierte Symbole zurück	74
Abbildung 32: Frühes Stadium der Konzeption (Wald-Level)	83
Abbildung 33: Frühes Stadium der Konzeption (Himmelsrichtungen)	83
Abbildung 34: Frühes Stadium der Konzeption (Maßstab).....	84



EINLEITUNG UND ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

1 Kapitel

Einleitung und allgemeine Grundlagen

Die Digitalisierung verändert zunehmend den Schulalltag und erfordert neue Ansätze, um bestehende Lerninhalte zeitgemäß zu vermitteln. Das folgende Kapitel führt in die Thematik der digitalen Kartografie im schulischen Kontext ein und definiert Zielsetzung und Forschungsfrage der vorliegenden Arbeit.

1.1 Problemstellung und Relevanz

Kartenlesen und räumliche Orientierung zählen zu den zentralen Kompetenzen im Heimat- und Sachunterricht bayerischer Grundschulen. Gemäß dem LehrplanPLUS wird die Kartografie in der dritten Jahrgangsstufe im Lernbereich „Raum und Mobilität“ eingeführt. Die Schüler sollen dabei wesentliche Kartenmerkmale nutzen, unterschiedliche Karten auswerten und sich mithilfe von Werkzeugen wie (topografischen) Karten, Kompass oder GPS in ihrer Umgebung orientieren (ISB, o. D.).

In der Praxis zeigt sich jedoch eine besondere Herausforderung bei der Vermittlung der im Lehrplan geforderten Abstraktionsleistung. Der Übergang von der gewohnten dreidimensionalen Lebenswelt zur zweidimensionalen Darstellung einer Karte stellt für viele Kinder eine erhebliche kognitive Hürde dar. Dieser Dimensionswechsel (3D → 2D) erfordert eine komplexe Transformationsleistung zwischen Gelände und Karte (Schubert und Adamina, 2025, S. 134). Statische (analoge) Medien können diesen dynamischen Prozess nur bedingt vermitteln. Ein zeitgemäßer Sachunterricht verlangt daher nach Lernumgebungen, die daran angepasste Unterstützungen bieten und es den Schülern ermöglichen, eigenständig zu entdecken und zu konstruieren (ebd., S. 133).

Durch den Einsatz einer Lernanwendung und den daraus resultierenden, möglichen Lernansätzen – gerade auch spielerischer Natur mittels Gamification – können Kinder aktiv und explorativ mit Lerninhalten interagieren. Diese Bachelorarbeit beinhaltet die Entwicklung eines Lernspiel-Prototypen, welcher den Erwerb kartografischer Grundlagen durch spielerische Elemente fördern soll.

Die Einführung und Umsetzung von Digitalisierung im Unterricht ist somit kein „Modetrend“, sondern vielmehr eine Forderung der Fachdidaktik, um die „Welterschließung“ in einer digitalen Gesellschaft zu gewährleisten (GDSU, 2021, S. 3).

Digitalisierung - in der Kartografie

Mit wachsender Digitalisierung und Diensten wie Google Maps laufen Disziplinen wie Kartografie Gefahr, an Bedeutung zu verlieren. Die Notwendigkeit einer soliden kartografischen Basisausbildung verdeutlicht ein Vorfall in den österreichischen Alpen im Juni 2022, der überregional Schlagzeilen machte. Eine Gruppe von über 100 Personen, bestehend aus mehreren Schulklassen, geriet in Bergnot, da die Lehrkräfte ungeprüft einer Routenbeschreibung im Internet vertrauten. Viele Schüler waren mit der Route überfordert und mussten in einer großangelegten Evakuierung per Hubschrauber gerettet werden (Süddeutsche Zeitung, 2022). Dieser Vorfall unterstreicht, dass Hilfsmittel wie Navigations-Apps nur dann sicher genutzt werden können, wenn die zugrunde liegenden kartografischen Prinzipien und die Interpretation des Geländeverlaufs verstanden werden.

Geografie im Unterricht

Trotz der im vorherigen Absatz beschriebenen Relevanz der Kartografie, zeigt die Datenlage einen gegenläufigen Trend. Laut dem Geo-Monitor 2025 – einer umfassende Studie der Universität Münster, der Pädagogischen Hochschule Karlsruhe und dem Ernst Klett Verlag – gibt es einen deutlichen Rückgang der Bedeutung des Fachs Geografie gegenüber anderen Schulfächern (vgl. Abbildung 2).

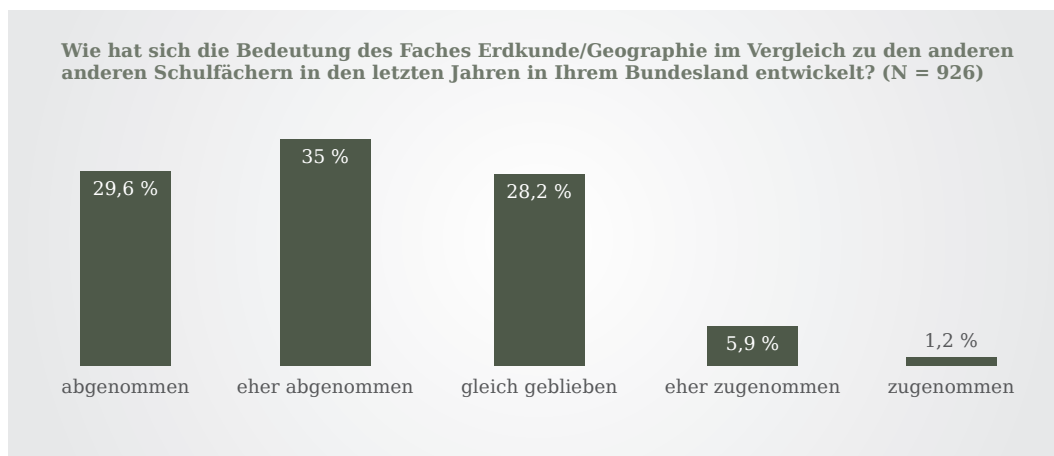


Abbildung 2: Befragung: Rückgang der Bedeutung des Schulfachs Geografie (Quelle: Fögele et al., 2025, Folie 7, eigene Darstellung).

Befragt wurden über 900 Lehrkräfte, Seminarlehrkräfte und Hochschuldozenten und obwohl der Fokus der Studie hauptsächlich auf weiterführenden Schulen lag, lässt sich daraus ein klarer Trend erkennen, der auch den Sachunterricht in Grundschulen betrifft: Die Geographie konkurriert zunehmend mit anderen Lernthemen um die knappen Zeitressourcen.

Zudem liefert die Studie gleichzeitig eine Handlungsempfehlung zur Unterrichtsgestaltung. Auf die Frage nach der Wichtigkeit von digitalen Zusatzangeboten zu Schulbüchern wurde als zweithäufigste Antwort „geographiespezifische Anwendungen (digitale Karten, Erklärvideos)“ genannt (Fögele et al., 2025, Folie 34), was mit der vorliegenden Lernanwendung ein essentieller Bestandteil dieser Arbeit ist.

1.2 Zielsetzung

Primäres Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung eines funktionsfähigen Lernspiel-Prototypen, der speziell darauf ausgerichtet ist, die kognitiven Hürden beim Erwerb kartografischer Basiskompetenzen in der Grundschule zu reduzieren. Im Fokus steht dabei die Unterstützung des Abstraktionsprozesses von der 3D-Welt zur 2D-Karte.

Dazu werden folgende Teilziele verfolgt:

- ↳ **Lösungen für Lernhürden finden:** Zuerst gilt es zu zeigen, warum Kinder beim Kartenlesen oft den Anschluss verlieren und wie man diese Hürden (wie den Perspektivwechsel) durch gezieltes Spieldesign abbauen kann.
- ↳ **Prototyp erstellen:** Das Herzstück ist die Entwicklung eines funktionsfähigen Prototypen einer Lernanwendung, die zeigt, dass komplexe Lernschritte (wie ein Perspektivwechsel) durch unterstützende Mechanismen – wie etwa einen interaktiven Schieberegler – begreifbar werden.
- ↳ **Spiel und Lerninhalt vereinen:** Ziel ist es, Kriterien für ein Design zu entwickeln, bei dem der Spielspaß den Lerninhalt stützt, anstatt ihn nur oberflächlich zu maskieren.

1.3 Forschungsfrage

Die zentrale Forschungsfrage dieser Arbeit lautet:

Wie kann ein digitales Lernspiel gestaltet werden, um Grundschulern den kognitiven Abstraktionsschritt von der dreidimensionalen Realität zur zweidimensionalen Karte zu erleichtern?

Um diese Frage zu beantworten, werden folgende Unterfragen untersucht:

- ↳ Welche (spielerischen) Elemente und narrativen Strukturen sind notwendig, um eine nahtlose Verbindung zwischen Lerninhalt und Spielmechanik zu schaffen?
- ↳ Inwiefern bietet die visuelle Manipulation der Perspektive innerhalb des Prototyps das Potenzial, die von der Fachdidaktik geforderten Transformationsleistungen beim Kartenlesen zu unterstützen?
- ↳ Welche Rolle spielt die Einbettung von narrativen Identifikationsfiguren für die langfristige Beschäftigung mit einer komplexen Thematik?

1.4 Aufbau der Arbeit

Nach der Einleitung und der Darstellung der Problemstellung in Kapitel 1 werden in Kapitel 2 die theoretischen Grundlagen erarbeitet. Hierbei erfolgt eine Analyse der fachdidaktischen Anforderungen des Sachunterrichts sowie der lernpsychologischen Prinzipien, die für die Gestaltung digitaler Lernumgebungen relevant sind.

Kapitel 3 widmet sich dann der konkreten Konzeption der Lernanwendung. Es werden das didaktische Design, die narrative Struktur rund um die Identifikationsfiguren sowie die Spielmechaniken dargelegt, die den Abstraktionsprozess von der Realität zur Karte unterstützen sollen.

Die technische Umsetzung des Prototyps mit den entsprechenden Technologien wird in Kapitel 4 beschrieben. Der Fokus liegt hierbei auf der Implementierung des interaktiven Perspektiv-Sliders und der gestalterischen Aufbereitung der Lerninhalte.

Abschließend erfolgt in Kapitel 5 eine Zusammenfassung der Ergebnisse sowie eine kritische Reflexion des Prototyps. Die Arbeit schließt mit einer Beantwortung der Forschungsfrage und einem Ausblick auf zukünftige Erweiterungsmöglichkeiten und Einsatzgebiete (im schulischen Kontext) ab.



THEORETISCHE GRUNDLAGEN

2 Kapitel Theoretische Grundlagen

In dem folgenden Kapitel erfolgt eine Analyse der fachdidaktischen Anforderungen des Sachunterrichts sowie der lernpsychologischen Prinzipien, die für die Gestaltung digitaler Lernumgebungen relevant sind

2.1 Didaktik

Die Didaktik beschreibt als Teildisziplin der Pädagogik die Lehre vom Lehren und Lernen. Sie bildet damit das wissenschaftliche Fundament auf dem das Konzept der vorliegenden Arbeit fußt. Moderne didaktische Prinzipien sehen vor, dass sich das Lehren den individuellen Bedürfnissen des Lernens anpasst.

Felzmann (2023) beschreibt fünf didaktische Fragen, die Lehrende bei Planung, Durchführung und Reflexion von Unterricht berücksichtigen sollten:

1. **Wozu** soll das Thema überhaupt vermittelt werden?
2. **Wem** soll das Thema vermittelt werden?
3. **Was** soll konkret zum Thema vermittelt werden?
4. **Wie** soll das Thema vermittelt werden?
5. **Womit** soll das Thema vermittelt werden?

Für die vorliegende Arbeit ist insbesondere die Vernetzung der methodischen Frage (Wie?) mit der Frage des Mediums (Womit?) entscheidend. Da das Gehirn nach neurodidaktischen Erkenntnissen als ein „aktives System“ fungiert, das ständig Wechselwirkungen mit der Umwelt sucht (Friedrich & Preiß, 2002), muss das Medium mehr leisten als eine reine Informationsdarstellung.

2.1.1 Lernbegriff und Informationsverarbeitung

Um die Frage nach dem „Wie“ und „Womit“ fundiert beantworten zu können, muss zunächst der Prozess des Lernens definiert werden. Wissenschaftlich betrachtet beschreibt Lernen die Veränderung von Verhaltensweisen oder mentalen Repräsentanten aufgrund von Erfahrungen oder der gezielten Verarbeitung von Informationen (Arnold, o. D.). Es handelt sich um einen lebenslangen Prozess, der bereits mit der Geburt beginnt. Während ganz frühe Lernprozesse (z. B. Greifen oder Krabbeln) meist intuitiv ablaufen, findet im Kleinkindalter vermehrt Learning by Doing statt, denn Kinder lernen nachweislich dann besonders schnell, wenn sie Dinge selbst ausprobieren dürfen (Friedrich & Preiß, 2002, S. 65). Das schulische Lernen hingegen wird nach wie vor größtenteils durch äußere Einflüsse unterstützt und gelenkt.

Ein zentrales Modell zur Strukturierung dieser Einflüsse ist das Konzept der Unterrichtsergebnisse nach Gagné et al. (1992, S. 11). Hierbei wird Unterricht als eine gezielt gestaltete Abfolge externer Ereignisse definiert, die dazu dient, die internen Lernprozesse sowohl zu aktivieren als auch zu unterstützen. Damit Lernen effizient stattfinden kann, müssen die äußeren Reize – etwa durch eine Lehrkraft oder ein (digitales) Lernmedium – so gestaltet sein, dass sie die Informationsverarbeitung positiv beeinflussen. Diese Ereignisse folgen einer logischen Struktur, mit der sichergestellt werden soll, dass neue Inhalte dauerhaft im Gedächtnis verankert und in die Praxis übertragen werden können. Eine strikte Reihenfolge sowie die obligatorische Durchführung aller Schritte ist dabei nicht zwingend erforderlich, da sie sich an der jeweiligen Lernsituation orientieren.

Die neun Unterrichtsergebnisse nach Gagné et al. (1992, S. 11–12):

1. Aufmerksamkeit erregen
2. Lernende über das Lernziel informieren
3. Vorwissen aktivieren
4. Lernmaterial präsentieren
5. Lernanleitung geben
6. Die praktische Übung einleiten
7. Feedback zur Korrektheit der Übung geben
8. Die Übung bewerten
9. Gedächtnis und Transfer fördern

Während Gagné et al. eher einen zeitlichen Ablauf und die Methode des Lernens strukturieren, bleibt eine Einstufung des individuellen Lern- und Wissensstands offen. Mithilfe der Lernziel-Taxonomie nach Bloom kann auch diese Dimension eingeordnet werden. Sie ermöglicht es, Lernziele in verschiedene kognitive Stufen zu unterteilen – angefangen mit dem einfachen Erinnern von Fakten bis hin zur (komplexen) Analyse und sogar dem Erschaffen von neuen Arbeiten (vgl. Abbildung 3). Erst durch eine Kombination beider Modelle lässt sich definieren, wie ein Unterrichtsereignis (nach Gagné et al.) gestaltet sein muss, um ein spezifisches Kompetenzniveau (nach Bloom) zu erreichen.

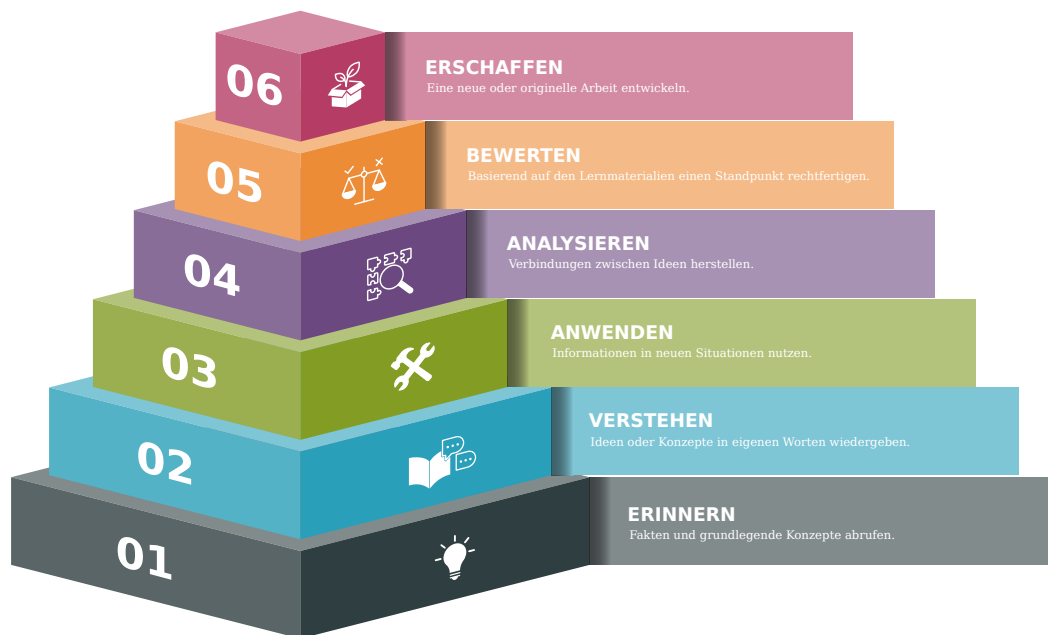


Abbildung 3: Blooms Taxonomie (überarbeitete Version nach Krathwohl und Anderson).
Quelle: Oray 2010, S. 43, eigene Darstellung.

2.1.2 Wesentliche Narrative Elemente im didaktischen Kontext

Damit ein Lernspiel nicht nur Wissen abfragt, sondern die Lernenden fesselt, müssen narrative Elemente gezielt eingesetzt werden. Diese Elemente bilden den Rahmen, in dem das Lernen stattfindet.

Charaktere und Identifikationsfiguren

Figuren fungieren als Identifikationsobjekte für die Lernenden. Durch eine gezielte Charakterentwicklung kann eine emotionale Bindung aufgebaut werden.

In didaktischen Kontexten werden Figuren häufig so gestaltet, dass sie Unterstützung benötigen oder gemeinsam mit den Lernenden ein Ziel verfolgen. Dies fördert die Bereitschaft, sich intensiv mit den Problemen innerhalb der Anwendung auseinanderzusetzen.

Story (Handlung und Plot)

Die Story beschreibt den Ablauf der Ereignisse. Ein zentrales Merkmal ist der Plot, der oft durch einen Konflikt oder ein auslösendes Ereignis gekennzeichnet ist. Dieser erzeugt einen Spannungsbogen, der die Lernenden durch die verschiedenen Phasen der Anwendung leitet. Eine schlüssige Handlung hilft dabei, komplexe Lernziele in nachvollziehbare Teilschritte zu gliedern.

Setting

Das Setting definiert den räumlichen und zeitlichen Rahmen der Erzählung. Es schafft die Atmosphäre und gibt vor, welche Regeln in der Spielwelt gelten. Ein gut gewähltes Setting unterstützt den Lernprozess, indem es einen glaubwürdigen Kontext für die Anwendung des Wissens bietet.

Erzählperspektive

Die Perspektive beeinflusst die Wahrnehmung der Spielwelt. Es wird zwischen der „Ich-Perspektive“ (1st-Person) und der „Dritte Person-Perspektive“ (3rd-Person) unterschieden. 1st-Person-Perspektive bedeutet, dass die Lernenden das Geschehen unmittelbar aus der Sicht einer Figur erleben, was die Identifikation verstärkt. Bei der 3rd-Person-Perspektive beobachten die Lernenden die Figuren von außen. Dies kann entweder personal (nah an einer Figur) oder auktorial (mit Überblick über das gesamte Geschehen) erfolgen. Die Wahl der Perspektive bestimmt maßgeblich, wie stark die Lernenden in die virtuelle Welt eintauchen.

Konflikt und Auflösung

Der Konflikt stellt das zentrale Problem dar, das die Handlung vorantreibt. Um diesen aufzulösen, ist in Lernanwendungen meist die Anwendung von Wissen oder analytischem Denken erforderlich. Die erfolgreiche Auflösung des Konflikts dient als Bestätigung des Lernerfolgs und schließt somit den narrativen Spannungsbogen ab.

2.1.3 Didaktische Unterstützungsstruktur: Scaffolding

Das Scaffolding (dt. Gerüst) ist eine Lernunterstützung, die ihre Ursprünge in der Sprachdidaktik hat. Lernenden werden stufenweise Hilfestellungen – die

mataphorischen Gerüste – bereitgestellt, um Aufgaben, die (noch) nicht alleine lösbar sind, zu bewältigen. Diese Lernhilfen sind zeitlich begrenzt und werden sukzessive wieder abgebaut.

Bewährte Scaffolding-Methoden sind:

- ↳ Bereitstellung von vorgefertigten Bausteinen für (sprachliche) Hürden (z. B. im Fremdsprachen-Kontext)
- ↳ Herunterbrechen von Aufgaben in kleinere Teile
- ↳ Verwendung von Grafiken, Visualisierungen oder Checklisten
- ↳ Modeling: Vormachen einer Übung durch die Lehrkraft

Das Scaffolding ist besonders effektiv, wenn innerhalb der Lerngruppe ein unterschiedlicher Wissensstand herrscht, um Überforderung zu vermeiden und die Motivation aufrechtzuerhalten.

2.1.4 Motivationspsychologische Aspekte in der Didaktik

Die Wirksamkeit Lernens hängt sehr stark von der Motivation der Schüler ab. Als theoretische Grundlage dient hier die Selbstbestimmungstheorie (Self-Determination Theory, kurz SDT) nach Deci und Ryan, in dessen Mittelpunkt die intrinsische Motivation steht. Dieser innere Antrieb sorgt dafür, dass Aufgaben um ihrer selbst gemacht werden – weil sie etwa Spaß machen oder als sinnvoll erachtet werden – und nicht nur, weil ein äußerer Einfluss, wie z. B. eine Belohnung, erwartet wird.

Nach dieser Theorie gibt es drei psychologische Grundbedürfnisse, die erfüllt sein müssen, damit diese Motivation entsteht:

- ↳ **Kompetenz:** Das Gefühl, Aufgaben erfolgreich bewältigen zu können. Die Schüler erleben, dass sie auf Dinge einwirken können, die ihnen wichtig erscheinen, und dadurch die gewünschten Ergebnisse erzielen.
- ↳ **Autonomie:** Das Gefühl, freiwillig zu handeln. Das gilt auch dann, wenn man Anweisungen befolgt (z. B. innerhalb einer Spielhandlung), solange man vom Sinn der Sache überzeugt ist und hinter dem Prinzip steht.
- ↳ **Soziale Eingebundenheit:** Die Frage nach der Bedeutung für andere. Es geht darum, welche Rolle man selbst für andere spielt und welche Bedeutung andere für einen selbst haben.

Ein wichtiger Punkt ist der sogenannte Korrumpierungseffekt. Er besagt, dass eine eigentlich vorhandene innere Motivation (intrinsisch) durch zu viele äußere Belohnungen (extrinsisch) geschwächt werden kann. Wenn ein Kind also etwas aus reinem Interesse macht und dann plötzlich nur noch für Punkte oder Belohnungen arbeitet, kann der eigentliche Spaß an der Sache verloren gehen. Für ein Lernspiel bedeutet dies, dass spielerischen Elemente das Interesse an Kartenkunde unterstützen müssen und nicht zur reinen „Punktrechnerei“ werden dürfen.

2.2 Kartografie in der Grundschule

Die Kartografie ist eine Teildisziplin des Sachkundeunterrichts (in Bayern Heimat- und Sachkunde). Ab der dritten Jahrgangsstufe wird begonnen sich mit verschiedenen Hilfsmitteln (z. B. Landmarken, Kompass) in der unmittelbaren und erweiterten Umgebung (z. B. Schulweg, Stadtteil) zu orientieren. Ausgehend von den Gegebenheiten realer Räume (z. B. Straßen, Gebäude) und deren zweidimensionaler Darstellung (z. B. Lageskizze) lernen die Kinder, Karten zu lesen und zu interpretieren. Dadurch erwerben sie eine Vorstellung von größeren räumlichen Einheiten (z. B. Bayern, Deutschland, Welt). (ISB, o. D.). Hierfür sind in Bayern durchschnittlich drei Wochenstunden im Stundenplan vorgesehen (Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus, 2024), wobei diese Zahl für den allgemeinen Sachkundeunterricht gilt, wovon die Kartografie nur einen Teil ausmacht.

2.2.1 Raumwahrnehmung und räumliche Orientierungskompetenz

Die Förderung der räumlichen Orientierung gilt als ein zentrales Alleinstellungsmerkmal der geografischen Bildung im Sachkundeunterricht (vgl. Adamina et al. 2016, 12). Diese Kompetenz umfasst dabei weit mehr als das reine Benennen topografischer Objekte. Sie besteht vor allem aus der Fähigkeit,

1. sich in der echten Welt zurechtzufinden,
2. vorliegende Orientierungsmittel – z. B. Karten oder digitale Geomedien – funktional zu nutzen und
3. räumliche Strukturen sowie deren Darstellung einzuordnen und im Idealfall auch kritisch zu hinterfragen.

Nach Adamina et al. (2016) gliedert sich die geografische Perspektive dabei in spezifische Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen (DAH). Für die Konzeption eines digitalen Lernspiels sind insbesondere zwei dieser Aspekte von großer Bedeutung:

- ↳ **DAH Geo 1 - Räumliche Situationen wahrnehmen:** Die bewusste Auseinandersetzung mit der Umgebung und der eigenen Position im Raum bildet die Basis für jede spätere Abstraktion.
- ↳ **DAH Geo 2 - Mit Orientierungsmitteln umgehen:** Hierunter fällt die Fähigkeit, Informationen aus Kartenmodellen zu entnehmen und diese in reales Handeln oder virtuelle Bewegung zu übersetzen.

Die Herausforderung im Grundschulalter besteht darin, dass Kinder Räume zunächst primär als Wahrnehmungsräume (subjektiv und egozentrisch) erleben. Die pädagogische Zielsetzung verlangt jedoch den Übergang zum Verständnis von konstruierten Räumen – also abstrakten Repräsentationen wie z. B. Karten (vgl. Adamina et al. 2016, 12). Ein digitales Lernspiel sollte aus didaktischer Sicht daher so strukturiert sein, dass es den Schülern ermöglicht, diese „Welterkundung“ aktiv zu erleben, indem der Wechsel zwischen verschiedenen Maßstabsebenen und/oder Perspektiven visualisiert und somit erfahrbar wird.

2.2.2 Von der 3D-Realität zur 2D-Abstraktion

Der Übergang von der realen 3D-Welt zur zweidimensionalen Repräsentation stellt eine der komplexesten kognitiven Hürden im geografischen Unterricht dar. Wie in Fokus 4 der geographischen Perspektive dargelegt, erfordert Kartenkompetenz u. a. die Fähigkeit, Zeichen nicht nur zu identifizieren sowie zu interpretieren, sondern diese auch als Stellvertreter für reale Objekte in einem veränderten (meist verkleinerten) Maßstab zu begreifen (vgl. Adamina et al. 2016, 12).

Dieser Prozess der Abstraktion lässt sich didaktisch in drei Transformations-schritte unterteilen:

1. Perspektivwechsel: Die Transformation der horizontalen Blickweise (Ego-Perspektive) in die vertikale Draufsicht (Vogelperspektive). Dies ist die Voraussetzung, um Grundrisse als solche zu erkennen.
2. Maßstäblichkeit: Die Verkleinerung der Objekte in der realen Welt. Hierbei muss ein Verständnis dafür entwickelt werden, dass Distanzen in der

Realität maßstäblich auf die Fläche der Darstellung (Karte) projiziert werden.

3. Symbolisierung/Generalisierung: Die Ersetzung komplexer 3D-Strukturen (z. B. ein Gebäude mit Dachschrägen und Texturen) durch vereinfachte, grafische Zeichen (Symbole oder Flächen).

In der Konzeption digitaler Lernanwendungen bietet sich hier das Potenzial, diese Transformationsschritte durch interaktive Elemente (z. B. eine verstellbare Kameraposition oder einblendbare Objekte) zu visualisieren. Damit wird die im Sachkundeunterricht geforderte „Welterschließung“ unterstützt, indem die im Kopf stattfindende Abstraktionsleistung durch eine digitale Echtzeit-Darstellung gestützt wird (Scaffolding).

2.3 Lernansatz Spielifizierung

Es existiert mittlerweile eine Vielzahl an Begriffen, die eine Schnittmenge von Lernen und Spielen beschreiben. Obwohl Gamification, Serious Game oder Lernspiel sehr häufig synonym verwendet werden, unterscheiden sie sich dennoch in ihrer Zielsetzung und Methodik. Sei es Lernspiel, Gamification (dt. Spielefizierung), Game Based Learning, Serious Gaming, Learning by Gaming, Edutainment o. ä., so haben sie doch alle im Grunde eins gemein. Im Kern verfolgen sie jedoch ein gemeinsames Ziel – die Motivation und kognitiven Potenziale des Spielens für Lernprozesse zu nutzen.

„Spiel ist die höchste Form der Kindesentwicklung.“ – Friedrich Wilhelm August Fröbel (1782–1852)

2.3.1 Begriffsdefinitionen

Gamification ist die Übertragung von spieltypischen Elementen (z. B. Level-Aufstiege, Ranglisten, Erfahrungspunkte usw.) und Vorgängen im spielfremden Kontext. Meist wird aber im Gegensatz zu vollwertigen Spielen kein eigenständiger Spielraum geschaffen, sondern lediglich bestimmte Aufgaben mit Spielelementen angereichert. In der Praxis ist dieser Ansatz oft extrinsisch getrieben, da das Verhalten durch externe Belohnungssysteme gesteuert wird.

Beim **Game Based Learning** steht das Lernen „innerhalb“ eines Spiels im Vordergrund. Spiele werden hierbei gezielt so entwickelt oder eingesetzt, dass

Lerninhalte durch die aktive Auseinandersetzung mit der Spielmechanik erschlossen werden. Ziel ist hierbei nicht nur eine Steigerung der Lernmotivation, sondern eine tiefere kognitive Verarbeitung der Inhalte durch das spielerische Handeln. Der im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Prototyp ist diesem Ansatz zuzuordnen.

Bei **Lernspielen** bzw. **Serious Games** rücken aus Sicht des Gamedesigns meist die Lerninhalte in den Vordergrund. Nachrangig wird dazu ein häufig oberflächliches Spielkonzept entwickelt. Amy Bruckman hat diesen Umstand bereits 1999 beschrieben. *„Most attempts at making software both educational and fun end up being neither. Fun is often treated like a sugar coating to be added to an educational core. Which makes about as much sense as chocolate-dipped broccoli.“* (Bruckman, 1999). Ein „süßer“ Überzug macht den darunterliegenden Lernteil nicht plötzlich Spaßig.

Von **Learning by Gaming** ist die Rede, wenn in vollwertigen Spielen entweder ein Lernprozess als Teil einer Problemlösung stattfindet oder ein Wissenszuwachs durch das Spiel selbst bzw. dessen Inhalte entsteht. Während die Grenze zwischen Lernspielen bzw. Serious Games und Learning by Gaming fließend ist, unterscheiden sich diese Ansätze doch in ihrer ursprünglichen Entwicklungsintention.

2.3.2 Abgrenzung zu verwandten Themen

Gamification findet sich heute in zahlreichen Alltagssystemen wieder, etwa in Form von Bonuspunkten im Einzelhandel oder Meilen-Programmen bei Fluggesellschaften. Diese Systeme nutzen den menschlichen Sammeltrieb, stehen jedoch unter anderem aufgrund von Datenschutzbedenken oft in der Kritik. Der Nutzer wird hierbei primär durch äußere Belohnungen zu einem bestimmten Verhalten bewegt, was die Frage nach der Nachhaltigkeit solcher Mechanismen aufwirft. Da extrinsische Belohnungen oft weniger dauerhaft wirken als eine aus eigenem Antrieb entstehende Motivation, ist für die didaktische Betrachtung entscheidend, ob ein System lediglich als oberflächlicher Anreiz dient oder tiefergehende Prozesse anspricht (vgl. Kapitel „2.1.4 Motivationspsychologische Aspekte in der Didaktik“).

2.3.3 Analyse bestehender Lernansätze und Referenzmodelle

Um die Anforderungen an ein modernes Lernspiel zu konkretisieren, ist ein Vergleich bestehender Ansätze hilfreich. Dabei zeigt sich eine deutliche Differenzierung in der Qualität der Integration von Spielmechanik und Lerninhalt.

MATH FPS : Solve Or Die

„My son loves Fortnite but has a hard time getting pumped about math facts...“ (carlo_lax, 2025, r/IndieDev). Was laut dem Indie-Game-Entwickler aus einer Not geboren ist, kann mittlerweile auf der Spiele-Plattform Steam erworben werden (Steam, 2026).



Abbildung 4: Mathe einmal anders, der Mathe-Shooter eines Indie-Entwicklers (Quelle: Crosse Studios, 2025).

Ein First Person Shooter (FPS), bei dem es darum geht, Matheaufgaben von Gegnern korrekt zu lösen und auf das richtige Ergebnis zu schießen (vgl. Abbildung 4). Die mathematische Aufgabenstellung fungiert hier allerdings lediglich als extrinsische „Barriere“, die rein oberflächlich mit der Kernmechanik des Schießens verknüpft wurde. Der eigentlich erwünschte Lernvorgang des Rechnens findet nicht natürlich innerhalb der Spielwelt statt, sondern muss als eine Art „Pflichtaufgabe“ absolviert werden, um die eigentlich motivierende Handlung – das Schießen auf Ziele – fortsetzen zu dürfen. Didaktisch ist dieser Ansatz kritisch zu bewerten, da keine (kognitive) Verbindung zwischen der Spielmechanik und dem mathematischen Verständnis entsteht. Sobald der ex-

terne Anreiz des Spielens wegfällt, schwindet meist auch die Bereitschaft zur Auseinandersetzung mit dem Lerninhalt und es tritt ein Korrumpierungseffekt ein (vgl. Kapitel „2.1.4 Motivationspsychologische Aspekte in der Didaktik“).

Through the Darkest of Times

Ein Beispiel für ein Serious Game bzw. Learning-by-Gaming-Spiel ist Through the Darkest of Times – ein Strategiespiel, bei dem man während der Nazizeit die Geschicke einer Widerstandsgruppe in Berlin lenkt (vgl. Abbildung 5). Hier ist der spielerische Inhalt untrennbar mit dem historischen Lerninhalt verbunden. Wissengewinn ist hier kein Beifang, sondern vielmehr eine notwendige Voraussetzung, um im Spiel erfolgreich zu sein. Von der Machtergreifung (1933) über den Krieg (1940/1941) bis zum schlussendlichen Niedergang (1944/1945) vermittelt der Plot so geschichtliche Einblicke in die Zeit des NS-Regimes, wodurch Geschichte greifbar gemacht wird.



Abbildung 5: Learning-by-Gaming: Geschichtsunterricht „wider Willen“ (Quelle: Paintbucket Games, 2024).

Exkurs: Humanitäres Projekt - Missing Maps

Dass dem Erstellen von Karten über den schulischen Kontext hinaus eine wesentliche Bedeutung beizumohnt, verdeutlicht das humanitäre Projekt Missing Maps. Hierbei erstellen (erfahrene) Freiwillige Personen auf Basis von Satellitenbildern digitale Karten für Krisengebiete, um Rettungskräften eine präzise Einsatzplanung zu ermöglichen (vgl. Abbildung 6).

Dieses Projekt dient für den vorliegenden Prototypen als Beleg für die Sinnhaftigkeit des Lernziels. Es verdeutlicht, dass Kartenkompetenz nicht bloß eine Aufgabe im Sachunterricht, sondern auch ein sinnvolles Werkzeug im Alltag darstellen kann. Während bei Missing Maps mit realen Daten gearbeitet wird, greift der Prototyp der Lernanwendung das grundlegende Prinzip auf – eine aktive Arbeit an Kartenmodellen anstatt einer bloßen Betrachtung fertigen Materials.

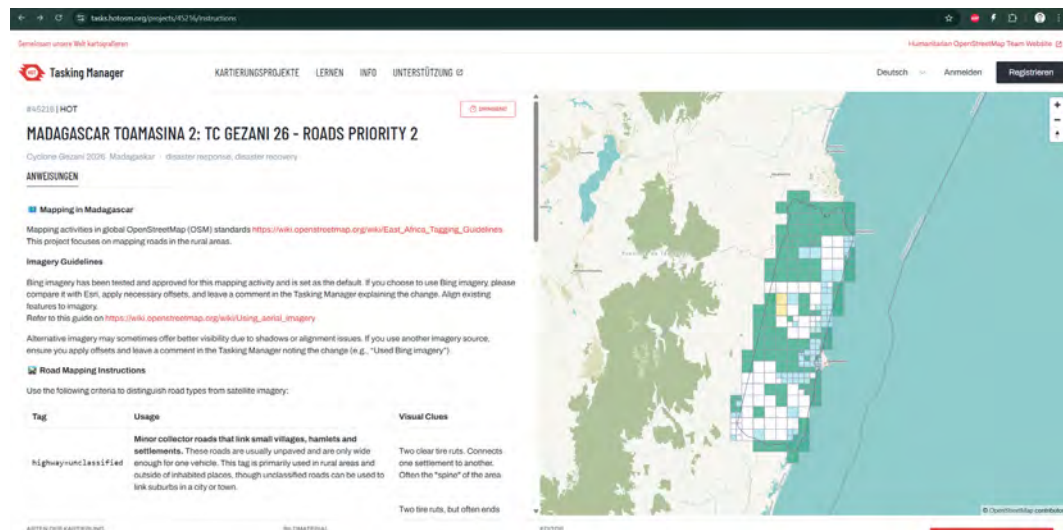


Abbildung 6: Beispielhaftes humanitäres Kartierungsprojekt (Quelle: hotosm, 2026).



KONZEPTION DER LERNANWENDUNG

3 Kapitel

Konzeption der Lernanwendung

Bei der Konzeption der Lernanwendung geht es in erster Linie darum, die in Kapitel 2 aufgezeigten theoretischen Defizite des klassischen Kartografie-Unterrichts zu adressieren. Besonders die Überwindung der kognitiven Barriere beim Perspektivwechsel steht dabei im Vordergrund.

3.1 Didaktische Anforderungen und Erfolgskriterien

Für eine erfolgreiche und nachhaltige Wissensvermittlung darf eine Lernanwendung nicht zum – in der Branche sagenumwobenen – „*Brokkoli mit Schokoladenüberzug*“ werden (vgl. Kapitel 2.3.1, Abschnitt Lernspiele/Serious Games). Sie muss sich dem inhaltlichen Kern von der spielerischen Seite nähern, anstatt Lerninhalte oberflächlich mit Spielmechaniken zu dekorieren.

Damit die Anwendung ihr volles Potenzial entfaltet, müssen folgende Kriterien erfüllt sein:

Selbstbestimmung und Exploration

Kindern muss Raum gegeben werden, die Anwendung eigenständig zu erkunden und Probleme selbstständig zu lösen. Dies fördert die kognitive Aktivierung und das Gefühl der Selbstwirksamkeit.

Identifikation

Die Möglichkeit, in Rollen zu schlüpfen oder sich mit Charakteren zu identifizieren, steigert die emotionale Bindung an den Lernprozess.

Integrierte Vermittlung

Die Lerninhalte müssen so eng mit dem Gameplay verwoben sein, dass sie als natürlicher Bestandteil der Spielwelt wahrgenommen werden.

Ein wichtiger Teilerfolg der Anwendung liegt darin, bei den Kindern ein generelles Interesse an Kartografie und Geografie zu wecken. Das Ziel ist, dass die Begeisterung für das Thema über den reinen Unterricht hinaus anhält.

Im Idealfall wird das Gelernte so positiv wahrgenommen, dass die Kinder nach der Schule zu Hause davon erzählen. Wenn ein Kind stolz berichtet, dass es im Unterricht Tieren geholfen hat, indem es Karten für einen Rettungstrupp angefertigt hat, ist ein entscheidendes Ziel erreicht: Die abstrakten Lerninhalte wurden durch die Geschichte mit Finn und Frieda in eine greifbare und motivierende Handlung übersetzt. Diese emotionale Verbindung sorgt dafür, dass die Hürden gegenüber einem komplexen Thema wie der Kartografie sinken.

3.1.1 Lernziele

Die Lernanwendung ist für den begleitenden Einsatz im Schulalltag konzipiert. Die im Folgenden beschriebenen Lernziele greifen teilweise eng ineinander und weisen daher inhaltliche Überschneidungen auf. Dabei werden auch nicht alle Themen direkt in der Anwendung bearbeitet – manche Aspekte ergeben sich aber indirekt aus dem gesamten Nutzungsprozess.

Perspektive

Ziel ist, dass der Unterschied zwischen der Frontalsicht und der Draufsicht verstanden wird. Es soll klar werden, warum für Karten die Draufsicht (Vogelperspektive) am sinnvollsten ist. Die Figuren Finn und Frieda dienen dabei als visuelle Anker für diese beiden Ansichten.

Generalisierung

Beim Thema Generalisierung geht es nicht um eine wissenschaftliche Tiefenanalyse, sondern vielmehr um das Grundverständnis: Bei der Kartenerstellung müssen Inhalte vereinfacht oder weggelassen werden, damit die Karte trotz Verkleinerung lesbar bleibt und ihren Zweck erfüllt.

Kartographische Zeichen

Um Karten lesbar zu machen, werden Symbole statt realer Abbilder verwendet. Ein wesentliches Ziel ist die Erkenntnis, dass jedes Objekt der Wirklichkeit an einer entsprechenden Stelle auf der Karte durch ein bestimmtes Zeichen repräsentiert wird. Es geht also nicht nur darum, das Symbol an sich zu verstehen, sondern auch dessen räumliche Zuordnung zu begreifen. Die in der App genutzten Zeichen sind stark ikonisch – sie lehnen sich optisch also eng an das echte Vorbild an, um den Einstieg zu erleichtern (vgl. „3.4 User centered Design – Nutzerzentrierte Symbolentwicklung“).

Maßstab

Neben dem Bewusstsein, dass eine Karte eine Verkleinerung der Welt ist, soll das Prinzip des Maßstabs vermittelt werden. In spezifischen Szenarien müssen Kinder Entfernungen auf der Karte messen und in reale Distanzen transferieren. Hierbei kommen die kognitive Stufen 2 (Verstehen) und 3 (Anwenden) nach Bloom zum Tragen. Dieses Thema wird gezielt in einem Bonuslevel behandelt (vgl. Kapitel „5.6.2 Vertiefungs-Szenario: Himmelsrichtungen“) und ist nicht Inhalt des vorliegenden Prototyps.

Himmelsrichtungen

Die korrekte Benennung und Anordnung der Himmelsrichtungen adressiert die Stufe 1 (Erinnern) nach Bloom. Durch die Integration in einen spielerischen Merksatz innerhalb der Story wird das Faktenwissen in einen Kontext gebettet, der den Abruf erleichtert. Auch hierfür ist ein Bonuslevel vorgesehen (vgl. Kapitel „5.6.2 Vertiefungs-Szenario: Himmelsrichtungen“) und nicht Inhalt des Prototyps.

Kartenlesen

Die genannten Lernziele führen schließlich zum Kernstück: der Fähigkeit, Karten zu lesen und sich mit ihrer Hilfe zu orientieren. Wer versteht, wie eine Karte aufgebaut ist, besitzt das Fundament für deren Nutzung. Müller (2001) beschreibt das Kartenlesen passend als die Entnahme von Informationen zur Bedeutung und Lage von Objekten sowie als den ständigen Vergleich zwischen Kartenzeichen und der Realität.

3.2 Didaktisches Design und UI-Konzept

Das didaktische Design beschreibt die Art und Weise, wie die Lerninhalte strukturiert und präsentiert werden. Dabei werden sprachliche, bildhafte und interaktive Ebenen miteinander verknüpft, um eine optimale Wissensvermittlung zu gewährleisten. Zudem gilt es die Frage zu klären, wie die Lernenden aktiv in den Prozess eingebunden werden können, um eine (kognitive) Überforderung zu vermeiden.

In diesem Kapitel werden die narrativen Rahmenbedingungen, die Benutzeroberfläche (User Interface) sowie die zentralen Interaktionsmechaniken vorgestellt. Zusammengefasst bilden diese Elemente die Werkzeuge, die es ermöglichen sollen, die zuvor definierten Lernziele (vgl. Kapitel „3.1 Didakti-

sche Anforderungen und Erfolgskriterien“) zu erreichen. Der Fokus liegt dabei auf einer intuitiven Benutzerführung, die den Abstraktionsprozess durch visuelle Hilfestellungen (Scaffolding) unterstützt.

3.2.1 Narrative Elemente: Identifikationsfiguren

Lernen und Verstehen funktionieren besser, wenn positiv aktivierende Emotionen im Spiel sind (Hüther, 2016). Dies kann durch eine emotionale Bindung mit Charakteren in der Lernanwendung erreicht werden. Deshalb sieht die Anwendung zwei Charaktere vor, die zum einen für eine entspannte Atmosphäre sorgen und zum anderen einfühlsam in das Thema führen sollen. Durch ihre unterstützende Art wird die Hemmschwelle gesenkt, sich mit komplexen Inhalten zu befassen. Das reine Lehren wird durch sie in eine interaktive Erfahrung gewandelt, wodurch die Motivation gesteigert wird. Das wiederum sorgt dafür, dass die Kinder länger und lieber am Ball bleiben.

Finn der Fuchs

Als Hauptcharakter der Lernanwendung fungiert Finn der Fuchs als sympathischer Reiseleiter durch das Projekt und erfüllt auch Gagnés zweiten Punkt: *Lernende über das Lernziel informieren*. Er bildet einen „roten Faden“ durch die Anwendung und dient als ständiger Ansprechpartner für die Kinder. Anstatt sich allein durch Textwüsten oder Menüs zu arbeiten, wird das Kind in der Anwendung von Finn begrüßt und wird aktiv auf die Reise mitgenommen. Finn gibt Hinweise, erklärt Aufgaben und verleiht der Benutzeroberfläche zudem ein freundliches Gesicht.

Finn ist selbst noch ein Kind bzw. ein Jugendlicher und soll somit auch alters-technisch mit den Kindern auf einer Stufe stehen. Dies hat den Hintergrund, dass er somit eher als gleichaltriger Freund, anstatt als eine Art Lehrer wahrgenommen wird. Dies muss sich sowohl in dem visuellen Auftreten, als auch in der Stimme bemerkbar machen (vgl. hierzu auch Kapitel „4.4 Erstellung der narrativen Charaktere“).

Da der Fuchs kulturell als Symbol für Schläue, Neugier und Anpassungsfähigkeit gilt, spiegelt es genau das wider, was in der Anwendung gefordert ist: cleveres Mitdenken und das Finden von Strategien.

Frieda das Falkenmädchen

Frieda als Freundin und Begleiterin des Protagonisten fungiert in der Geschichte als eine enge Vertraute und moralische Unterstützung, die auch aktiv

in die Handlung eingreift. Sie ist bereits etwas älter als Finn und eine wichtige Nebenfigur, die in Notlagen hilft. Sie tritt hauptsächlich in Erscheinung, wenn es um die Vogelperspektive geht, die sie als Falke mit ihrem Rüttelflug glaubhaft verkörpert.

3.2.2 Aufbau der Lernanwendung

Die Lernanwendung wird als funktionsfähiger Prototyp in der Game Engine Godot umgesetzt. Das Main Interface der Anwendung wird als Split-Screen dargestellt, um den zentralen Kern – das eigentliche Kartenlesen bzw. den (kognitiven) Transfer von einer dreidimensionalen (realen) Welt in die zweidimensionale Abstraktion – visuell zu unterstützen (vgl. Abbildung 7).



Abbildung 7: Schematisches Layout des Interface.

- ↳ **Viewport I (Realitätsebene):** Hier wird eine dreidimensionale, interaktive Szenerie dargestellt (z. B. ländlicher Raum oder urbaner Siedlungsbereich). Diese repräsentiert die „echte Welt“ aus einer für Kinder intuitiv erfassbaren Perspektive. Der vertikale Perspektiv-Slider (rechts neben dem Bild oder als Overlay) erlaubt das stufenlose Kippen der Kamera von der 3rd-Person-Ansicht (ca. 15°) zu einer Draufsicht (90°)
- ↳ **Viewport II (Abstraktionsebene):** Dieser Bereich zeigt eine schematische 2D-Karte, auf der unveränderliche Geodaten, wie Straßen, Häuser und Gewässer vorkartiert sind. Mit dieser Scaffolding-Methode werden

den Kindern bereits Bausteine bereitgestellt, um eine Orientierung auf der Karte zu erleichtern.

- ↳ **Interaktionsbereich:** Dieser Bereich gliedert sich in drei Areale. Im linken führt „Moderator“ Finn mit Anweisungen und Feedback durch die Story. In der Mitte ist Platz für eine knappe Zusammenfassung der letzten Anweisungen, damit diese auch während der Anwendung als Gedächtnisstütze zur Verfügung steht. Im rechten Areal befindet sich das Inventar mit den in Viewport II zu platzierenden Kartensymbolen.

Psychologische und ergonomische Grundlagen der Benutzeroberfläche

Die im westlichen Kulturkreis verankerte intuitive Leserichtung von links nach rechts wird genutzt, um den Lernprozess zu reflektieren: Was links in Viewport I als Analyse der Situation beginnt, wird durch einen Transferprozess geleitet und endet rechts in Viewport II im Ergebnis (vgl. Abbildung 8). Unterstützt wird dieser Ablauf durch den Split-Screen, der die visuelle Trennung zwischen der „Realität“ und der abstrakten Karte festigt und so für einen klaren Fokus sorgt.

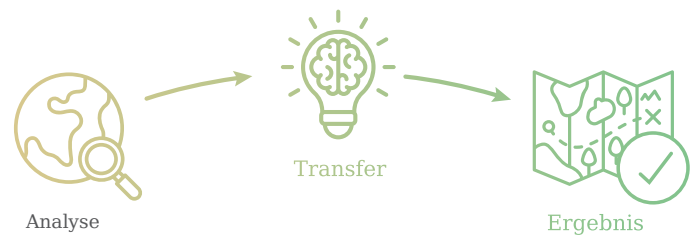


Abbildung 8: Kognitiver Prozess bei der Aufgabenbewältigung.

Auch die Haptik muss auf die Zielgruppe ausgerichtet werden: Da Tablets von Kindern vorwiegend im unteren Bereich gegriffen werden, sollte sich das Inventar unten rechts und somit an einer „günstigen“ Position befinden. So können Symbole einfach mit dem Daumen oder Zeigefinger erreicht werden, ohne dass die Hand dabei wichtige Bildinhalte verdeckt.

Kernmechanik: Der dynamische Perspektivwechsel

Ein innovatives Kernelement der Anwendung ist die Implementierung eines Perspektiv-Schiebereglers (Slider). Dieser ermöglicht es den Kindern, die Kamera der 3D-Szene stufenlos zu manipulieren:

- ↳ **Ausgangslage (Frontal/Isometrisch):** In der niedrigsten Einstellung wird die 3D-Welt aus einer schrägen oder frontalen Perspektive (ca. 15°) gezeigt. Gebäude und Landmarks sind anhand ihrer Fassaden und Merkmale (u. a. Kirchturm) eindeutig identifizierbar.
- ↳ **Zielzustand (Top-Down/Orthogonal):** Durch Betätigen des Sliders schwenkt die Kamera in die vertikale Aufsicht (Vogelperspektive = 90°).

Die 3D-Objekte werden nun als flache Dachflächen wahrgenommen.

Diese Funktion veranschaulicht das Prinzip der Orthogonalprojektion. Durch den Wechsel der Perspektive wird deutlich, wie sich die Darstellung eines Objekts (z. B. einer Kirche) verändert. Dies erleichtert die korrekte Positionierung auf der Karte.

Belohnungssystem

In dem gesamten Projekt gibt es kein kompetitives Belohnungssystem. Die Kinder erhalten lediglich Sammelobjekte, die – so wird es suggeriert – für den Fortschritt in der Geschichte wichtig sind. Diese Sammelobjekte sind in der Programmierung zwar feste Triggerpunkte und werden in jedem Fall erreicht, erhöhen aber die Motivation der Kinder („Jäger und Sammler-Prinzip“).

3.2.3 Tutorial: Spielmechaniken erklären

Dem eigentlichen Spielszenario ist ein kleines Tutorial vorgeschaltet, in dem die Charaktere Finn und Frieda zentrale Bildschirm-Bereiche und deren Funktionen kurz präsentieren. Zudem kommt es auch innerhalb des Spiels – beim erstmaligen Erscheinen von neuen Elementen oder Funktionen – zu einer Erklärung durch einen der beiden Hauptcharaktere. Didaktisch lassen sich hierbei zwei Unterrichtssereignisse nach Gagné identifizieren:

- ↳ **Lernmaterial präsentieren (Ereignis 4):** Die Benutzeroberfläche und die neu erscheinenden Interaktionsmöglichkeiten (z. B. der Perspektiv-Slider oder das Inventar) werden visuell eingeführt und benannt.
- ↳ **Lernanleitung geben (Ereignis 5):** Durch die sprachliche Begleitung von Finn und Frieda werden Zusammenhänge geschaffen. Den Kindern wird erklärt, wie die Werkzeuge zu nutzen sind, um das Ziel der Kartierung zu erreichen.

3.2.4 Haupt-Szenario: Stadt-Level

Ein zentrales Funktionsmerkmal des Stadt-Levels ist die zufällige Generierung des Aufbaus. Dies soll primär dazu dienen, dass bei jedem erneuten Spielen eine mehr oder weniger unbekannte Umgebung vorgefunden wird und somit keine Langeweile durch ein repetitives Leveldesign aufkommt und die Anforderungen des Spiels nicht auswendig gelernt werden können. Die Mechanik des Spiels wird dadurch nicht beeinträchtigt, aber durch eine zufällige Anordnung wird ein gewisses Maß an Abwechslung sichergestellt.

3.3 Story: Finn und das große Durcheinander

Die narrative Rahmung der Geschichte dient nicht nur der Unterhaltung, sondern bildet das erste Unterrichtsereignis nach Gagné: Aufmerksamkeit erregen. Das Szenario des Sturms schafft eine Problemstellung, die eine unmittelbare emotionale Reaktionen auslöst. Durch Finns Bitte um Hilfe werden die Schüler zudem über das Lernziel informiert (Ereignis 2 nach Gagné): Es soll durch Kartierung geholfen werden. Die Kinder agieren somit nicht als rein passive Konsumenten, sondern werden zu benötigten Akteuren bzw. Helfern.

Story

Eigentlich kennt Finn seinen Wald wie seine eigene Westentasche. Jeder Fuchsbau, jeder Baum und jeder noch so kleine Trampelpfad ist ihm vertraut. Doch nach dem heftigen Herbststurm der letzten Nacht ist nichts mehr, wie es war. Der Wind hat wirklich ganze Arbeit geleistet: Viele Wege sind von umgestürzten Bäumen versperrt, vertraute Wegweiser wurden verdreht, und der kleine Bach ist über die Ufer getreten und hat sich ganz neue Wege gebahnt. Tiere sind vor Schreck in die Stadt der Menschen geflüchtet.

Als Finn am nächsten Morgen mit seinem Rucksack und seiner geliebten Wanderkarte aus dem Bau kriecht, muss er entsetzt feststellen, dass seine Karte überhaupt nicht mehr mit der Wirklichkeit überein stimmt. Wo eine Brücke eingezeichnet ist, fließt jetzt reißendes Gewässer. Wo früher der Weg sicher am Waldrand entlangführte, versperrt nun etwas den Durchgang. Auch in der angrenzenden Menschenstadt herrscht Chaos und niemand findet sich mehr zurecht.

Finn ist zwar eine gute Spürnase, aber dieses Durcheinander ist selbst für ihn zu groß. Ein eigens gegründeter Rettungstrupp soll helfen. Doch selbst sie brauchen jemanden, der den Überblick behält und die Welt neu ordnen kann. Finn bittet ein Menschenkind um Hilfe und fragt, ob es nicht sein „Vermessungs-Assistent“ werden könne.

Die gemeinsame Mission ist klar: Zusammen durchstreifen sie die veränderte Landschaft. Sie müssen genau hinschauen und die Umgebung mit der leeren Karte vergleichen. Was steht noch? Was hat sich verändert? Ist das dort drüben ein Wohnhaus oder doch die Schule? Nur wenn die Kinder die Umgebung richtig beobachten und die passenden Symbole an die richtige Stelle auf Finns Karte kleben, kann die Ordnung wiederhergestellt werden. Ziel ist es, eine neue, verlässliche Karte zu zeichnen, damit der Rettungstrupp verirrte Tiere sicher nach Hause bringen kann.

3.4 User centered Design – Nutzerzentrierte Symbolentwicklung

In der Lernanwendung ist es vorgesehen, dass die Kinder bestimmte Landmarken einer fiktiven Stadt in dem Stadtplan kartieren. Bei den Landmarken handelt es sich um:

1. Bahnhof
2. Feuerwehr
3. Kirche
4. Krankenhaus
5. Polizei
6. Schule
7. Schwimmbad
8. Sportplatz

Um die Kinder schrittweise an komplexe und teilweise unintuitive kartografische Zeichen (vgl. Abbildung 9) heranzuführen, nutzt die Lernanwendung die Methode des sogenannten Scaffolding. Hierbei steigen die Anforderungen nur langsam an. Es werden zuerst vereinfachte, (für Kinder) intuitive, Symbole eingeführt und somit eine gezielte Hilfestellung dank eines metaphorischen Gerüst gebaut, das den Kindern hilft, die abstrakte Logik einer Karte Stück für Stück zu verstehen, bevor sie ohne Hilfe arbeiten.



Abbildung 9: Zeichen im offiziellen Kartenmaterial des Bayernatlas, analog zu den im Prototyp verwendeten Zeichen (Quelle: Bayerische Vermessungsverwaltung, 2024).

Um zielgruppengerechte Zeichen zu erstellen, wurde ein Fragebogen entwickelt, der die Anforderungen der Zielgruppe reflektieren soll (vgl. Abbildung 10 und Abbildung 11). In den folgenden Kapiteln wird das Konzept, die Methodik und die Auswertung näher dargestellt.



Abbildung 10: Vorab-Fragebogen: Anleitung für Lehrkräfte und erste Seite: Offene Fragestellung (Quelle: Mockups-Design, o. D.).

3.4.1 Zielgruppenbefragung

Mit acht bis neun Jahren befindet sich die Zielgruppe in einem Alter, in dem in der Regel noch keine oder zumindest nur rudimentäre Erfahrungen im Kartenlesen vorhanden sind. Der Ansatz des User Centered Design stellt sicher, dass die zu erstellenden Zeichen basierend auf den kognitiven Fähigkeiten, Erwartungen und den Assoziationen der Zielgruppe gestaltet werden. Eine gezielte Befragung gibt dabei Aufschluss über den passenden Designansatz, um den Anforderungen der Zielgruppe gerecht zu werden.

3.4.2 Methodik und Auswertung des Vorab-Fragebogens

Die Befragung bestand aus zwei Teilen, die nacheinander bearbeitet werden sollten. In einem ersten Teil mit einer offenen Fragestellung wurden die instinktiven Assoziationen zu den gesuchten Zeichen abgefragt. Hier konnten sich die Kinder unvoreingenommen „austoben“ (vgl. Abbildung 10). In dem folgenden Teil mit einer geschlossenen Fragestellung standen jeweils fünf unterschiedliche Vorschläge zur Auswahl (vgl. Abbildung 11). Das Kind sollte das

Zeichen markieren, dass seiner Meinung nach am passendsten zu dem Begriff erscheint. Die Befragung fand vollständig anonym statt und somit ist ein Rückschluss auf Personen ausgeschlossen.

Die Beteiligung war – nach gewissen Anlaufschwierigkeiten – insgesamt sehr zufriedenstellend. Es gab 205 Rückläufer aus sechs Bundesländern (11 Schulklassen, 7 Privat) von Kindern der zweiten bis zur vierten Jahrgangsstufe. Die Auswertung erfolgte in einer Excel-Liste.



Abbildung 11: Vorab-Fragebogen: Zweiter Teil der Befragung: Geschlossene Fragestellung (Bildquelle: Mockups-Design, o. D.).

Offene Befragung

In der offenen Befragung gab es insgesamt 1.499 von möglichen 1.640 Antworten auszuwerten. Die einzelnen Zeichen wurden interpretiert und als Begriffe in einem Excel-Datenblatt gesammelt. Anschließend wurden die Begriffe geclustert.

Geschlossene Befragung

Bei der geschlossenen Befragung ergaben sich durch Mehrfachnennungen 1.619 Antworten. Für die Auswertung wurde jede Nennung eines Zeichens gezählt. Nach den Einzelauswertungen wurden diese in einer Gesamtauswertung zusammengeführt.

In nahezu allen Fällen wurde das Zeichen, das in der offenen Befragung mit am häufigsten gezeichnet wurde, auch in der geschlossenen Befragung ausgewählt. Ein beispielhaftes Ergebnis ist in Abbildung 12 zu sehen. In der nachfolgenden Tabelle 1 sind die Ergebnisse der Auswertung zu finden.

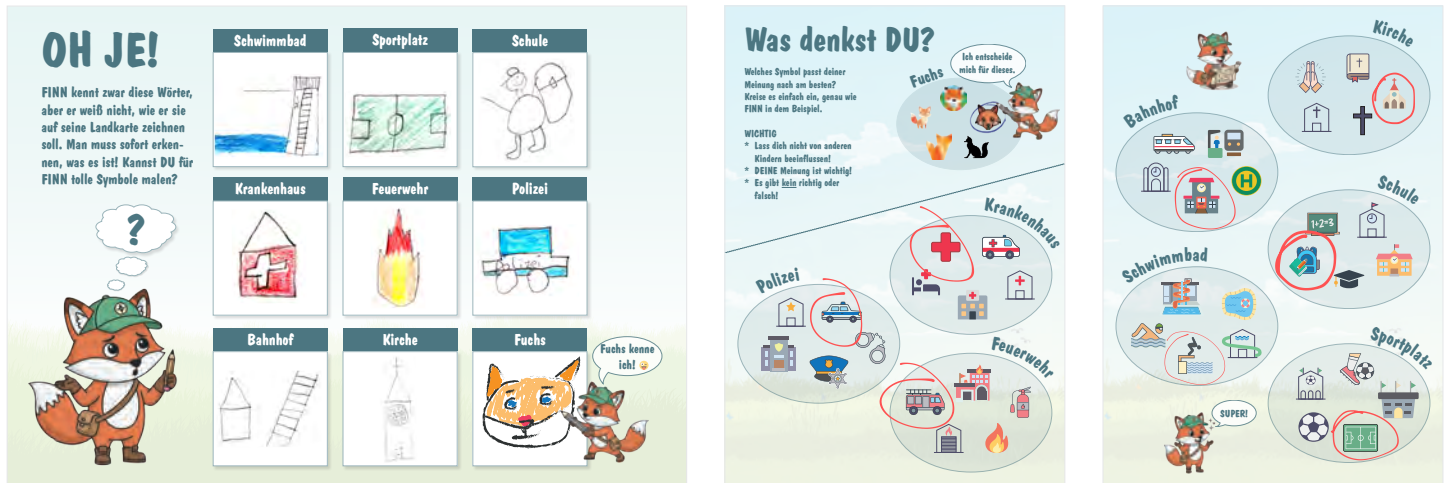


Abbildung 12: Beispielhaftes Ergebnis eines ausgefüllten Fragebogens.

3.4.3 Ableitung der finalen Kartensymbole

Die finalen Zeichen sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 1: Übersicht der Anforderungen der Zielgruppe und finale Umsetzung der Zeichen.

Anforderung		Finale Umsetzung	
Zeichen	Ergebnis der Zielgruppenbefragung	Beschreibung	Zeichen
Krankenhaus	(Rotes) Kreuz und/oder Gebäude	Hellgraues Gebäude mit rotem Kreuz	
Schule	Schulgebäude mit Uhr	Gelbes Gebäude mit rotem Dach, Uhr und Flagge	
Polizei	Polizeiauto und/oder Wappen/Mütze/Stern	Blau-weißes Einsatzfahrzeug mit Stern-Emblem	
Feuerwehr	Feuerwehrauto und/oder Flamme	Rotes Löschfahrzeug mit Leiter	
Kirche	Kirchturm mit Kreuz	Graues Kirchenschiff mit Kirchturm und rotem Dach	
Bahnhof	Zug	Roter Triebwagen auf Gleisabschnitt	
Schwimmbad	Schwimmbecken	Blaues Schwimmbecken mit Wellen, (Rettungs-)Ring und Sprungbrett	
Sportplatz	Fußballplatz	Grünes Spielfeld mit weißen Kreidelinien	

3.5 Eingesetzte Technologien

In diesem Kapitel folgen neben einem Überblick über die eingesetzten Technologien und Softwares auch die damit einhergehenden Beweggründe zum Einsatz für den vorliegenden Prototypen.

3.5.1 Godot

Die Godot-Engine stellt eine vielseitige Open-Source-Plattform zur Entwicklung von sowohl 2D- als auch 3D-Anwendungen (meist Spielen) dar. Im Gegensatz zu vielen Wettbewerbern basiert die Architektur auf einem hierarchischen Szenen- und Knotensystem, welches eine logische und modulare Strukturierung von Spielobjekten ermöglicht. Die Entscheidung zugunsten der Godot Engine für den vorliegenden Prototypen begründet sich primär durch die quell-offene, gebührenfreie Lizenzierung sowie die umfangreichen Möglichkeiten zum plattformübergreifenden Export. Die Teile, die einer Programmierung bedurften, wurden mit der Python-ähnlichen Scriptsprache GDScript umgesetzt.

3.5.2 Blender

Die Open-Source-Software Blender bildet mit ihrem Funktionsumfang die komplette 3D-Pipeline ab: Vom Modeling, Texturing, übers Rigging bis hin zum Lighting und Rendering für einfache Modelle oder als Animation. Für den vorliegenden Prototyp wurde lediglich das Modeling – also das Erstellen und Bearbeiten von 3D-Modellen (inkl. Texturierung) – genutzt. Hauptargumente für die Nutzung von Blender waren neben dem Open-Source-Aspekt die weite Verbreitung der Software und die damit einhergehende Fülle an Tutorials sowie die Unterstützung des GLB-Formats, welches einen reibungslosen Import in Godot ermöglicht.

3.5.3 Adobe Creative Cloud

Als kostenpflichtiges Abo-Modell wird mit der Adobe Creative Cloud zwar der Open-Source-Gedanke des Projekts durchbrochen, dennoch bietet sie den Vorteil einer Gesamtlösung, mit vielen benötigten Werkzeugen praktisch vereint unter einer einheitlichen Oberfläche. Als Marktführer mit knapp 50 % Marktanteil (Statista, 2026) im Kreativsektor steht eine umfangreiche Menge an Tu-

torials bereit, welche die Einarbeitung in komplexe Workflows erleichtert. Besonders die effiziente Interoperabilität zwischen den einzelnen Programmen ist von großem Vorteil – insbesondere die nahtlose Einbindung der Ebenenstruktur von Illustrator-Dateien in Character Animator, die einen zeitsparenden und komfortablen Workflow bei der Figur-Animation bietet.

3.5.4 Künstliche Intelligenz

Künstliche Intelligenz wurde zur Effizienzsteigerung bei der Prototyp-Erstellung genutzt. Hierbei handelte es sich hauptsächlich um kosmetische Aspekte wie professioneller anmutende Assets (Grafiken und Sprachausgaben).

Grafiken

Als generative KI kam größtenteils Googles Gemini zum Einsatz, dessen Bildgenerator Nano Banana 2 genutzt wurde, um Finn, Frieda und die meisten Spielgrafiken zu entwerfen. Ausgaben von anderen GenAI-Modellen, wie zum Beispiel DALL·E 3 (integriert in ChatGPT) der Firma OpenAI, waren nicht zufriedenstellenden bzw. haben zu inkonsistenten Ergebnissen geführt.

Sprache

Ein weiterer Anwendungsfall von künstlicher Intelligenz ist die Sprachausgabe sämtlicher Protagonisten in der Anwendung. Hier konnte das Text-to-Speech-Modell Eleven Multilingual v2 von ElevenLabs überzeugen. Es ist einer der Marktführer, wenn es um KI-gestützte Intonation geht. Viele andere Anbieter haben (in kostenlosen Versionen) nicht überzeugen können, da diese noch sehr roboterhafte Aussprachen generiert haben, was die Illusion innerhalb der Anwendung sehr schnell zerstört hätte. Die Nutzung von ElevenLabs ist zudem für ein gewisses Kontingent kostenlos (Stand: April 2026).



TECHNISCHE UMSETZUNG

4 Kapitel

Technische Umsetzung

Nachdem im vorherigen Kapitel die didaktischen Anforderungen und das gestalterische Konzept definiert wurden, dokumentiert dieses Kapitel die technische Umsetzung des Prototyps. Es gilt eine performante und intuitive Lernumgebung zu schaffen, die trotz hoher grafischer Wiedergabetreue für mobile Endgeräte optimiert ist. Hierbei werden sowohl die Architektur der Spielwelt als auch die Implementierung spezifischer Kernmechaniken sowie der Einsatz von Künstlicher Intelligenz für die AssetGenerierung detailliert erläutert.

4.1 Aufbau der Lernanwendung

Der Prototyp der Lernanwendung wurde mit der Spielengine Godot (Version 4.6) umgesetzt. In Godot wird jedes Element – vom einfachen Button bis hin zur komplexen 3D-Szene – als Node (Knoten) definiert. Diese Nodes werden in einer Baumstruktur organisiert, wobei Eltern-Knoten Eigenschaften, wie zum Beispiel Position oder Sichtbarkeit an ihre Kind-Knoten vererben.

Insgesamt umfasst das Projekt in etwa 450 Nodes. Diese relativ hohe Anzahl für ein so kleines Projekt resultiert vor allem aus der detaillierten Ausgestaltung des User Interfaces (UI) und der Verschachtelung der 3D-Umgebungen in Viewport-Containern.

Der Prototyp besteht aus 13 Einzelszenen, die zur teilweise zur Laufzeit instanziiert werden. Dies ermöglichte es, beispielsweise die Kartensymbole unabhängig voneinander zu gestalten und erst im Hauptspiel logisch zu verknüpfen.

Der gesamte Prototyp wurde mit ca. 1.300 Zeilen Code umgesetzt. Diese relativ kompakte Umsetzung ist das Ergebnis der Nutzung Godot-eigener Funktionen. Anstatt Abhängigkeiten ineffizient manuell zu programmieren, wurde auf das Signal-System der Engine genutzt. So sendet der Perspektiv-Slider lediglich Informationen über seine Zustandsänderung aus, während die Kamera diese eigenständig verarbeitet. Dieser modulare Aufbau reduziert die Fehleranfälligkeit und sorgt für eine saubere Trennung der einzelner Logiken.

4.1.1 Story (Intro)

Die etwas mehr als zweiminütige Einleitungssequenz, welche die Hintergrundgeschichte von Finn und dem Sturm erzählt, wurde bewusst nicht als externes Video eingebunden, sondern nativ innerhalb der Godot Engine realisiert. Hierfür kam eine Kombination aus `AnimationPlayer` und synchronisierten `AudioStreamPlayer`-Elementen zum Einsatz (vgl. Abbildung 13).

Die Entscheidung gegen ein bereits vorgerendertes Video hatte primär Performance-Gründe, denn ein Video in der nativen Zielauflösung der Anwendung (2360 x 1640 px) würde eine ungefähre Dateigröße von 300 MB bedeuten. Durch die Nutzung von animierten Einzelgrafiken und Audiostreams betrug die Datenmenge hingegen nur knapp 20 MB – also einer Speicherersparnis um den Faktor 15.

Da zudem keine rechenintensive Videodekodierung im Hintergrund ablaufen muss, werden sowohl der Grafikspeicher (VRAM) als auch die CPU entlastet. Dies garantiert einen nahtlosen Übergang vom Hauptmenü zu der Geschichte ohne spürbare Ladezeiten sowie ein ruckelfreies Abspielen, durch eine konstant hohe Anzahl an Bildern pro Sekunde.

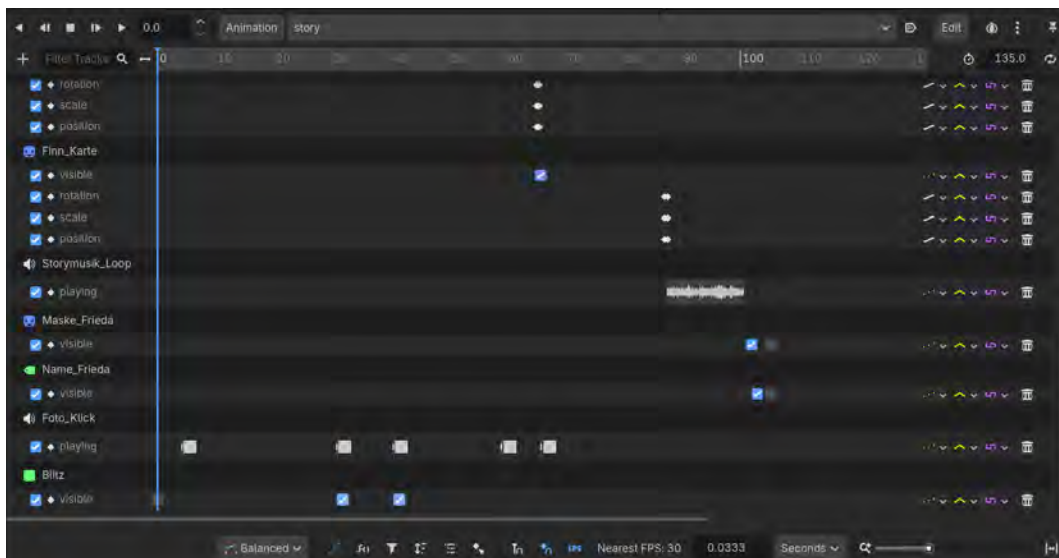


Abbildung 13: Ausschnitt aus der Animations-Zeitleiste für die Einleitungssequenz.

4.2 Implementierung der Kernmechaniken

Die technische Umsetzung der Lernanwendung in Godot konzentriert sich hauptsächlich auf eine Verschmelzung von Interaktion und den daraus direkt gewonnenen Erkenntnissen. Im Folgenden werden die im Prototyp zentralen Mechaniken detailliert beschrieben.

4.2.1 Erstellung der 3D-Welt (Stadt-Level)

Als Datengrundlage für die 3D-Welt dienten keine realen Geodaten, sondern ein für die Zielgruppe passendes, reduziertes Leveldesign. So wurde sichergestellt, dass die Positionierung wichtiger Orientierungspunkte in einem kontrollierbaren Rahmen stattfand, um den in Kapitel „2.2.2 Von der 3D-Realität zur 2D-Abstraktion“ beschriebenen Transformationsprozess zu unterstützen. Das Stadtlevel beinhaltet insgesamt acht Landmarken, die kartiert werden sollen, wobei jede auf einer eigenen Kachel positioniert wurde. Aus Effizienzgründen wurde eine quadratische Lösung für die Stadt gewählt und somit noch eine „leere“ Kachel – ohne zu kartierende Landmarke – vorgesehen. Eine Umsetzung in Godot folgt in Kapitel „4.7.1 3D-Kacheln für Stadtszene“.

Um die kognitive Belastung durch die Steuerung zu minimieren, wird ein linearer Pfadverlauf erzwungen, der sicherstellt, dass die Kinder alle acht relevanten Orten durchlaufen. Dies verhindert ein zielloses Navigieren und fokussiert die Aufmerksamkeit auf den eigentlichen Lerninhalt. Die Regeln zur Erstellung gültiger Pfadverläufe für mögliche Kachelungen orientieren sich am Hamilton-Pfad – ein mathematisches Problem, bei dem ein Pfad durch ein Netzwerk gesucht wird, der jeden Knoten des Netzwerks nur einmal aufsucht, ohne zu seinem Ursprung zurückzukehren (Esri, o. D.).

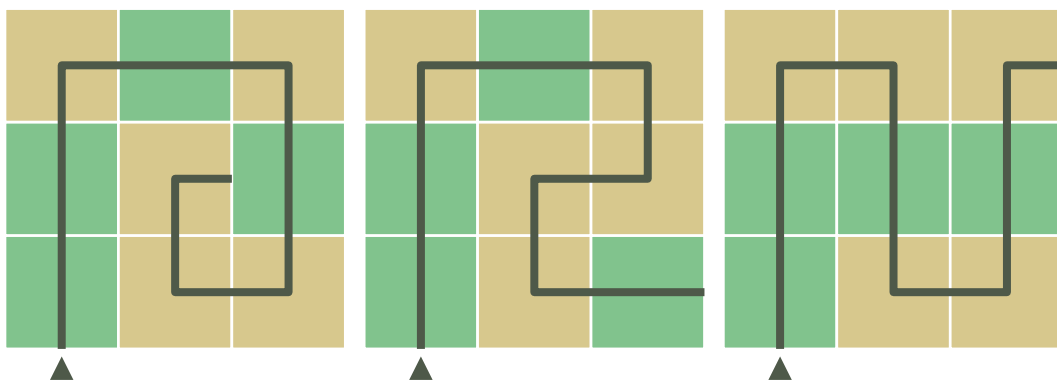


Abbildung 14: Mögliche Muster einer Kachelung des Stadt-Levels.

Für das Level-Design bedeutet dies folgende Regeln:

- ↳ Jede Kachel muss besucht werden
- ↳ Jede Kachel darf nur einmal besucht werden
- ↳ Es darf sich nur auf direkt angrenzende Kacheln bewegt werden

Daraus ergeben sich insgesamt drei einzigartige Muster (vgl. Abbildung 14), wobei mindestens drei Kacheln mit geraden Abschnitten (grün hinterlegt, die Einsteigskachel könnte eine Kurve sein) und mindestens fünf Kacheln mit Ecken bzw. Kurven (beige hinterlegt). Jeder andere Pfadverlauf würde eine der oben genannten Regeln verletzen. Drehungen oder Spiegelungen der Gesamtmuster gelten dabei per Definition nicht als eigenständige Lösung.

4.2.2 Dynamischer Perspektivwechsel

Eine der Besonderheiten und Vorteile der Anwendung, gegenüber nicht-interaktiven Lernmaterialien ist der vertikale Schieberegler (Slider), der im Interface des Viewport I platziert ist. Technisch steuert dieser Slider die Rotation und die Position der Camera3D in der Szene und ermöglicht somit den Wechsel zwischen Scrägsicht und Draufsicht.

Um den kognitiven Übergang von der Schrägsicht zur Draufsicht zu unterstützen, werden die Rotationswerte in X-Richtung stufenlos zwischen 15° und 90° interpoliert, um sprunghafte Ansichtswechsel zu verhindern. Zudem wird ab einem definierten Schwellwert die Kamera per Tween eingenordet (in globaler Y-Richtung genullt, vgl. Listing 1, Zeile 4). Beides dient dazu, die Gefahr eines eventuellen Orientierungsverlusts des Nutzers zu minimieren.

```

1 | if value >= schwelle_winkel:
2 |     if finn_cam.global_rotation_degrees.y != 0:
3 |         var tween : Tween = create_tween()
4 |         tween.tween_property(finn_cam,"global_rotation_degrees:y",0,.3)

```

Listing 1: Kameraschwenk bei Schwellenwert.

Während des Schwenks nähert sich die Kamera einer orthogonalen Projektion an (vgl. Abbildung 15). Dies verdeutlicht visuell, wie dreidimensionale Körper (Häuser, Bäume) zu zweidimensionalen Flächen (Dachflächen, Kreise) abstrahiert werden – eine fundamentale Voraussetzung für das Verständnis der Kartenlogik.



Abbildung 15: Kameraposition per Slider verstellen. Links: Schrägsicht (15°), Rechts: Draufsicht (90°).

4.3 UX/UI-Design

Die Lernanwendung stellt mit der Optimierung für Tablets sowie der Zielgruppe Kinder – deren motorischen Fähigkeiten nicht so ausgeprägt sind, wie die eines Erwachsenen – besondere Anforderungen an das UX/UI-Designs. Durch die Kombination aus großzügigen Interaktionsflächen und der Platzierung in einer ergonomisch günstigen Position rückt der Fokus auf die kartografischen Inhalte, anstatt auf eine gegebenenfalls umständliche Bedienung der Hardware.

4.3.1 Intuitive Steuerung durch Touch

Da auf einem Touch-Display kein Cursor existiert, entfallen visuelle Rückmeldungen beim Überfahren von Elementen (Hover-Effekte). Schaltflächen müssen daher bereits durch ihr Design eindeutig als interaktiv erkennbar sein.

Um Fehleingaben zu vermeiden, wurden alle interaktiven Elemente (Buttons, Slider-Knauf, Inventar-Icons) großzügig dimensioniert. Die Größe der Eingabelemente orientiert sich an ergonomischen Standards von Apple (Apple Developer, 2025).

Da der physische Klick-Widerstand einer Maus oder Tastatur fehlt, wird jede erfolgreiche Touch-Interaktion durch sofortiges visuelles und/oder akustisches Feedback unterstützt.

Wie bereits in Kapitel „3.2.2 Aufbau der Lernanwendung“ angerissen, berücksichtigt das Layout die natürliche Haltung beim Greifen eines Tablets. Häufig genutzte Elemente wie das Inventar befinden sich deshalb in dem unteren Randbereichen, um eine Bedienung zu ermöglichen, ohne das zentrale Sichtfeld (den Viewport) zu verdecken.

4.3.2 Drag-and-Drop für Kartenelemente

Die Zuordnung korrespondierender Zeichen zu den Zielpositionen auf der Karte erfolgt innerhalb der Lernanwendung via Drag-and-Drop. Eine bewusste Einleitung dieses Prozesses wird durch eine Verzögerung (Hold-to-Drag) sichergestellt. Dies minimiert fehlerhafte Eingaben durch unbeabsichtigte Interaktionen seitens der Nutzer.

```

5 func symbol_aktivieren() -> void:
6     symbol_aktiv = true #nur aktive Symbole können verschoben werden
7     Input.vibrate_handheld(200) #Vibration am Endgerät (wenn unterstützt)
8     sticker_ab.emit() #Signal zur weiteren Verarbeitung außerhalb des Nodes
9     symbol_groesse(skalierungseffekt) #Größe anpassen
10    wackeln_start() #Funktionsaufruf (Wackeleffekt-Animation starten)
11    fortschrittsring.hide() #Indikator für die verzögerungsdauer ausblenden

```

Listing 2: Aktivierung der Kartensymbole per Touch.

Die erfolgreiche Aktivierung wird durch multisensorisches Feedback bestätigt (vgl. auch Listing 2):

- ↳ **Akustisch:** Ein dem Abziehen eines Stickers nachempfundenen Geräusch.
- ↳ **Visuell:** Eine Skalierung (Vergrößerung) sowie ein Wackeleffekt des Zeichens.
- ↳ **Haptisch:** Ein kurzer Vibrationsimpuls.

Die Überprüfung der korrekten Position findet im Spiel mit Trefferzonen statt. Jedem Zeichen wird eine individuelle Trefferzone zugeordnet, die sich an der entsprechenden Stelle auf der 2D-Karte befindet. Wird ein Zeichen durch das Kind außerhalb der Karte platziert, gibt es ein akustisches Feedback durch den Unterstützungsscharakter Frieda, die das Zeichen zurück in den Symbolbereich trägt. Wurde das Zeichen auf der Karte platziert, ermittelt die integrierte

distance_to()-Funktion die Entfernung zur zugehörigen Trefferzone in Pixeln. Befindet sich die Entfernung außerhalb eines definierbaren Grenzwertes, gibt es motivierendes Feedback und ein neuer Versuch kann gestartet werden. Jede erfolgreiche Platzierung wird durch eine Fanfare (Audio) sowie ein Partikelsystem („Konfetti“) bestätigt, was das Belohnungssystem ohne kompetitiven Druck stärkt.

4.4 Erstellung der narrativen Charaktere

Die Erscheinungsbilder von Finn und Frieda wurden von googles KI-Bildmodell Nano Banana 2 entworfen. Dieses zeichnet sich unter anderem durch seine über mehrere Prompts hinweg konsistente Darstellung der Charaktere aus (vgl. Abbildung 16), welche bei Bildmodellen anderer Anbieter zu weitaus schlechteren Ergebnissen führte. An Stellen des Projekts, an denen Finn oder Frieda als statische Figuren auftreten, wurde lediglich der Hintergrund des KI-Bildes entfernt und die so freigestellte Figur direkt platziert.



Abbildung 16: Konsistentes Ergebnis der Charaktererzeugung bei wiederholter Generierung (Quelle: Google Nano Banana 2, 2025).

4.4.1 2D-Rigging

Primär werden Finn und Frieda in Form von animierten 2D-Figuren dargestellt, beispielsweise bei der „Interaktion“ mit dem Nutzer. Die technische Umsetzung dieser Animationen erfolgte mit der Software Character Animator von Adobe. Obwohl diese ihre Stärken und Alleinstellungsmerkmale in der Echtzeit-Übertragung von Mimik und Gestik des Nutzers auf digitale Charaktere hat, lässt sich das Programm aber ebenso für klassische Animationsprozesse ohne diese spezifischen Features nutzen.

Der Workflow stellte sich wie folgt dar:

1. **Generierung der Ausgangsgrafik:** Mittels Künstlicher Intelligenz wurden zunächst neutrale T-Posen beider Charaktere erstellt (vgl. Abbildung 16), die als Vorlage für das spätere Rigging dienten.
2. **Vektorisierung:** Die erzeugten Rastergrafiken wurden in Adobe Illustrator vektorisiert, um eine verlustfreie Skalierbarkeit und klare Trennung der Körperteile zu erhalten.
3. **Mundbilder:** Für das Sicherstellen einer lippensynchronen Animation in Adobe Character Animator war die Anlage spezifischer Ebenen für unterschiedliche Mundformen innerhalb der Illustrator-Datei erforderlich.
4. **Sprachausgabe (optional):** Viele der Animationen beinhalteten Dialoge, woraufhin eine Sprachausgabe benötigt wurde. Die technische Umsetzung hierzu folgt im Kapitel „4.5.3 Sprache“.
5. **Rigging/Animation:** In Adobe Character Animator erfolgt die Erstellung von Animationen mithilfe einer Aufnahmefunktion und entweder einem manuellen Verschieben (dragen) von bestimmten Objekten/Körperteilen, dem Nutzen von sogenannten Auslösern – ein automatisches Ein- bzw. Ausblenden von Ebenen – oder der Echtzeit-Manipulation mittels des Abgreifen der Kamera- und Mikrofon-Daten des Computers.

Im Rahmen der Bildgenerierung traten bei der Darstellung der Vorlagen der Mundbilder (Viseme) teilweise qualitative Mängel auf, die in unbrauchbaren Abbildungen resultierten (vgl. Abbildung 17). Mit notwendigen manuellen Korrekturen konnten die Vorlagen dennoch als grundlegende Orientierungshilfe für die finale Ausarbeitung der Mundbilder dienen.

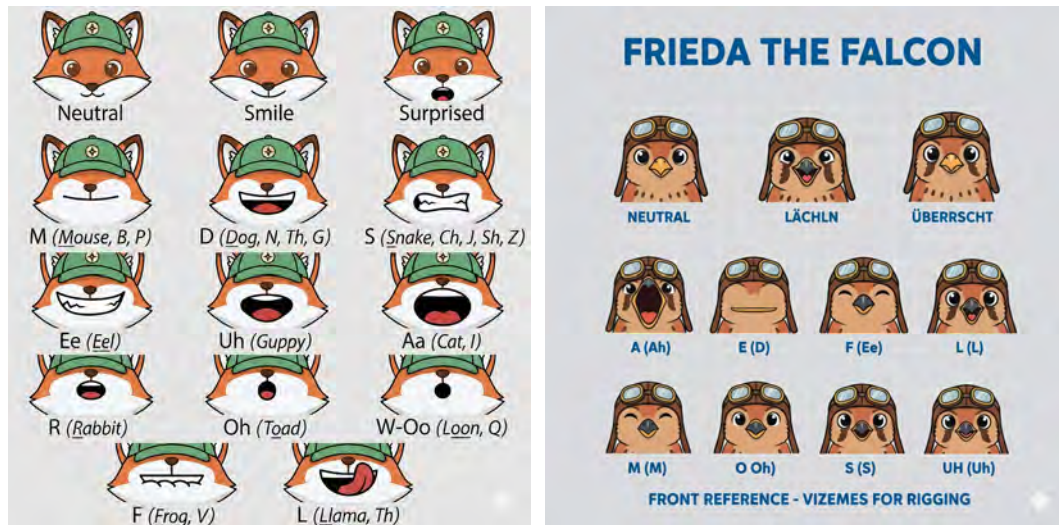


Abbildung 17: Generierung der Mundbilder als Vorlage mit teils unbrauchbaren Ergebnissen (Quelle: Google Nano Banana 2, 2025).

4.4.2 3D-Modell-Erstellung

Die Überführung des Charakters Finn in eine animierte 3D-Umgebung erwies sich als eine der größten technischen Herausforderungen des Projekts. Hierbei scheiterten mehrere Ansätze, eine visuell ansprechende Darstellung mit der Nutzung automatisierter Rigging-Systeme effizient zu kombinieren.

In einem frühen Stadium der Anwendung wurde ein rudimentäres, eigenständig erstelltes 3D-Modell verwendet, um zeitnah erste Animationen umsetzen zu können. Im weiteren Projektverlauf sollte die optische Erscheinung jedoch dem steigenden grafischen Standard des übrigen Materials angeglichen werden. Eine Weiterentwicklung des ersten Eigenentwurfs war hierbei keine Option, da die technischen und gestalterischen Grenzen der manuellen Umsetzung bereits erreicht waren.

In der Folge wurde untersucht, ob generative Künstliche Intelligenz ein qualitativ hochwertiges Modell liefern kann. Abbildung 18 zeigt die Ergebnisse dreier unterschiedlicher Anbieter. Auf den ersten Blick lag der Anbieter Hunyuan (Tencent) optisch vor den Mitbewerbern. Dennoch war mit diesem Modell kein automatisiertes Rigging in Adobe Mixamo möglich. Die Ursache hierfür lag vermutlich in der unsauberen und unnötig komplexen Topologie des Meshes sowie der daraus resultierenden, für mobile Anwendungen ungeeigneten Dateigröße von knapp 100 MB.

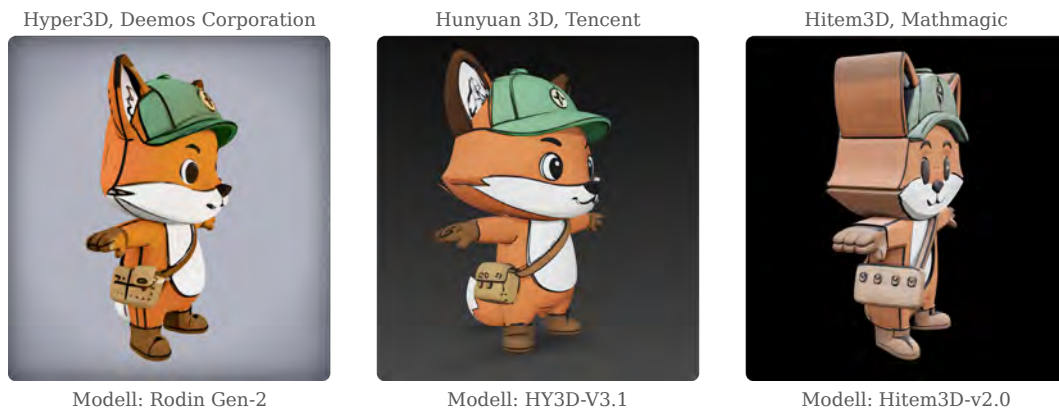


Abbildung 18: Ergebnisvergleich der KI-basierten 3D-Modellierung verschiedener Anbieter (Quellen: Deemos Corporation, 2026; Tencent, 2026; Mathmagic, 2026)

Um die Anforderung an ein optisch ansprechendes Modell bei gleichzeitig sauberer technischer Struktur zu erfüllen, wurde schließlich ein Freelancer über die Plattform Fiverr mit der Erstellung beauftragt (vgl. Abbildung 19).



Abbildung 19: Ergebnis der Auftragsarbeit von Eirene S auf Fiverr.

Das Ergebnis übertrifft die KI-Modelle qualitativ deutlich. Neben der optischen Ausarbeitung, die sich exakt an den KI-generierten 2D-Referenzbildern orientiert, überzeugt vor allem die technische Beschaffenheit des Meshes.

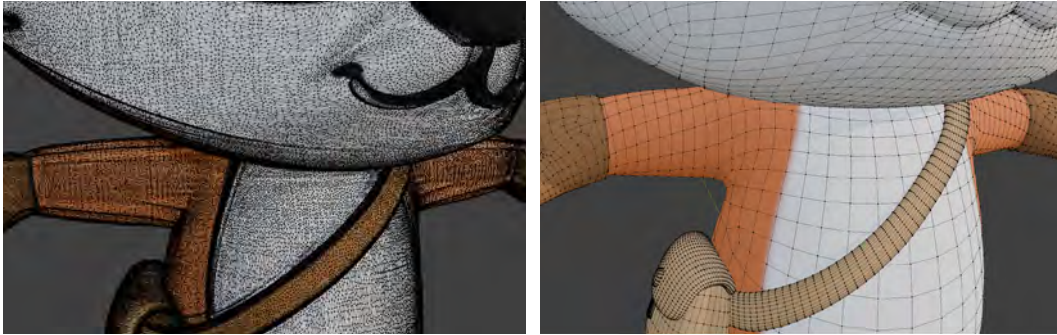


Abbildung 20: Vergleich der Mesh-Topologie in Blender (li. Hunyuanyuan/Tencent, re. Eirene/Fiverr)

Abbildung 20 verdeutlicht die strukturellen Unterschiede: Während das KI-generierte Mesh (links) eine unsaubere Vermaschung und eine extrem hohe Anzahl an Eckpunkten (Vertices) aufweist, zeigt das Modell des Freelancers (rechts) eine effiziente und aufgeräumte Topologie. Diese optimierte Geometrie ermöglicht es, mit einer minimalen Anzahl an Eckpunkten ein visuell überzeugendes und technisch sauberes Ergebnis für die spätere Animation zu erzielen.

4.4.3 3D-Modell-Rigging und -Animation

Das automatisierte 3D-Rigging in Adobe Mixamo stellte sich aufgrund der spezifischen Anatomie des Charakters Finn als erhebliche Herausforderung dar. Der Anbieter weist explizit darauf hin, dass das System auf humanoide Modelle optimiert ist und zusätzliche Elemente im Mesh – im Fall von Finn: Tasche, Mütze, Gehöre und Lunte – zu Komplikationen führen können. Erste Versuche lieferten ernüchternde Ergebnisse und führten zu unschönen Verformungen im Bereich der Flanken und am Rücken (vgl. Abbildung 21).

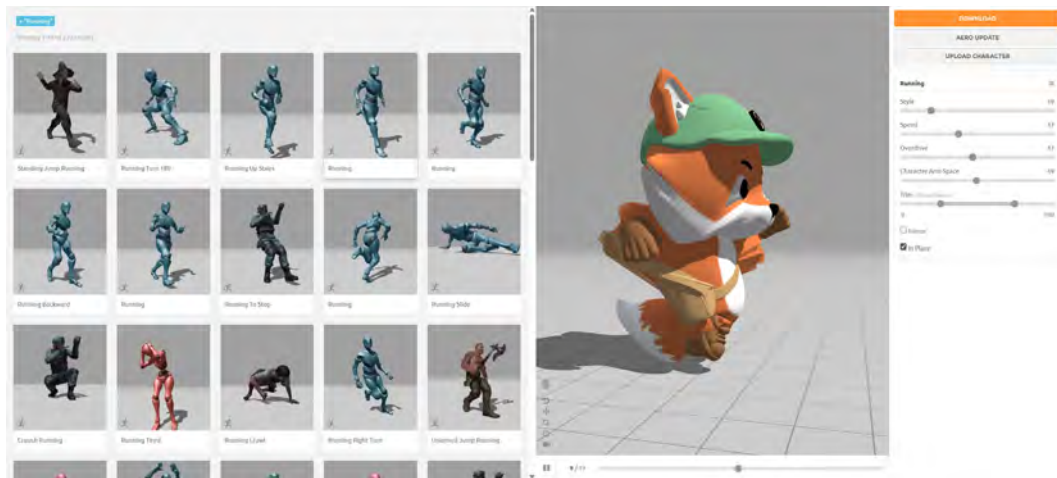


Abbildung 21: Ein misslungenes, aber erwartbares Rigging in Adobe Mixamo (Quelle: Adobe, 2026).

Diese Artefakte entstehen, da Mixamo keine Kenntnis über die zusätzlichen Objekte besitzt und diese als Bestandteil des eigentlichen Körpers berechnet. Zudem führt der überproportional große Kopf dazu, dass das System die Körperproportionen falsch interpretiert. Das automatisch generierte Skelett (Rig) orientiert sich an menschlichen Proportionen, wodurch die Schultergelenke für das vorliegende Modell viel zu hoch platziert wurden. Dies resultiert in einer fehlerhaften Gewichtungsverteilung bei der Beeinflussung der Eckpunkte (Vertices) innerhalb des Meshes, sobald sich bestimmte Knochen bewegen. In Abbildung 22 ist zu erkennen, dass der rechte Oberarm unter anderem Einfluss auf Teile des Meshes am Kopf hat. Mit dieser Erkenntnis lässt sich die Verformung in Abbildung 21 logisch nachvollziehen.

Um diesen Missstand zu beheben, war es notwendig, die animierten Modelle von Mixamo in Blender zu überführen. Dort wurde das Skelett manuell an die Anatomie angepasst. Mittels „Weight Painting“ – einer Methode, bei der die Einflussstärke einzelner Knochen auf das Mesh präzise definiert werden kann – wurden die fehlerhaften Zuweisungen korrigiert.

Trotz dieser aufwendigen manuellen Anpassungen konnte kein vollständig fehlerfreies Mesh während der Animation erhalten werden. Es sind nach wie vor Verformungen erkennbar, die unter rein ästhetischen Gesichtspunkten suboptimal erscheinen. Für den vorliegenden Prototyp wurde jedoch aus zeitlichen Gründen auf eine noch feinere, zeitintensive Nachjustierung verzichtet, da die funktionale Demonstration des Perspektivwechsels im Vordergrund stand.

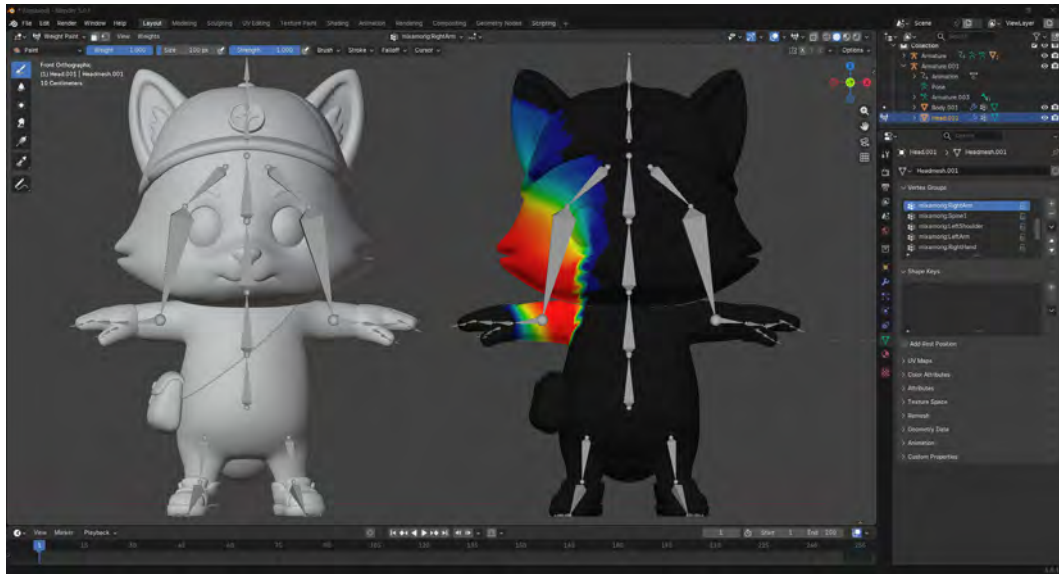


Abbildung 22: Ein nicht optimal angepasstes Rigging führt zu Verformungen im Mesh. (Farbabstufung: rot: viel Einfluss, blau: wenig Einfluss; schwarz: kein Einfluss)

4.5 Sound-Design

Der Einsatz von Klängen (Musik, Effekte, Sprache) wird in seiner Wirkung sehr oft unterschätzt. Die Integration einer hochwertigen Sprachausgabe und akustischer Signale ist längst nicht nur ein ästhetisches Element, sondern dient dem kognitiven Verstehen der Lerninhalte (vgl. Wilke/Thon 2017, S. 10). Da das Gehör im Gegensatz zum Auge keinen Verschlussmechanismus besitzt („There are no earlids“, Schafer 1994, zit. n. Wilke/Thon 2017, S. 8), stellen die akustischen Signale sicher, dass wichtige Instruktionen und Feedback auch wahrgenommen werden, wenn das Kind sich gerade visuell auf die Karte fokussiert.

Sämtliches Audiomaterial der Lernanwendung basiert auf lizenzfreien Online-Bibliotheken oder wurde mittels Künstlicher Intelligenz generiert. Zur Minimierung von Störgeräuschen wurde – wenn nötig – eine gezielte Rauschunterdrückung angewendet. Zudem erfolgte eine Pegelanpassung (Abmischen), um ein homogenes Klangbild zwischen Musik, Effekten und Sprache zu schaffen.

Das gesamte akustische Portfolio unterteilt sich grundsätzlich in drei wesentliche Kategorien, die in den folgenden Kapitel dargestellt werden.

4.5.1 Musik

Die Hintergrundmusik dient als atmosphärisches Fundament („Audiobett“) während der Nutzung der Lernanwendung und dient in erster Linie der Vermittlung von Emotionen. Besonders in der Story werden drei grundlegend verschiedene Musikstücke verwendet, um das aktuell Sichtbare akustisch zu untermauern (vgl. Abbildung 23).

So startet die Geschichte mit einer friedlichen, spielerischen Musik (unterstrichen durch Kinderlachen-Soundeffekte), die plötzlich durch die Erwähnung des Sturms mit Donner-Geräuschen in eine traurige, melancholische Stimmung umschwenkt. Erst bei der Erwähnung des Rettungstrupps kommt es wieder zu einer hoffnungsmachenden, motivierenden Musikstimmung, die schlussendlich wieder in die Eingangsmusik (Loop) wechselt.

Das Erstellen eines Loops mit der Remix-Funktion in Adobe Audition war notwendig, da die Szene am Ende der Story so lange weiterläuft, bis das Kind das Spiel aktiv startet.

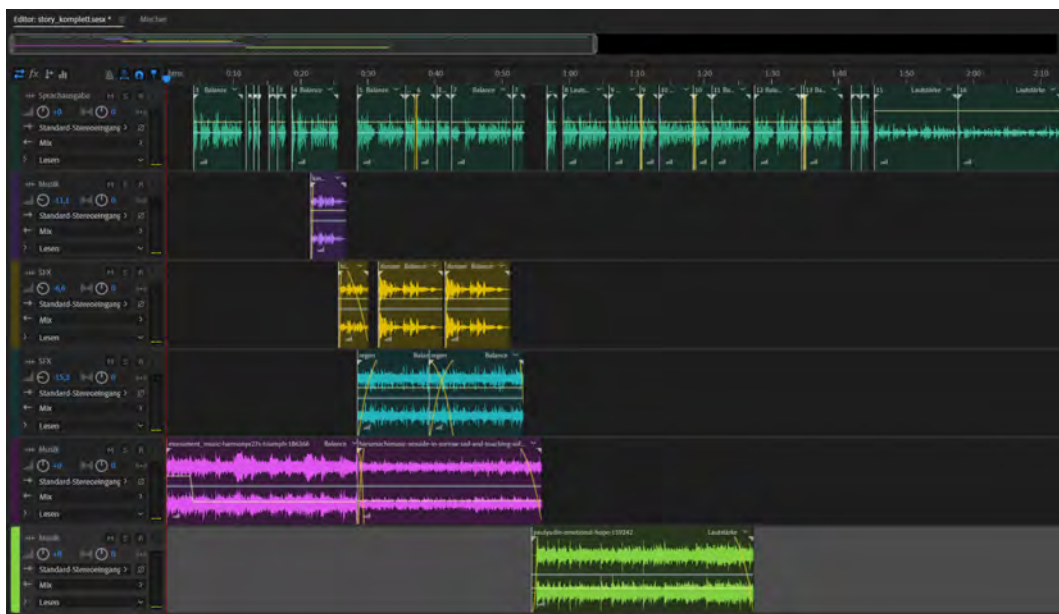


Abbildung 23: Abmischen aller Sounds für die Einleitungssequenz (Story)

4.5.2 Soundeffekte (SFX)

Soundeffekte (SFX) und dazu zählen in diesem Kontext auch Klänge, die dem Ambiente dienen, sind – wenn auch noch so subtil – grundsätzlich als Unterstreichung der Szenerie wichtig. Wie auch eine passende Hintergrundmusik können Umgebungsgeräusche (Ambient Sounds) Emotionen verstärken und auch lenken. Zudem fungieren Soundeffekte als direktes akustisches Feedback auf Nutzereingaben und verstärken damit die Interaktivität der Anwendung. Geräusche können auch ein Belohnungssystem ansprechen, indem sie das erfolgreiche Erledigen einer Aufgabe untermalen.

Bestes Beispiel hierfür ist das bekannte Geräusch, wenn eine Spielfigur Münzen im Spiel einsammelt. In dem vorliegenden Prototypen findet dies unter anderem beim Fotografieren der Tiere (Verschlussvorhang einer Kamera) sowie beim präzisen Positionieren der Kartensymbole (Konfettiknall und Fanfare) statt. Dies kann in dem Kind ein Glücksgefühl auslösen, da es mit den Geräuschen assoziiert, dass es etwas richtig gemacht hat.

4.5.3 Sprache

Die Sprache ist ein wichtiges Werkzeug, um Immersion und Emotion zu verstärken. Sämtliche Stimmen aller Figuren in dem vorliegenden Prototyp sind daher – analog zu den Zeichnungen – von künstlicher Intelligenz erstellt worden. Die Text-to-Speech-Technologie (TTS) synthetisiert und/oder generiert basierend auf entsprechenden Texteingaben eine Sprachausgabe.

Diese Technik ist nicht neu, sondern reicht bereits Jahrzehnte zurück, erzielt aber erst durch den Einsatz von Deep Learning mittels KI zunehmend realistische, menschlich wirkende Ergebnisse. Als Plattform für Stimmengenerierung wurde ElevenLabs gewählt, da dieser Anbieter im Gegensatz zu traditionellen, robotisch klingenden TTS-Tools vermehrt Deep Learning-KI-Modelle für natürliche Intonation, ausdrucksstarke Stile und emotionale Sprache nutzt (ElevenLabs, o. D.).

Einige KI-generierte Sprachdateien erforderten eine detaillierte Nachbearbeitung. Hierbei wurden Sprechpausen innerhalb der Sätze präzise gesetzt oder entfernt, um die Intonation und den Ausdruck noch weiter zu optimieren. Zusätzlich wurde an einigen Stellen die Geschwindigkeit angepasst, um einen harmonischen Redefluss zu erhalten. Dies wurde durch das Zerschneiden und Neuarrangieren von Sprachfragmenten erreicht (vgl. Abbildung 23).

In einer Tabelle im Anhang sind die Namen der fiktiven Personen von Eleven-Labs sowie deren Einsatz innerhalb des Prototyps (Rolle und Satz) aufgelistet.

4.6 Visuelle Effekte

Visuelle Effekte haben in diesem Prototyp keinen unmittelbaren didaktischen Nutzen. Sie tragen aber indirekt durch eine verbesserte Ästhetik dazu bei, die Emotionen sowie Immersion des Nutzers zu erhöhen. Nachfolgend sind zwei Techniken aufgeführt, die hierfür zum Einsatz kamen.

4.6.1 Shader

Da Shader direkt auf der GPU berechnet werden, ermöglichen sie komplexe Effekte bei minimaler CPU-Belastung, was für die Performance auf Tablets essenziell ist.

Der Bachlauf im Hauptmenü wurde mit einem Shader animiert. Hierbei verschiebt der Shader – kontinuierlich über die Zeit – zwei Noise-Texturen gegeneinander. In Kombination mit einer leichten Verzerrung entsteht so die Illusion einer fließenden Wasseroberfläche, ohne dass zusätzliche Rechenleistung für komplexe Flüssigkeitssimulationen aufgewendet werden muss.

Ein weiteres Einsatzgebiet sind die weißen Rahmen, die alle Fotos (Story, Tierrettung) im Spiel umschließen. Es handelt sich hierbei um einen simplen Fragment-Shader (auch Pixel-Shader genannt), der jedem Objekt auf den er angewendet wird, mit einem weißen Rahmen einstellbarer Breite versieht. Vorteil von der Methode ist, dass man Bilder nicht im Vorfeld mit einem Rahmen versehen muss. Nachteil ist, dass die Bilder durch den Shader „beschnitten“ werden, da der Rahmen innerhalb des Bildes verläuft (Fragment-Shader können nur bestehende Pixel manipulieren).

4.6.2 Partikelsysteme

Mit Partikelsystemen können verhältnismäßig kostengünstig recht komplexe und – wenn gewünscht – zufällige Effekte erzeugt werden, die mit herkömmlichen (3D-)Modellen und Animationen nur schwer umsetzbar wären. Kostengünstig bedeutet in diesem Zusammenhang das Einsparen von „knappen“

Ressourcen, zu denen bei einem Spiel – gerade für den Mobilbereich – unter anderem die Rechenleistung von Prozessor und/oder Grafikchip zählt.

In Spiel-Engines haben Partikelsysteme mehrere Einsatzgebiete:

- ↳ Komplexe (andauernde) physikalische Prozesse wie Feuer, Funken und Rauch sowie Naturphänomene wie Regen, Schnee oder Nebel.
- ↳ Visuelle Unterstützung in Form von Explosionen, Blutspritzern oder magischen Effekten.
- ↳ Stimmungsvolle Effekte, wie Staub im Lichteinfall, herumfliegende Blätter oder Gischt.

Partikelsysteme gibt es sowohl für die 2D- als auch für die 3D-Umgebung und sie bestehen grundsätzlich aus zwei Elementen: Einem Emitter (Ausgangspunkt) und dem eigentlichen Partikel. Anzahl, Form und Verhalten der einzelnen Partikel werden dann entweder in den Einstellungen der Programmoberfläche oder zur Laufzeit im Programmcode gesteuert.

Im vorliegenden Prototypen kamen an folgenden Stellen Partikelsysteme zum Einsatz:

- ↳ Im Hauptmenü des Spiels fließt ein Bach durch die Szenerie, der zusätzlich zum Shader noch mit einem Partikelsystem animiert wurde.
- ↳ Ebenfalls im Hauptmenü fliegen Vögel zufällig durch die Luft. Auch diese wurden mit einem Partikelsystem umgesetzt, wobei die eigentliche Fluganimation (Flügel Schlag) mit einem `AnimatedSprite2D` umgesetzt wurde.
- ↳ Im Spiel gerettete Tiere geben ihre Dankbarkeit durch aufsteigende Herzen visuell wieder.
- ↳ In der Vogelperspektive kann ein Ortungssystem genutzt werden, um Finn auf der Karte besser zu erkennen. Dieses sendet eine Art „Schockwelle“ aus, die durch ein Partikelsystem erstellt wurde.

4.7 Der Prototyp in der Umsetzung

Nachfolgend wird für ausgewählte, spezielle Elemente im Prototyp detailliert beschrieben, wie diese erstellt wurden bzw. wie deren Mechanik aufgebaut ist.

4.7.1 3D-Kacheln für Stadtszene

Die Logik hinter der Kachelung wurde bereits in Kapitel „4.2.1 Erstellung der 3D-Welt (Stadt-Level)“ erläutert. Nachfolgend ist die tatsächliche technische Umsetzung in Godot dargestellt.

Zuerst werden Arrays für kurvige und gerade Pfadverläufe angelegt. Die Tatsache, welche Landmarke auf welcher Art von Kachel zu finden ist, wurde im Vorfeld festgelegt und ist unveränderlich. In diesen Arrays werden die Namen der entsprechenden Landmarken als String gespeichert (vgl. Listing 3, Zeile 1–4). Diese Strings korrespondieren mit den Namen der `Node3D` im SceneTree, um diese später ansprechen zu können. Die Inhalte der Arrays werden bei jedem Programmstart zufällig angeordnet (vgl. Listing 3, Zeile 10–11), da die Landmarken im Verlauf sequenziell aus dem Array entnommen werden.

```

12 #Mögliche Kacheln mit Kurvenverlauf
13 var ecke := [„Schule“, „Krankenhaus“, „Bahnhof“, „Kirche“, „leer“]
14 #Mögliche Kacheln mit geradem Verlauf
15 var gerade := [„Polizei“, „Feuerwehr“, „Schwimmbad“, „Sportplatz“]
16 #Leeres Stadt-Array
17 var stadt_1 : Array = []
18 ...
19
20 #Zufallsreihenfolge innerhalb beider Kachelarrays herstellen
21 ecke.shuffle()
22 gerade.shuffle()
23 ...
24
25 #Array für eine komplette Stadt
26 stadt_1 = [
27     #Kachel 1
28     {
29         „mesh“ : find_child(gerade.pop_front()),
30         „rot_deg“ : 0,
31         „pos“ : Vector3(-kachelgroesse_meter,0,kachelgroesse_meter),
32         „pfad_nr“ : 1,
33         „reverse“ : false
34     },
35     #Kachel 2
36     ...

```

Listing 3: Auszug aus dem Quellcode zur Generierung einer zufälligen 3D-Stadt

Die drei möglichen Kachelungen werden in Godot ebenfalls jeweils in einem eigenen Array abgebildet, in dem wiederum jede Kachel durch ein Dictionary (so werden assoziative Arrays in Godot genannt) repräsentiert wird (vgl. Listing 3, Zeile 14-24). Die Dictionaries speichern wichtige Informationen (Name, Drehung, Position und Pfadverlauf, vgl. Listing 3, Zeile 18-22) zu jeder Kachel.

Dadurch, dass die Arrays mit den Landmarken vor dem Start explizit zufällig angeordnet wurden, ist es möglich, mittels der Funktion `pop_front()` das erste Element aus dem Array zu entnehmen und dem Schlüssel „mesh“ als Wertepaar zuzuordnen.

Da der Pfadverlauf für jede der drei möglichen Städte vorherbestimmt ist, ist auch eindeutig geregelt, ob die Kachel in irgendeiner Form gedreht werden muss, um in den gewünschten Verlauf zu passen. In diesem Beispiel wird die Kachel nicht gedreht (Rotation in Grad = 0). Die Position jeder Kachel bewegt sich in einem Bereich von `-kachelgroesse_meter` (Variable festgelegt auf 112,5) und `+kachelgroesse_meter`. Die mittlere Kachel liegt dabei im Nullpunkt (0,0,0), jede andere entsprechend im Abstand der Kachelgröße (112,5) um die Mitte herum.

Nach diesem Schema werden die drei Städte in separaten Arrays gespeichert und bei Programmstart, wird eines der drei zufällig ausgewählt die Stadt daraufhin „erstellt“.



Abbildung 24: Kachelerstellung mittels Gridmaps

Kacheldesign

Das Aussehen jeder Kachel (Gebäude, Straßen, Vegetation) ist mit **GridMaps** gelöst. Wie in Abbildung 24 zu erkennen ist, sind im **SzeneTree** die einzelnen oben beschriebenen **Node3D** aufgeführt, die die Meshes der Kachel beinhalten. Für jede Assetart (Vorort, Industrie, Gewerbe, Natur, Straßen, Boden, Fahrzeuge) gibt es eine eigenständige **GridMap**, da jedes Asset-Set eine individuelle Kachelgröße besitzt und dies auf einer einzigen **GridMap** nicht umsetzbar ist. Abbildung 24 zeigt am unteren Bildrand einen Auszug aller Assets der ausgewählten **GridMap** der Vorort-Gebäude (Suburban). Am rechten Rand des 3D-Fensters ist die Kachelung zu erkennen, in der die Assets platziert werden können. Sukzessive wurde so für jede der neun Kacheln ein einzigartiger Häuserblock geschaffen.

4.7.2 Spritesheet zum Performance-Gewinn

Spritesheets bilden eine essenzielle Technik zur Performance-Optimierung und gelten in der Spieleentwicklung als „Best Practice“. Ein Spritesheet ist eine Ansammlung zahlreicher Einzelsprites, die in einer einzigen Bilddatei zusammengefasst werden. Diese Zusammenführung erfolgt häufig thematisch, ist jedoch auch übergreifend möglich, sofern die Gesamtabmessungen der Datei die technischen Grenzen der Hardware nicht überschreiten. Für mobile Endgeräte liegt dieser Schwellenwert in der Regel bei einer Auflösung von 8.192 x 8.192 Pixeln.

Innerhalb der Godot Engine werden Spritesheets als sogenannte **AtlasTextures** eingebunden. Dabei wird explizit definiert, welcher Bildausschnitt des Gesamtdokuments für das jeweilige Objekt in der Szene verwendet werden soll. Der Vorteil dieser Methode liegt vor allem in der Reduktion von Grafikspeicher-Belastungen und der Optimierung von Render-Aufrufen (Draw Calls). Wie in der offiziellen Dokumentation beschrieben, trägt die Nutzung von Spritesheets maßgeblich dazu bei, den Video-Arbeitsspeicher effizient zu verwalten und die Rechenlast beim Zeichnen der Objekte auf dem Bildschirm zu minimieren (Godot Docs, 2026).

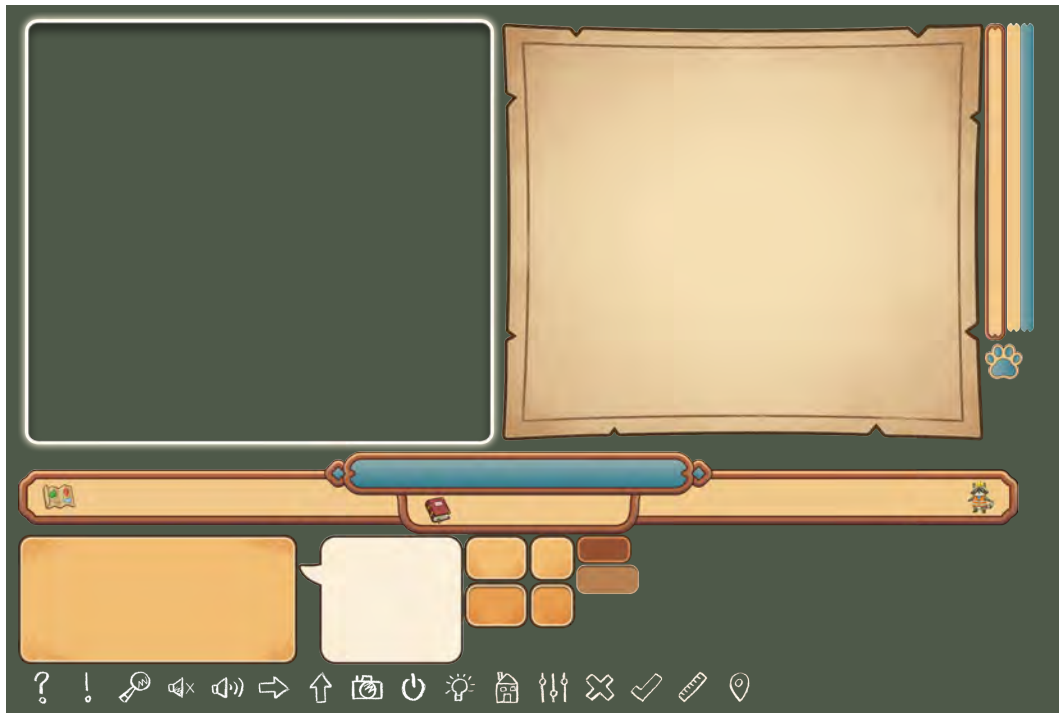


Abbildung 25: Sprite-Sheet der Lernanwendung (Hintergrund aus Kontrastgründen hinzugefügt)

Wie in Abbildung 25 zu sehen, wird in dem vorliegenden Prototyp ein Spritesheet verwendet, dass neben den Bilddaten für die gesamte Benutzeroberfläche des Stadt-Levels (Info-Balken, Viewports, Slider) vor allem auch Bestandteile von interaktiven Elementen beinhaltet (Button, Textkästen, o. ä.).

4.8 Exemplarischer Nutzungsablauf des Prototyps

Um die Verzahnung der beschriebenen Einzelmechaniken zu verdeutlichen, wird im Folgenden ein typischer Durchlauf der Anwendung skizziert.



Abbildung 26: Icon in der Taskbar eines Android-Tablets

Start und Menüführung

Wie jede App wird auch diese über den Aufruf seines Icons gestartet (vgl. Abbildung 26). Nach dem Startbildschirm gelangt der Nutzer durch eine Touch-Interaktion in das Hauptmenü. Hier stehen Optionen für die Lautstärkeregelung sowie zur Justierung der Treffergenauigkeit bei der Symbolplatzierung zur Verfügung (im Prototyp als Platzhalter angelegt). Der Nutzer kann wählen, ob er die narrative Einleitung (Story) betrachten oder direkt das Spiel starten möchte, wobei die Story bei wiederholter Nutzung übersprungen werden kann (vgl. Abbildung 27).

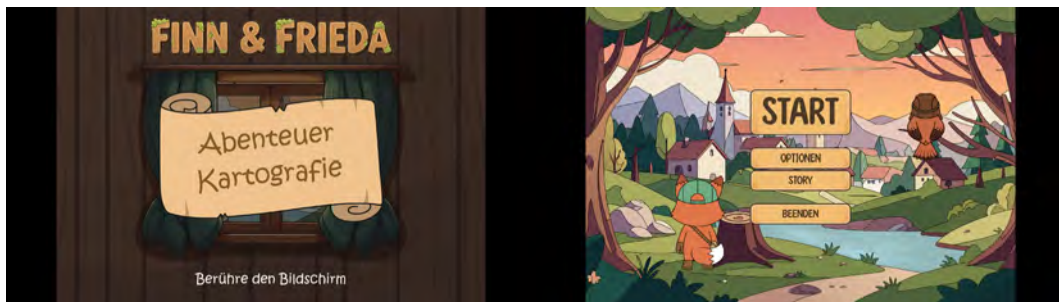


Abbildung 27: Startbildschirm (li.) und Startmenü (re.) des Prototyps

Einführung in die Spielwelt

Mit Beginn des Stadt-Levels übernimmt der Charakter Finn beginnt Finn mit einem Kurz-Tutorial. Er erläutert die Bildelemente, wie die Statusleiste (Fortschrittsanzeige und Zugriff auf das Fotoalbum), die 3D-Spielwelt sowie die interaktive 2D-Karte (vgl. Abbildung 28).



Abbildung 28: Erklärung der Oberfläche durch den narrativen Charakter Finn

Die Rettungsmission

Nähert sich Finn in der 3D-Welt einem Tier, wird über eine **Area3D** ein Signal ausgelöst, das einen tierspezifischen Hilferuf abspielt. Um die Aufmerksamkeit auf die Rettungsaufgabe zu fokussieren, werden die Navigationsschaltflächen temporär ausgeblendet. Finn wendet sich der Kamera zu und fordert den Nutzer über eine Zufallsauswahl von Sprachnachrichten auf, die „Lupen-Funktion“ zur Lokalisierung des Tieres zu aktivieren.

Interaktive Suche und Dokumentation

Im Lupen-Modus wird ein Overlay eingeblendet, so dass es wirkt, als würde die Szene durch einen Kamera-Sucher betrachtet (vgl. Abbildung 29). Sobald das Tier über einen **RayCast3D** erfolgreich fokussiert wurde, erscheint ein Kamera-Symbol. Das Auslösen des Fotos wird durch eine visuelle Schwarzblende sowie eine „Foto aufgenommen“-Animation untermalt. Das Bild wird anschließend per Tween-Animation in das Fotoalbum übertragen und dient dort als dauerhaftes Sammelobjekt (vgl. Abbildung 30).



Abbildung 29: Foto-Modus, bei der Suche nach verschollenen Tieren

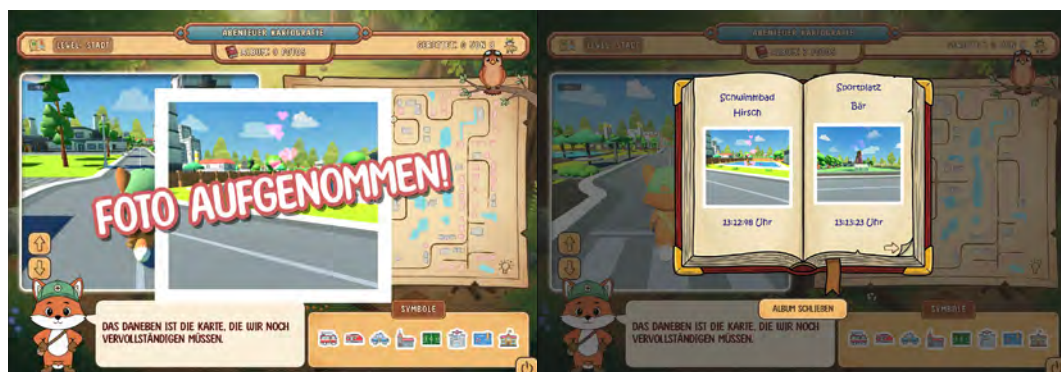


Abbildung 30: Feedback für aufgenommene Fotos (li.) und Fotoalbum (re.)

Transferleistung und Kartierung

Nach der Dokumentation erfolgt die Aufforderung, das entsprechende Symbol auf der Karte zu platzieren. Hierbei wird gezielt auf den Perspektiv-Slider verwiesen. Zur Steigerung der Immersion werden die Stadtgeräusche bei zunehmendem Neigungswinkel der Kamera (ab 70°) gedämpft und durch Wind-

geräusche ersetzt, um die Höhe der Vogelperspektive akustisch zu simulieren. Ab einem Winkel von 40° steht zudem ein Ortungssystem zur Verfügung, das eine visuelle Schockwelle an Finns Position aussendet, um dessen Auffindbarkeit in der Draufsicht zu gewährleisten.

Feedback und Abschluss

Die Platzierung der Kartensymbole erfolgt über die „Hold-to-Drag“-Mechanik. Bei Fehlversuchen oder dem Platzieren außerhalb des Kartenbereichs greift das Charakter-Feedback: Frieda erscheint in einer 2D-Animation und transportiert das Symbol zum Ausgangspunkt zurück (vgl. Abbildung 31). Diese bewusst zeitintensive Animation dient der spielerischen Disziplinierung und verhindert wahlloses Ausprobieren. Der Prozess wiederholt sich für alle acht Landmarken. Ein erfolgreicher Abschluss der Mission wird durch die Aussicht auf ein personalisiertes Zertifikat als „Kartograf(in)“ zum Ausdrucken belohnt (im Prototyp konzeptionell vorgesehen, aber nicht umgesetzt).



Abbildung 31: Unterstützungsfigur Frieda bringt falsch positionierte Symbole zurück



DISKUSSION UND AUSBLICK

5 Kapitel Diskussion und Ausblick

In diesem Kapitel wird der entwickelte Prototyp einer kritischen Prüfung unterzogen. Da eine empirische Untersuchung mit der Zielgruppe (Grundschul-kinder) im Rahmen dieser Arbeit nicht realisiert werden konnte, erfolgt die Bewertung anhand eines theoretisch fundierten Kriterienkatalogs sowie einer technischen Fehleranalyse.

5.1 Kriterienkatalog zur Bewertung des Prototyps

Um die Qualität der Anwendung ohne externe Probanden zu beurteilen, wird der Prototyp gegen die in Kapitel 2 und 3 definierten Anforderungen anhand eines Kriterienkatalogs geprüft (vgl. nachfolgende Tabelle 2).

Tabelle 2: Kriterienkatalog zur Bewertung des Prototyps

Kriterium	Anforderung	Umsetzung	Bewertung
Kognitive Brücke	Überwindung der „Barriere“ von 3D zu 2D	Stufenloser Perspektiv-Slider	Der Slider erlaubt einen kontinuierlichen und flüssigen Übergang zwischen den Ansichten. Das Kind kann in Echtzeit beobachten, wie aus der Hausfassade langsam ein Grundriss wird. Die räumliche Orientierung bleibt erhalten – das Kind versteht, welches 3D-Objekt zu welcher 2D-Fläche gehört.
Aktivierung	Interesse wecken und emotionale Bindung schaffen	Verbindung narrativer Elemente (Story und Charaktere)	Durch Einbindung in Prozesse und direkte Ansprache durch „vertraute“ Charaktere wird eine emotionale Bindung geschaffen, was den Lernprozess begünstigt.
Aufmerksamkeitssteuerung	Fokus auf Lerninhalt trotz technischer Bedienung	Akustisches Feedback & Sprachausgabe	Da das Gehör keine „Verschlussmechanismen“ besitzt, entlastet die auditive Ebene die visuelle Kapazität bei der Kartenarbeit.
Fehlertoleranz	Minimierung von Frustration	Hold-to-Drag und Fritas Rückführ-Animation	Unbeabsichtigte Eingaben werden durch die Zeitverzögerung unterbunden; Fehlplatzierungen werden spielerisch korrigiert.
Technische Stabilität	Flüssiges Gameplay durch Verminderung der CPU-Last	Einsatz von Spritesheets, Shader, Partikelsystemen	Durch die konsequente Nutzung von effizienten Techniken konnte eine stabile Framerate auch auf mobilen Geräten sichergestellt werden.

5.2 Beantwortung der Forschungsfragen

Auf Basis der technischen Umsetzung aus Kapitel 4 und der theoretischen Evaluation aus dem vorherigen Kapitel werden die eingangs gestellten Forschungsfragen wie folgt beantwortet:

5.2.1 Gestaltung der Verbindung von Lerninhalt und Spielmechanik

Frage: Welche (spielerischen) Elemente und narrativen Strukturen sind notwendig, um eine nahtlose Verbindung zwischen Lerninhalt und Spielmechanik zu schaffen?

Spielerische Elemente wie das „Fotografieren“ der Tiere erfüllt gleich mehrere Aspekte. Zum einen dient es als Motivation (Jäger und Sammler-Verhalten) und als emotionales Erlebnis beim Abschließen einer Aufgabe („Tier gefunden“) und zum anderen dient es zusätzlich unterbewusst als kognitive Stütze für den eigentlichen Lerninhalt, indem es dem Kind den Ort, der anschließend kartiert werden soll, noch einmal aktiv vor Augen führt.

Ein „freies“ Erkunden der Stadt – aus einer Perspektive des „Mittendrin“ – erfüllt die Forderung nach Selbstbestimmung und Exploration sowie Probleme eigenständig zu lösen. Dies fördert die kognitive Aktivierung und das Gefühl der Selbstwirksamkeit.

5.2.2 Potenzial der visuellen Manipulation zur Unterstützung der Transformationsleistung

Frage: *Inwiefern bietet die visuelle Manipulation der Perspektive innerhalb des Prototyps das Potenzial, die von der Fachdidaktik geforderten Transformationsleistungen beim Kartenlesen zu unterstützen?*

Die visuelle Manipulation durch den stufenlosen Slider im 3D-Viewport ermöglicht es dem Kind, den Prozess der Abstraktion in Echtzeit mitzuverfolgen und auch selbst einzuleiten. Anders als das Vergleichen von statischen Bilder auf Buchseiten oder dem Betrachten eines Videos, ohne eigenen Einfluss, fördert die selbstbestimmte Ausführung die Transformationsleistung. Zudem ist durch den Splitscreen ein simultanes Abgleichen beider Karten möglich.

5.2.3 Bedeutung narrativer Identifikationsfiguren

Frage: *Welche Rolle spielt die Einbettung von narrativen Identifikationsfiguren für die langfristige Beschäftigung mit einer komplexen Thematik?*

Finn und Frieda dienen als persönliche Begleiter, die den Lernprozess „menschlicher“ machen. Durch die natürlich wirkende Sprachausgabe (ElevenLabs) wirken sie nicht wie ein Computerprogramm, sondern wie nahbare Partner. Dies ist ein wichtiger Punkt, um die Hemmschwelle vor der kognitiven Hürde zu senken.

Narrative Strukturen, wie die Rettungsmission mit Finn und Frieda, geben der Lernaufgabe eine intrinsische Motivation, die über das rein akademische

Lösen einer Aufgabe hinausgeht. Die Karte wird nicht bearbeitet, weil eine Lehrkraft das verlangt, sondern aus eigenem Antrieb heraus, um Finn (und den Tieren) zu helfen.

Die Figuren geben zudem Sicherheit: Wenn Frieda ein falsch platziertes Symbol zurückträgt, ist das kein „Fehler“, sondern vielmehr eine spielerische Hilfestellung. Das sorgt dafür, dass Kinder länger am Ball bleiben, weil sie sich im Spiel gut aufgehoben fühlen und ein klares Ziel vor Augen haben.

5.2.4 Zentrale Forschungsfrage

Frage: *Wie kann ein digitales Lernspiel gestaltet werden, um Grundschülern den kognitiven Abstraktionsschritt von der dreidimensionalen Realität zur zweidimensionalen Karte zu erleichtern?*

In einer Lernanwendung sollte der Abstraktionsschritt als ein aktiver und kontrollierbarer Prozess stattfinden. Die Kombination aus einer manipulierbaren Kamera (Slider), einem permanenten (visuellen) Referenzsystem durch einen Split-Screen sowie einem multisensorischen Feedback (Text/Sound/Vibration) kann hierfür die Grundlage bilden. Desweiteren kann ein auf die Zielgruppe zugeschnittenes Design die kognitive Hürde senken, indem intuitive, vertraute Elemente anstatt von abstrakten Konzepten genutzt werden. Die Gestaltung muss dabei aber weiterhin sicherstellen, dass die technische Bedienung intuitiv bleibt (UX/UI-Design), damit die kognitiven Ressourcen vollständig für den Transfer von der 3D-Realität zur 2D-Abstraktion zur Verfügung stehen und nicht an der „falschen“ Stelle vereinnahmt werden.

5.3 Analyse der Ergebnisse

Das Ergebnis der Zusammenführung von didaktischem Konzept und technischer Entwicklung zeigt, dass der vorliegende Prototyp die Anforderungen an eine moderne Lernanwendung erfüllen kann.

Es wurde nachgewiesen, dass komplexe grafische Operationen wie der Perspektivwechsel und Shader-Animationen auf mobilen Endgeräten performant umsetzbar sind.

Ein weiteres Ergebnis ist die Erkenntnis, dass ohne den Einsatz von künstlicher Intelligenz die Erstellung eines so großen Asset-Portfolios (Audio- und Bildressourcen) für eine Einzelperson in der vorgegebenen Zeit schwer realisierbar sind. Jedoch ist auch festzuhalten, dass künstliche Intelligenz hierbei bei weitem kein fertiges Endprodukt liefert, sondern lediglich als Werkzeug dient und es mitunter einer intensiven, manuellen Nachbearbeitung bedarf. Letztendlich belegt der vorliegende Prototyp, dass die Verbindung zwischen einer 3D-Orientierung und einer 2D-Karte durch einen interaktiven Slider besser gelingen kann als durch analoge, statische Lernmittel.

5.4 Grenzen der Anwendung und technisches Optimierungspotenzial

Die Grenzen sowie Optimierungspotenziale der vorliegenden Lernanwendung liegen primär in der technischen Komplexität der 3D-Modellierung sowie in den natürlichen Einschränkungen einer automatisierten pädagogischen Betreuung.

Einschränkung pädagogischer Betreuung

Trotz des umfangreichen Feedback-Systems, welches durch die Charaktere Finn und Frieda realisiert wurde, kann die Anwendung nicht auf alle individuellen Bedürfnisse der Kinder fachgerecht eingehen. Bei spezifischen Verständnisfragen, technischen Problemen oder emotionalen Reaktionen wie Frustration bleibt die Anwesenheit von Lehrkräften unerlässlich. Da die Lernanwendung als unterrichtsbegleitendes Medium konzipiert ist, wird diese Betreuung im Regelfall durch das pädagogische Fachpersonal sichergestellt.

Dilemma in der 3D-Erstellung

Ein deutliches Optimierungspotenzial zeigt sich dem Dilemma zwischen einem optisch rudimentären, aber funktionalen 3D-Charakter und einem ästhetischen 3D-Modell mit massiven technischen Hürden beim 3D-Rigging. Die Nutzung von Automatisierungswerkzeugen wie Mixamo stieß bei der Mesh-Struktur des Hauptcharakters Finn an Grenzen, weshalb die Animationen im aktuellen Prototyp teilweise unnatürlich wirken. Eine manuelle Überarbeitung des Skelett-Aufbaus in Blender wäre für eine finale Version notwendig.

Optimierung des Dialog-Systems

Die aktuelle Steuerung der Dialoge und Viseme erfolgt über eine Kombination

aus `AnimatedSprites2D` und dem `AnimationPlayer` in Godot. Diese Methode erwies sich in der Entwicklung als unflexibel und wartungsintensiv. Ein zukünftiges, dediziertes Dialog-System könnte die Synchronisation zwischen Audio-Files und visuellen Animationen automatisieren und somit die Erstellung neuer Spielinhalte erheblich beschleunigen.

Inhaltliche Tiefe und Szenarien

Der Prototyp beschränkt sich derzeit auf ein einzelnes Stadt-Szenario. Um die Anwendung langfristig im Unterricht einsetzen zu können, ist eine Erweiterung um verschiedene Schwierigkeitsgrade und zusätzliche kartenlogische Aufgaben erforderlich. Entsprechende Konzepte für eine inhaltliche Ausweitung sind bereits in Planung (siehe Kapitel 5.6).

5.5 Methoden zur Evaluierung des Lernerfolgs

Da eine empirische Untersuchung im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich war, werden nachfolgend zwei Konzepte vorgestellt, mit denen die Wirksamkeit des Prototyps in zukünftigen Entwicklungszyklen überprüft werden kann.

5.5.1 In-Game-Analytics (Logging)

Eine effiziente Möglichkeit der Evaluierung besteht in der Implementierung eines Logging-Systems direkt in der Godot Engine. Durch das Aufzeichnen vordefinierter Daten ließen sich präzise Rückschlüsse auf die Bedienbarkeit ziehen:

Fehleranalyse

Eine Messung der Genauigkeit bei den Symbolzuordnungen sowie die Erfassung von Abbruchraten beim Kartieren könnten aufzeigen, an welchen Stellen vermehrt Schwierigkeiten auftreten.

Interaktionsverlauf

Die Aufzeichnung der Touch-Gesten gibt Aufschluss über das Steuerungsverhalten der Kinder. Eine Kopplung mit Eye-Tracking-Systemen wäre für die Analyse der Blickführung zwar aufschlussreich, ist jedoch technisch aufwendig und unter Datenschutzaspekten kritisch zu bewerten.

5.5.2 Vergleich mit Kontrollgruppen

Um den tatsächlichen Lernerfolg zu validieren, bietet sich ein klassisches Studiendesign mit zwei Vergleichsgruppen an:

Gruppe A (analog)

Diese Gruppe bearbeitet die Lerneinheit mit herkömmlichen Lehrmaterialien.

Gruppe B (digital)

Diese Gruppe nutzt die entwickelte Lernanwendung.

Durch standardisierte Tests vor und nach der Lerneinheit lässt sich der Lernzuwachs beider Gruppen direkt vergleichen. Sollte Gruppe B eine signifikant höhere Steigerung der Ergebnisse erzielen, kann von einer erhöhten Effektivität der digitalen Anwendung gegenüber analogen Methoden ausgegangen werden.

5.6 Mögliche (Weiter)Entwicklungen der Lernanwendung

Ursprünglich war die Integration weiterer Szenarien (zusätzlich zum Hauptszenario Stadt) geplant, die jedoch aufgrund des engen Zeitrahmens nicht mehr in den aktuellen Prototypen übernommen werden konnte. Diese Level sollten zum einen dazu dienen, die grundlegende Mechanik der Symbolplatzierung in einer visuell reduzierten Umgebung zu erlernen, bevor der komplexere Perspektivwechsel mittels Slider eingeführt wird und zum anderen weitere kartografische Prinzipien (Himmelsrichtungen, Maßstab) zu erläutern. Nachfolgend sind diese Szenarien nun als mögliche Erweiterungen geführt. Abschließend werden noch weitere technische Erweiterungen aufgeführt, die der gesamten Lernanwendung in den Bereichen Immersion und (emotionaler) Bindung Mehrwert bieten.

5.6.1 Eingangs-Szenario: Wald-Level

Szenario: Finn muss nach dem Sturm erst einmal den Wald neu kartieren, damit der Rettungstrupp überhaupt bis zur Stadt vordringen kann. Immer wieder versperren umgefallene Bäume oder über die Ufer getretene Flüsse den bekannten Weg.

Didaktischer Ansatz: Durch das schrittweise Vorgehen – erst das Zuordnen von Symbolen im vertrauten 3D-Raum, dann die Einführung der Abstraktion zur 2D-Karte – lässt sich die kognitive Belastung zu Beginn der Anwendung minimieren (Scaffolding). Die Kinder könnten so spielerisch die Interaktionslogik verinnerlichen, was den späteren Lernzuwachs im Stadt-Szenario voraussichtlich stärken würde.

Umsetzung: Die Bildschirmaufteilung ist bereits in dem Eingangs-Szenario wie in dem vorliegenden Prototypen, aber anders als in dem bereits beschriebenen Stadt-Level, gibt es hier noch keine frei erkundbare 3D-Welt. Im Viewport I werden lediglich starre 3D-Szenen gezeigt, die die aktuelle Situation visuell beschreiben. Das Kind muss daraufhin, das richtige Kartensymbol auf dem Fundus auf der Karte platzieren, ehe es zur nächsten „Gefahrenstelle“ geht (vgl. Abbildung 32).

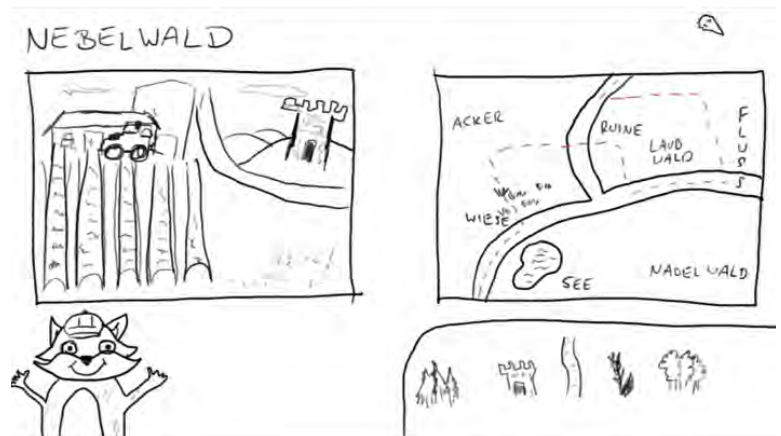


Abbildung 32: Frühes Stadium der Konzeption (Wald-Level)

5.6.2 Vertiefungs-Szenario: Himmelsrichtungen

Szenario: Finn steht auf einem Hügel, wo der Sturm den hölzernen Wegweiser verdreht hat. Er gerät mit Frieda in einen harmlosen „Streit“, da ihre Richtungsangaben „links“ und „rechts“ je nach Standort widersprüchlich sind und sie den Weg nicht finden.

Didaktischer Ansatz: Vermittlung der absoluten Orientierung (Nord, Ost, Süd, West) als notwendige Lösung für die Unzuverlässigkeit subjektiver Rich-

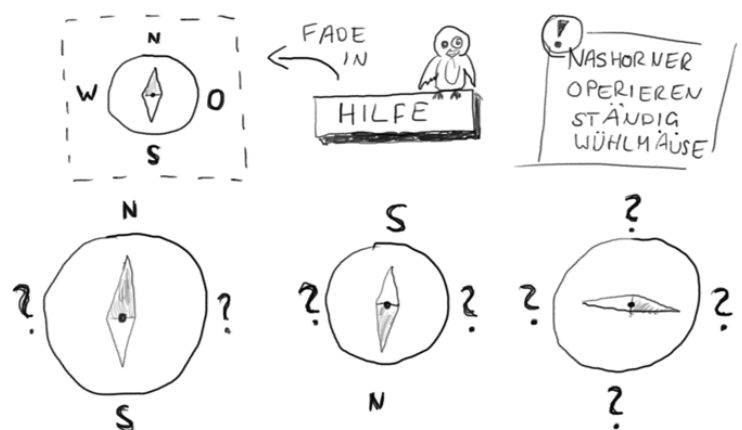


Abbildung 33: Frühes Stadium der Konzeption (Himmelsrichtungen)

tungsangaben. Die Kinder verstehen, dass Himmelsrichtungen konstante Bezugspunkte sind, unabhängig vom eigenen Blickwinkel.

Umsetzung: Mittels Perspektiv-Slider erkennen die Kinder zunächst die Abhängigkeit des Blickwinkels. Anschließend versuchen sie eine Karte entsprechend einem Vorbild einzunorden. („Drehe die Karte so, dass der Wald auf der Karte dort ist, wo du den echten Wald siehst.“) Anschließend rekonstruieren die Kinder spielerisch einen personalisierten „Fuchs-Merksatz“ (ähnlich zu: „Nicht ohne Seife waschen“, „Nicht ohne Socken wandern“, „Neun Ochsen saufen Wasser“, vgl. Abbildung 33) und abschließend werden Fragen zu den Himmelsrichtungen auf der zuvor selbst erstellen Karte gestellt („Der Wald liegt westlich von der Stadt“). Finn behauptet etwas anderes als Frieda. Einer der beiden hat recht. Die Kinder müssen entscheiden.

5.6.3 Vertiefungs-Szenario: Maßstab

Szenario: Der Bach ist über die Ufer getreten und hat die Brücke fortgespült. Finn muss einen umgestürzten Baumstamm finden, der lang genug ist, um das andere Ufer zu erreichen. Er hat jedoch Angst, einen zu kurzen Stamm zu wählen und ins Wasser zu fallen.

Didaktischer Ansatz: Einführung des Maßstabs als Verkleinerungsfaktor anhand der Rastermethode. Die Kinder lernen, Größenverhältnisse einzuschätzen und reale Längen in die verkleinerte Darstellung der Karte zu übertragen.

Umsetzung: In der 3D-Ansicht schreitet Finn die Lücke am Ufer ab (z. B. „sechs Fuchsschritte“). Auf der 2D-Karte liegt ein Raster, wobei definiert wird, dass ein Kästchen zwei Schritten entspricht. Die Kinder müssen dies umrechnen (Transferleistung) und den passenden Baumstamm aus dem Inventar wählen, der auf dem Raster die korrekte Länge aufweist. Ein frühes Gedankenspiel ist unter Abbildung 34 zu finden.

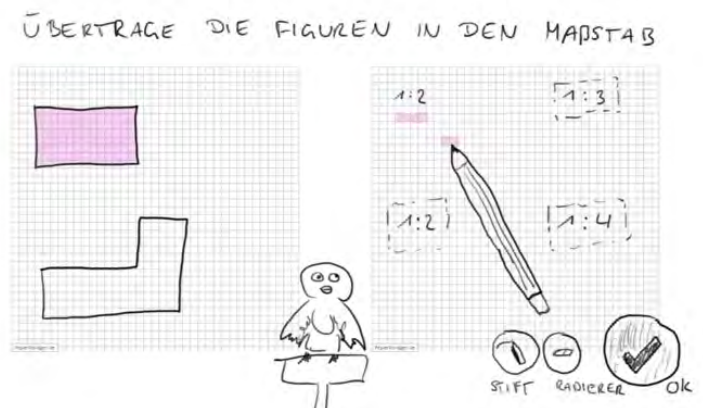


Abbildung 34: Frühes Stadium der Konzeption (Maßstab)

5.6.4 Echte 3D-Daten

Anstatt einer fiktiven Spielwelt könnte die Anwendung zukünftig durch echte Städte-Daten erweitert werden. Dies würde es Kindern ermöglichen, ihre eigene vertraute Umgebung digital zu erkunden. Der Wiedererkennungswert lokaler Orientierungspunkte würde den persönlichen Bezug zum Thema Kartografie massiv steigern und den Transfer des gelernten Wissens in den realen Alltag erleichtern. Umfangreiche Daten für bayerische Ortschaften – wie z. B. Höhen- und Geländemodelle – wären frei über das Open Data-Portal des Landesamts für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (LDBV) zu beziehen. Wie diese Daten in Game Engines portiert werden können, war bereits Bestandteil anderer Bachelorarbeiten, die auf den Internet-Seiten des LDBV nachgeschlagen werden können.

5.6.5 Erweiterung der Sprachausgabe

Um die Interaktion mit den Charakteren noch persönlicher zu gestalten, ist eine dynamische Erweiterung der Sprachausgabe denkbar. Der genutzte Anbieter (ElevenLabs) bietet eine Programmierschnittstelle (API) an, über die per HTTP-Request Sprachinhalte in Echtzeit generiert werden können. Wird zu Beginn der Anwendung beispielsweise der Name des Kindes abgefragt, könnten Finn und Frieda den Nutzer im weiteren Verlauf direkt beim Namen ansprechen. Diese Personalisierung steigert die Immersion und sorgt dafür, dass sich die Lernenden noch stärker als aktiver Teil der Geschichte wahrgenommen fühlen.

5.7 Reflexion

Ich möchte nicht ausschließen, dass ich dieses Projekt mit einer gewissen Priese Hybris und Naivität angegangen bin. Voller Tatendrang und mit einem Füllhorn an „unglaublich guten“ Ideen bin ich in die Arbeit gestartet, völlig außer Acht lassend, dass ich damit einen Kredit aufnahm, der sich nur sehr schwer zurückzahlen ließ. So war es gegen Ende leider traurige Gewissheit, dass einige der vorgenommenen Aspekte zeitlich nicht mehr umsetzbar waren.

Rückblickend glich die Entwicklung dieses Prototyps einer Achterbahnfahrt der Gefühle: zwischen anfänglicher Euphorie und kindlicher Begeisterung über neue KI-Möglichkeiten, über ermüdend repetitive Arbeit – wie das 2D-Rigging – bis hin zur puren Verzweiflung beim 3D-Modellieren und -Rigging. Wie kann es sein, dass ein 3D-Modell, das auf dem (virtuellen) Papier fantastisch aussieht, plötzlich nach einem automatisierten Prozess in Mixamo bloß noch wie ein Klumpen Knete anmutet? Dies war definitiv eine der frustrierendsten Erfahrungen im gesamten Projekt.

Auch wenn Finn der Fuchs im aktuellen Prototyp vielleicht noch etwas „unbeholfen“ durch seine 3D-Welt läuft – eigentlich sollte Finn ein kindlicher Charakter sein, wirkt beim Laufen optisch aber eher der Geriatrie entflohen –, so ist es dennoch ein Teilerfolg, dass er sich überhaupt bewegt.

Die Arbeit mit Godot hingegen war ein echter Lichtblick. Selbstverständlich galt es auch hier, die eine oder andere Hürde zu nehmen, aber die Arbeit hat insgesamt viel Freude bereitet, da man der Lernanwendung beim Wachsen zusehen konnte. Auch die Einbindung der KI-erzeugten Sprache war ein Meilenstein. In dem Moment, als Finn und Frieda zum ersten Mal mit natürlichen Stimmen sprachen, wurde das Projekt schlagartig lebendig.

Abschließend kann ich nur betonen, dass ich trotz der eingangs mürrischen Worte (die mit einem Augenzwinkern zu lesen sind) viel Spaß an der gesamten Arbeit hatte. Ich habe viele neue Dinge gelernt, erstaunlich tiefe Einblicke in die Didaktik erhalten und weiter an meiner Problemlösungskompetenz gearbeitet. Auch wenn die Zeit hinten raus wieder einmal viel zu knapp bemessen war, kann ich zufrieden und mit ein ganz klein bisschen Stolz auf den Stand des Prototyps blicken.

Eigenständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt habe und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Alle übernommenen Inhalte sowie mit Unterstützung von KI generierten Inhalte wurden entsprechend den anerkannten wissenschaftlichen Grundsätzen und entsprechend den Regelungen zur Kennzeichnung von KI-Inhalten kenntlich gemacht. Ausgenommen von der Kenntlichmachung sind orthografische, grammatikalische Korrekturen, Übersetzungen sowie nicht-sinnverändernde Verbesserungen von Formulierungen.

Ich erkläre, dass ich KI-Werkzeuge als Hilfsmittel genutzt habe, die von KI generierten Inhalte und Hinweise kritisch überprüft habe und mein eigenständiger kognitiver und kreativer Einfluss in dieser Arbeit überwiegt. Ich versichere, dass ich die Inhalte meiner Arbeit vollständig verstanden habe und selbstständig vertreten kann.

Ich habe die verwendete Literatur vollständig aufgeführt sowie Zitate kenntlich gemacht. Ich versichere ferner, dass die Arbeit noch nicht zu anderen Prüfungen vorgelegt wurde.

München, 24. April 2026

Ort, Datum Unterschrift

Anhang

Tabelle 3: Auflistung aller Charaktere und ihren Auftritten (Stimme und Beschreibung: ElevenLabs, o. D.)

Charakter	Stimme (11Labs)	Beschreibung	Satz	Ort
Finn	Chris Beck	Edutainment	Diverse	Diverse
Frieda	Ela	Urban and Playful	Diverse	Diverse
Bär	Krümel King	Cookie-loving Fun Monster	<i>Hallo, hier drüben! Ich komme hier nicht mehr weg.</i>	Sportplatz
Dachs	Flipsi	Versatile Cartoon Voice	<i>Hallo Finn, hier oben!</i>	Feuerwehr
Eule	Samantha	Sad and Mourning	<i>Ach du meine Güte. Irgendwie habe ich mich in diesem Gerüst verheddert.</i>	Schule
Hase	Lumi	Playful Cartoon Character Voice	<i>Oh, nein! Wie komme ich hier wieder runter?</i>	Polizei
Hirsch	Jantosch	Inspiring Live Voice	<i>Hilfe! Hier drüben! Ich kann nicht so gut schwimmen.</i>	Schwimmbad
Krähe	Great-Grandpa Georg	Old as the Hills	<i>Finn, ich habe mir den Flügel verknackst. Kannst du mir helfen?</i>	Kirche
Reh	Anna Broadcast	Excited & Journalistic	<i>Hilf mir bitte. Ich weiß nicht, wie ich hier wegkomme.</i>	Bahnhof (Zug)
Wolf	The Fox	Strict and Dominating	<i>Was für ein Schlamassel! Finn, hilf mir bitte.</i>	Krankenhaus

Tabelle 4: Auflistung aller im Prototyp verwendeten Assets

Typ	Eigene Bez.	Quelle
Audio	Vogelgezwitscher	Bird Noise - 4.wav by SpaceJoe -- https://freesound.org/s/507262/ -- License: Creative Commons 0
Audio	Bach	River-Creek_FurtherAway_Forest.wav by RepDac3 -- https://freesound.org/s/592647/ -- License: Attribution 4.0
Audio	Ambient Menu	Fall in Love by Alex-Productions https://soundcloud.com/alexproductionsmusic , Creative Commons — Attribution 3.0 Unported — CC BY 3.0
Audio	Vogelgezwitscher	singing_bird_forest_210410_0060.wav by titi2 -- https://freesound.org/s/567530/ -- License: Creative Commons 0
Audio	Krähe	Crows mourn a dying tree by cosmosands -- https://freesound.org/s/723024/ -- License: Attribution NonCommercial 4.0
Audio	Schritte im Gras	Adobe Firefly
Audio	Fenster quietscht	Sound Effect by freesound_community: https://pixabay.com/sound-effects/?utm_source=link-attribution&utm_medium=referral&utm_campaign=music&utm_content=108322
Audio	Kinderlachen (Story)	Sound Effect by Dilip: https://pixabay.com/sound-effects/?utm_source=link-attribution&utm_medium=referral&utm_campaign=music&utm_content=378111
Audio	Donner	Sound Effect by Ahmed Limon: https://pixabay.com/?utm_source=link-attribution&utm_medium=referral&utm_campaign=music&utm_content=444739
Audio	Regen	Sound Effect by LIECIO: https://pixabay.com/sound-effects/?utm_source=link-attribution&utm_medium=referral&utm_campaign=music&utm_content=257596
Audio	Bett Traurig (Story)	Music by Noru: https://pixabay.com/music/?utm_source=link-attribution&utm_medium=referral&utm_campaign=music&utm_content=112330
Audio	Bett Glücklich (Story)	Music by Oleksii Holubiev: https://pixabay.com/music/?utm_source=link-attribution&utm_medium=referral&utm_campaign=music&utm_content=186366
Audio	Fotoauslöser (Story)	Sound Effect by freesound_community: https://pixabay.com/sound-effects/?utm_source=link-attribution&utm_medium=referral&utm_campaign=music&utm_content=6090
Audio	Whoosh (Story)	Sound Effect by freesound_community: https://pixabay.com/?utm_source=link-attribution&utm_medium=referral&utm_campaign=music&utm_content=7174
Audio	Bett Hoffnung (Story)	Music by Pavel Bekirov: https://pixabay.com/music/?utm_source=link-attribution&utm_medium=referral&utm_campaign=music&utm_content=159242
Audio	Button (Bestätigung)	Sound Effect by freesound_community: https://pixabay.com/?utm_source=link-attribution&utm_medium=referral&utm_campaign=music&utm_content=38129
Audio	Button (Click)	Sound Effect by DRAGON-STUDIO: https://pixabay.com/?utm_source=link-attribution&utm_medium=referral&utm_campaign=music&utm_content=386165
Audio	Pling (Chimes)	Sound Effect by DRAGON-STUDIO: https://pixabay.com/?utm_source=link-attribution&utm_medium=referral&utm_campaign=music&utm_content=472358
Audio	Riser & Impact	Sound Effect by ALEXIS_GAMING_CAM: https://pixabay.com/?utm_source=link-attribution&utm_medium=referral&utm_campaign=music&utm_content=370401
Audio	Woosh	Sound Effect by freesound_community: https://pixabay.com/?utm_source=link-attribution&utm_medium=referral&utm_campaign=music&utm_content=101878
Audio	Wooshes	Sound Effect by freesound_community: https://pixabay.com/?utm_source=link-attribution&utm_medium=referral&utm_campaign=music&utm_content=102205
Audio	Sticker ab	Sound Effect by freesound_community: https://pixabay.com/?utm_source=link-attribution&utm_medium=referral&utm_campaign=music&utm_content=84746
Audio	Tröte	Sound Effect by freesound_community: https://pixabay.com/?utm_source=link-attribution&utm_medium=referral&utm_campaign=music&utm_content=68443
Audio	Konfettikanone	Sound Effect by freesound_community: https://pixabay.com/sound-effects/?utm_source=link-attribution&utm_medium=referral&utm_campaign=music&utm_content=95138
Audio	Schockwelle	Sound Effect by freesound_community: https://pixabay.com/sound-effects/?utm_source=link-attribution&utm_medium=referral&utm_campaign=music&utm_content=95840
Audio	Cooldown Ende	Sound Effect by Tim Brander: https://pixabay.com/sound-effects/?utm_source=link-attribution&utm_medium=referral&utm_campaign=music&utm_content=415834
Audio	Zug Geräusch	Sound Effect by freesound_community: https://pixabay.com/sound-effects/?utm_source=link-attribution&utm_medium=referral&utm_campaign=music&utm_content=76468

Typ	Eigene Bez.	Quelle
Audio	Zug Hupe	Sound Effect by Amber Johnson: https://pixabay.com/sound-effects/?utm_source=link-attribution&utm_medium=referral&utm_campaign=music&utm_content=256872
Audio	Inventar bekommen	Sound Effect by Universfield: https://pixabay.com/sound-effects/?utm_source=link-attribution&utm_medium=referral&utm_campaign=music&utm_content=351298
Font	Sonny Spells Basic	Niskala Huruf
Model	Feuerwehrauto	Fire Truck by Ivan Klus [CC-BY] (https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/) via Poly Pizza (https://poly.pizza/m/7iHJ519SwxG)
Model	Polizeiauto	Police Car by Kay Lousberg (https://poly.pizza/m/Uj7i2vImir)
Model	Schwimmbad (Pool)	Public Pool by Armory_3D (https://poly.pizza/m/OUA4U30z8A)
Model	Generische Gebäude	https://kenney.nl/assets/
Model	Krankenwagen	Ambulance by Poly by Google [CC-BY] (https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/) via Poly Pizza (https://poly.pizza/m/80kuOgJDAgJ)
Model	Kirche	Church by Poly by Google [CC-BY] (https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/) via Poly Pizza (https://poly.pizza/m/0Oe72PEPCK6)
Model	Kirche	Church by Poly by Google [CC-BY] (https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/) via Poly Pizza (https://poly.pizza/m/6vzTphxL9w4)
Model	Rutsche	Slide by Poly by Google [CC-BY] (https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/) via Poly Pizza (https://poly.pizza/m/dDe3njWPbg0)
Model	Schaukeln	Swing set by Poly by Google [CC-BY] (https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/) via Poly Pizza (https://poly.pizza/m/e-IjdcqZH4p)
Model	Wippe	Seesaw by Poly by Google [CC-BY] (https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/) via Poly Pizza (https://poly.pizza/m/fBaX63DY389)
Model	Fussballplatz	https://www.cgtrader.com/designers/tikodev?utm_source=credit&utm_source=credit_item_page
Model	Flagge (Schule)	Goal Flag by Quaternius (https://poly.pizza/m/onAi7dx56P)
Model	Friedhof	Cemetery by Poly by Google [CC-BY] (https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/) via Poly Pizza (https://poly.pizza/m/8A4_SixlsmQ)
Model	Bahnhof	LowPoly Train Station (https://skfb.ly/oQM6n) by JG3D is licensed under Creative Commons Attribution (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).
Model	Natur	Created/distributed by Kay Lousberg (www.kaylousberg.com)
Model	Schwimmring	Rubber Duck Pool Toy by hat_my_guy (https://poly.pizza/m/8DnpFRLldK)
Model	Klettergerüst (Schule)	Jungle gym by Poly by Google [CC-BY] (https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/) via Poly Pizza (https://poly.pizza/m/0-7U_RTHzKT)
Pinzel	Kapiteldeckblatt Brush	Photoshop Brushes by Brusheezy: https://brusheezy.com
Shader	Bach	https://godotshaders.com/shader/water-2d-distortion-4-x/
Sprite	Titelscreen	Adobe Firefly
Sprite	Altes Pergament	Drawing Art of Old Vintage Scroll Parchment Paper Banner Vector Illustration — Vector by baavli @depositphotos
Sprite	Holztextur	Cartoon Wood Texture Vectors by Vecteezy
Sprite	Icons (Buttons)	Iconset by Spencer Harrison from Noun Project: https://thenounproject.com/browse/collection-icon/crayon-hand-drawn-icons-126787/ (CC BY 3.0)
Sprite	Handgeste (wischen/drag)	vector-touch-screen-drag-and-drop-gesture-swipe-left-and-right-hand-finger-pictogram-icon-flat-illustration-on-white-background Vectors by Vecteezy: https://www.vecteezy.com/vector-art/2839271-vector-touch-screen-drag-and-drop-gesture-swipe-left-and-right-hand-finger-pictogram-icon-flat-illustration-on-white-background
Sprite	Handgeste (wischen/drag)	s.o.
Sprite	Roter Pfeil	Icon by Elzicon: https://www.freepik.com/icon/left-arrow_11997549
Sprite	Finn	Google Gemini: Nano Banana 2
Sprite	Frieda	Google Gemini: Nano Banana 2
Sprite	Vogel Animated Sprite	https://t3.ftcdn.net/jpg/16/67/83/48/360_F_1667834842_PJ2HQU96xsQSLkKIRSYoN-6Q13YnCwC4B.jpg
Sprite	Fotoalbum (Icon)	Icon by Freepik: https://www.freepik.com/icon/book_207114

Glossar

- ↳ **Asset:** Mit einem Asset ist im Kontext einer Spiel-Engine ein beliebiges zur Nutzung importiertes, inhaltliches Element gemeint. Dies können u. a. Grafikelemente (wie 3D-Modelle, 2D-Sprites o. ä.), Audiodateien oder aber auch Schriften sein.
- ↳ **Rigging:** Rigging ist eine Technik der Skelettanimation, bei der eine Kontrollstruktur zur Animation von Modellen erstellt wird. Über diese Kontrollstruktur lassen sich die Aktionen, Gesten und Bewegungen von Figuren und Objekten steuern. Sie besteht aus einer Reihe von verbundenen Bones, die auf das Modell angewendet werden, um es in der gewünschten Weise zu bewegen und zu bearbeiten (Adobe, o. D.)
- ↳ **Rüttelflug:** Der Rüttelflug ist eine Flugtechnik, bei der Vögel durch eine besondere Flügel- und Schwanzfederstellung auf der Stelle fliegen können. Der Rüttelflug ist häufig bei Turmfalken zu beobachten, weshalb diese volkstümlich auch als „Rüttelfalken“ bezeichnet werden. (Dörfel, 2017)
- ↳ **SceneTree:** Der SceneTree (Szenenbaum) ist die Baumstruktur – vergleichbarer mit einer Ordnerstruktur in Betriebssystemen – , die in Godot die Elemente logisch ordnet. Jeder verwendete Knoten während einer Anwendung befindet sich an einer entsprechenden Stelle im SceneTree.
- ↳ **Shader:** Shader sind kleine Programme, die entweder die Farbe einzelner Pixel (Fragment-Shader) oder auch Formen von Punkten in 3D-Modellen (Vertex-Shader) verändern können. Wird der Shader auf der GPU ausgeführt, können riesige Mengen an Daten parallel berechnet werden, ohne Performance-Verlust.
- ↳ **Sprite:** Sprites sind Objekte in Spielen oder Animationen, die aus zweidimensionalen Bilddateien bestehen und über dem Hintergrund dargestellt und meist bewegt werden.
- ↳ **T-Pose:** Von einer T-Pose spricht man im Rigging (vgl. Rigging), wenn das Modell mit zur Seite ausgetreckten Armen – ähnlich dem Vitruvianische Mensch von Leonardo da Vinci – dargestellt wird. Vollautomatische Rigging-Programme, wie Adobe Mixamo erzielen anhand dieser Pose die besten Ergebnisse.
- ↳ **UX/UI:** User Experience (UX, dt. Nutzererlebnis) beschreibt das gesamte Erlebnis der Nutzung eines Produkts. Wohingegen sich das User Interface (UI, dt. Benutzeroberfläche) hauptsächlich mit Aussehen und Anord-

nung von Elementen auf der Oberfläche beschäftigt.

Abschnitt Godot-Nodes

Obwohl viele Begriffe durch das Übersetzen ins Deutsche teilweise selbst erklären sind, werden nachfolgend Godot-spezifische Begriffe aus dem Text erläutert (Godot Docs, 2026):

- ↳ **AnimatedSprite2D:** Bei einem AnimatedSprite2D handelt es sich um eine Abfolge von Bildern (Frames), die in der Funktionsweise einem Dummkino ähneln. So wird der AnimatedSprite2D-Knoten animiert, während er zusätzlich über den Bildschirm bewegt werden kann.
- ↳ **AnimationPlayer:** Ein Animationsplayer dient der allgemeinen Wiedergabe von Animationen, die mit Hilfe von Schlüsselbildern (Keyframes) direkt in der Godot-Oberfläche erzeugt werden.
- ↳ **Area3D:** Area3D ist ein Bereich des 3D-Raums, der durch einen oder mehrere CollisionShape3D-Knoten definiert wird. Er erkennt, wenn andere CollisionObject3Ds ihn betreten oder verlassen.
- ↳ **AudioStreamPlayer:** Der AudioStreamPlayer-Knoten gibt einen Audio-Stream positionsunabhängig wieder, meist bestehend aus einer MP3- oder WAV-Datei. Er eignet sich ideal für Benutzeroberflächen, Menüs oder Hintergrundmusik.
- ↳ **Camera3D:** Camera3D ist ein Knoten, der in einer 3D-Szene anzeigt, was von seinem aktuellen Standort aus sichtbar ist. Einstellungen wie zum Beispiel Position, Rotation und Field of View (FOV) bestimmen den gezeigten Ausschnitt.
- ↳ **CollisionShape3D:** Ein Knoten, der einem übergeordneten CollisionObject3D eine Form zuweist und deren Bearbeitung ermöglicht.
- ↳ **GridMap:** Mit GridMaps lassen sich Meshes interaktiv auf einem Raster platzieren. Es funktioniert sowohl im Editor als auch über Skripte und kann so beim Erstellen von In-Game-Level-Editoren hilfreich sein.
- ↳ **Node3D:** Ein 3D-Basisobjekt, von dem sich alle weiteren 3D-Nodes ableiten (Klassenvererbung). Solche Knoten können als Container-Element in SceneTree verwendet werden, da sie selbst keine weitere Funktion erfüllen.
- ↳ **RayCast3D:** Ein Raycast stellt einen Strahl von seinem Ursprung zu seiner Zielposition dar, der das nächstgelegene Objekt auf seinem Weg findet, falls er eines schneidet.
- ↳ **Tween:** Tweens sind besonders nützlich für Animationen, bei denen eine numerische Eigenschaft über einen Wertebereich interpoliert werden

muss und der Endwert erst zur Laufzeit bekannt ist. Für eine bestimmte Objekteigenschaft wird ein Zielwert und eine Animationsdauer festgelegt. Das Programm interpoliert dann über die Dauer die Zwischenschritte.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- ↪ Adamina, M. , Hemmer, M. , Schubert, J. Christoph & Hartinger, A. (Hrsg.). (2016). Die geographische Perspektive konkret (Begleitbände zum Perspektivrahmen Sachunterricht.). Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.
- ↪ Adobe (o. D.). Rigging und Skelettanimation. Abgerufen am 14. April 2026, von <https://www.adobe.com/de/creativecloud/animation/discover/rigging.html>
- ↪ Apple Developer (2025). Buttons. Abgerufen am 7. März 2026, von <https://developer.apple.com/design/human-interface-guidelines/buttons>
- ↪ Arnold, R., FB Pädagogik, TU Kaiserslautern und Studierende, Amberger W. (o. D.). Mentale Repräsentation. Didagma. Abgerufen am 16. April 2026, von <https://service.zfl.uni-kl.de/wp/glossar/mentale-repraesentation>
- ↪ Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus (2024). Unterricht und Fächer. Abgerufen am 12. April 2026, von <https://www.km.bayern.de/lernen/schularten/grundschule/unterricht-und-faecher>
- ↪ Bayerische Vermessungsverwaltung (2024). Legende Digitale Ortskarte (DOK). Abgerufen am 15. Dezember 2025, von https://geodaten.bayern.de/odd/m/3/pdf/legende_dok.pdf
- ↪ Bruckman, A. (1999). Can Educational Be Fun?. Game Developer's Conference, San Jose, California
- ↪ carlo_lax (2025). Math FPS game for my kid in r/IndieDev. Abgerufen am 8. Februar 2026, von https://www.reddit.com/r/IndieDev/comments/1pc7z3q/math_fps_game_for_my_kid
- ↪ Crosse Studios (2025). MATH FPS : Solve Or Die. Abgerufen am 12. März 2026, von https://store.steampowered.com/app/4173840/MATH_FPS__Solve_Or_Die/
- ↪ Deemos Corporation (2026). Hyper3D. Image to 3D. Abgerufen am 15. April 2026, von <https://hyper3d.ai/rodin/3db5059f-c8e7-4989-b4b3-c686595c4e3b>
- ↪ Die_Schatzkiste1988 (2026). Little Professor – Rechentrainer / Texas Instruments [Fotografie]. ebay. Abgerufen am 19. März 2026 von <https://www.ebay.de/itm/156659744412>
- ↪ Dölfel, S. (2017). Turmfalke. LBV. Abgerufen am 14. April 2026, von <https://www.lbv.de/ratgeber/naturwissen/artenportraits/detail/turmfalke/>

- ↪ ElevenLabs (o. D.). Text to Speech mit hochwertigen, menschenähnlichen KI-Stimmen. Abgerufen am 15. März 2026, von <https://elevenlabs.io/de/text-to-speech>
- ↪ Esri Deutschland GmbH (o. D.). Hamilton-Pfad. Abgerufen am 15. März 2026, von <https://support.esri.com/de-de/gis-dictionary/hamiltonian-path>
- ↪ Friedrich, G & Preiß, G (2002). Lehren mit Köpfchen. Gehirn & Geist, 04/2002. 64–70
- ↪ Fögele, J., Mehren, R. & Thume, S. (2025). Geo-Monitor 2025: Studie zur Situation des Schulfachs Geographie. Universität Münster, Pädagogische Hochschule Karlsruhe: Ernst Klett Verlag
- ↪ Gagné, R. M., Wager, W. W., Briggs, L. J. (1992). Principles of Instructional Design (4th ed.). Fort Worth, TX, USA: Harcourt Brace College Publishers
- ↪ GDSU (2021). Positionspapier Sachunterricht und Digitalisierung. Erarbeitet von der AG Medien & Digitalisierung der Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts – GDSU (Markus Peschel, Friedrich Gervé, Inga Gryl, Thomas Irion, Daniela Schmeinck, Philipp Straube). Abgerufen am 1. April 2026, von https://gdsu.de/sites/default/files/PDF/GDSU_2021_Positionspapier_Sachunterricht_und_Digitalisierung_deutsch_de.pdf
- ↪ Godot Docs (2026). AtlasTexture. Aufgerufen am 22. April 2026, von https://docs.godotengine.org/de/4.x/classes/class_atlastexture.html
- ↪ Godot Docs (2026). Godot Dokumentation – 4.6 Branch. Abgerufen am 15. April 2026, von <https://docs.godotengine.org/de/4.x/>
- ↪ Hlawatsch, S. & Felzmann D. (2023): Didaktik der Geowissenschaften: Lehre an Schulen und an außerschulischen Lernorten, Springer Spektrum.
- ↪ Humanitarian OpenStreetMap Team (2026). HOT Tasking Manager. Madagascar Toamasina 2. Abgerufen am 19. März 2026, von <https://tasks.hotosm.org/projects/45216/instructions>
- ↪ Hüther, G. (2016). Wie wir lernen zu werden, was wir sind. Abgerufen am 13. April 2026, von https://www.gerald-huether.de/wp-content/uploads/2020/07/Wie_wir_lernen_zu_werden_wer_wir_sind.pdf
- ↪ Mathmagic (2026). Hitem3D. Kreativbereich. Abgerufen am 15. April 2026, von <https://www.hitem3d.ai/creative-space>
- ↪ Missing Maps (2026). Mapping Together for Humanitarian Action. Abgerufen am 18. März 2026, von <https://missingmaps.org/>
- ↪ Mockups-Design (o. D.). A5 leaflet mockup. Abgerufen am 17. Januar 2026, von <https://mockups-design.com/a5-leaflet-mockup/>
- ↪ Müller, A. (2001). Kartenlesen. Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Abgerufen am 12. März 2026, von <https://www.spektrum.de/>

- lexikon/kartographie-geomatik/kartenlesen/2626
- ↪ Orey, M. (2010). Emerging Perspectives on Learning, Teaching, and Technology. CreateSpace Independent Publishing Platform
 - ↪ Paintbuckes Games (2024). Through the Darkest of Times. Abgerufen am 7. April 2026, von <https://paintbucket.de/de/game/through-the-darkest-of-times>
 - ↪ Schubert, J. C. und Adamina, M. (2025) ‚Kartenkompetenz im Sachunterricht‘, in Hartinger, A. und Lange-Schubert, K. (Hrsg.) Didaktik für die Grundschule: Sachunterricht. 6. Aufl. Berlin: Cornelsen Scriptor, S. 130-145.
 - ↪ Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung (ISB) (o. D.). Heimat- und Sachunterricht 3/4. LehrplanPLUS. Abgerufen am 2. November 2025, von <https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/grundschule/3/hsu>
 - ↪ Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung (ISB) (o. D.). Heimat- und Sachunterricht – Fachprofile. LehrplanPLUS. Abgerufen am 19. März 2026, von <https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachprofil/grundschule/hsu/3>
 - ↪ Statista (2026). Kreativitätssoftware – Weltweit. Abgerufen am 10. April 2026, von <https://de.statista.com/outlook/tmo/software/produktivitaetssoftware/kreativitaetssoftware/weltweit>
 - ↪ Süddeutsche Zeitung (2022). Mehr als 100 deutsche Schüler und Lehrer aus Bergnot gerettet. Abgerufen am 15. Januar 2026, von <https://www.sueddeutsche.de/panorama/schueler-bergnot-oesterreich-heuberg-grat-1.5599283>
 - ↪ Tencent (2026). Tencent Hunyuan 3D. Image-to-3D. Abgerufen am 15. April 2026, von <https://3d.hunyuanglobal.com/>
 - ↪ Valve Corporation (2026). MATH FPS : Solve Or Die. Abgerufen am 20. März 2026, von https://store.steampowered.com/app/4173840/MATH_FPS__Solve_Or_Die
 - ↪ Wilke, T. & Thon, J.-N. (2017). Sound in den Medien. Medienkulturwissenschaftliche Annäherung an ein allgegenwärtiges Phänomen. In J.-N. Thon & T. Wilke (Hrsg.), Spiel. Neue Folge. Eine Zeitschrift zur Medienkultur: Jg. 3 (2017), Heft 2. Sound in den Medien / Sound across Media (S. 7-11). Berlin: Peter Lang.

