Fachhochschule Kiel
University of Applied Sciences

Fachbereich Informatik und Elektrotechnik

Bachelorarbeit zum Thema:

Konzeption und Umsetzung einer webbasierten Anwendung für den Einsatz von XR-Technologien im Schulunterricht

Studiengang:	Medieningenieur/-in
Autor:	Lasse Knodt
E-Mail:	Lasse.Knodt@online.de
Matrikelnummer:	939185

Abgabedatum:	12.06.2025
Erstprüfer*in:	Prof. Dr.-Ing. Felix Woelk
Zweitprüfer*in:	J. Jasmin Meziou
Firma:	Dataport AöR Altenholzer Str. 10-14, 24161 Altenholz

Abstract / Zusammenfassung

Ziel dieser Bachelorarbeit ist die Analyse und prototypische Umsetzung webbasierter XR-Technologien für den schulischen Einsatz. Im Mittelpunkt steht der Vergleich von WebXR, Apple Quick Look und Googles model-viewer hinsichtlich technischer Eignung, Plattformkompatibilität und Integration in bestehende Lernplattformen wie Moodle, IServ oder die dBildungscloud.

Auf Grundlage definierter Anforderungen wurde eine browserbasierte Anwendung entwickelt, die Lehrkräften ermöglicht, eigene 3D-Modelle didaktisch aufzubereiten und mit Annotationen zu versehen – ohne App-Installation oder dedizierte Hardware. Anstelle eines fachspezifischen Showcases dient der entwickelte Prototyp als flexibles Content-Creation-Tool, das sich durch intuitive Bedienung, LTI-Integration und realistische Einsatzszenarien auszeichnet.

Die Evaluation mit Lehrkräften und eine ergänzende Online-Umfrage bestätigen die hohe Relevanz und praktische Anschlussfähigkeit der Lösung im schulischen Alltag.

Inhaltsverzeichnis

Abstract / Zusammenfassung....2
Inhaltsverzeichnis.... 3
Glossar.... 7
1 Vorwort....8
2 Einleitung....9
2.1 Motivation....9
2.2 Zielsetzung....10
2.3 Aufbau der Arbeit.... 10
3 Theoretische Grundlagen.... 12
3.1 XR-Technologien im Überblick....12
3.1.1 3D-Objekte.... 13
3.1.2 Virtual Reality....15
3.1.3 Augmented Reality.... 17
3.1.4 Web-XR.... 18
3.1.5 Frameworks & Technologien....19
3.2 Integrationsmöglichkeiten / Schnittstelle LMS....21
3.3 Didaktische Potenziale von XR im Bildungskontext.... 23
3.3.1 Lernen mit Medien....23
3.3.2 Aktivierende Lernszenarien durch XR.... 24
3.3.3 Chancen und Herausforderungen im Schulkontext.... 25
3.3.4 Didaktische Einordnung....26
4 Aktueller Stand in der Bildung.... 27
4.1 Zwischen Innovation und Realität: Aktuelle Nutzung in Schulen.... 27
4.2 Realistische Adaption: Aktueller Bedarf und Trends.... 28
4.3 Fazit: Hohes Potenzial – aber hohe Schwelle.... 28
5 Vergleich und Auswahl geeigneter Technologien.... 29
5.1 Plattformunterstützung und Webstandards-Kompatibilität.... 29
5.2 Polyfills als Übergangslösung bei fehlendem WebXR-Support.... 30
5.3 Tabellarischer Vergleich.... 31
5.4 Stärken-Schwächen-Analyse.... 33
5.5 Auswahlentscheidung....34
6 Konzeption.... 36
6.1 Methodisches Vorgehen....36
6.1.1 Discover – Kontext verstehen und Bedürfnisse identifizieren.... 36
6.1.2 Define – Anforderungen formulieren und Zielbild ableiten.... 37
6.1.3 Develop – Prototyping und iterative Verfeinerung.... 37
6.1.4 Deliver – Umsetzung und Evaluation....38
6.2 Zielgruppendefinition.... 38
6.3 Anforderungen.... 39

6.4 Personas und User Journeys....42
6.4.1 Beispiel: Martin Berger (Pragmatischer Anwender)....43
6.4.2 Erkenntnisse aus den User Journey Maps....46
6.5 Use Cases.... 48
7 Entwicklung.... 50
7.1 Low-Fidelity Papierprototyp....50
7.1.1 Struktur und Ablauf des Papierprototyps....50
7.1.2 Szenarienbasiertes Prototyping.... 52
7.1.3 Heuristische Bewertung....52
7.2 Weiterentwicklung zu digitalen Prototypen.... 53
7.2.1 Interaktive Mockups und Click-Dummies.... 53
7.2.2 Evaluierung des digitalen Prototyps.... 55
7.3 Prototyp 1 – Funktionaler Erstentwurf zur Technologieprüfung.... 57
7.3.1 Technologie-Stack.... 57
7.3.2 LTI-Integration mit ltijs und Datenbank.... 59
7.3.3 Objektbibliothek und Medienverwaltung.... 60
7.3.4 Interaktionsmöglichkeiten.... 61
7.3.5 Testing und Erkenntnisse....62
7.4 Prototyp 2 – Interaktiver Prototyp mit Fokus auf Nutzererlebnis....63
7.4.1 Überarbeitung der Benutzeroberfläche.... 63
7.4.2 Erweiterung der technischen Funktionalitäten....65
7.4.3 Usability-Test des zweiten Prototyps....66
7.5 Abweichungen vom ursprünglichen Konzept.... 68
7.5.1 Integration über LTI und technische Rahmenbedingungen....69
7.5.2 Einbindung per iFrame.... 69
7.5.3 Annotationen und AR-Funktionalität.... 70
7.5.4 Sketchfab-Integration und Dateiverwaltung.... 70
7.5.5 Gestalterische Kompromisse und UI-Optimierungen.... 70
8 Evaluation.... 71
8.1 Rückblick auf die Zielsetzung.... 71
8.2 Erkenntnisse aus den Interviews.... 72
8.2.1 Technikaffinität und Ausstattung....72
8.2.2 Didaktische Einsatzszenarien.... 72
8.2.3 Hürden und Barrieren.... 73
8.2.4 Anforderungen an das Tool.... 73
8.2.5 Motivation und Akzeptanz....74
8.2.6 Ergebnisse der Online-Umfrage.... 74
8.3 Bewertung des Prototyps....76
8.4 Grenzen der Evaluation.... 78
9 Fazit.... 78
10 Ausblick....80

10 Literaturverzeichnis.....82
11 Abbildungsverzeichnis..... 86
12 Tabellenverzeichnis..... 95
13 Anhang.....100
Lizenzhinweis.....115
Hinweis zum Umgang mit KI-gestützten Anwendungen.....116
Eidesstattliche Versicherung.....117

Glossar

Wort	Bedeutung
VR	Virtual Reality – Virtuelle Realität; eine vollständig computergenerierte, immersive Umgebung, in die Nutzer mithilfe spezieller Geräte (z. B. VR-Brillen) eintauchen können.
AR	Augmented Reality – Erweiterte Realität; digitale Inhalte (z. B. Texte, 3D-Modelle) werden in die reale Umgebung eingeblendet, meist über Smartphone oder Tablet.
MR	Mixed Reality – Vermischte Realität; Kombination aus virtuellen und realen Inhalten, bei der beide Ebenen dynamisch miteinander interagieren können.
XR	Extended Reality – Oberbegriff für VR, AR und MR. Umfasst alle Technologien, die Realität und virtuelle Inhalte verbinden.
WebXR	Programmierschnittstelle zur Darstellung von VR- und AR-Inhalten direkt im Webbrowser. Ziel ist der plattformunabhängige Zugang zu immersiven Inhalten.
API	Application Programming Interface – Schnittstelle, über die Software-Komponenten miteinander kommunizieren können (z. B. zwischen Frontend und Datenbank).
LTI	Learning Tools Interoperability – Standard zur Integration externer Lernanwendungen in Lernplattformen (z. B. Moodle), entwickelt vom IMS Global Consortium.
LMS	Learning Management System – Digitale Plattform zur Verwaltung, Durchführung und Dokumentation von Lernprozessen (z. B. Moodle, ILIAS, Canvas).
et al	„Et al. " ist eine Abkürzung des lateinischen Ausdrucks „et alia", was „und andere" bedeutet. Es wird verwendet, um anzugeben, dass es neben dem genannten Autor noch weitere Autoren gibt.
UI	Das User Interface (UI) ist die Benutzeroberfläche, über die der Nutzer mit dem System interagieren kann.
HCDP	Human-Centered Design (HCD), auch bekannt als menschenzentriertes Design, ist ein Ansatz zur Problemlösung, bei dem der Mensch im Mittelpunkt steht

1 Vorwort

Diese Bachelorarbeit entstand in Kooperation mit Dataport, einer Anstalt öffentlichen Rechts, die als zentraler IT-Dienstleister für die öffentliche Verwaltung in mehreren Bundesländern tätig ist. Dataport unterstützt die digitale Transformation öffentlicher Einrichtungen durch die Bereitstellung moderner IT-Infrastrukturen, die Entwicklung digitaler Verwaltungsprozesse und die Beratung im Bereich digitaler Innovationen.

Innerhalb von Dataport spielt das Kultur-Kompetenzzentrum (DKK) eine zentrale Rolle bei der digitalen Weiterentwicklung von Kultureinrichtungen. Es ist Teil der Abteilung für Kultur und Wissenschaft und verfolgt das Ziel, innovative IT-Lösungen zu entwickeln sowie digitale Kompetenzen in Kulturinstitutionen zu stärken. Bereits seit über zwei Jahren ist Extended Reality (XR) ein fester Bestandteil des DKK. In dieser Zeit wurden erste Projekte und Konzepte zur Nutzung immersiver Technologien im Kulturbereich initiiert, die auch den thematischen Ausgangspunkt dieser Arbeit bildeten.

Im Rahmen einer geplanten Kooperation zwischen dem Bildungsbereich von Dataport und dem DKK entstand die Idee, das Potenzial von XR-Technologien im schulischen Kontext zu untersuchen. Ziel war es, eine praxisnahe Lösung zu entwickeln, die Lehrkräften den Zugang zu immersiven, webbasierten Anwendungen erleichtert und somit einen konkreten Mehrwert für den Unterricht schafft.

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in dieser Arbeit auf gendergerechte Doppelnennungen (z. B. Nutzer:innen, Anwender:innen) verzichtet. Sämtliche personenbezogenen Bezeichnungen gelten geschlechtsunabhängig und beziehen sich gleichermaßen auf alle Geschlechter.

2 Einleitung

2.1 Motivation

Die zunehmende Digitalisierung des Bildungsbereichs stellt Schulen vor die Herausforderung, neue Technologien nicht nur technisch zu integrieren, sondern auch didaktisch sinnvoll einzusetzen. Besonders immersive Technologien wie Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) bieten die Möglichkeit, komplexe Inhalte anschaulich, interaktiv und erfahrungsbasiert zu vermitteln. [1]

Allerdings fehlt es bislang häufig an leicht zugänglichen Lösungen, die sich ohne großen Aufwand in den Unterricht integrieren lassen. Viele existierende XR-Anwendungen sind auf spezifische Inhalte begrenzt oder setzen technisches Vorwissen und leistungsstarke Hardware voraus. Besonders an Schulen, in denen iPads oft als zentrale Lernmittel eingesetzt werden, stoßen webbasierte XR-Technologien wie WebXR auf technische Hürden, etwa durch eingeschränkten Browser-Support [2]. So weist Mozilla etwa darauf hin, dass WebXR auf iOS/Safari bisher nur eingeschränkt unterstützt wird [3].

Diese Arbeit setzt genau an diesem Spannungsfeld an: Sie soll untersuchen, welche webbasierten XR-Technologien sich am besten für den schulischen Einsatz eignen und wie eine Lösung aussehen kann, die Lehrkräften langfristig ermöglicht, eigene Inhalte zu erstellen und flexibel im Unterricht einzusetzen – unabhängig von Fach, Thema oder technischer Expertise.

2.2 Zielsetzung

Im Mittelpunkt der Arbeit stehen zwei eng miteinander verbundene Schwerpunkte: Zum einen der systematische Vergleich aktueller XR-Technologien – darunter WebXR, Apple Quick Look und Googles model-viewer – hinsichtlich ihrer technischen Eignung, Plattformkompatibilität und Integrationsfähigkeit in bestehende Lernmanagementsysteme (z. B. Moodle, IServ, dBildungscloud). Zum anderen die Konzeption und prototypische Entwicklung eines benutzerfreundlichen Werkzeugs, das Lehrkräften die einfache Einbindung eigener 3D-Inhalte in den Unterricht ermöglicht.

Auf Grundlage festgelegter Vergleichskriterien werden die jeweiligen Stärken und Schwächen der Technologien im schulischen Kontext analysiert. Dabei finden sowohl technische Aspekte wie Gerätekompatibilität und LMS-Integration als auch didaktisch-praktische Faktoren wie Nutzerfreundlichkeit für Lehrkräfte und Schüler Berücksichtigung.

Aufbauend auf den Erkenntnissen des Vergleichs sowie auf didaktischen Anforderungen und Nutzerbedürfnissen wird ein Prototyp entwickelt, der in einem iterativen Gestaltungsprozess durch Feedback aus Umfragen, Interviews und Nutzertests kontinuierlich verbessert wird. Ziel ist ein praxisnahes, zugängliches und anpassbares XR-Werkzeug, das den Schulalltag sinnvoll ergänzt – auch für technikskeptische Lehrkräfte.

Abschließend wird bewertet, welche der untersuchten Technologien sich besonders für den Einsatz durch öffentliche Bildungsträger wie Dataport eignen.

2.3 Aufbau der Arbeit

Diese Bachelorarbeit gliedert sich in drei zentrale Abschnitte: einen theoretischen Grundlagenteil, einen nutzerzentrierten Konzeptions- und Entwicklungsprozess mit mehreren Iterationen sowie eine abschließende Evaluation.

Im theoretischen Teil (Kapitel 3 bis 5) werden zunächst die grundlegenden Konzepte und Technologien im Bereich der Extended Reality (XR) erläutert – mit Fokus auf Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR) sowie der webbasierten Schnittstelle WebXR. Ergänzend werden zentrale Frameworks, didaktische Potenziale und technische Integrationsmöglichkeiten in Lernmanagementsysteme (z. B. Moodle oder dBildungscloud) dargestellt. Darauf aufbauend erfolgt eine vergleichende Analyse aktueller XR-Technologien im Hinblick auf technische Umsetzbarkeit, pädagogische Eignung und Praxisrelevanz im schulischen Kontext (Kapitel 5). Diese Analyse bildet die Grundlage für die Auswahl der Technologie, die im weiteren Verlauf prototypisch umgesetzt wird.

Der praktische Teil (Kapitel 6 und 7) beschreibt die Konzeption, Entwicklung und iterative Verfeinerung eines webbasierten XR-Prototypen. Der Prozess folgt den Prinzipien des Human-Centered Design und beinhaltet mehrere Iterationszyklen

– vom Low-Fidelity-Papierprototyp über digitale Mockups bis hin zu funktionalen Prototypen mit realer LTI-Integration. In jeder Phase flossen gezielt Rückmeldungen von potenziellen Nutzer ein, insbesondere von Lehrkräften, um die Anwendung konsequent an die didaktischen und technischen Anforderungen des Schulalltags anzupassen.

Der Evaluationsteil (Kapitel 8) untersucht, inwieweit die definierten Anforderungen durch den finalen Prototyp erfüllt wurden und wie dieser von der Zielgruppe – insbesondere Lehrpersonen – eingeschätzt wird. Neben funktionalen Aspekten stehen dabei didaktische Nutzbarkeit, Usability sowie potenzielle Barrieren im Fokus. Abschließend (Kapitel 9) werden die zentralen Erkenntnisse zusammengefasst, Limitationen reflektiert und ein Ausblick auf zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten gegeben.

3 Theoretische Grundlagen

Bevor technologische Entscheidungen getroffen und ein konkreter Prototyp entwickelt werden können, ist es erforderlich, die theoretischen und technischen Grundlagen von XR zu verstehen. Dieses Kapitel schafft das notwendige Fundament, um die Funktionsweise und das didaktische Potenzial immersiver Technologien im schulischen Kontext fundiert einordnen zu können.

XR bezeichnet alle Ansätze, die digitale Inhalte mit der realen Umgebung kombinieren oder vollständig virtuelle Welten erzeugen. [4, S. 80].

Im weiteren Verlauf werden die zentralen XR-Technologien VR, AR und WebXR hinsichtlich ihrer Funktionsweise, Besonderheiten und ihres didaktischen Potenzials im schulischen Kontext vorgestellt.

3.1 XR-Technologien im Überblick

Extended Reality (XR) ist ein Sammelbegriff für immersive Technologien, die reale und virtuelle Inhalte miteinander verbinden. Dazu zählen Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR) und Mixed Reality (MR). Die Technologien unterscheiden sich hinsichtlich ihres Immersionsgrads und der Art der Nutzerinteraktion, teilen jedoch das gemeinsame Ziel, digitale Inhalte erfahrbar zu machen.

Die Wirksamkeit und Anwendbarkeit immersiver XR-Technologien im Bildungskontext hängt maßgeblich von den verwendeten Inhalten ab. Insbesondere 3D-Modelle spielen dabei eine zentrale Rolle, da sie als visuelle Brücke zwischen abstraktem Fachwissen und erfahrbarer Realität dienen. Um den Einsatz von WebXR, AR oder VR im Unterricht sinnvoll zu gestalten, ist ein grundlegendes Verständnis für Aufbau, Formate und technische Eigenschaften digitaler 3D-Objekte erforderlich. Das folgende Kapitel beleuchtet daher die technischen Grundlagen, Anforderungen und gängigen Formate solcher Modelle im schulischen Anwendungskontext.

3.1.1 3D-Objekte

Digitale 3D-Modelle sind virtuelle Repräsentationen von Objekten in einem dreidimensionalen Raum. Sie bestehen aus geometrischen Elementen wie Punkten (Vertices), Kanten (Edges) und Flächen (Faces), die zusammen ein sogenanntes Mesh bilden. Dieses Mesh beschreibt die äußere Form eines Objekts und ist die Basis für dessen Darstellung in XR-Anwendungen [4, S. 80–83]. Abbildung 1 veranschaulicht diese Grundelemente eines Mesh-Modells anhand eines einfachen Würfels.

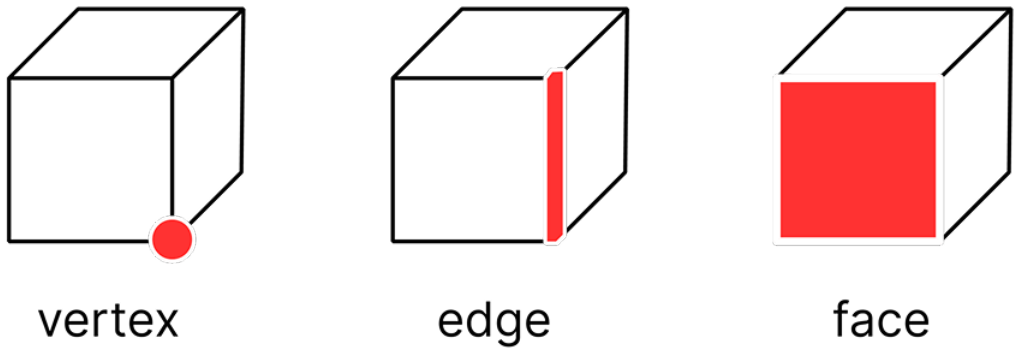


Abbildung 1: Mesh-Elemente in 3D (Quelle: eigene Darstellung nach Christian Lawson-Perfect, Wikimedia Commons, CC0 [5])

Zur optischen Gestaltung kommen Materialien und Texturen zum Einsatz. Materialien bestimmen etwa die Lichtreflexion, Oberflächeneigenschaften oder Transparenz. Texturen sind zweidimensionale Bilddateien (z. B. PNG, JPEG), die über sogenannte UV-Koordinaten auf das 3D-Mesh „gelegt" werden. Sie können einfache Farbinformationen enthalten oder zusätzliche Effekte wie Glanz, Rauheit oder Oberflächenstrukturen simulieren [4, S. 91–92]. Abbildung 2 zeigt beispielhaft den Aufbau eines texturierten 3D-Modells mit Base Color, Roughness und Normal Map.

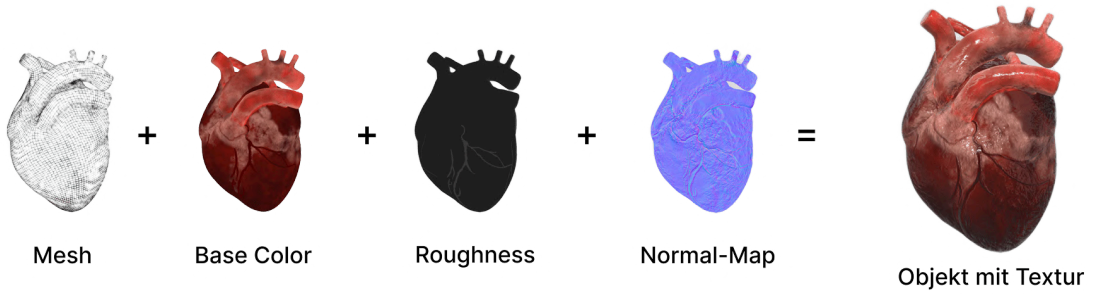


Abbildung 2: Textur Aufbau eines 3D-Objekts (Quelle: eigene Darstellung)

3D-Modelle werden in unterschiedlichen Dateiformaten gespeichert, die sich u. a. in Bezug auf Kompatibilität, Kompression, Animation aber auch AR-Tauglichkeit unterscheiden. Im Bereich webbasierter XR-Technologien haben sich vor allem zwei Formate etabliert:

- glTF (GL Transmission Format) bzw. GLB (die binäre Variante): ein offener Standard des Khronos-Konsortiums, der speziell für effiziente Übertragung und Darstellung im Web entwickelt wurde [6].
- USDZ (Universal Scene Description Zip): ein von Apple entwickeltes Format, das mit ARKit kompatibel ist und nativ in iOS und Safari angezeigt werden kann [7].

Beide Formate unterstützen grundlegende Geometrien, Texturen, Materialien und einfache Animationen. Diese Animationsfunktionen können beispielsweise genutzt werden, um Lernobjekte zu drehen, auseinanderzufahren (Exploded Views), sich selbstständig zu bewegen oder kurze Bewegungsabläufe zu demonstrieren – etwa den Aufbau eines Moleküls oder die Funktionsweise eines technischen Bauteils. Auch einfache Effekte wie das „Aufleuchten" bestimmter Bereiche bei Nutzerinteraktion (z. B. Touch oder Klick) sind möglich.

Je nach Plattform und Endgerät werden unterschiedliche Formate bevorzugt. So unterstützt Safari auf iOS beispielsweise ausschließlich USDZ für AR-Anwendungen, während Android-Browser in der Regel mit glTF/GLB arbeiten [6].

Im schulischen Kontext kann dies relevant werden, wenn eine XR-Anwendung auf mehreren Plattformen genutzt werden soll. Um möglichst breite Kompatibilität zu gewährleisten, kann die parallele Bereitstellung in beiden Formaten erforderlich sein. Die Auswahl eines geeigneten Formats hängt dabei von der Zielplattform, den technischen Rahmenbedingungen und der Art der Anwendung ab.

Um die Begriffe und technologischen Unterschiede besser einzuordnen, wird zunächst Virtual Reality (VR) als eine der zentralen XR-Komponenten genauer betrachtet.

3.1.2 Virtual Reality

Virtual Reality (VR) beschreibt eine computergenerierte, interaktive Umgebung, in der Nutzende durch spezielle Ausgabegeräte wie Head-Mounted Displays vollständig in eine künstliche Welt eintauchen können. Diese Umgebung kann visuell, auditiv oder haptisch dargestellt werden und ermöglicht eine immersive Erfahrung [4, S. 12–13].

Der VR-Ponier Ivan Sutherland entwickelte 1968 mit dem „Sword of Damocles" das erste Head-Mounted Display, das über eine mechanische Aufhängung mit einem Computer verbunden war und einfache computergenerierte Grafiken in das Sichtfeld des Nutzers einblendete. Dieses System legte den Grundstein für moderne VR-Technologien und bildete den Ausgangspunkt für die Entwicklung immersiver Umgebungen [8].

Mit den Fortschritten in Grafiktechnologien, Sensorik und Rechenleistung haben sich VR-Systeme kontinuierlich weiterentwickelt. Aktuelle Headsets wie die Meta Quest, HTC Vive XR Elite oder die Pico 4 bieten mobile, kabellose Nutzungsmöglichkeiten mit hoher Auflösung und Inside-Out-Tracking [9] [10]. Ein Anwendungsbeispiel für den Einsatz von VR in der Ausbildung zeigt Abbildung 3: Hier demonstriert ein ESA-Ingenieur ein Astronautentraining mit der HTC Vive.

Abbildung 3: Astronautentraining in VR mit der HTC Vive (Quelle: ESA, „Reality check", CC BY-SA 3.0 IGO [11])

Gerade die Meta Quest-Serie ist aufgrund ihres verhältnismäßig günstigen Preises und der WebXR-Kompatibilität besonders relevant für browserbasierte Bildungsanwendungen, da sie immersive Inhalte direkt im Headset anzeigen kann – ohne zusätzliche Installationen [12].

Auch PC-gebundene Systeme wie die HTC Vive Pro oder Valve Index bieten hohe Grafikleistung, setzen jedoch eine leistungsfähige Hardware voraus und sind im schulischen Kontext meist schwerer einsetzbar. WebXR-fähige Browser (z. B. Firefox Reality oder der integrierte Browser der Meta Quest) erlauben jedoch auch mit diesen Geräten die Nutzung immersiver Webinhalte direkt aus dem Netz [3].

Die Vielzahl an verfügbaren Systemen zeigt, dass VR heute nicht mehr an spezialisierte Setups gebunden ist. Für den schulischen Einsatz gewinnen dabei besonders webbasierte, plattformunabhängige Lösungen zunehmend an Bedeutung, da sie den Zugang erheblich erleichtern und auf vorhandene Infrastruktur aufbauen können [3].

Während Virtual Reality die Nutzer vollständig in computergenerierte Welten eintauchen lässt, verfolgt Augmented Reality einen anderen Ansatz: Die reale Umgebung bleibt sichtbar und wird durch digitale Elemente erweitert.

3.1.3 Augmented Reality

Augmented Reality (AR) beschreibt die Erweiterung der realen Umgebung um digitale Informationen und virtuelle Objekte, welche in Echtzeit interaktiv dargestellt werden. Im Gegensatz zur Virtual Reality (VR), die eine vollständig künstliche Umgebung schafft, ergänzt AR die physische Welt um virtuelle Inhalte und ermöglicht dadurch eine angereicherte Wahrnehmung der Realität [13, S. 3].

Abbildung 4 zeigt ein AR-System zur Darstellung anatomischer Strukturen in einer realen Umgebung, wie es in medizinischen Anwendungen oder im Biologieunterricht denkbar wäre.

Abbildung 4: Beispielhafte Darstellung medizinischer Inhalte in einer AR-Anwendung (Quelle: PxHere [14])

Ein wesentliches Merkmal von AR ist die Echtzeit-Interaktion zwischen Nutzern und den augmentierten Objekten. Durch den Einsatz von Hand-Tracking, der Kamera oder dem Smartphone-Display kann mit den Objekten interagiert werden. Laut Schmalstieg und Höllerer sind Tracking[1], Rendering[2] und Interaktion die zentralen technischen Herausforderungen, die für die Realisierung von AR-Erlebnissen entscheidend sind [13].

[1] Tracking erfasst Position und Bewegung von Geräten oder Nutzern
[2] Rendering berechnet und zeigt 3D-Inhalte grafisch an

In der Praxis hat AR vielfältige Anwendungsmöglichkeiten, beispielsweise in Bildung, Medizin, Industrie und Unterhaltung. Besonders im schulischen Kontext eröffnet AR neue didaktische Möglichkeiten, indem sie abstrakte oder komplexe Themen anschaulich visualisiert und interaktiv erfahrbar macht. Laut Dörner et al. verbessert AR die Lernmotivation und fördert ein tieferes Verständnis durch aktives, exploratives Lernen und eine intensivere Auseinandersetzung mit den Lerninhalten [4, S. 346].

Trotz der vielfältigen Vorteile und Möglichkeiten von AR bestehen auch technische und organisatorische Herausforderungen, insbesondere in Bildungseinrichtungen. Dazu zählen die benötigte Infrastruktur, die Benutzerfreundlichkeit der Anwendungen und die technische Kompetenz der Nutzer [4, S. 345]. Dennoch bieten AR-Technologien, bei geeigneter Implementierung, erhebliche Vorteile für das Lernen durch anschauliche und immersive Erfahrungen [4, S. 346].

Während VR und AR häufig mit spezieller Hardware oder nativen Apps verknüpft sind, ermöglicht WebXR einen deutlich niedrigschwelligeren Zugang zu immersiven Inhalten direkt im Browser.

3.1.4 Web-XR

WebXR bezeichnet eine webbasierte Schnittstelle, welche die Entwicklung und Nutzung von XR innerhalb eines Webbrowsers ermöglicht. Im Gegensatz zu traditionellen XR-Anwendungen, die in der Regel eigene Software und leistungsfähige Hardware benötigen, ermöglicht WebXR das Anzeigen immersiver Inhalte direkt im Browser, ohne vorherige Softwareinstallation. Dies erleichtert den Zugang erheblich und erhöht die Reichweite der Technologie [15].

Ein wesentlicher Vorteil von WebXR liegt in seiner plattformübergreifenden Flexibilität, da Anwendungen geräteunabhängig über Browser genutzt werden können. Dies reduziert technische Hürden, insbesondere im Bildungsbereich, wo oft unterschiedliche Endgeräte wie Tablets, Smartphones oder Computer im Einsatz sind. Laut Qiao et al. bietet WebXR, speziell im Bereich von mobilen Augmented Reality-Anwendungen, deutliche Vorteile gegenüber nativen Apps

oder hardwareabhängigen Lösungen, da keine zusätzliche Installation erforderlich ist und somit ein einfacher und schneller Zugriff ermöglicht wird [16].

Allerdings existieren bei WebXR-Technologien auch Herausforderungen, insbesondere hinsichtlich der Leistungsfähigkeit und Energieeffizienz. WebXR ist daten- und rechenintensiv, weshalb die technischen Anforderungen an Browser und Endgeräte nicht unterschätzt werden dürfen. Diese Anforderungen machen eine flüssige und hochwertige Darstellung von WebXR-Inhalten zu einer Herausforderung, insbesondere auf weniger leistungsfähigen Geräten [17].

Zusätzlich zu technischen Herausforderungen gibt es jedoch klare Potenziale im Bildungskontext. Durch die mögliche Integration in bestehende Lernmanagementsysteme (LMS) und den relativ einfachen Zugang bietet WebXR ein erhebliches Potenzial für die Erstellung und Verteilung von interaktiven, immersiven Lernmaterialien. Matahari hebt hervor, dass die Nutzung von WebXR im Bildungskontext ein zukunftsweisendes Instrument darstellt, um immersive Lerninhalte ohne komplexe Infrastruktur zur Verfügung zu stellen [18].

Insgesamt stellt WebXR trotz bestehender technischer Hürden eine vielversprechende Technologie dar, die durch ihre Zugänglichkeit und Flexibilität insbesondere im schulischen Kontext großes Potenzial aufweist.

Die Realisierung solcher XR-Erfahrungen im Web erfolgt über spezifische Technologien und Frameworks. Der folgende Abschnitt gibt einen Überblick über die aktuell bedeutendsten Lösungen und ihre Einsatzmöglichkeiten.

3.1.5 Frameworks & Technologien

Ein Framework bezeichnet eine vorgefertigte Software-Struktur, die Entwicklern eine standardisierte und effiziente Grundlage zur Erstellung von Anwendungen bietet. Im Kontext von VR- und AR-Technologien ermöglichen Frameworks, Anwendungen schneller zu entwickeln, indem grundlegende Funktionen wie Rendering, Tracking und Interaktionsmöglichkeiten bereits integriert sind. Frameworks vereinfachen die Entwicklung erheblich und bieten Entwicklern eine strukturierte Arbeitsweise [19].

Die Einteilung von VR- und AR-Technologien erfolgt oft nach der Art und Weise, wie sie Inhalte bereitstellen und von Nutzern konsumiert werden. Web-basierte Technologien wie WebXR ermöglichen den Zugriff über gängige Webbrowser, wohingegen native Technologien wie Apple Quick Look oder Google Scene Viewer spezifische Betriebssysteme nutzen und eng mit nativen Systemfunktionen verzahnt sind.

Zu den bedeutendsten Frameworks und Technologien im Bereich webbasierter XR zählen:

- WebXR API: Eine standardisierte Browser-API, die es ermöglicht, immersive VR- und AR-Erlebnisse direkt im Webbrowser umzusetzen, ohne zusätzliche Plugins oder Anwendungen installieren zu müssen [15].
- A-Frame: Ein Open-Source-Webframework zur Erstellung von VR-Erfahrungen, basierend auf HTML und JavaScript, das vor allem wegen seiner einfachen Handhabung und umfangreichen Community beliebt ist [20].
- Three.js: Eine vielseitige JavaScript-Bibliothek für die Erstellung und Darstellung von 3D-Inhalten direkt im Browser. Sie unterstützt sowohl VR- als auch AR-Anwendungen und bietet vielfältige Möglichkeiten zur Interaktivität und Animation [21].
- Babylon.js: Ein leistungsstarkes WebGL-basiertes Framework, das speziell auf Performance und komplexe 3D-Visualisierungen ausgerichtet ist und ebenfalls für immersive VR-Erfahrungen genutzt werden kann [22].
- Google model-viewer: Eine leichtgewichtige Webkomponente zur Anzeige von 3D-Modellen direkt im Browser – inklusive AR-Unterstützung für Android (Scene Viewer) und iOS (Quick Look). Sie benötigt keine zusätzliche Bibliothek und eignet sich besonders für einfache, plattformübergreifende Einbettungen von 3D-Inhalten per HTML [23].

Neben Web-basierten Frameworks existieren auch plattformspezifische Lösungen:

- Apple Quick Look: Eine Technologie von Apple, die nativ auf iOS-Geräten integriert ist und das einfache Anzeigen und Interagieren mit 3D-Objekten

im USDZ-Format ermöglicht, ohne dass separate Anwendungen erforderlich sind [24].

- Google Scene Viewer: Eine vergleichbare AR-Technologie von Google, die nativ auf Android-Geräten verfügbar ist und es ermöglicht, 3D-Modelle im glTF-Format direkt aus dem Web heraus in einer AR-Umgebung anzuzeigen [25].

Die Auswahl der passenden Technologie oder des passenden Frameworks hängt stark von Faktoren wie Zielplattform, technischer Ausstattung und spezifischen Anforderungen des Nutzungsszenarios ab. Diese Aspekte werden später im Rahmen einer detaillierten Vergleichsanalyse näher betrachtet und bewertet.

Neben der technischen Perspektive ist insbesondere die didaktische Wirksamkeit entscheidend für den erfolgreichen Einsatz von XR im Unterricht. Der nächste Abschnitt beleuchtet daher die pädagogischen Grundlagen und Potenziale immersiver Lernformen.

3.2 Integrationsmöglichkeiten / Schnittstelle LMS

Die nachhaltige und effektive Nutzung von XR-Technologien im Schulunterricht hängt maßgeblich davon ab, wie gut sich entsprechende Anwendungen in bestehende digitale Lernumgebungen integrieren lassen. Hier kommen Lernmanagementsysteme (LMS) ins Spiel – zentrale Plattformen für die Organisation, Bereitstellung und Verwaltung von Lerninhalten.

Ein LMS ist eine webbasierte Softwarelösung, die es Lehrkräften ermöglicht, Unterrichtsmaterialien digital bereitzustellen, Lernfortschritte zu verfolgen und interaktive Elemente wie Aufgaben oder Tests zu integrieren. Schülerinnen und Schüler erhalten darüber zentralen Zugang zu Kursen, Materialien und Feedback [26]. Zu den in Deutschland verbreiteten LMS zählen unter anderem Moodle, die dBildungscloud (entwickelt von Dataport [27]) sowie IServ, die in vielen Schulen standardmäßig eingesetzt werden [28].

Für die Einbindung von XR-Inhalten in LMS ergeben sich aktuell mehrere technische Möglichkeiten:

- Einbettung per iFrame: WebXR-Anwendungen oder 3D-Viewer wie Google Model Viewer können direkt über einen iFrame in Moodle oder ähnliche Plattformen eingebettet werden. Dies erlaubt eine einfache visuelle Integration, ohne dass externe Anwendungen geöffnet werden müssen [29].
- Verlinkung externer Inhalte: Alternativ können XR-Inhalte auch über einfache Hyperlinks eingebunden werden, die zu interaktiven Modellen oder XR-Erlebnissen führen. Besonders Apple Quick Look und Google Scene Viewer nutzen diese Methode, indem sie 3D-Dateien über eine URL aufrufen und geräteabhängig direkt in AR anzeigen.
- LTI-Schnittstellen (Learning Tools Interoperability): Fortgeschrittene LMS wie Moodle unterstützen den offenen Standard LTI, der eine tiefere Integration von externen Tools ermöglicht. WebXR-Anwendungen können über LTI als externe Aktivität eingebunden werden und dabei auch Benutzer- oder Kursdaten verarbeiten – allerdings ist die technische Umsetzung komplex und setzt spezifisches Know-how voraus [30].

Trotz dieser bestehenden Möglichkeiten zeigt sich, dass die Integration von XR in LMS in der schulischen Praxis noch nicht weit verbreitet ist. Technische Hürden wie fehlender WebXR-Support in Safari oder restriktive iPad-Konfigurationen behindern eine flächendeckende Umsetzung. Zudem fehlt es häufig an speziell für den Bildungsbereich konzipierten Tools, die Lehrkräften eine einfache und flexible Einbindung von XR-Inhalten ermöglichen.

Die Zukunftsperspektive ist dennoch vielversprechend: Mit der Weiterentwicklung offener Standards wie WebXR und wachsender Verfügbarkeit kompatibler Endgeräte steigen auch die Chancen für eine umfassende Integration. Besonders browserbasierte XR-Technologien bieten hier Potenzial, da sie keine zusätzlichen Installationen erfordern und somit niedrigschwellig einsetzbar sind – ein entscheidender Vorteil im schulischen Alltag.

Lösungen wie die dBildungscloud gehen einen wichtigen Schritt in diese Richtung, indem sie datenschutzkonforme, offene Schnittstellen bereitstellen und zentrale Zugänge für digitale Inhalte schaffen [27]. Ziel muss es sein, XR-Erlebnisse

nahtlos und barrierefrei in die vorhandenen Lernplattformen zu integrieren, um ihren pädagogischen Mehrwert im Unterricht voll entfalten zu können.

3.3 Didaktische Potenziale von XR im Bildungskontext

Der Einsatz von Virtual und Augmented Reality im Schulunterricht bietet nicht nur technologische, sondern auch didaktische Potenziale. XR-Technologien ermöglichen eine besonders anschauliche, interaktive und erfahrungsbasierte Wissensvermittlung, die traditionelle Lehrmethoden sinnvoll ergänzen kann. Damit dies gelingt, ist ein grundlegendes Verständnis der lernpsychologischen Hintergründe notwendig. Dieses Kapitel gibt daher einen kompakten Überblick über zentrale didaktische Ansätze, die den Einsatz von XR im Unterricht begründen, und zeigt exemplarisch auf, welche Chancen und Herausforderungen sich dabei ergeben.

3.3.1 Lernen mit Medien

Lernen ist ein aktiver, individueller Prozess, der durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst wird – darunter Motivation, Vorwissen, soziale Interaktionen und die Lernumgebung. In der modernen Pädagogik hat sich ein konstruktivistisches Lernverständnis etabliert: Wissen wird demnach nicht passiv aufgenommen, sondern aktiv konstruiert. Medien, insbesondere digitale Medien, können diesen Prozess unterstützen, indem sie vielfältige Repräsentationen, Feedbackmöglichkeiten und explorative Zugänge bieten [31].

Der mediendidaktische Diskurs versteht mediengestütztes Lernen als bewusst geplante, methodisch strukturierte Einbettung von Medien in Lehr-Lernprozesse. Bereits seit dem 20. Jahrhundert gehört die Nutzung technischer Medien zur Unterrichtspraxis, vorausgesetzt sie sind didaktisch sinnvoll konzipiert und auf Lernziele abgestimmt [31]. Dabei ist nicht die Technik an sich entscheidend, sondern deren pädagogisch reflektierter Einsatz. Besonders Blended Learning – also die didaktisch durchdachte Kombination von Präsenzunterricht mit digitalen

Elementen – wird in der aktuellen Forschung als zukunftsweisender Ansatz hervorgehoben, gerade in der Lehrkräftebildung [31].

Wie Reinmann betont, sollten neue Medien nicht lediglich additiv verwendet werden, sondern ihre spezifischen Stärken bewusst und kontextsensibel genutzt werden [31, S. 7]. Dies schließt ein, Lernziele sorgfältig zu definieren, passende Materialien auszuwählen und Lernprozesse gezielt zu gestalten.

3.3.2 Aktivierende Lernszenarien durch XR

Vor dem Hintergrund konstruktivistischer Lerntheorien bieten XR-Technologien besondere Potenziale für eine aktivierende und erfahrungsorientierte Lernkultur [31]. Sowohl Virtual als auch Augmented Reality ermöglichen es, Lerninhalte nicht nur passiv zu rezipieren, sondern durch multisensorische, räumliche und explorative Zugänge aktiv zu erschließen. Dies fördert Lernprozesse, die auf eigenständigem Handeln, Perspektivwechsel und konkreter Erfahrung beruhen – zentrale Aspekte moderner Lerntheorien [31].

Als theoretischer Bezugsrahmen kann die überarbeitete Taxonomie von Bloom dienen, die kognitive Lernziele hierarchisch von einfachen (z. B. Erinnern, Verstehen) bis zu komplexen (z. B. Bewerten, Erschaffen) Denkprozessen differenziert [32]. Diese Stufen sind in Abbildung 5 dargestellt. XR-Anwendungen können prinzipiell auf allen Ebenen dieser Taxonomie ansetzen: Sie unterstützen das Verstehen durch Visualisierung, ermöglichen Anwendung durch Simulationen und fördern sogar kreative Problemlösungsprozesse in offenen, explorativen Lernumgebungen.

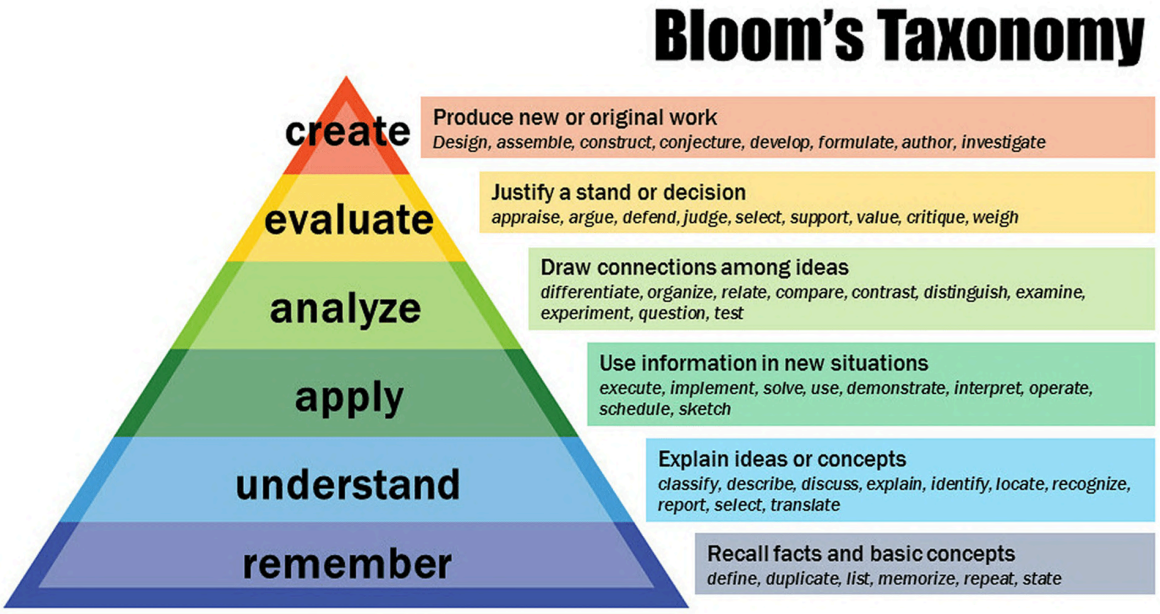


Abbildung 5: Blooms überarbeitete Taxonomie (Quelle: Vanderbilt University Center for Teaching, CC BY 2.0 [33])

AR und VR ermöglichen genau solche interaktiven Lernumgebungen: Lernende können Prozesse simulieren, sich in fremde Perspektiven hineinversetzen oder mit virtuellen Objekten explorativ arbeiten. Solche Szenarien sind besonders geeignet, wenn es um komplexe, abstrakte oder schwer zugängliche Inhalte geht – beispielsweise in der Biologie, Geschichte oder Technik [34].

Aktuelle Studien bestätigen diese Potenziale: Eine systematische Übersichtsarbeit von Talia Tene und weiteren zeigt, dass immersive Technologien in verschiedenen Kontexten der MINT-Bildung (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik) signifikant zur Steigerung von Engagement und Lernleistung beitragen. Dabei wurden insbesondere positive Effekte bei der Vermittlung komplexer Konzepte und der Motivation der Lernenden festgestellt [1].

3.3.3 Chancen und Herausforderungen im Schulkontext

Ein zentraler Vorteil von XR im Schulkontext liegt in der gesteigerten Lernmotivation. Durch interaktive und anschauliche Darstellungen können Inhalte emotional ansprechender vermittelt werden [31]. Darüber hinaus ermöglichen XR-Technologien multisensorisches Lernen, das verschiedene Lernstile adressiert

[1]. Besonders browserbasierte WebXR-Lösungen senken die Zugangshürden, da sie keine Installation erfordern und auf vorhandenen Geräten direkt nutzbar sind.

Diese Potenziale stehen jedoch auch vor bestimmten Herausforderungen in der schulischen Praxis: Viele mobile Endgeräte bieten nur eingeschränkte Immersionserfahrungen. Technische Barrieren wie fehlende WebXR-Kompatibilität in Safari oder komplexe LMS-Integrationen behindern den Einsatz. Zusätzlich benötigen Lehrkräfte sowohl technische als auch didaktische Schulungen, um XR sinnvoll in ihre Unterrichtskonzepte einzubinden.

3.3.4 Didaktische Einordnung

Die bisherigen Ausführungen zeigen, dass XR-Technologien das Potenzial besitzen, erfahrungsbasiertes, aktives und individuelles Lernen zu fördern. Eine zentrale didaktische Aufgabe liegt jedoch darin, diese Potenziale gezielt im jeweiligen Bildungskontext zu verankern – abhängig von Zielgruppe, Fach, Lernzielen und verfügbaren Ressourcen. Eine pauschale Bewertung ist an dieser Stelle nicht sinnvoll. In den folgenden Kapiteln wird daher praxisnäher untersucht, welche Technologien sich für den schulischen Alltag konkret eignen und wie sie konzeptionell eingebunden werden können.

4 Aktueller Stand in der Bildung

Der Einsatz immersiver Technologien wie Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) wird in der Bildung seit Jahren als zukunftsweisend diskutiert. Erste Pilotprojekte zeigen, welches Potenzial diese Technologien zur Veranschaulichung komplexer Inhalte oder zur Förderung interaktiver Lernprozesse bieten. In der Praxis hat sich die flächendeckende Integration jedoch bislang kaum durchgesetzt.

4.1 Zwischen Innovation und Realität: Aktuelle Nutzung in Schulen

Zwar existieren einzelne Vorzeigeprojekte wie das Berufliche Schulzentrum Kronach („XRXplorer Schule") [35] oder Plattformen wie *ClassVR*, die speziell auf Schulen zugeschnittene VR-Lösungen samt passender Hardware und Lerneinheiten anbieten [36]. Auch wissenschaftliche Einrichtungen wie das Institut für Sonderpädagogik der Universität Würzburg evaluieren gezielt Einsatzmöglichkeiten von VR/AR im Unterricht [37].

Solche Beispiele sind jedoch bislang eher als isolierte Insellösungen zu verstehen – gefördert durch externe Mittel, begleitet von Fortbildungen und häufig an proprietäre Hardware gebunden.

Ein wesentliches Hindernis für die Breitenanwendung liegt in der technischen Einstiegshürde: Die meisten VR-Systeme erfordern spezielle Endgeräte wie VR-Brillen (z. B. Meta Quest 3) sowie eine entsprechende Infrastruktur für Konfiguration, Softwarepflege und Betreuung im Unterricht. Das verursacht nicht nur zusätzliche Kosten, sondern auch erheblichen Schulungs- und Betreuungsaufwand für Lehrkräfte [28, Kap. 7.2].

4.2 Realistische Adaption: Aktueller Bedarf und Trends

Eine Analyse aktueller Google-Trends-Daten für Deutschland zeigt, dass das öffentliche Interesse an dem Thema „Virtuelle Realität" seit mehreren Jahren keinen kontinuierlichen Anstieg verzeichnet. Stattdessen lassen sich wiederkehrende Ausschläge (Spikes) beobachten, die in unregelmäßigen Abständen auftreten – beispielsweise im Zusammenhang mit Produktveröffentlichungen oder Medienberichterstattung. Zwischen diesen Spitzen stagniert das Suchinteresse jedoch weitgehend. Im Vergleich zu etablierten Bildungstechnologien wie Tablets, digitalen Tafeln oder Lernplattformen bleibt das Interesse insgesamt auf einem moderaten Niveau [39].

Auch in Lehrerfortbildungen und medienpädagogischen Konzepten der Bundesländer spielt immersive XR-Technologie bislang nur eine nachgeordnete Rolle. Vorrang erhalten in der Praxis häufig wartungsarme, browserbasierte Anwendungen, die ohne zusätzliche Hardware auskommen und sich niedrigschwellig in bestehende Unterrichtsabläufe integrieren lassen [40].

4.3 Fazit: Hohes Potenzial – aber hohe Schwelle

Zusammenfassend lässt sich sagen: Obwohl immersive Technologien wie VR pädagogisch vielversprechend sind, bestehen in der schulischen Realität nach wie vor hohe Einstiegshürden. Die meisten aktuellen XR-Angebote setzen auf dedizierte Hardware, kostenpflichtige Lizenzen und aufwendige Einführungen – Faktoren, die einer flächendeckenden Integration entgegenstehen.

Insbesondere browserbasierte WebXR-Lösungen ohne App-Installation oder zusätzliche Hardware könnten hier eine Brücke schlagen. Sie verbinden das Potenzial immersiver Inhalte mit der Alltagstauglichkeit digitaler Schulgeräte und passen besser zu den realen Bedingungen im Schulalltag.

5 Vergleich und Auswahl geeigneter Technologien

In diesem Kapitel wird ein Vergleich aktueller webbasierter XR-Technologien durchgeführt, um herauszufinden, welche Lösung sich am besten für den Einsatz im schulischen Kontext eignet. Ziel ist es, eine fundierte Entscheidung für die spätere prototypische Entwicklung zu treffen.

5.1 Plattformunterstützung und Webstandards-Kompatibilität

Webbasierte XR-Technologien ermöglichen den Zugriff auf AR und VR Inhalte direkt im Browser, ohne zusätzliche Apps installieren zu müssen. Insbesondere im schulischen Kontext mit iPad-Klassen ist die Unterstützung von iOS entscheidend. Allerdings unterstützt Safari unter iOS derzeit kein WebXR für immersive AR-Erlebnisse [2]. Offen standardisierte WebXR-Anwendungen (etwa mit Frameworks wie A-Frame) können deshalb auf iPads nur eingeschränkt genutzt werden – z. B. in Form von markerbasierter AR (über die Kamera und Bibliotheken wie AR.js) anstelle von flächenbasierter AR [41].

Apple bietet hierfür seine eigene Lösung AR Quick Look, einen systemweit integrierten AR-Viewer in iOS, der 3D-Modelle im USDZ-Format mithilfe von ARKit in Safari oder anderen Apps darstellen kann [24]. Für Android steht mit Scene Viewer ein ähnlicher Ansatz zur Verfügung, der AR-Inhalte via ARCore direkt aus dem Browser heraus anzeigt [25]. Diese herstellerspezifischen Viewer sind auf ihren jeweiligen Plattformen verankert (Quick Look nur auf iPhone/iPad, Scene Viewer nur auf ARCore-fähigen Android-Geräten) und gewährleisten dort hohe Performance und Stabilität, bieten aber keine plattformübergreifende Einheitlichkeit.

Um Cross-Plattform-AR dennoch umzusetzen, setzt Google auf das Web-Component-Framework “model-viewer”. Dieses vereinheitlicht die Unterschiede: Es nutzt auf Android bevorzugt WebXR im Chrome-Browser oder fällt alternativ auf den nativen Scene Viewer zurück, und auf iOS greift es automatisch auf Quick Look zurück [23]. Dadurch kann ein Entwickler mit ein und demselben HTML-Element AR-Inhalte anbieten, die sowohl auf Android als

auch iOS funktionieren – ein großer Vorteil im schulischen BYOD-Szenario (Bring Your Own Device).

GLTF/GLB hat sich dabei als offener 3D-Webstandard etabliert, um 3D-Modelle effizient im Web bereitzustellen [6], während Apple parallel auf USDZ als Format setzt. Für die schulische Praxis bedeutet dies, dass 3D-Inhalte idealerweise in beiden Formaten vorliegen sollten, um auf allen Geräten nutzbar zu sein. Die Nutzung offener Standards wie glTF und WebXR fördert langfristig die Wartbarkeit und Unabhängigkeit von einzelnen Anbietern [15]– im aktuellen Fall muss jedoch aufgrund von Apples WebXR-Lücke auf dessen herstellerspezifischen Weg ausgewichen werden.

Unity WebGL als Technologie ist prinzipiell plattformunabhängig im Browser lauffähig, wird aber von Unity offiziell nicht für mobile Geräte unterstützt [42]. Insbesondere auf iPads kann eine umfangreiche Unity-WebGL-Anwendung aufgrund von Speicher- und Performance-Limits instabil laufen oder gar abstürzen. Für einfache XR-Szenarien im Unterricht bieten sich daher eher die nativen Web-AR-Viewer (Quick Look/Scene Viewer) oder leichte Frameworks an, da sie ohne Zusatzinstallationen direkt auf der Zielplattform arbeiten.

5.2 Polyfills als Übergangslösung bei fehlendem WebXR-Support

Eine besondere Rolle bei der Kompatibilitätsfrage spielen sogenannte Polyfills. Dabei handelt es sich um JavaScript-basierte Lösungen, die fehlende Funktionen in bestimmten Browsern simulieren oder nachbilden. Für WebXR bedeutet das, dass immersive Inhalte – z. B. AR in Safari – auch dann nutzbar gemacht werden können, wenn der Browser die WebXR-API nicht nativ unterstützt. Ein Beispiel hierfür ist die Verwendung von WebXR Polyfill oder Frameworks wie AR.js, die auf markerbasierte AR setzen und über Kamerazugriff einfache XR-Erfahrungen im Browser ermöglichen. Zwar sind solche Lösungen technisch limitiert – etwa in Bezug auf Performance, Tracking oder Interaktivität – dennoch bieten sie im schulischen Alltag einen wertvollen Kompromiss: Sie senken die Einstiegshürde und machen XR-Anwendungen auf Geräten nutzbar, die WebXR eigentlich nicht unterstützen.

5.3 Tabellarischer Vergleich

Die Auswahlkriterien für den folgenden tabellarischen Vergleich basieren auf den Zielsetzungen dieser Arbeit sowie auf praxisnahen Anforderungen, die sich aus dem schulischen Einsatz digitaler Technologien ergeben. Berücksichtigt wurden sowohl funktionale als auch nicht-funktionale Anforderungen, um eine differenzierte Bewertung aktueller XR-Technologien im schulischen Kontext zu ermöglichen.

Die Kriterien wurden aus folgenden Quellen und Perspektiven abgeleitet:

- Didaktische Anforderungen (vgl. Kapitel 3.3): Hierzu zählen insbesondere die anschauliche Darstellung von Inhalten, eine einfache Bedienung durch Lehrkräfte ohne technische Vorkenntnisse sowie die Integration in bestehende Lernplattformen (z. B. Moodle, IServ, dBildungscloud).
- Technisch-organisatorische Rahmenbedingungen an Schulen: Dazu gehören die verbreitete Nutzung mobiler Endgeräte wie iPads und Chromebooks, restriktive Installationsrechte sowie heterogene Geräteinfrastrukturen im Rahmen sogenannter BYOD-Szenarien („Bring Your Own Device“).
- Empirische Erkenntnisse aus den durchgeführten Interviews und der begleitenden Online-Umfrage (vgl. Kapitel 8): Insbesondere wurden hier Rückmeldungen zur Benutzerfreundlichkeit, zur plattformübergreifenden Nutzbarkeit sowie zum Wunsch nach LMS-kompatiblen Lösungen berücksichtigt.
- Funktionale Eigenschaften der betrachteten Technologien auf Basis offizieller technischer Dokumentationen, Entwicklerportale sowie einschlägiger Literatur (vgl. Kapitel 3.1.4 und 3.1.5).

Zur Einordnung der nicht-funktionalen Anforderungen wird ergänzend das Qualitätsmodell ISO/IEC 25010 herangezogen. Es dient der systematischen Beschreibung und Bewertung von Software Eigenschaften und umfasst Merkmale wie Gebrauchstauglichkeit (Usability), Kompatibilität, Portabilität und Wartbarkeit [43]. Diese Perspektive ist insbesondere für die Auswahl praxistauglicher und nachhaltiger Technologien im schulischen Umfeld von Bedeutung.

Die Vergleichstabelle im Anschluss bildet somit zentrale Anforderungen ab, die für den konkreten Einsatz webbasierter XR-Technologien im Unterricht entscheidungsrelevant sind. Die Ergebnisse dienen zugleich als Grundlage für die Auswahl der Technologie im prototypischen Anwendungsszenario.

Tabelle 1: Technologie-Vergleich

Kriterium	Apple Quick Look	Google Scene Viewer	model-viewer	WebXR (A-Frame)	Unity WebGL
Funktioniert auf iPad (Safari)?	Ja (nativ integriert)	Nein	Ja (über Quick Look)	Beschränkt[3]	Teilweise[4]
Funktioniert auf Android?	Nein	Ja (nativ integriert)	Ja (über Scene Viewer)	Ja	Teilweise[5]
Nutzung ohne App möglich?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Einbindung in Moodle etc.?	Einfach per Link/iFrame	Einfach per Link/iFrame	HTML/iFrame möglich	Mit technischem Aufwand	Möglich mit Hosting
Interaktivität (z. B. Buttons)?	Beschränkt	Beschränkt	Hotspots, Animationen möglich	Voll interaktiv	Voll interaktiv (aufwendig)
Nutzung von 3D-Modellen	Ja (USDZ-Format nötig)	Ja (glTF-Format nötig)	Ja (glTF & USDZ möglich)	Möglich, technischer Aufwand	Nur mit Entwickler-kenntnissen
Eignung für Lehrkräfte ohne IT-Kenntnisse	Sehr gut	Sehr gut	Gut (Basis-HTML nötig)	Weniger geeignet	Nicht geeignet
Empfohlen für …	iPads, spontaner Einsatz	Android, einfache AR	gemischte Endgeräte	Informatik-projekte	Komplexe Simulationen

(eigene Darstellung)

[3] Kein WebXR-Support unter Safari (iOS)
[4] Einschränkungen bei Leistung und Stabilität auf mobilen Geräten
[5] Abhängig vom verwendeten Browser und Gerät

5.4 Stärken-Schwächen-Analyse

Die folgende SWOT-Analyse (Abkürzung für Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) fasst die wesentlichen Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken der untersuchten XR-Technologien zusammen. Sie bietet eine strukturierte Übersicht über die wichtigsten Erkenntnisse aus dem Vergleich und dient als Grundlage für die anschließende Auswahlentscheidung. Dabei wurden sowohl technische Kriterien als auch pädagogische und organisatorische Aspekte berücksichtigt, um den besonderen Anforderungen des schulischen Einsatzes gerecht zu werden.

Tabelle 2: SWOT-Analyse

Stärken	Schwächen
• Kein App-Download nötig (Quick Look, Scene Viewer) • Plattformübergreifend (model-viewer) • Offene Standards fördern Interoperabilität • Einfache Einbindung in LMS möglich	• Kein WebXR-Support auf Safari/iOS • Unity instabil auf mobilen Geräten • Geringe Interaktivität bei Quick Look/Scene Viewer • Technisch komplexe LMS-Integration bei A-Frame/Unity
Chancen	**Risiken**
• Wachsende Akzeptanz von XR im Unterricht • Verfügbare 3D-Modelle aus Museen u. a. • Fortschritte bei WebXR (z. B. DOM-Overlays[6]) • Kombination von LMS & model-viewer als Einstieg	• Unterschiedliche Geräteformate (USDZ/glTF) nötig • Unklarheit in Schulen bzgl. Zuständigkeit/Know-how • Aufwand für Lehrkräfte • Fehlende Standardisierung bei WebXR

(eigene Darstellung)

Die SWOT-Analyse zeigt deutlich, dass insbesondere model-viewer durch seine plattformübergreifende Nutzbarkeit und einfache Integration in Lernumgebungen

[6] DOM-Overlays sind HTML-Elemente, die über eine Webanwendung gelegt werden, um z. B. interaktive Inhalte oder Benutzeroberflächen bereitzustellen, ohne die zugrunde liegende Anwendung direkt zu verändern.

einen pragmatischen Einstieg für den schulischen Einsatz bietet. Die größten Hürden ergeben sich hingegen bei interaktiveren Frameworks wie A-Frame (WebXR) oder Unity, die zwar technisch flexibler sind, aber deutlich mehr Aufwand in der Anwendung und im technischen Support bedeuten. Gleichzeitig wird deutlich, dass technologische Fortschritte – wie z. B. DOM Overlays in WebXR – in Zukunft neue Möglichkeiten eröffnen könnten, die aktuell noch nicht stabil oder weit verbreitet sind. Die Erkenntnisse dieser Analyse bilden die Grundlage für die Auswahl der Technologie im folgenden Prototypen.

5.5 Auswahlentscheidung

Der Vergleich zeigt, dass es derzeit keine universell perfekte Lösung für den schulischen Einsatz von XR gibt. Während WebXR (z. B. mit A-Frame) das größte Potenzial für interaktive und immersive Lernanwendungen bietet, ist die mangelnde Unterstützung unter Safari/iOS ein gravierender Nachteil – insbesondere in iPad-Klassen, die im Schulalltag weit verbreitet sind [44]. Auch Unity WebGL, obwohl technisch leistungsfähig, ist aufgrund seiner hohen Hardware-Anforderungen, der fehlenden mobilen Kompatibilität und des Entwicklungsaufwands für den schulischen Einsatz eher ungeeignet.

In Abwägung aller technischen, organisatorischen und didaktischen Faktoren bietet model-viewer aktuell den besten Kompromiss für den prototypischen Einsatz:

- Technisch ist es plattformübergreifend einsetzbar, funktioniert sowohl auf Android (über Scene Viewer) als auch iOS (über Quick Look), ohne dass zusätzliche Apps installiert werden müssen.
- Es unterstützt die gängigen 3D-Formate (glTF/GLB und USDZ), die zunehmend standardisiert in Bildungsdatenbanken wie Sketchfab oder Museen verfügbar sind.
- Die Integration in bestehende Lernplattformen (z. B. Moodle, dBildungscloud) ist mit einfachen HTML-Tags oder iFrames umsetzbar, was die Hürde für Schulen mit bestehender Infrastruktur deutlich senkt.

- Didaktisch erlaubt model-viewer grundlegende Interaktivität – etwa durch Annotationen oder die Kombination mit textlichen Aufgabenstellungen. Damit lassen sich nicht nur visuelle Inhalte zeigen, sondern auch einfache didaktische Szenarien umsetzen.
- Pädagogisch-praktisch ist besonders hervorzuheben, dass das Tool auch von Lehrkräften ohne tiefere IT-Kenntnisse bedient werden kann – ein entscheidender Punkt im schulischen Alltag.

Darüber hinaus tragen die Erkenntnisse aus der Umfrage sowie geplante Interviews zur fundierten Entscheidungsfindung bei. Sie geben Aufschluss darüber, welche Anforderungen, Erwartungen und technischen Rahmenbedingungen tatsächlich an Schulen vorherrschen. Diese empirische Grundlage wird im folgenden Kapitel zur Konzeption systematisch einbezogen und ergänzt die technische Analyse um eine nutzerzentrierte Perspektive.

Die Auswahl von model-viewer als Kerntechnologie ermöglicht damit einen niedrigschwelligen, praxistauglichen Einstieg in die XR-Welt des schulischen Lernens – mit einer Lösung, die realistisch einsetzbar, didaktisch sinnvoll und technisch skalierbar ist. Gleichzeitig bleibt das System erweiterbar: Für spezielle Einsatzzwecke oder fortgeschrittene Anwendungen kann perspektivisch WebXR oder A-Frame integriert werden, sobald sich der technische Support – insbesondere auf iOS – verbessert.

6 Konzeption

Im Zentrum dieser Arbeit steht die nutzerzentrierte Entwicklung einer webbasierten XR-Anwendung für den schulischen Einsatz. Um eine möglichst praxisnahe, zugängliche und didaktisch anschlussfähige Lösung zu entwickeln, wurde ein iteratives Vorgehen gewählt, das sich am Human-Centered Design Process (HCDP) orientiert. Dieser strukturierte Ansatz stellt die tatsächlichen Bedürfnisse und Kontexte der Zielgruppe – in diesem Fall Lehrkräfte – konsequent in den Mittelpunkt aller Gestaltungsentscheidungen [45].

Das folgende Kapitel beschreibt das methodische Vorgehen sowie die vier Phasen des Designprozesses: Discover, Define, Develop und Deliver. Dabei wird deutlich, wie Nutzerfeedback, kontextuelle Anforderungen und technische Möglichkeiten zu einem tragfähigen, realitätsnahen Konzept zusammengeführt wurden.

6.1 Methodisches Vorgehen

Der HCDP bietet einen erprobten Rahmen zur Entwicklung digitaler Produkte, die eng an den Bedürfnissen der Nutzer ausgerichtet sind [45]. Die gewählte Struktur – bestehend aus den Phasen Discover, Define, Develop und Deliver – wurde speziell für den schulischen Kontext adaptiert und diente als Grundlage für Konzeption und Umsetzung des Prototyps.

6.1.1 Discover – Kontext verstehen und Bedürfnisse identifizieren

Ziel dieser Phase war es, ein tiefes Verständnis für den Nutzungskontext, die Zielgruppe und deren Herausforderungen im schulischen Alltag zu erlangen. Hierzu wurden mehrere Methoden kombiniert:

- Eine Online-Umfrage mit Lehrkräften zur technischen Ausstattung, Nutzung digitaler Medien und Akzeptanz von XR-Formaten
- Halbstrukturierte Interviews mit zwei Lehrpersonen unterschiedlicher Schulformen (vgl. Kapitel 8.2)

- Eine User Journey Map, die typische Interaktionsverläufe vor, während und nach dem Unterricht beschreibt
- Analyse relevanter Literatur und Praxisberichte zu XR im Bildungsbereich

Besonderes Augenmerk lag auf Barrieren wie fehlender Infrastruktur, begrenzter Einarbeitungszeit und technischer Heterogenität.

6.1.2 Define – Anforderungen formulieren und Zielbild ableiten

Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse wurden konkrete Anforderungen formuliert. Dabei wurde zwischen funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen unterschieden (vgl. Kapitel 6.3). Zur besseren Orientierung dienten dabei:

- Rückmeldungen aus Umfrage und Interviews
- Technisch-didaktische Standards (z. B. ISO/IEC 25010)
- Personas, die typische Nutzergruppen (Technikaffine, Pragmatische, Skeptische) abbilden (vgl. Kapitel 6.4)

Ergänzend wurden fünf zentrale Use Cases (vgl. Kapitel 6.4) entwickelt, die typische schulische Anwendungssituationen abdecken und als Grundlage für die spätere UI[7]-Logik dienten.

6.1.3 Develop – Prototyping und iterative Verfeinerung

In der dritten Phase wurden erste Ideen als Papierprototypen skizziert und anschließend als klickbare Mid-Fidelity-Interfaces in Figma umgesetzt. Ziel war es, zentrale Nutzungsszenarien mit minimalem visuellen Aufwand testbar zu machen. Folgende Prinzipien leiteten das Design:

- Orientierung an bekannten UI-Mustern (z. B. Moodle)
- Fokus auf Funktionalität statt Ästhetik (Greybox-Stil)

[7] UI steht für "User Interface" und meint dabei die Grafische Oberfläche der Anwendung

- Feedback- und Testzyklen mit Kommilitonen, die den Personas entsprachen

Diese Phase dient insbesondere der Überprüfung von Nutzerführung, Verständlichkeit und Interaktionslogik.

6.1.4 Deliver – Umsetzung und Evaluation

Auf Basis der Prototyp-Tests wurde ein funktionsfähiger Prototyp entwickelt, der folgende Merkmale aufwies:

- Darstellung und Annotation von 3D-Modellen direkt im Browser mittels model-viewer
- Erstellen von Aufgaben zu den dazugehörigen 3D-Modellen
- Integration in Moodle per LTI-Standard
- Differenzierte Rollenlogik (Lehrkraft/Schüler:in) und Aufgabenstrukturierung

Die Evaluation erfolgte erst im Rahmen von kriteriengeleiteten Selbsttests und qualitativen Nutzertests. Dabei wurden Usability, didaktischer Mehrwert und technische Machbarkeit überprüft. Die Ergebnisse flossen teils in die finale Überarbeitung des Tools, aber auch in den Ausblick für zukünftige Weiterentwicklungen ein.

6.2 Zielgruppendefinition

Die Zielgruppe dieser Arbeit setzt sich aus Lehrkräften an weiterführenden Schulen zusammen, insbesondere aus der Sekundarstufe I und II. Im Fokus stehen Pädagogen, die mit digitalen Geräten wie iPads, Notebooks oder interaktiven Whiteboards unterrichten und dabei Lernmanagementsysteme (LMS) wie Moodle, IServ oder die dBildungscloud nutzen.

Basierend auf der Online-Umfrage (vgl. Kapitel 8.2) und qualitativen Interviews (vgl. Kapitel 8.2) wurde die Zielgruppe in drei prototypische Nutzergruppen segmentiert. Diese Segmentierung berücksichtigt sowohl Technikkompetenz als

auch didaktische Zielsetzungen, Nutzungsverhalten und Frustrationen im Umgang mit digitalen Medien:

1. Digital Pioniere: Jüngere, technikaffine Lehrkräfte, die regelmäßig neue Tools und XR-Technologien in ihren Unterricht integrieren. Sie haben hohe Erwartungen an Erweiterbarkeit, Interaktivität und LMS-Kompatibilität. Ihr Ziel ist es, innovative, immersive Lernformate zu entwickeln, die exploratives Lernen ermöglichen.
2. Pragmatische Anwender: Erfahrene Lehrkräfte mit solider Technikbasis. Sie nutzen digitale Tools wie Moodle und iPads regelmäßig, haben aber begrenzte zeitliche Ressourcen für aufwendige Einarbeitungen. Diese Zielgruppe sucht nach einfach zu integrierenden Lösungen mit klarer Struktur und didaktischem Mehrwert.
3. Digital Skeptische: Lehrkräfte mit niedriger Technikaffinität, meist älteren Jahrgangs. Sie wünschen sich extrem einfache, intuitive Werkzeuge, die ohne technische Vorkenntnisse nutzbar sind. Für sie steht nicht Innovation, sondern die didaktische Unterstützung ohne zusätzlichen Aufwand im Vordergrund.

Diese differenzierte Zielgruppeneinteilung basiert auf dem Prinzip des Human-Centered Design und bildet die Grundlage für alle konzeptionellen Entscheidungen (Kap. 6.3 ff.). Sie wurde durch zwei Interviews und eine Umfrage validiert, die typische Herausforderungen und Erwartungen im Umgang mit XR im Schulkontext aufzeigen. Besonders deutlich wurde dabei, dass Zeitaufwand, Plattformkompatibilität und didaktischer Nutzen zentrale Faktoren für die Akzeptanz sind – unabhängig von der Technikaffinität.

Die Personas, die diese Zielgruppen repräsentieren, werden in Kapitel 6.4 detailliert vorgestellt. Gemeinsam bilden sie das Fundament für die Entwicklung von Use Cases, Prototyp-Funktionen und Evaluationskriterien.

6.3 Anforderungen

Die folgenden Anforderungen wurden auf Grundlage einer mehrschichtigen, methodisch triangulierten Herangehensweise entwickelt. Dabei flossen mehrere

Perspektiven und Datenquellen ein, um ein möglichst realistisches und praxisnahes Anforderungsprofil zu erstellen.

Zum einen wurden didaktische und technische Erkenntnisse aus der Fachliteratur berücksichtigt (vgl. Kapitel 3), ergänzt durch qualitative Rückmeldungen aus der Online-Umfrage sowie den leitfadengestützten Interviews mit Lehrkräften (vgl. Kapitel 8). Zusätzlich wurden konkrete Bedürfnisse und Nutzungssituationen auf Basis einer User Journey Map identifiziert (vgl. Kapitel 6.4), die typische Interaktionsverläufe im Schulalltag abbildet.

Berücksichtigt wurden darüber hinaus die technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen, wie sie typischerweise an öffentlichen Schulen bestehen – etwa im Hinblick auf Geräteverfügbarkeit, Datenschutzvorgaben oder LMS-Integrationen.

Als weiteres Fundament dienten die Qualitätskriterien nach ISO/IEC 25010, einem international anerkannten Standard zur Bewertung von Softwarequalität. Dieser definiert zentrale Eigenschaften wie Benutzbarkeit, Kompatibilität, Wartbarkeit oder Effizienz, die auch für digitale Bildungsanwendungen eine wichtige Rolle spielen [43].

Auf dieser Basis ergibt sich das folgende Anforderungsprofil, das als Grundlage für Konzeption, Entwicklung und Evaluation des Prototyps dient.

- Erkenntnisse aus der Fachliteratur (vgl. Kapitel 3)
- Rückmeldungen aus der Online-Umfrage und den Interviews (vgl. Kapitel 8)
- Ergebnisse aus der User Journey Map (vgl. Kapitel 6.4)
- Technische und organisatorische Rahmenbedingungen an Schulen
- Qualitätskriterien gemäß ISO/IEC 25010 (Softwarequalität)

Tabelle 3: Anforderungen

ID	Anforderung	Typ	Quelle
F-01[8]	Anzeige von 3D-Modellen im Browser	Funktional	Keine App-Installation nötig, intuitive Nutzung (Kap. 5.3, 6.4)
F-02	Unterstützung von glTF/GLB und USDZ	Funktional	Plattformkompatibilität für iOS/Android (Kap. 3.1.1, 5.1, BYOD-Szenarien)
F-03	Hotspots / Annotationen in Modellen	Funktional	Didaktischer Mehrwert durch Interaktion (Kap. 3.2.2, Interviews)
F-04	Integration in bestehende Kurse	Funktional	Integration in bestehende LMS & Offline-Nutzung (Kap. 3.3, Interviews, 6.4)
F-05	Integration per iFrame in Moodle/dBildungscloud	Funktional	LMS-Kompatibilität (Kap. 3.3, Interview, Use Case UC3)
F-06	Hinzufügen von Text, Bild und Video	Funktional	Multimediale Anreicherung (Kap. 3.2.2, Interviews, Use Case UC1)
F-07	Upload eigener 3D-Modelle durch Lehrkräfte	Funktional	Flexibilität & Individualisierung (Zielsetzung, Use Case UC1)
F-08	Aufgabenformulierung im Tool integrierbar	Funktional	Lernzielorientierung und Steuerung (Kap. 3.2.5, Interview, Use Case UC3)
F-09	Feedbackfunktion zu Lernaktivität / Modellinteraktion	Funktional	Automatisierte Rückmeldung (Interview, Persona Martin, User Journey Nachbereitung)
NF-01[9]	Plattformunabhängigkeit (iOS, Android, Desktop)	Nicht-funktional	Gerätevielfalt im Unterricht (Kap. 5.1, Umfrage, Interview)
NF-02	Bedienbarkeit ohne technisches Vorwissen	Nicht-funktional	Zielgruppenvielfalt (Kap. 6.2, Personas Martin & Peter)
NF-03	Keine Softwareinstallation erforderlich	Nicht-funktional	Niedrige Einstiegshürde (Kap. 2.1, 5.5)
NF-04	Ladezeit < 5 Sekunden bei Standardmodell	Nicht-funktional	Performance und Stabilität (ISO 25010)

[8] F-XX = Funktionale Anforderungen (Was soll die Software tun?)
[9] NF-XX = Nicht-funktionale Anforderungen (Wie soll sie es tun?)

NF-05	DSGVO-konforme Nutzung ohne Benutzerkonto	Nicht-funktional	Datenschutz an Schulen (Kap. 3.3, Interview)
NF-06	Kompatibilität mit restriktiven Schulnetzwerken	Nicht-funktional	Praxisanforderungen aus Interviews
NF-07	Erweiterbarkeit (z. B. Modellbibliothek, Gamification)	Nicht-funktional	Zukunftsfähigkeit & Anschlussfähigkeit (Kap. 9, Persona Lena)
NF-08	Barrierearme Nutzung (z. B. Kontrast, Bedienung)	Nicht-funktional	ISO 25010: Usability & Accessibility

(eigene Darstellung)

6.4 Personas und User Journeys

Im Rahmen des nutzerzentrierten Gestaltungsprozesses wurden drei exemplarische Personas entwickelt, die typische Lehrkraft-Typen im deutschen Schulkontext repräsentieren. Ziel war es, zentrale Bedürfnisse, Motivationstreiber sowie Frustrationen im Umgang mit XR-Technologien im schulischen Alltag sichtbar zu machen und daraus Gestaltungsempfehlungen für die spätere Anwendung abzuleiten.

Die Entwicklung der Personas basiert auf der Online-Umfrage (vgl. Kapitel 8), ergänzt durch qualitative Einblicke aus einem leitfadengestützten Experteninterview mit einer Gymnasiallehrkraft. Die gewählten Personas spiegeln unterschiedliche Grade an Technikaffinität, didaktischer Innovationsbereitschaft und Alltagspraxis wider. Gemeinsam bilden sie ein heterogenes, aber realistisches Spektrum der Zielgruppe ab.

1. Lena Richter repräsentiert die technikaffine Generation jüngerer Lehrkräfte, die digitale Tools aktiv einsetzt und XR-Inhalte kreativ in den Unterricht integrieren möchte. Ihre Persona basiert auf den Antworten jener Befragten, die sich als experimentierfreudig und offen gegenüber neuen Technologien beschrieben haben. Besonders wichtig ist ihr eine flexible, erweiterbare Plattform, auf der sie eigene Inhalte gestalten kann.

2. Martin Berger steht für erfahrene Lehrkräfte mit solider technischer Basis, die nach praktikablen, schnell einsetzbaren Lösungen suchen. Diese

Persona spiegelt die Mehrheit der Umfrageteilnehmenden wider, die Technik pragmatisch nutzen, aber keine aufwändigen Systeme erlernen wollen. Die Einbindung in bestehende Systeme wie Moodle und einfache Bedienung sind ihm besonders wichtig.

3. Peter Hoffmann verkörpert digital eher skeptische Lehrpersonen, die einfache, intuitive Tools ohne großen Erklärungsbedarf benötigen. Er orientiert sich an den Befragten, die Technik zurückhaltend nutzen oder sich schnell überfordert fühlen. Seine Bereitschaft zur Nutzung von XR ist grundsätzlich vorhanden – sofern das Tool keinerlei Einstiegshürden aufweist.

Diese Personas wurden anhand typischer Merkmale strukturiert (z. B. Technikkompetenz, Frustrationen, didaktische und technische Ziele, Zitat) und im Anhang ausführlich dargestellt (vgl. Anhang A1).

Auf dieser Grundlage wurde jeweils eine User Journey Map zu jeder Persona entwickelt, die exemplarisch die Nutzung der XR-Anwendung in drei Phasen abbildet: Vorbereitung, Einsatz im Unterricht und Nachbereitung. Dabei wurden konkrete Handlungen, Gedankengänge, Touchpoints und emotionale Reaktionen (z. B. Frust, Erfolgserlebnisse) entlang der Zeitachse modelliert.

Die Methode der Journey Map folgt den Prinzipien des Service Designs und ermöglicht eine ganzheitliche Betrachtung der Nutzererfahrung – von der ersten Berührung mit dem Tool über die konkrete Nutzung bis hin zur Integration in den schulischen Alltag. Die Darstellung macht insbesondere Unterschiede in der Nutzererwartung deutlich und hilft, kritische Barrieren sowie potenzielle UX-Optimierungspunkte zu identifizieren. Dabei bildet das Konzept, „specific experiences of a main actor, often exemplified by a persona, over time" zu visualisieren [46], die methodische Grundlage für die persona-gestützte Journey Map in diesem Kapitel.

6.4.1 Beispiel: Martin Berger (Pragmatischer Anwender)

Abbildung 6 zeigt die Persona von Martin Berger, einem 49-jährigen Lehrer für Biologie und Erdkunde an einer Gemeinschaftsschule. Als erfahrener,

technikaffiner Lehrer nutzt er regelmäßig digitale Werkzeuge wie Moodle oder Tablets, legt aber Wert auf pragmatische und sofort einsetzbare Lösungen. Neue Technologien beurteilt er danach, ob sie sich nahtlos in den Unterrichtsalltag integrieren lassen – ohne großen Mehraufwand.

Martin Berger

"Pragmatischer Anwender"

Alter: 48
Fach: Biologie & Erdkunde
Schule: Gemeinschaftsschule

Technikkompetenz: Mittel – nutzt regelmäßig Google Online-Dienste, Moodle, Präsentationstools und iPad-Anwendungen, möchte aber keine Zeit in komplexe Systeme investieren.

Arbeitsweise: Martin verwendet oft digitale Folien, kurze Videos und Moodle-Plugins. Technik soll ihn unterstützen, nicht herausfordern.

Motivation: Möchte seinen Unterricht visuell und modern gestalten, um die Aufmerksamkeit der Schüler:innen zu steigern, ohne aufwendig neue Systeme zu erlernen.

Didaktisches Ziel: Komplexe Strukturen anschaulich darstellen (z. B. Zellaufbau).

Technisches Ziel: Einfache Einbettung von 3D-Inhalten mit klarer Schritt-für-Schritt-Anleitung.

Bedürfnisse:
- Ein-Klick-Lösungen mit Moodle-Kompatibilität
- Intuitive Benutzeroberfläche mit klarer Struktur
- Vorlagen oder Beispiele zur schnellen Übernahme

Frustrationen:
- Wenn Tools lange Einarbeitung brauchen
- Angst, dass Technik während der Stunde versagt
- Keine Zeit, sich durch komplexe Tutorials zu arbeiten

"Ich möchte meinem Unterricht neue innovative Impulse geben – aber ohne dass ich dafür Programmierer werden muss."

Abbildung 6: Persona von Martin Berger (Quelle: eigene Darstellung)

Im Rahmen einer schulischen Fortbildung oder durch Empfehlungen aus dem Kollegium stößt Martin auf die XR-Anwendung. Sein Interesse wird insbesondere durch vorgefertigte Beispiele in Moodle geweckt. Entscheidend für seine Bereitschaft zum Ausprobieren ist, dass das Tool ohne zusätzliche Installation funktioniert, mit bestehenden Systemen kompatibel ist und leicht verständliche

Anleitungen bietet. Sobald er ein passendes Modell findet, ergänzt er dieses mit eigenen Aufgaben und passt es an die Bedürfnisse seiner Lerngruppe an.

Die Abbildung 7 visualisiert einen Teil von Martins User Journey, von der ersten Begegnung mit der Anwendung bis zur abschließenden Bewertung des Einsatzes. Sie zeigt, dass Martin die Anwendung zunächst mit zurückhaltender Neugier prüft, dann aber zunehmend Vertrauen gewinnt – vorausgesetzt, die Einstiegshürden bleiben gering. In der Vorbereitungsphase schätzt er besonders Tutorials und Vorlagen. Während der Unterrichtsdurchführung übernimmt er eine beobachtende Rolle, erwartet einen störungsfreien Ablauf und reagiert sensibel auf technische Instabilitäten. Nach dem Einsatz reflektiert er systematisch, ob die Lernziele erreicht wurden, und dokumentiert Probleme zur Weitergabe oder internen Optimierung.

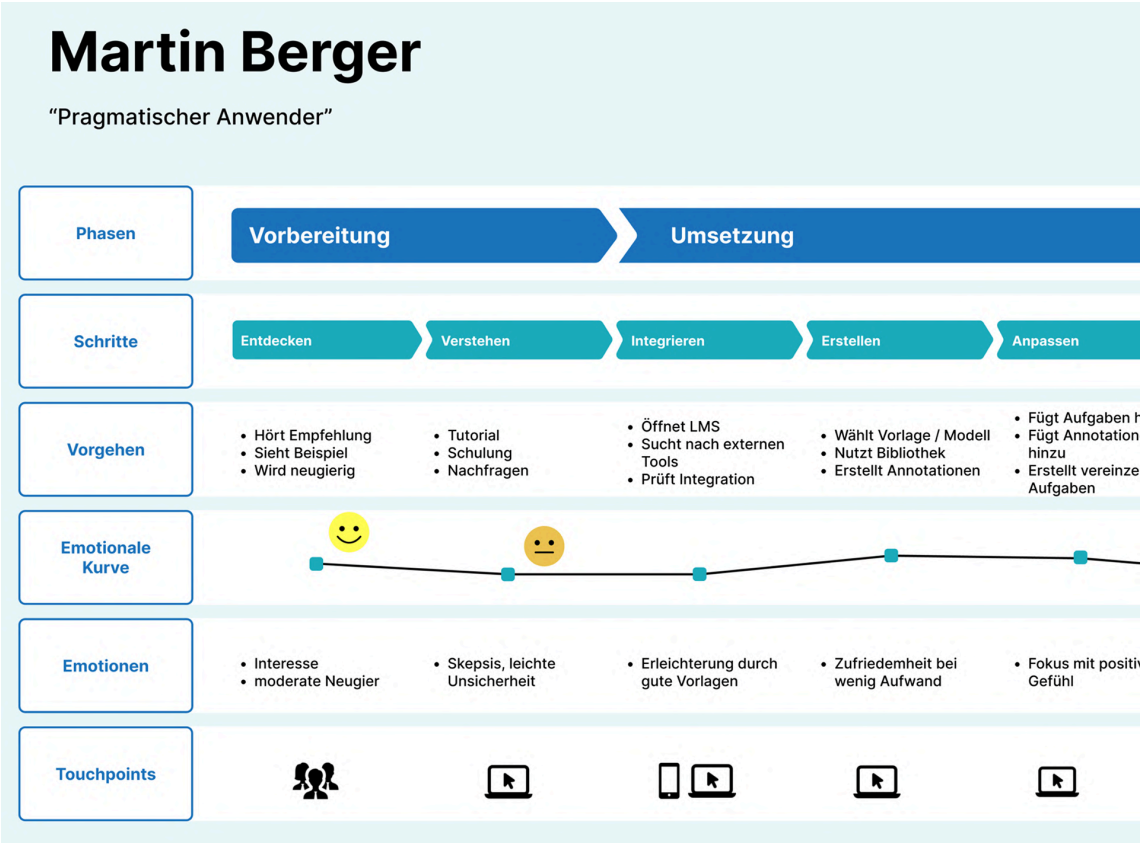


Abbildung 7: User Journey Map von Martin Berger (Quelle: eigene Darstellung)

Sein emotionaler Verlauf ist insgesamt stabil: Von anfänglicher Skepsis über Erleichterung durch einfache Bedienung bis hin zu wachsender Sicherheit. Frust entsteht, wenn die Technik versagt oder die Integration ins bestehende System

hakt. Wird die Anwendung jedoch als zuverlässig und effizient erlebt, zeigt Martin eine hohe Bereitschaft zur Wiederverwendung – sofern kein zusätzlicher Aufwand entsteht.

Die weiteren Personas sowie ihre jeweiligen User Journey Maps sind zur Übersichtlichkeit im Anhang A1 und A2 dokumentiert.

6.4.2 Erkenntnisse aus den User Journey Maps

Die Auswertung der User Journeys von Lena Richter, Martin Berger und Peter Hoffmann zeigt, wie unterschiedlich Lehrkräfte XR-Anwendungen erleben – abhängig von ihrer Technikkompetenz, Motivation und Arbeitsweise. Dennoch lassen sich zentrale, gemeinsame Anforderungen identifizieren: Die Anwendung muss zuverlässig, niedrigschwellig und klar strukturiert sein. Gleichzeitig erfordert der schulische Kontext eine Integration in bestehende Systeme wie Moodle, um medienbruchfreies Arbeiten zu ermöglichen.

1. Lena Richter, die technikaffine „digitale Pionierin", sucht in XR-Anwendungen vor allem didaktische Tiefe und kreative Flexibilität. Für sie sind Modularität, Interaktivität und offene Schnittstellen entscheidend, um eigene Inhalte integrieren und Schüler exploratives Lernen ermöglichen zu können. Ihre User Journey zeigt: Begeisterung entsteht, wenn die Plattform technische Offenheit bietet, z. B. durch Upload eigener Modelle, Hotspots oder externe Quellenanbindung (z. B. Sketchfab). Frustration hingegen entsteht schnell, wenn Systeme zu starr oder zu oberflächlich sind oder auf iPads eingeschränkt funktionieren. Lena erwartet eine Plattform, die nicht nur didaktisch sinnvoll, sondern auch technisch anspruchsvoll gestaltbar ist.

2. Martin Berger, der pragmatische Anwender, zeigt eine andere Dynamik: Er ist offen gegenüber digitalen Lösungen, bewertet sie jedoch stark nach Aufwand-Nutzen-Verhältnis. Seine User Journey verdeutlicht, dass er sich vor allem dann wohlfühlt, wenn ein Beispielmodell direkt einsatzbereit ist, die Anwendung intuitiv geführt wird und ein reibungsloser Ablauf im Unterricht gewährleistet ist. Die Integration in Moodle, eine

Schritt-für-Schritt-Anleitung und möglichst wenig technischer Verwaltungsaufwand sind für ihn zentral. Martin reagiert sensibel auf technische Instabilität – weniger aus technischer Unsicherheit, sondern aus Sorge um den Ablauf und die Autorität im Klassenzimmer. Positives Schüler-Feedback und klare Ergebnisse stärken hingegen seine Akzeptanz und Bereitschaft zur Weiterverwendung.

3. Peter Hoffmann, der digital skeptische Lehrer, erlebt die Anwendung zunächst mit Zurückhaltung. Seine größte Hürde ist das Gefühl, nicht „mithalten" zu können – besonders dann, wenn Schüler Fragen stellen, die er technisch nicht beantworten kann. Seine User Journey macht deutlich: Was für technikaffine Personen als „einfach" erscheint, kann für ihn überfordernd wirken. Frustration entsteht besonders dann, wenn technische Begriffe auftauchen, unerwartete Fehlermeldungen auftreten oder der Ablauf nicht selbsterklärend ist. Entlastend wirken hingegen vorbereitete „Ein-Klick"-Szenarien, klare Sprache und visuelle Hilfen – etwa durch Tooltips, reduzierte Interfaces oder kurze Videotutorials. Wenn er die Technik „einfach machen lassen" kann, steigt auch seine Bereitschaft zur Nutzung.

Die Auswertung zeigt deutlich: Die Anwendung muss verschiedene Erwartungshaltungen adressieren – von Lenas Wunsch nach kreativer Freiheit über Martins Suche nach Zuverlässigkeit bis zu Peters Bedürfnis nach technischer Entlastung. Diese Erkenntnisse flossen direkt in zentrale Designprinzipien ein:

- Webbasierte, installationsfreie Nutzung ohne Registrierung
- Zwei Nutzungsmodi: „Schneller Einstieg" vs. „Erweiterter Modus"
- Beispielmodelle und Vorlagenbibliothek
- Hotspots, Annotationen und Upload-Möglichkeit für fortgeschrittene Nutzer
- „Plug & Play"-Szenarien für den sofortigen Einsatz im Unterricht
- Barrierearme Gestaltung mit klarer Sprache, hohen Kontrasten und ohne Fachjargon
- QR-Code-/Link-Export zur Integration in Lernplattformen

- Optionales Feedback- und Auswertungstool zur einfachen Leistungsrückmeldung

Diese unterschiedlichen Perspektiven halfen, die Anforderungen (vgl. Kapitel 6.3) nicht nur technisch, sondern auch didaktisch zu fundieren und praxisnah zu priorisieren. So entstand ein Konzept, das den realen Herausforderungen im Schulalltag gerecht wird und verschiedene Lehrkraft-Typen gleichermaßen adressiert.

6.5 Use Cases

Auf Grundlage der funktionalen Anforderungen (vgl. Kapitel 6.3) wurden fünf prototypische Nutzungsszenarien entwickelt, die typische schulische Abläufe aus Sicht der Lehrkraft abbilden. Sie orientieren sich an den definierten Personas (vgl. Kapitel 6.4) sowie den realisierten technischen Funktionen (vgl. Kapitel 7). Ziel dieser Use Cases ist es, zentrale Arbeitsprozesse möglichst praxisnah und didaktisch anschlussfähig zu modellieren.

- UC1 – Modell aus externer Bibliothek auswählen und annotieren

  Lehrkräfte durchsuchen die integrierte Sketchfab-Bibliothek nach geeigneten 3D-Modellen (z. B. Herz, DNA, architektonische Strukturen) und wählen ein passendes Modell aus. Anschließend können sie das Modell im Editor mit interaktiven Annotationen anreichern, z. B. durch erklärende Texte, Bilder oder Videos (vgl. F-03, F-06). Die fertige Version wird als Link oder LTI-Ressource zur Verfügung gestellt und kann direkt in Moodle oder anderen LMS eingebettet werden (vgl. F-04, F-05).

- UC2 – Vorlage-Modell bearbeiten und unterrichten

  Technikfernere Lehrkräfte greifen auf bereits vorbereitete Modellvorlagen aus der internen Modellbibliothek zurück. Diese beinhalten vorgefertigte Annotationen und Aufgabenstellungen. Die Vorlagen lassen sich bei Bedarf leicht anpassen – etwa durch Umformulierung von Aufgaben oder das Entfernen einzelner Annotationen. Das Modell kann anschließend in einer Vorschau getestet und direkt im Unterricht eingesetzt werden. Dieser Use

Case zielt auf eine niedrigschwellige Nutzung ohne technischen Mehraufwand (vgl. NF-02, NF-03).

- UC3 – Eigenes Modell hochladen und mit Aufgaben versehen

  Für individualisierte Unterrichtseinheiten können Lehrkräfte eigene 3D-Modelle im glTF/GLB- oder USDZ-Format hochladen (vgl. F-02, F-07). Diese Modelle lassen sich im Editor annotieren, wobei jeder Hotspot mit einer konkreten Aufgabe verknüpft werden kann (z. B. "Beschrifte die Teile des Herzens", "Berechne die Hebelwirkung"). Diese Aufgaben erscheinen anschließend im Schülermodus als interaktive Lernaktivität und können zur formativen Lernkontrolle genutzt werden (vgl. F-08, F-09).

- UC4 – Aufgaben und Lernfortschritte auswerten

  Lehrkräfte erhalten Zugriff auf die von Schüler bearbeiteten Modelle. Sie können die vergebenen Antworten zu den annotierten Aufgaben einsehen, Rückmeldungen geben und die Interaktionen im Modell auswerten (z. B. welche Bereiche wurden wie oft geklickt?). Dies ermöglicht eine einfache Lernstandserfassung sowie die Überprüfung von Unterrichtszielen. Die Daten werden anonymisiert und DSGVO-konform bereitgestellt (vgl. F-09, NF-05).

- UC5 – Bestehende Modelle organisieren und für Wiederverwendung speichern

  Erstellte Modelle und Annotationen können gespeichert werden. Lehrkräfte haben so die Möglichkeit, verschiedene Modelle für unterschiedliche Klassen, Fächer oder Schwierigkeitsgrade zu verwalten und bei Bedarf erneut zu verwenden. Die gespeicherten Inhalte sind mit dem persönlichen Nutzerkonto verknüpft, rollenbasiert zugänglich und über eine intuitive Oberfläche filterbar. Dies unterstützt die Wiederverwendbarkeit und langfristige Unterrichtsplanung (vgl. NF-07, F-09).

Diese Szenarien bilden unterschiedliche Kompetenzstufen, Unterrichtsziele und technische Vorkenntnisse ab und ermöglichen dadurch eine flexible Anpassung an reale Schulsettings.

7 Entwicklung

Dieses Kapitel beschreibt die schrittweise Umsetzung des webbasierten XR-Prototyps – von ersten Skizzen bis zum funktionsfähigen Endsystem. Ziel war es, eine Anwendung zu entwickeln, die sich intuitiv in den Schulalltag integrieren lässt und zentrale Anforderungen von Lehrkräften erfüllt. Der Entwicklungsprozess folgte einem iterativen, nutzerzentrierten Ansatz und kombinierte gestalterische Konzepte mit technischer Umsetzung. Rückmeldungen aus Tests und Evaluationen flossen kontinuierlich in die Weiterentwicklung ein.

Der vollständige Quellcode des entwickelten Prototyps ist unter folgender Adresse einsehbar: https://github.com/L4223/SchoolXR_Prototype.git (Stand: 06/2025)

7.1 Low-Fidelity Papierprototyp

Zu Beginn der gestalterischen Umsetzung wurde ein Low-Fidelity-Papierprototyp erstellt, um zentrale Abläufe der Lehrkraft-Nutzung zu visualisieren. Ziel war es, erste Ideen zur Nutzerführung, zur funktionalen Struktur sowie zur Rollenlogik greifbar zu machen. Die Konzeption orientierte sich dabei an den unterschiedlichen Anforderungen aller drei definierten Personas und Use-Cases.

7.1.1 Struktur und Ablauf des Papierprototyps

Der Prototyp bestand aus einer Serie skizzierter Screens, welche die wichtigsten Phasen der Nutzung abbildeten: vom Login über die Auswahl und Bearbeitung eines 3D-Modells bis hin zur Vorschau und finalen Speicherung. Abbildung 8 zeigt die zentralen Bestandteile dieses Low-Fidelity-Papierprototyps, wie sie in der frühen Konzeptionsphase entwickelt wurden. Visualisiert wurden:

1. Login-Seite: Rollenwahl beim Einstieg (Lehrkraft oder Schüler:in). Aus Sicht der Lehrkraft erfolgt der Zugang zur Modellbearbeitung. Obwohl das System auch eine Schüleransicht vorsieht, lag der Fokus der Konzeption ausschließlich auf der Erstellung durch Lehrkräfte.

2. Startseite: Begrüßungsseite mit Einstiegshilfe und einer schrittweisen Anleitung zum Arbeitsablauf.
3. Modellauswahl: Bibliothek mit Suchfunktion, Vorschauoptionen und Fortschrittsanzeige, die den Bearbeitungsstand sichtbar macht.
4. Bearbeitungsmaske: Seite zur Annotation des 3D-Modells sowie zum Hinzufügen didaktisch strukturierter Aufgaben.
5. Vorschau- und Speicheransicht: Abschlussansicht mit allen Eingaben zur Kontrolle und Sicherung.

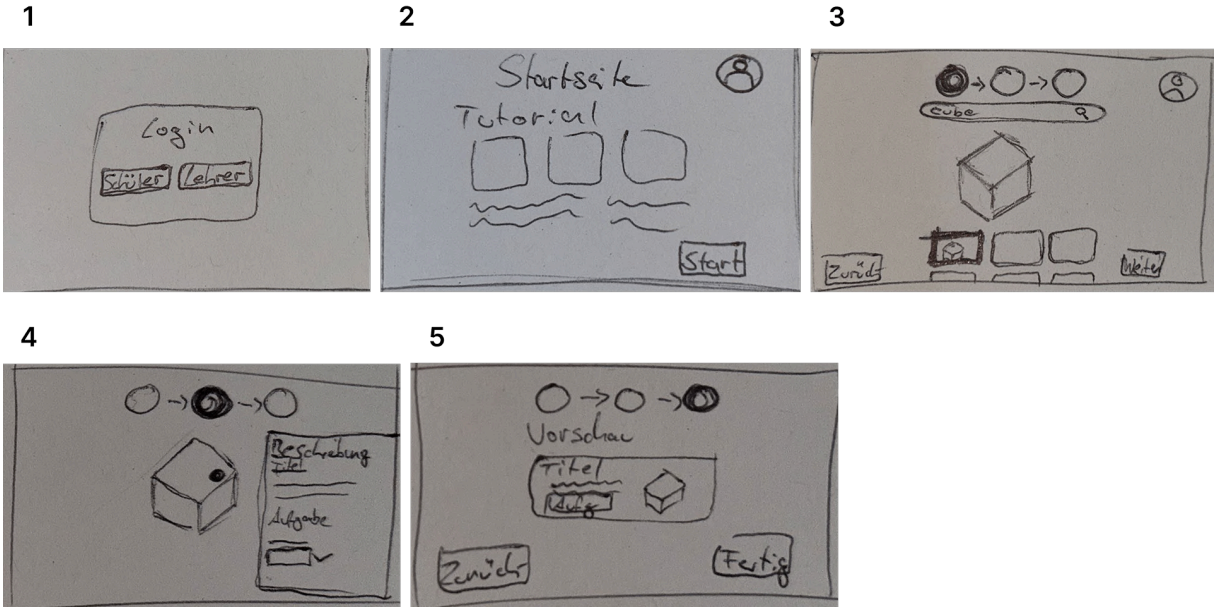


Abbildung 8: Skizze des Low-Fidelity-Papierprototyps (Quelle: eigene Darstellung)

Besonderes Augenmerk lag auf einer schrittweisen Nutzerführung mit klaren Statusindikatoren sowie auf der Strukturierung der Funktionen für Lehrkräfte. Die Wireframes dienten als Diskussionsgrundlage und Entscheidungshilfe für die folgende digitale Umsetzung.

7.1.2 Szenarienbasiertes Prototyping

Zur Überprüfung des Papierprototyps wurde ein szenarienbasiertes Prototyping durchgeführt. Dabei wurden typische Nutzungssituationen – abgeleitet aus den definierten Personas und Use-Cases – exemplarisch durchgespielt, um die Verständlichkeit, Handlungslogik und visuelle Klarheit des Ablaufs zu prüfen.

Im Mittelpunkt stand dabei die Perspektive einer Lehrkraft (z. B. Persona „Peter"), die ein annotiertes 3D-Modell für eine Unterrichtseinheit auswählt, bearbeitet und zur späteren Verwendung speichert. Diese Szenarien wurden sowohl in Selbsttests als auch mit Kommilitonen aus dem Bereich der Medieninformatik evaluiert.

Die wichtigsten Beobachtungen dabei:

- Die Ablauflogik (Login → Auswahl → Bearbeitung → Vorschau) wurde durchgehend als nachvollziehbar eingestuft.
- Die Beschriftungen einzelner Buttons und UI-Elemente ließen jedoch teils offen, welche Aktion als Nächstes erwartet wird.
- Die Fortschrittsanzeige unterstützte die Orientierung gut, jedoch fehlte eine verbale Benennung der einzelnen Schritte zur besseren Einordnung.

Diese Rückmeldungen dienten als Grundlage für die sprachliche Präzisierung und visuelle Fokussierung im digitalen Mockup.

7.1.3 Heuristische Bewertung

Die heuristische Evaluation des Prototypen basiert auf allgemein anerkannten Gestaltungsregeln (Heuristiken) und dient dazu, Schwächen in der Benutzeroberfläche durch Experteneinschätzungen systematisch aufzudecken [47].

Zwei Kommilitonen mit Erfahrung im Interface-Design führten eine informelle heuristische Analyse anhand der zehn Usability-Heuristiken nach Nielsen durch. Dabei wurden insbesondere folgende Schwächen identifiziert:

- Systemkontext nicht erkennbar: Die Verbindung zur Lernplattform (z. B. Moodle) war im Prototyp nicht visualisiert.
- Unklare Zuordnung von Annotationen: Die textliche Darstellung ließ keine räumliche Verbindung zur Modellposition erkennen.
- Uneindeutige Navigation: Vor- und Zurück-Buttons waren zu weit voneinander entfernt und visuell kaum unterscheidbar.
- Unbeschriftete Interface-Elemente: In der Modellbibliothek fehlten Textlabels und Buttons, was die Funktionalität der Items unklar ließ.

Auch wenn diese Punkte im Papierprototyp nicht vollständig gelöst werden konnten, lieferten sie wichtige Hinweise für die digitale Weiterentwicklung. Die Rückmeldungen flossen direkt in die Gestaltung des nächsten Prototyps ein und bildeten eine methodische Brücke zur interaktiven Umsetzung.

7.2 Weiterentwicklung zu digitalen Prototypen

Nach dem initialen Papierprototyp wurde ein digitaler Mid-Fidelity-Prototyp mithilfe des Design-Tools Figma realisiert. Ziel war es, die zuvor konzipierten Abläufe visuell und funktional greifbarer zu machen sowie zentrale Nutzungsszenarien exemplarisch durchzuspielen. Der Fokus lag dabei weiterhin auf der Perspektive der Lehrkräfte bei der Erstellung und Bearbeitung didaktisch angereicherter 3D-Modelle.

7.2.1 Interaktive Mockups und Click-Dummies

Basierend auf dem Papierprototyp entstand ein klickbares, digitales Interface, das den Bearbeitungsprozess simuliert – vom Upload eines Modells über das Anbringen von Annotationen bis hin zur Vorschau und Freigabe. Die Gestaltung orientierte sich an gängigen UI-Mustern aus dem Bildungsbereich, insbesondere an Konventionen aus Moodle, um eine niedrige Einstiegshürde für Lehrkräfte sicherzustellen.

Abbildung 9 veranschaulicht den in Figma erstellten Mid-Fidelity-Prototyp, der die wesentlichen Funktionen und Interaktionen abbildet. Für die Umsetzung wurde Figma gewählt, da es eine schnelle, iterative und kollaborative Entwicklung von Prototypen im Browser ermöglicht [48]. Dies erlaubte eine frühe Validierung der Interaktionslogik, noch bevor visuelle Details finalisiert wurden. Entsprechend erfolgte die Visualisierung bewusst im Stil eines Greybox-Prototyps mit reduzierter Farbigkeit und abstrahierten Elementen. Die Konzentration auf funktionale Abläufe bildete eine fundierte Basis für die anschließende Usability-Evaluation.

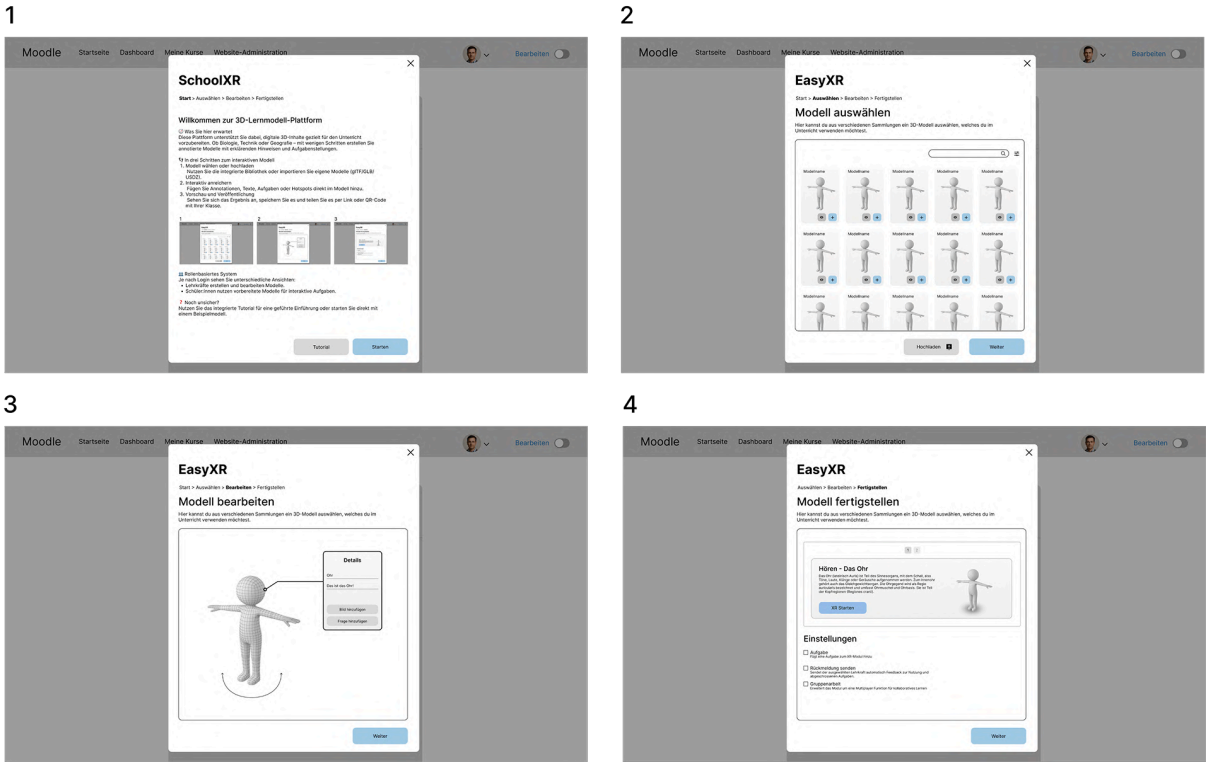


Abbildung 9: Mid-Fidelity-Prototyp in Figma (Quelle: eigene Darstellung)

7.2.2 Evaluierung des digitalen Prototyps

Die Bewertung des Prototyps erfolgte im Rahmen strukturierter Selbsttests mit zwei Kommilitonen, die exemplarisch die Personas Martin (technikaffin) und Peter (technikfern) abbildeten. Dabei wurden alle fünf definierten Use Cases

(UC1–UC5) vollständig durchlaufen. Ziel war es, Nutzbarkeit, Verständlichkeit und potenzielle Barrieren aus Sicht einer Lehrkraft zu identifizieren.

Zur Analyse kamen vier bewährte Methoden aus dem nutzerzentrierten Designprozess zum Einsatz:

- Cognitive Walkthrough[10]: Diese Methode prüft, ob Nutzer in jeder Phase erkennen können, welches Ziel eine Interaktion verfolgt, welche Handlung erforderlich ist und wie verständlich das System auf Eingaben reagiert.
- Heuristische Evaluation: Basierend auf den Usability-Heuristiken nach Nielsen lag der Fokus auf Systemrückmeldungen, visueller Konsistenz und klarer Navigationsstruktur.
- ISO 9241-110 Review: Bewertet wurden zentrale Gestaltungsprinzipien wie Selbstbeschreibungsfähigkeit, Erwartungskonformität und Fehlertoleranz.
- Anforderungsbasierter Review: Schließlich wurden die funktionalen und didaktischen Zielsetzungen aus der Konzeptionsphase systematisch mit der Umsetzung abgeglichen.

Die folgenden Tabellen fassen die beobachteten Schwächen und daraus abgeleiteten Verbesserungen zusammen:

[10] Cognitive Walkthrough ist ein Usability-Inspektionsverfahren, bei dem ein Experte die Bedienung einer Anwendung oder eines Produkts aus der Sicht des Benutzers analysiert

Tabelle 4: Testdokumentation digitaler Prototyp

Methode	Ziel / Fokus	Beobachtungen / Schwächen	Konkrete Verbesserungen
Cognitive Walkthrough	Schrittweises Durchgehen aus Sicht der Lehrkraft (z. B. bei UC1, UC2)	• Ziele mancher Seiten nicht sofort erkennbar • Weiter-/Zurück-Buttons teilweise missverständlich • Kein klarer „nächster Schritt"-Indikator	• Buttons neu beschriftet • Visuelle Progress-Anzeige ergänzt • Tooltips an kritischen Stellen hinzugefügt
Heuristische Evaluation	Analyse nach Nielsen-Heuristiken (z. B. Sichtbarkeit, Konsistenz, Rückmeldung)	• Ähnliche Farbgebung bei Navigationselementen • Keine direkte visuelle Reaktion nach Aktionen • Uneinheitliche Beschriftungen und Icons	• Farbkontrast erhöht • Feedback-Meldungen eingebaut • UI-Elemente nach UI-Standards überarbeitet
ISO 9241-110 Review	Bewertung bzgl. Selbstbeschreibung sfähigkeit, Erwartungs-konformität, Fehlertoleranz	• Annotationen optisch nicht mit Modell verbunden • Nutzer:in weiß nicht, was im LMS passiert • Manche Labels zu technisch formuliert	• Labels überarbeitet (didaktischer) • Annotationen näher am Modell • LMS-Integration visuell angedeutet
Anforderungs-Review	Abgleich mit den Use Cases (UC1–UC5) und didaktischen Zielen	• Modellbibliothek wirkt unstrukturiert • Keine Hinweise zur Aufgabenstellung sichtbar • Sammlungen nicht auffindbar oder benennbar	• Bibliothek mit Filtern, Labels, Beispielen ergänzt • Aufgabenfeld grafisch hervorgehoben • Sammlungsfunktion ergänzt

(eigene Darstellung)

7.3 Prototyp 1 – Funktionaler Erstentwurf zur Technologieprüfung

In dieser Iteration wurde ein erster funktionaler Prototyp entwickelt, der als eine Art technisches Einstiegsszenario („Hello-World") für die geplante Anwendung dient. Der Fokus lag dabei nicht auf Benutzerfreundlichkeit oder didaktischer Gestaltung, sondern auf dem grundsätzlichen Test zentraler Technologien. Ziel war es zu prüfen, ob die technischen Komponenten im Rahmen des Projekts grundsätzlich funktionsfähig zusammenspielen.

Die Optimierung der Nutzerführung und didaktischen Interaktion erfolgte darauf aufbauend im zweiten Prototyp (siehe Kapitel 7.4).

7.3.1 Technologie-Stack

Für die technische Umsetzung des Prototyps fiel die Entscheidung auf das Frontend-Framework React. Diese Wahl basiert auf mehreren Gründen, die sowohl die technische Effizienz als auch die langfristige Wartbarkeit und Erweiterbarkeit der Anwendung betreffen.

React wurde als Framework gewählt, da es durch seine modulare Architektur, breite Verbreitung und gute Kompatibilität mit UI-Libraries wie Tailwind[11] CSS[12] sowie der Webkomponente model-viewer eine flexible und zukunftssichere Basis für die Entwicklung bot. Ein weiterer ausschlaggebender Grund für den Einsatz von React war die enge Verzahnung mit modernen Toolchains und UI-Libraries. Im konkreten Fall wurde React mit Tailwind CSS und Flowbite[13] kombiniert, um ein responsives und visuell konsistentes Design umzusetzen, das gleichzeitig auf einfache Bedienbarkeit ausgelegt ist.

---

[11] Tailwind ist ein CSS-Framework, das Entwicklern eine schnelle und flexible Möglichkeit bietet, Websites zu gestalten

[12] CSS (Cascading Style Sheets) ist eine Stylesheet-Sprache, die verwendet wird, um die Gestaltung von Webseiten zu definieren

[13] Flowbite ist eine UI-Komponenten-Bibliothek die auf Tailwind CSS aufbaut

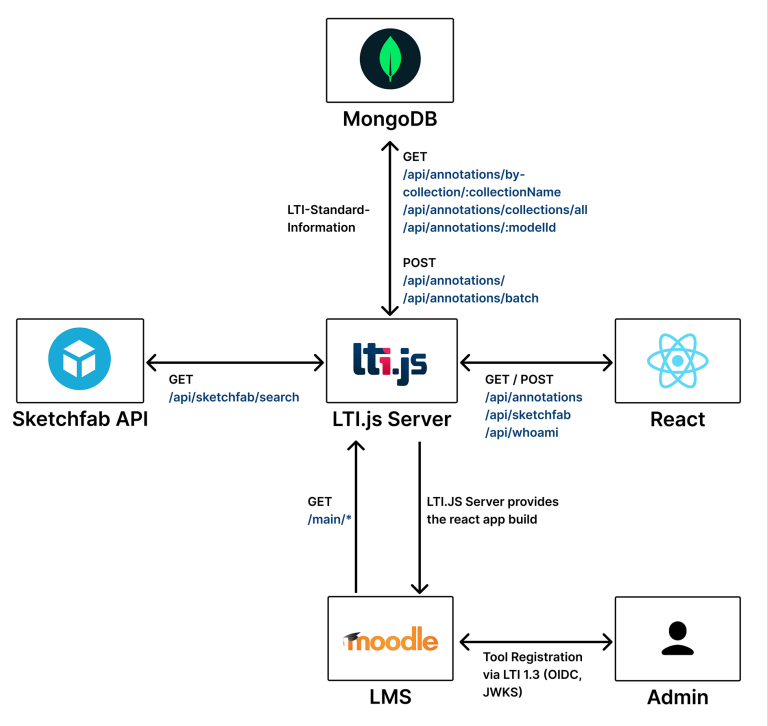


Abbildung 10: Information-Flow-Diagram (eigene Abbildung)

Abbildung 10 zeigt das zugrunde liegende Informations- und Komponentenmodell, das die Interaktion zwischen Frontend, Webkomponenten und Backend-Services veranschaulicht.

Auch im Hinblick auf die geplante LTI-Integration (Learning Tools Interoperability) in Moodle sowie die Nutzung von Webkomponenten wie model-viewer zur Anzeige von 3D-Inhalten war React die geeignete Wahl. Die Bibliothek bietet die nötige Flexibilität, um Drittanbieter-Komponenten sauber einzubinden und gleichzeitig serverseitige Prozesse (z. B. Authentifizierung, Nutzerzuweisung, Datenbank interaktion) über eine React-kompatible Node.js-Umgebung[14] zu steuern.

Nicht zuletzt spricht auch die große Entwickler-Community und die umfangreiche Dokumentation für React – ein wichtiger Aspekt im Kontext von Bildungsprojekten, die langfristig betreut oder von anderen Teams weiterentwickelt werden sollen.

[14] Node.js ist eine Software, mit der man JavaScript nicht nur im Browser, sondern auch auf dem Server nutzen kann. Zum Beispiel, um Webanwendungen zu betreiben

Zusammenfassend wurden die verwendeten Technologien so gewählt, dass sie eine modulare und langfristig wartbare Entwicklung ermöglichen, sich nahtlos mit modernen UI- und Styling-Frameworks kombinieren lassen und eine flexible Einbindung von XR-spezifischen Webkomponenten wie model-viewer erlauben. Aufgrund ihrer weiten Verbreitung und der umfassenden Dokumentation stellen sie zudem eine zukunftssichere Basis für die Entwicklung und spätere Weitergabe der Webanwendung dar.

7.3.2 LTI-Integration mit ltijs und Datenbank

Die Anwendung wurde als externes Lernwerkzeug in Moodle integriert, wobei die LTI 1.3-Spezifikation zum Einsatz kam. Die Integration wurde mithilfe von ltijs 2.0, einer spezialisierten Node.js-Library zur Umsetzung von LTI-Standards, realisiert. Diese Architektur ermöglichte die einfache Authentifizierung und Benutzerzuordnung innerhalb von Moodle-Kursen sowie die Absicherung der Kommunikation zwischen Lernplattform und externer Anwendung [49].

Standardmäßig verwendet ltijs die NoSQL-Datenbank MongoDB zur Speicherung von LTI-spezifischen Informationen wie Plattform Registrierungen und Sitzungstokens. Um die Systemarchitektur möglichst konsistent zu halten, wurde auch für die Speicherung benutzerspezifischer Daten aus der React-Anwendung (z. B. Annotation Koordinaten und zugehörige Metadaten) die gleiche MongoDB-Instanz verwendet. Dadurch konnte eine einheitliche Datenbasis geschaffen und der Verwaltungsaufwand reduziert werden.

Die gesamte Anwendung wird aktuell über Render.com gehostet, einem Cloud-Service für Webanwendungen, der automatische Deployments und einfache Node.js-Unterstützung bietet. Diese Hosting-Lösung ermöglichte eine schnelle Bereitstellung und flexible Weiterentwicklung im Rahmen des Prototypings.

7.3.3 Objektbibliothek und Medienverwaltung

Für die Bereitstellung der 3D-Modelle wurde eine dynamische Bibliothekslösung auf Basis der Sketchfab API [15]realisiert. Ziel war es, eine möglichst große Auswahl an bereits vorhandenen Modellen nutzen zu können, ohne dass Lehrkräfte eigene Dateien hochladen oder vorbereiten müssen.

Die Integration ermöglicht es, direkt auf öffentlich verfügbare Sketchfab-Modelle zuzugreifen [50], die die Formate glTF/GLB oder USDZ unterstützen – also genau jene, die für den Einsatz auf Android- und iOS-Geräten benötigt werden. Diese Formate stellen die Grundlage für die Darstellung in model-viewer dar und gewährleisten plattformübergreifende AR-Kompatibilität.

Um die Modelle nutzbar zu machen, werden sie clientseitig mithilfe von JSZip entpackt, sodass der Zugriff auf die einzelnen Dateien (z. B. .glb, Texturen etc.) möglich ist [51]. Die extrahierten Inhalte können anschließend direkt im Browser geladen und mit model-viewer angezeigt werden – ohne dass ein manueller Zwischenschritt notwendig ist. Abbildung 11 zeigt die Auswahlseite des technischen Prototyps, über die Lehrkräfte auf die Modellbibliothek zugreifen und passende Inhalte auswählen können.

[15] Eine API (Application Programming Interface) ist eine Schnittstelle, die es Software ermöglicht, miteinander zu kommunizieren und Daten auszutauschen.

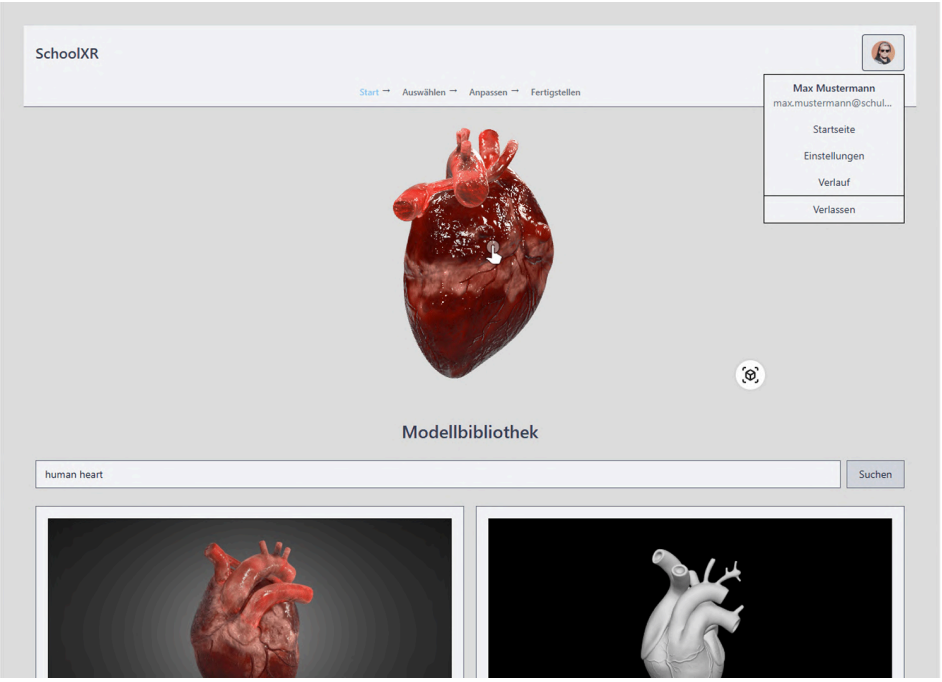


Abbildung 11: Auswahlseite Technischer Prototyp (Quelle: eigene Darstellung

Parallel zur Sketchfab-Integration wurde eine Beispielbibliothek mit ausgewählten Modellen auf Amazon S3 eingerichtet. Diese enthält geprüfte, besonders leichtgewichtige 3D-Modelle in beiden benötigten Formaten und dient als Fallback-Option oder für besonders häufig genutzte Inhalte (z. B. ein Herzmodell oder eine einfache Maschine). Die statische Bibliothek ist zudem hilfreich für Offline-Testszenarien und stabile Unterrichtssituationen.

Trotz der Existenz dieser lokalen Bibliothek basiert der Hauptteil der Anwendung auf Sketchfab, da hier deutlich mehr Inhalte zur Verfügung stehen und die Vielfalt an Themenbereichen im Unterricht besser abgedeckt werden kann.

Insgesamt bietet die Lösung eine hohe Flexibilität, Skalierbarkeit und Benutzerfreundlichkeit – zentrale Anforderungen für den schulischen Einsatz.

7.3.4 Interaktionsmöglichkeiten

Ein zentrales Element des ersten Prototyps war die Implementierung einer grundlegenden Annotation-Funktion innerhalb des 3D-Modellbetrachters. Ziel war es, Lehrkräften die Möglichkeit zu bieten, durch einen Klick auf das Modell semantisch relevante Punkte zu markieren und mit einfachen Textinformationen

zu versehen – etwa zur Erklärung einzelner Komponenten oder zur didaktischen Aufbereitung.

Für die technische Umsetzung kam die Methode positionAndNormalFromPoint() der model-viewer-Komponente zum Einsatz. Diese erlaubt es, die exakte Position und Orientierung (Normalenvektor) eines angeklickten Punktes auf der 3D-Oberfläche zu bestimmen. An dieser Stelle wurde anschließend ein HTML-Hotspot eingebettet, der mit einem kurzen Label versehen wurde.

Diese initiale Lösung beschränkte sich bewusst auf die wesentliche Interaktion: die Markierung und Visualisierung von Informationen. Funktionen wie die Bearbeitung, Persistenz oder strukturierte Aufgabenverknüpfung wurden erst in der zweiten Iteration realisiert (vgl. Kapitel 7.4).

Die grundsätzliche Machbarkeit wurde durch anschließende Tests bestätigt – auch wenn sich dabei technische Herausforderungen zeigten (siehe Kapitel 7.3.5), insbesondere bei der Kollisionsvermeidung zwischen Kamerasteuerung und Interaktion sowie der Präzision bei starkem Zoom.

7.3.5 Testing und Erkenntnisse

Die Tests des ersten Prototyps erfolgten im Rahmen strukturierter Selbsttests und dienten primär der technischen Validierung zentraler Funktionen. Die Integration der Anwendung wurde in einer Moodle-4-Testumgebung über eine öffentlich zugängliche Demo-Instanz durchgeführt. Im Fokus stand dabei nicht die Nutzerfreundlichkeit, sondern die Überprüfung, ob die gewählten Technologien wie die model-viewer-Komponente, die LTI-Authentifizierung und die Anbindung externer Modellbibliotheken wie Sketchfab zuverlässig funktionierten.

Im Einzelnen wurden folgende Aspekte exemplarisch überprüft:

- das korrekte Laden und Darstellen von 3D-Modellen,
- die Platzierung interaktiver Hotspots durch Klicks auf das Modell,
- das Zusammenspiel von Mausinteraktion und Kamerasteuerung,

- die Authentifizierung über LTI in Moodle mit korrekter Rollenzuweisung,
- sowie der Zugriff auf die Modellbibliothek (Sketchfab und S3).

Alle Kernfunktionen konnten erfolgreich demonstriert werden. Gleichzeitig traten typische Herausforderungen auf – etwa ungenaue Klickerkennung oder fehlende Rückmeldungen im Interface –, die zu diesem Zeitpunkt jedoch bewusst toleriert wurden.

Diese Erkenntnisse bildeten eine wichtige Grundlage für die anschließende nutzerzentrierte Weiterentwicklung, bei der das didaktische Nutzungsszenario im Mittelpunkt stand (vgl. Kapitel 7.4).

7.4 Prototyp 2 – Interaktiver Prototyp mit Fokus auf Nutzererlebnis

Die im Folgenden beschriebene Iteration stellt die abschließende Entwicklungsstufe im Rahmen dieser Arbeit dar und konzentriert sich auf die nutzerzentrierte Weiterentwicklung des zuvor erprobten Prototyps. Während der erste Prototyp primär der technischen Machbarkeitsprüfung diente, lag der Fokus nun auf der Optimierung der Benutzeroberfläche, einer verbesserten Nutzerführung sowie der Integration realistischer Anwendungsszenarien aus dem Schulalltag.

Ziel war es, die Anwendung so weiterzuentwickeln, dass sie im Unterricht von Lehrkräften und Schülern intuitiv und zuverlässig genutzt werden kann – unter anderem durch eine klare Rollentrennung, eine strukturierte und benutzerfreundliche Oberfläche sowie eine verbesserte Nutzerführung mit erklärenden Hinweisen während des Arbeitsprozesses. Darüber hinaus wurden zentrale technische Funktionen ergänzt oder überarbeitet, darunter das Speichern und Löschen von Annotationen sowie die Erweiterung der Aufgabenfunktion um ein interaktives Suchspiel.

7.4.1 Überarbeitung der Benutzeroberfläche

Die Benutzeroberfläche wurde in mehreren Punkten überarbeitet, um sowohl die Anforderungen der Norm ISO 9241-110 (z. B. Selbstbeschreibungsfähigkeit,

Erwartungskonformität [45]) als auch die Rückmeldungen aus den vorherigen Testphasen systematisch umzusetzen. Zentrale Änderungen betrafen:

1. Layout und visuelles Design: Es wurden größere Buttons und Schriften verwendet, um die Bedienung auch auf Tablets und Smartboards zu erleichtern. Farbkontraste und Fokusindikatoren wurden gezielt angepasst.
2. Navigationsunterstützung: Eine Progress-Bar zeigt nun jederzeit den Bearbeitungsstand, während kontextabhängige Tooltips und visuelle Hinweise die Nutzerführung verbessern.
3. Interaktive Elemente: Floating Action Buttons erleichtern die zentrale Interaktion auf mobilen Geräten. Deaktivierte Buttons und visuelle Constraints verhindern fehlerhafte Eingaben
4. Bibliothek: Die Darstellung der Suchergebnisse aus der Sketchfab-Suche wurde überarbeitet, sodass pro Zeile mehr Modelle angezeigt werden, ohne dass die Ansicht überladen oder zu gedrängt wirkt.
5. Tutorial- und Hilfefunktion: Ein integriertes Tutorial auf der Startseite unterstützt je nach Rolle beim Einstieg in die Erstellung bzw. Nutzung annotierter Modelle.

Die Login-Seite und der Upload-Dialog wurden ebenfalls grundlegend überarbeitet, um den Einstieg robuster und intuitiver zu gestalten. Dabei wurden insbesondere die Fehlerrückmeldungen optimiert, Eingabefelder klarer strukturiert und die visuelle Rückmeldung bei erfolgreichen Aktionen verbessert. So soll sichergestellt werden, dass auch weniger technikaffine Nutzer schnell zum Ziel gelangen. Die Abbildung 12 zeigt die wesentlichen Überarbeitungen der Benutzeroberfläche anhand ausgewählter Elemente zu den Punkten 1-5 und visualisiert die Weiterentwicklung des Prototyps in Bezug auf Usability und Barrierefreiheit.

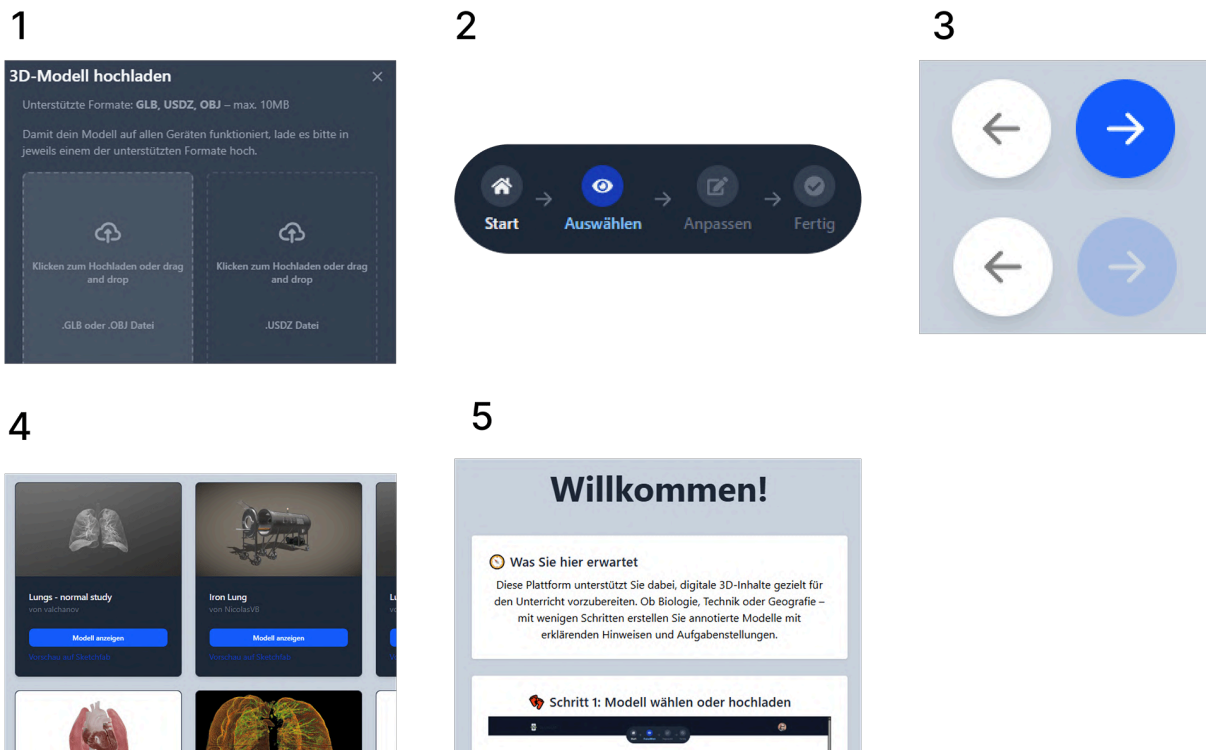


Abbildung 12: Überarbeitete Elemente Prototyp 2 (Quelle: eigene Darstellung)

Diese Maßnahmen tragen entscheidend dazu bei, dass die Anwendung nicht nur funktional, sondern auch alltagstauglich ist – insbesondere im schulischen Umfeld, in dem Zeit, technische Ausstattung und Nutzererfahrung stark variieren. Die verbesserte Nutzerführung und reduzierte Komplexität bilden somit eine zentrale Grundlage für die nachhaltige Integration der Anwendung im Unterricht.

7.4.2 Erweiterung der technischen Funktionalitäten

Auch auf technischer Ebene wurde der zweite Prototyp stark erweitert. Ein automatischer Login basierend auf LTI-Daten sorgt dafür, dass Lehrkräfte und Schüler jeweils auf die passende Startseite weitergeleitet werden. Die Benutzerrolle wird anhand der übermittelten Kursinformationen eindeutig identifiziert.

Weitere Funktionserweiterungen umfassen:

- Annotationen speichern: Annotationen lassen sich nun im JSON-Format speichern, wodurch sie dauerhaft verfügbar und wiederverwendbar sind.

- Collections erstellen: Mehrere Annotationen am selben 3D-Modell werden erkannt und zusammen abgespeichert
- Bearbeiten: Die vorher erstellten Annotationen lassen sich bei Auswahl des selben Modells wieder bearbeiten.
- Nutzerbezug sichern: Die gespeicherten Annotationen enthalten Metadaten wie den Nutzernamen, um eine eindeutige Zuordnung zu ermöglichen.
- Verbindung zu Moodle-Kursen: Jede erstellte Modell-Annotation wird mit einem spezifischen Moodle-Kurs verknüpft, sodass eine klare didaktische Einbindung gewährleistet ist.
- Gamification: Um einen didaktischen Mehrwert durch die Annotation Funktion am 3D-Modell zu demonstrieren, wurde ein Suchspiel mit verdeckten Hotspots hinzugefügt

Abbildung 13 zeigt Screenshots der zentralen Ansichten des erweiterten Prototyps: die Startseite für Lehrkräfte mit neuer Einleitung, die Auswahlseite sowie die Vorschauseite zur Modellbetrachtung. Die Screenshots zeigen beispielhaft, wie Annotationen angelegt, verwaltet und in den Unterricht eingebunden werden können.

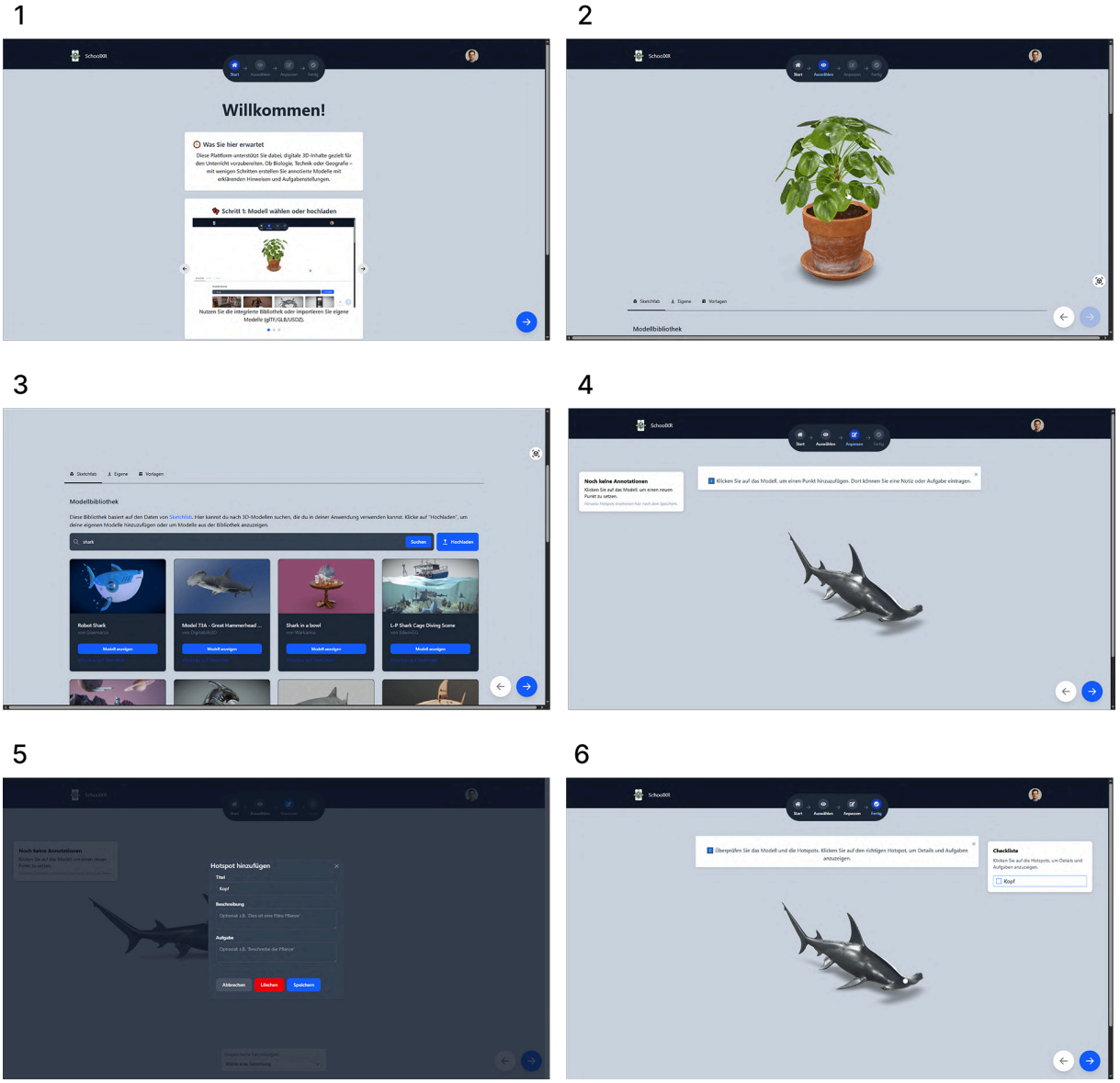


Abbildung 13: Hauptansichten des Prototyps 2 (Quelle: eigene Darstellung)

7.4.3 Usability-Test des zweiten Prototyps

Zum Testen des zweiten Prototyps wurde ein praxisnaher Nutzertest mit zwei Lehrkräften durchgeführt, die der zuvor definierten Zielgruppe entsprechen. Der Fokus lag auf der Erprobung der neuen Nutzerführung, der technischen Stabilität sowie der didaktischen Anschlussfähigkeit im schulischen Kontext.

Die Teilnehmenden erhielten zunächst eine kontextuelle Einleitung in Form eines kurzen Anwendungsszenarios:

„Stellen Sie sich vor, Sie sind Biologielehrer und möchten eine Unterrichtseinheit zum Thema ‚Kreislauf- und Organsysteme' vorbereiten. Um Ihren Schülern das Herz anschaulich und interaktiv zu vermitteln, planen Sie den Einsatz eines webbasierten XR-Tools, das 3D-Modelle und Annotationen unterstützt."

Anschließend wurde der Link zur Prototyp-Anwendung zur Verfügung gestellt. Die konkrete Aufgabe lautete:

„Suchen Sie ein 3D-Modell eines menschlichen Skeletts.

Versehen Sie es mit zwei Annotationen:

- eine am Schädel
- eine an der Wirbelsäule

Speichern Sie das Modell unter dem Namen ‚Skelettlektion' und schließen Sie die Bearbeitung erfolgreich ab."

Nach Durchführung der Aufgabe füllten die Lehrkräfte einen strukturierten Fragebogen aus, der auf zentralen Usability-Kriterien (nach ISO 9241-110 [45]) sowie didaktischer Anschlussfähigkeit basierte. Die verwendeten Fragebögen sind im Anhang A3 dokumentiert.

Positiv bewertet wurden insbesondere:

- die klare Nutzerführung durch die Einleitung auf der Startseite,
- die einfache Bedienbarkeit des Editors,
- das funktionale, aufgabenbezogene Design der Oberfläche,
- sowie die Möglichkeit, ohne Installation direkt über den Browser zu arbeiten.

Technisch funktionierten alle Kernprozesse wie das Auffinden des Modells, das Erstellen von Annotationen und das Speichern unter einem definierten Namen zuverlässig.

Kritische Rückmeldungen bezogen sich auf:

- die ungewohnte Interaktion mit 3D-Modellen im Browser mittels Maus,

- den Wunsch nach noch stärkerer visueller Rückmeldung bei abgeschlossenen Arbeitsschritten (z. B. „Modell gespeichert"-Hinweis),
- sowie das Bedürfnis nach einer verständlichen Einstiegshilfe z.B. in Form eines kurzen Erklärvideos oder animierten Tutorials direkt in der Anwendung.

Insgesamt wurde der Prototyp als praxisnah, realistisch einsetzbar und motivierend empfunden. Die Lehrkräfte sahen großes Potenzial für den schulischen Alltag – insbesondere für den Einsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht und im Rahmen von Moodle-basierten Kursstrukturen. Die im abschließenden Testing gewonnenen Erkenntnisse flossen nicht mehr in die Weiterentwicklung des aktuellen Prototyps ein, bilden jedoch eine wertvolle Grundlage für künftige Iterationen.

7.5 Abweichungen vom ursprünglichen Konzept

Im Laufe des Entwicklungsprozesses zeigten sich diverse technische und gestalterische Herausforderungen, die eine Anpassung des ursprünglichen Konzepts erforderlich machten. Viele dieser Abweichungen ergaben sich direkt aus praktischen Hürden in der Implementierung, insbesondere im Zusammenspiel mit den eingesetzten Technologien, der LTI-Spezifikation und den Anforderungen an eine benutzerfreundliche Gestaltung. Anstatt strikt am initialen Konzept festzuhalten, wurde agil auf neue Erkenntnisse reagiert, um funktional tragfähige und nutzbare Lösungen zu entwickeln.

7.5.1 Integration über LTI und technische Rahmenbedingungen

Eine zentrale Herausforderung bestand in der technischen Integration der Webanwendung über LTI 1.3 mithilfe von ltijs. Obwohl dieses Framework die grundlegende Anbindung an Moodle ermöglichte, stellte sich die Implementierung aufgrund der sicherheitsrelevanten Vorgaben und der serverseitigen Token-Verwaltung als deutlich komplexer heraus als zunächst angenommen. Besonders problematisch war die Einbindung umfangreicher

React-Applikationen, da das Hosting und Routing statischer Ressourcen in diesem Kontext nicht durchgehend reibungslos funktionierte.

Diese technischen Hürden führten dazu, dass bestimmte Komfortfunktionen – wie z. B. eine detaillierte Rechteverwaltung oder die vollständige Rückkopplung in Moodle – im Prototyp nicht implementiert wurden. Stattdessen wurde der Fokus auf eine funktionierende Authentifizierung und Rollenerkennung gelegt, um eine verlässliche Nutzerführung über das LTI-Protokoll sicherzustellen.

7.5.2 Einbindung per iFrame

Ursprünglich war geplant, die Anwendung alternativ zur LTI-Schnittstelle auch über einen einfachen iFrame in Moodle-Kurse einzubinden. Diese Lösung hätte insbesondere technikfernen Lehrkräften eine niedrigschwellige Möglichkeit zur Nutzung geboten, ohne zusätzliche Konfigurationsaufwände. In der praktischen Umsetzung zeigte sich jedoch, dass viele Moodle-Instanzen – insbesondere in schulischen Kontexten – restriktive Sicherheitsrichtlinien (z. B. Content Security Policy, X-Frame-Options) verwenden, die eine Anzeige externer Inhalte in iFrames blockieren. Auch die plattformübergreifende Authentifizierung ließ sich innerhalb eines iFrames nicht datenschutzkonform realisieren. Daher wurde die iFrame-Option verworfen und die Fokussierung auf eine standardkonforme LTI 1.3-Integration mit gesicherter Benutzerführung verstärkt.

7.5.3 Annotationen und AR-Funktionalität

Eine weitere konzeptuelle Abweichung betraf die Integration von Annotationen. Ursprünglich war geplant, Annotationen nicht nur im Editor sichtbar zu machen, sondern sie auch in die AR-Ansicht auf mobilen Geräten zu übertragen. Technische Tests zeigten jedoch, dass die derzeitige Implementierung mithilfe von HTML-Overlays keine stabile Anzeige in der AR-Ansicht (insbesondere auf iOS) erlaubte. Da model-viewer keine direkte Integration von Annotationen in das 3D-Modell selbst unterstützt, wurde dieser Aspekt zunächst zurückgestellt.

Als pragmatischer Workaround wurde eine clientseitige Lösung gewählt: Annotationen können nun als separate HTML-Elemente im Editor gesetzt und im JSON-Format gespeichert werden. Damit ist eine Wiederverwendung möglich, jedoch keine Darstellung innerhalb von AR-Modi. Die langfristige Lösung einer persistenten, plattformunabhängigen Integration bleibt damit ein offener Entwicklungsstrang für die Zukunft.

7.5.4 Sketchfab-Integration und Dateiverwaltung

Auch die Anbindung an Sketchfab erwies sich als aufwendiger als erwartet. Die dort bereitgestellten Modelle werden standardmäßig in ZIP-Archiven geliefert, die zunächst entpackt und hinsichtlich ihrer Dateiformate validiert werden müssen. Um die Anzeige im Browser zu ermöglichen, wurde ein clientseitiges Entpacken mithilfe von JSZip realisiert. Dies erforderte zusätzliche Datenverarbeitungslogik im Frontend und eine robuste Fehlerbehandlung, insbesondere bei inkompatiblen oder unvollständigen ZIP-Dateien.

Zur Verbesserung der Stabilität wurde parallel eine kleine Auswahl geprüfter Modelle in einer eigenen Bibliothek (AWS S3) bereitgestellt, die als Fallback für häufig genutzte Inhalte dient.

7.5.5 Gestalterische Kompromisse und UI-Optimierungen

Neben den technischen Abweichungen gab es auch gestalterische Anpassungen. So zeigte sich im Testing, dass die ursprünglich entworfene Benutzeroberfläche für mobile Endgeräte nicht ausreichend optimiert war. Dies betraf insbesondere die Skalierung von Buttons, die Lesbarkeit auf kleineren Bildschirmen sowie die Effizienz der Navigation. Elementen, klaren Fokusindikatoren und Floating Action Buttons umgesetzt.

Auch das ursprünglich geplante rollenübergreifende Interface wurde zugunsten einer klaren Trennung aufgegeben: Lehrkräfte und Schüler erhalten nun unterschiedliche Startseiten und Workflows, wodurch die Nutzerführung deutlich vereinfacht werden konnte.

8 Evaluation

Im Rahmen der Evaluation wurde untersucht, inwiefern der entwickelte Prototyp den zuvor definierten Anforderungen gerecht wird und wie er von potenziellen Nutzer – insbesondere Lehrkräften – bewertet wird. Die Bewertung erfolgte auf Grundlage qualitativer Interviews, technischer Tests sowie einer Reflexion der Entwicklungsziele. Dabei standen sowohl funktionale Aspekte wie Plattformkompatibilität und Integration als auch didaktische Nutzbarkeit und Akzeptanz im Schulalltag im Fokus.

8.1 Rückblick auf die Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit war es, einen webbasierten, niedrigschwelligen XR-Prototypen zu entwickeln, der sich realistisch in den Schulalltag von Lehrkräften integrieren lässt. Dabei sollten insbesondere die Herausforderungen berücksichtigt werden, die sich aus der technischen Ausstattung, dem Zeitbudget sowie der Medienkompetenz von Lehrkräften ergeben. Im Zentrum stand die Frage: Wie kann XR in schulischen Kontexten sinnvoll nutzbar gemacht werden – ohne dedizierte Hardware und mit möglichst geringem Einarbeitungsaufwand?

8.2 Erkenntnisse aus Interviews und Umfrage

Die geführten Interviews mit zwei Lehrkräften unterschiedlicher Schulformen liefern wertvolle Einblicke in die realistischen Rahmenbedingungen und Erwartungen an XR-Technologien im Unterricht. Ihre Aussagen bestätigen zentrale Annahmen der Konzeption, konkretisieren jedoch auch spezifische Anforderungen an Technik, Didaktik und Integration.

8.2.1 Technikaffinität und Ausstattung

Beide Befragten schätzen ihre Technikkompetenz als „mittel" ein – mit Verweis auf die Herausforderungen einer sich schnell wandelnden Schullandschaft. Eine

Lehrkraft formulierte selbstkritisch: „Früher war ich der Nerd, heute bin ich der Älteste im Lehrerzimmer und so mittel unterwegs."

In Bezug auf die technische Infrastruktur wurden v. a. iPad-Koffer und BYOD-Szenarien (Bring Your Own Device) als gängig beschrieben. Ein browserbasiertes Tool ohne App-Installation wurde ausdrücklich begrüßt: „Lieber Handy als Koffer schleppen."

8.2.2 Didaktische Einsatzszenarien

Beide Lehrkräfte sehen in XR großes Potenzial für visuelle und räumliche Lerninhalte, insbesondere in den Naturwissenschaften („Moleküle oder Organe sind ein No-Brainer") sowie in Fächern wie Politik oder Erdkunde („eine Tour durch die EU-Institutionen in Brüssel wäre didaktisch Gold wert").

Sie betonten jedoch, dass reine Darstellung nicht ausreiche – erst durch Aufgaben, Perspektivwechsel oder Gamification entstehe echter Mehrwert. Eine Aussage lautete: „Wenn Schüler die Rolle von Atomen spielen können – dann wird's spannend."

8.2.3 Hürden und Barrieren

Als größte Herausforderungen wurden genannt:

- instabile oder fehlende WLAN-Infrastruktur,
- unzureichende Geräteausstattung,
- fehlende Zeit für Einarbeitung („wir haben einfach keine Kapazitäten für neue Tools"),
- sowie externe IT-Abhängigkeit, etwa bei Systemfehlern oder Updates.

Eine Lehrkraft verwies zudem auf die Ablehnung plattformgebundener Lösungen im Kollegium: „Sobald es Apple-only ist, bin ich raus."

8.2.4 Anforderungen an das Tool

Aus den Aussagen lassen sich folgende zentrale Anforderungen ableiten:

Tabelle 5: Anforderungen aus Interviews und Umfrage

Kategorie	Anforderungen laut Interviews	Zuordnung zu Anforderung (Kap. 6.3)
Technik	Webbasiert, keine App-Installation, kompatibel mit BYOD	F-01, F-02, NF-01, NF-03
Didaktik	Fächerübergreifend, klarer Bezug zur Unterrichtspraxis, Integration von Aufgaben	F-03, F-06, F-08
Usability	Intuitive Bedienung, bekannte UI-Muster, geringer Aufwand	NF-02, NF-08
Integration	Anschluss an bestehende Systeme (z. B. Moodle), DSGVO-konform	F-05, NF-05, NF-06
Praxisnähe	Vorlagen, Szenarien, Tutorials für sofortigen Einsatz	NF-07, F-09 (indirekt über Feedback-Logik)

8.2.5 Motivation und Akzeptanz

Beide Lehrkräfte äußerten sich offen gegenüber neuen Technologien – sofern diese sinnvoll eingebettet und praxisnah eingeführt werden. Entscheidend sei der Zeitgewinn, nicht die technische Raffinesse. Eine Aussage fasst dies treffend

zusammen: „Wenn mir ein Tool eine Stunde spart, bin ich dabei – egal wie fancy die Technik ist."

Als Erfolgsfaktoren wurden zudem Multiplikatoren im Kollegium, gute Beispiele und niedrigschwellige Fortbildungen genannt.

8.2.6 Ergebnisse der Online-Umfrage

Zur breiteren Erhebung von Einschätzungen und Bedarfen wurde ergänzend eine Online-Umfrage unter Lehrkräften durchgeführt. Insgesamt nahmen zehn Personen aus verschiedenen Schulformen und Fachrichtungen teil. Die Teilnehmenden verfügten über unterschiedliche Technikaffinitäten und gaben Einblicke in ihre Ausstattung, bisherigen Erfahrungen sowie Erwartungen im Umgang mit digitalen Medien und XR-Inhalten.

Die Mehrheit der Befragten schätzte ihre Technikaffinität als mittel bis hoch ein, sah sich im Schulalltag jedoch häufig mit infrastrukturellen Hürden konfrontiert – insbesondere langsames Internet, instabiles WLAN und veraltete Smartboards wurden mehrfach genannt. Als Endgeräte kamen vor allem iPads, Notebooks und Smartphones zum Einsatz. Abbildung 14 visualisiert die Verteilung der Technikaffinität sowie die Bandbreite verfügbarer Geräte.

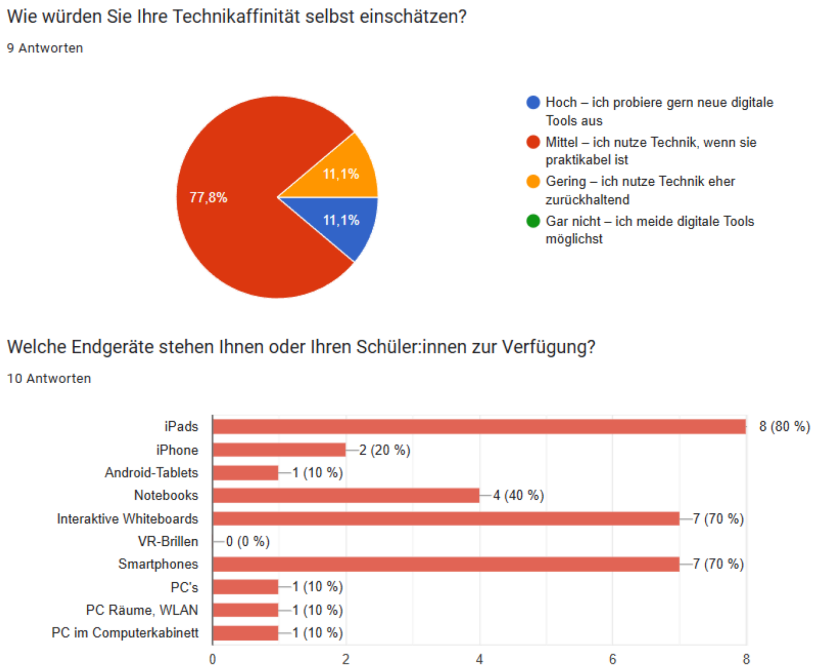


Abbildung 14: Auswertung von Technikaffinität und verfügbaren Endgeräte (Quelle: eigene Darstellung)

Grundsätzlich zeigten alle Befragten Interesse an browserbasierten XR-Lösungen, die ohne App-Installation direkt im Browser funktionieren. Besonders geschätzt wurde die Möglichkeit, solche Inhalte über bestehende Lernplattformen wie Moodle zu nutzen. Diese Option wurde durchweg als „eher hilfreich" oder „sehr hilfreich" bewertet – insbesondere mit Blick auf BYOD-Szenarien und administrative Hürden im Schulalltag, wie in Abbildung 15 dargestellt.

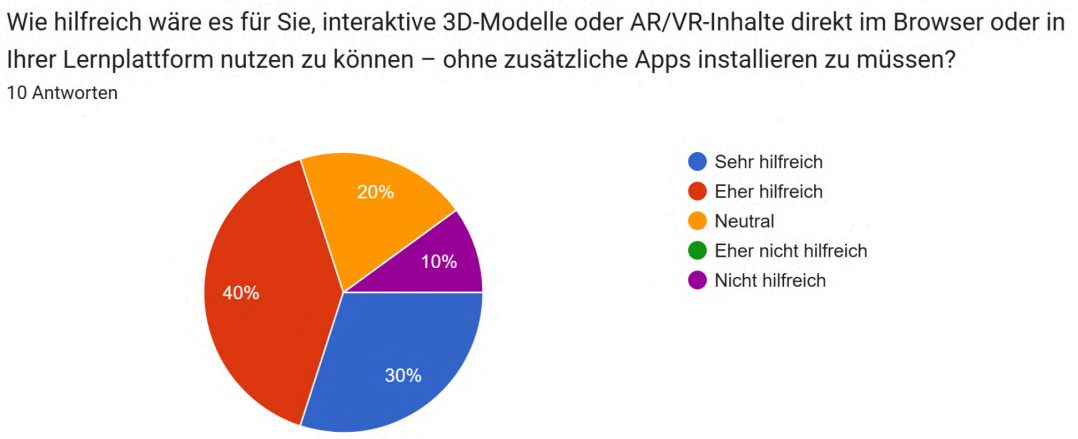


Abbildung 15: Auswertung Interesse an XR (Quelle: eigene Darstellung)

Inhaltlich äußerten die Teilnehmenden vor allem den Wunsch nach virtuellen Exkursionen – etwa für Geografie, Geschichte oder Biologie. Auch immersive Erfahrungen wie das „Eintauchen in vergangene Zeiten" oder die Visualisierung nicht sichtbarer Vorgänge (z. B. Moleküle oder Organe) wurden mehrfach genannt. Funktionen, die als besonders relevant eingeschätzt wurden, umfassten die Auswahl vorhandener Modelle, die Möglichkeit zur Anreicherung mit Texten, Bildern oder Videos, das Hochladen eigener Modelle sowie die Integration von Aufgaben zur didaktischen Strukturierung.

Neben technischen Aspekten traten auch organisatorische Herausforderungen zutage: Zeitmangel und fehlende Fortbildungsangebote wurden als zentrale Barrieren für den Einsatz neuer Tools genannt. Eine häufige Anforderung lautete, dass neue digitale Werkzeuge „praktisch sofort einsatzbereit" sein müssten, um im Unterrichtsalltag akzeptiert zu werden.

Die Umfrage bestätigt damit zentrale Erkenntnisse aus den vorhergehenden Interviews und unterstreicht den Bedarf an intuitiven, niederschwelligen XR-Lösungen, die sich nahtlos in bestehende Unterrichtsformate integrieren lassen. Eine vollständige Übersicht der Umfrageergebnisse findet sich im Anhang A4.

8.3 Bewertung des Prototyps

Der entwickelte Prototyp erfüllt zentrale Anforderungen, die im Rahmen der Konzeption und Bedarfserhebung formuliert wurden. Besonders in Bezug auf Niedrigschwelligkeit konnte das Ziel einer möglichst einfachen Nutzung erreicht werden: Die Anwendung ist vollständig browserbasiert und benötigt keine App-Installation. Dadurch ist sie mit gängigen Schulgeräten – insbesondere iPads, Chromebooks oder privaten Smartphones – kompatibel und kann auch in BYOD-Szenarien eingesetzt werden.

Auch die pädagogische Anbindung wurde erfolgreich realisiert. Über die LTI-Schnittstelle lässt sich die Anwendung direkt in bestehende Lernplattformen wie Moodle integrieren. Lehrkräfte können XR-Inhalte so in ihre Kurse einbinden, ohne Medienbrüche oder zusätzlichen Verwaltungsaufwand. Ergänzt wird dies durch didaktische Funktionen wie Annotationen, eine Rollenverteilung zwischen Lehrenden und Lernenden sowie die Möglichkeit zur Aufgabensteuerung innerhalb des 3D-Raums.

Die didaktische Relevanz konnte durch eine kontextsensitive Nutzerführung und die Anbindung an realistische Unterrichtsszenarien gestärkt werden. Beispiele wie die Betrachtung von Molekülstrukturen oder virtuelle Exkursionen zeigen, dass der Prototyp inhaltlich anschlussfähig ist und eine visuelle Ergänzung zu traditionellen Unterrichtsformaten bieten kann.

Gleichzeitig wurden im Entwicklungs- und Evaluationsprozess auch zentrale Herausforderungen deutlich: So stellten insbesondere die Interaktivität und Immersion auf mobilen Geräten eine Einschränkung dar. Viele Endgeräte, die im schulischen Umfeld eingesetzt werden, verfügen nicht über die erforderliche Sensorik (z. B. Gyroskop[16], Kameraunterstützung), um überzeugende XR-Erfahrungen zu ermöglichen. Auch äußerten Lehrkräfte Unsicherheiten in Bezug auf Datenschutz, technischen Support und den damit verbundenen Einarbeitungsaufwand.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass volle Immersion – wie sie durch VR-Brillen möglich wäre – didaktisch besonders wirkungsvoll sein kann, in der

[16] Gyroskop: Sensor zur Messung von Drehbewegungen und Orientierung, z.B. in Smartphones

schulischen Realität jedoch kaum flächendeckend umsetzbar ist. Die Gründe dafür liegen in technischen Limitierungen, datenschutzrechtlichen Hürden und einer oft überlasteten IT-Infrastruktur. WebXR-basierte Lösungen wie der hier entwickelte Prototyp bieten daher einen realistischen Kompromiss: Sie ermöglichen einen niedrigschwelligen Einstieg in XR-gestützten Unterricht, ohne dabei auf spezialisierte Hardware angewiesen zu sein.

8.4 Grenzen der Evaluation

Die Evaluation basierte auf zwei Interviews und einer Online-Umfrage mit Lehrkräften unterschiedlicher Schulformen. Dies ermöglichte zwar erste Einblicke in Akzeptanz, Anforderungen und Anwendungsideen, stellt aber keine belastbare empirische Grundlage dar. Für eine fundiertere Bewertung wären breiter angelegte Tests mit mehreren Lehrkräften oder auch Schüler erforderlich. Auch der Einsatz in realen Unterrichtsszenarien konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht abgedeckt werden.

9 Fazit

Ziel dieser Arbeit war es, einen webbasierten, niedrigschwelligen XR-Prototypen zu entwickeln, der sich realistisch und ohne zusätzliche Hardware in den Schulalltag von Lehrkräften integrieren lässt. Dabei sollten sowohl technische Rahmenbedingungen als auch didaktische und nutzerbezogene Anforderungen berücksichtigt werden. Im Zentrum stand die Frage: Wie kann XR im schulischen Kontext sinnvoll nutzbar gemacht werden – ohne dedizierte Hardware und mit möglichst geringem Einarbeitungsaufwand?

Die Analyse aktueller XR-Technologien zeigte, dass immersive Erfahrungen im Browser grundsätzlich möglich sind – jedoch mit teils erheblichen Einschränkungen. Während WebXR als offener Standard langfristig großes Potenzial bietet, ist die Unterstützung durch Endgeräte und Browser aktuell noch lückenhaft. Die untersuchten nativen Lösungen wie Apple Quick Look oder Google Scene Viewer sind stabil, aber funktional stark eingeschränkt.

Die entwickelte Lösung greift mit model-viewer auf eine etablierte Webkomponente zurück, die eine plattformübergreifende Darstellung und Annotation von 3D-Modellen erlaubt. Der Prototyp demonstriert, dass sich zentrale Anforderungen – wie die Integration in bestehende Lernplattformen (z. B. Moodle), die Nutzung im Browser ohne App-Installation sowie eine intuitive Benutzerführung – bereits heute realisieren lassen. Damit wurde ein realitätsnaher, funktionsfähiger erster Schritt für den Einsatz von XR im Unterricht geschaffen.

Allerdings wurde auch deutlich, dass tiefere Immersion – etwa durch VR-Brillen mit nativer Software – aktuell deutlich mehr didaktisches Potenzial bietet als browserbasierte Lösungen. Funktionen wie Gestenerkennung, Raumtracking oder sensorbasierte Interaktionen sind über den WebXR-Standard bislang nur eingeschränkt und nicht durchgängig auf allen Geräten nutzbar. In schulischen BYOD-Szenarien fehlt es häufig an kompatibler Hardware und zuverlässiger Infrastruktur.

Die Evaluation mit zwei Lehrkräften bestätigte den grundsätzlichen Bedarf nach neuen Visualisierungsmöglichkeiten, betonte jedoch die hohe Bedeutung von Zeitersparnis, Einfachheit und Anschlussfähigkeit an bestehende Systeme. Reine technische Raffinesse allein überzeugt nicht – praxisrelevante Einbettung, konkrete Unterrichtsbeispiele und didaktischer Mehrwert sind entscheidend.

Für Bildungsträger wie Dataport ergibt sich daraus die Empfehlung, auf browserbasierte, standardkonforme Lösungen wie model-viewer zu setzen, die ohne App-Installation auskommen und sich nahtlos in bestehende Lernplattformen (z. B. Moodle) integrieren lassen. Die prototypisch entwickelte Anwendung zeigt, dass ein niedrigschwelliger, technikunabhängiger Zugang möglich ist – auch unter den realen Bedingungen schulischer IT-Ausstattung. Besonders in BYOD-Szenarien (Bring Your Own Device) bietet ein modularer Webansatz mit LTI-Anbindung eine datenschutzkonforme, wartbare und skalierbare Grundlage für den flächendeckenden Einsatz von XR im Unterricht.

Für eine nachhaltige Einführung genügt jedoch keine bloße Bereitstellung der Technik. Zentral ist die Unterstützung der Lehrkräfte durch zielgerichtete Schulungen und ein didaktisch fundierter Einstieg. Empfehlenswert wären kompakte Fortbildungsformate, etwa eintägige Workshops oder Onboarding-Module innerhalb von bestehenden Fortbildungsplattformen, die anhand konkreter Beispiele zur Nutzung motivieren. Nur wenn der Einstieg schnell gelingt, können die Potenziale im Unterricht tatsächlich genutzt werden.

Darüber hinaus sollte Dataport mittelfristig eigene Modellbibliotheken mit geprüften, lehrplankonformen 3D-Inhalten aufbauen oder kuratieren, um die Hürde zur Unterrichtsplanung weiter zu senken. Die Entwicklung des offenen WebXR-Standards sollte eng beobachtet und ggf. in zukünftige Implementierungen integriert werden, sobald die technischen Voraussetzungen stabiler sind.

10 Ausblick

Damit XR-Technologien langfristig im Schulalltag verankert werden können, sind technische, didaktische und organisatorische Entwicklungen gleichermaßen notwendig. Eine zentrale Voraussetzung ist die reibungslose Integration in bestehende schulische Systeme. Plattformen wie Moodle, IServ oder die dBildungscloud[17] müssen XR-Werkzeuge ohne zusätzliche Hürden aufnehmen können – etwa durch Unterstützung von LTI-Standards, DSGVO-konforme Nutzerverwaltung und einfache Rollensteuerung.

Ebenso wichtig ist ein barrierefreier Zugang: Anwendungen sollten im Browser funktionieren, ohne dass eine zusätzliche App installiert werden muss. Auch auf älteren Endgeräten – wie Tablets oder privaten Smartphones – muss die grundlegende Nutzung möglich bleiben, um Chancengleichheit zu gewährleisten. Dabei kann eine Kombination aus Alltagslösungen im Browser und gezielten immersiven Anwendungen mit Headsets – etwa bei Projekttagen oder in AGs – einen gangbaren Kompromiss darstellen.

Didaktisch reicht die reine Visualisierung nicht aus. Erst durch interaktive Elemente wie Annotationen, Aufgaben oder Perspektivwechsel kann XR seinen Mehrwert für das Lernen entfalten. Gerade für abstrakte oder komplexe Inhalte bietet diese Technologie Potenziale, die über klassische Medien hinausgehen – vorausgesetzt, sie sind methodisch sinnvoll eingebettet. Um diesen Mehrwert auszuschöpfen, braucht es jedoch Unterstützung im Kollegium: praxisnahe Unterrichtsbeispiele, leicht verständliche Vorlagen sowie Fortbildungsangebote, die nicht nur Technik vermitteln, sondern auch didaktische Anwendungsszenarien aufzeigen.

Ein bislang unterbeleuchteter Aspekt ist die Perspektive der Schüler. Ihre Erfahrungen, Bedarfe und Bewertungen sollten in zukünftigen Entwicklungen stärker berücksichtigt werden – etwa im Rahmen von Pilotprojekten oder partizipativen Designprozessen. Nur so lässt sich sicherstellen, dass XR nicht nur technisch machbar, sondern auch lernwirksam ist.

[17] Dataports eigenes Learning Management System

Die vorliegende Arbeit zeigt exemplarisch, wie ein niedrigschwelliger, webbasiert nutzbarer XR-Prototyp konzipiert und technisch realisiert werden kann – inklusive Moodle-Integration, rollenbasierter Abläufen und Annotation von 3D-Modellen. Trotz technischer Limitierungen macht sie deutlich, dass bereits heute erste sinnvolle Anwendungsszenarien umsetzbar sind. Mit zunehmender Reife der WebXR-Standards, wachsender Geräteunterstützung und systemischer Verankerung könnte browserbasiertes XR in den kommenden Jahren einen festen Platz im digital unterstützten Unterricht einnehmen.

10 Literaturverzeichnis

[1] T. Tene, J. A. Marcatoma Tixi, M. D. L. Palacios Robalino, M. J. Mendoza Salazar, C. Vacacela Gomez, und S. Bellucci, „Integrating immersive technologies with STEM education: a systematic review", *Front. Educ.*, Juni 2024, doi: 10.3389/feduc.2024.1410163.

[2] Can I use, „WebXR Device API - Browser Support". 2025. Zugegriffen: 29. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://caniuse.com/webxr

[3] M. Contributors, „WebXR Device API provides access to AR/VR via web browsers", *MDN Web Docs*, 2025, Zugegriffen: 8. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://immersiveweb.dev/

[4] R. Dörner, „Virtual und Augmented Reality (VR/AR): Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität [2. Aufl. 2019] 978-3-662-58860-4, 978-3-662-58861-1".

[5] C. Lawson-Perfect, „Three drawings of a cube in wireframe, with a vertex, edge and face highlighted respectively". 2022. Zugegriffen: 10. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vertex_edge_face.svg

[6] KHRONOS Group, „glTF Overview". Zugegriffen: 10. April 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.khronos.org/gltf

[7] Apple Developer, „USDZ and Reality Composer". Zugegriffen: 13. April 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://developer.apple.com/documentation/realitykit/exporting-a-reality-composer-scene-to-usdz

[8] I. E. Sutherland, „A head-mounted three dimensional display", 1968. doi: 10.1145/1476589.1476686.

[9] H. T. C. Corporation, „HTC Vive XR Elite — Overview". 2025. Zugegriffen: 8. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.vive.com/de/product/vive-xr-elite/overview/

[10] H. T. C. Corporation, „PicoXR - Pico 4". 2025. Zugegriffen: 8. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.picoxr.com/de/products/pico4

[11] European Space Agency, „Reality check". 2017. Zugegriffen: 10. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2017/07/Reality_check

[12] Meta Platforms, Inc., „Meta Quest — Optimized for virtual reality". 2025. Zugegriffen: 8. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.meta.com/de/quest/

[13] D. Schmalstieg und T. Hollerer, *Augmented Reality: Principles and Practice*. Addison-Wesley Professional, 2016. Zugegriffen: 16. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: 978-0-13-315320-0

[14] „Augmented Reality Medical 3D Illustration". 2017. Zugegriffen: 10. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://pxhere.com/de/photo/1201753

[15] Mozilla Contributors, „WebXR Device API Docs". Zugegriffen: 21. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebXR_Device_API

[16] X. Qiao, P. Ren, S. Dustdar, L. Liu, H. Ma, und J. Chen, „Web AR: A Promising Future for Mobile Augmented Reality—State of the Art, Challenges, and Insights", *Proc. IEEE*, Bd. 107, Nr. 4, doi: 10.1109/JPROC.2019.2895105.

[17] Mozilla Contributors, „WebXR Performance Guide Docs". Zugegriffen: 8. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebXR_Device_API/Performance
[18] T. Matahari, „WebXR Asset Management in Developing Virtual Reality Learning Media", *IJoCED*, Bd. 4, Apr. 2022, doi: 10.35806/ijoced.v4i1.253.
[19] MDN Web Docs, „Web frameworks - Learn web development | MDN". 2024. Zugegriffen: 8. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn_web_development/Extensions/Server-side/First_steps/Web_frameworks
[20] M. V. Team, „A-Frame — Make WebVR". 2024. Zugegriffen: 11. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://aframe.io
[21] M. D. et al, „Three.js – JavaScript 3D Library". 2024. Zugegriffen: 11. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://threejs.org
[22] Microsoft, „Babylon.js – Powerful, Beautiful, Simple, Open - Web-Based 3D Engine". 2024. Zugegriffen: 11. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.babylonjs.com
[23] KHRONOS Group, „<model-viewer> Documentation". Zugegriffen: 11. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://modelviewer.dev
[24] Apple Developer, „Quick Look for AR". Zugegriffen: 10. April 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://developer.apple.com/augmented-reality/quick-look
[25] Google Developers, „Scene Viewer". Zugegriffen: 10. April 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://developers.google.com/ar
[26] Moodle HQ, „Moodle LMS – Das weltweit führende Open-Source-Lernmanagementsystem". Zugegriffen: 11. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://moodle.com/de/produkte/lms/
[27] Dataport AöR, „dBildungscloud – Die Plattform für digitalen Unterricht". Zugegriffen: 11. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://dbildungscloud.de/
[28] J. Chammon, „Lernplattformen: ‚Digitale Zusammenarbeit ist lernbar'". Zugegriffen: 11. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://deutsches-schulportal.de/unterricht/lernplattformen-jacob-chammon-forum-bildung-digitalisierung/
[29] Moodle Docs, „Iframe embedding". Zugegriffen: 11. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://docs.moodle.org/500/en/Iframe
[30] Moodle HQ, „LTI und Moodle". Zugegriffen: 11. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://docs.moodle.org/500/de/LTI_und_Moodle
[31] G. Reinmann, „Blended Learning – didaktische Perspektiven", H. H. Mandl und H. Friedrich, Hrsg., München: Deutscher Wirtschaftsdienst, 2005, S. 1–16. Zugegriffen: 6. April 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://gabi-reinmann.de/wp-content/uploads/2011/06/Blended-Learning-in-der-Lehrerausbildung.pdf
[32] L. W. Anderson und D. R. Krathwohl, *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. New York: Longman, 2001. [Online]. ISBN 978-0-321-08405-7
[33] Vanderbilt University Center for Teaching, „Bloom's Revised Taxonomy". 2020. Zugegriffen: 10. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.flickr.com/photos/vandycft/29428436431
[34] F. Ebinger, L. Buttke, und J. Kreimeier, „Augmented and virtual reality technologies in education for sustainable development: An expert-based

technology assessment", Jan. 2022, doi: 10.14512/tatup.31.1.28.
[35] F. Brückner, „XRXplorer: XR an beruflichen Schulen in Bayern". Zugegriffen: 5. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://xrxplorerschool.de/
[36] A. S. Ltd, „ClassVR: Virtual Reality for the Classroom". Zugegriffen: 5. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.classvr.com
[37] I. für S. Würzburg, „Digitale Medien im inklusiven Unterricht". 2022. Zugegriffen: 5. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.sonderpaedagogik.uni-wuerzburg.de/lfsdigi/digitale-technologien/
[38] C. de Witt und T. Czerwionka, *Mediendidaktik*, Online-Ausg., 2., Aktualisierte und Überarbeitete Auflage. in Studientexte für Erwachsenenbildung. Bielefeld: wbv, 2013. [Online]. ISBN 978-3-7639-5316-5
[39] G. Trends, „Google Trends: ‚Virtuelle Realität' in Deutschland". 2024. Zugegriffen: 5. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://trends.google.de/trends/explore?date=today%205-y&geo=DE&q=%2Fg%2F11clygwzmh
[40] Kultusministerkonferenz, „Strategie der Kultusministerkonferenz ‚Bildung in der digitalen Welt'". 2021. Zugegriffen: 5. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.kmk.org/themen/bildung-in-der-digitalen-welt/strategie-bildung-in-der-digitalen-welt.html
[41] Brown University, „A-Frame with AR.js for marker-based AR". Zugegriffen: 10. April 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.vrwiki.cs.brown.edu/related-technology/ar-development-software/ar-js
[42] U. Technologies, „Unity WebGL Platform Limitations". Zugegriffen: 10. April 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://docs.unity3d.com/Manual/webgl-browsercompatibility.html
[43] International Organization for Standardization, „ISO/IEC 25010:2011 – Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and software quality models". 2011. Zugegriffen: 10. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.iso.org/standard/35733.html
[44] DEVK Versicherungen (Civey), „Mehr als die Hälfte der Schulkinder nutzen im Unterricht ein Tablet". DEVK Versicherungen, Juli 2024. Zugegriffen: 10. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.devk.de/unternehmen/presse/pressemitteilungen/tabletnutzung-schulkinder-22-07-2024
[45] International Organization for Standardization, „ISO 9241-210:2019 – Ergonomics of human-system interaction – Part 210: Human-centred design for interactive systems". April 2019. Zugegriffen: 10. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.iso.org/standard/77520.html
[46] M. Stickdorn, M. E. Hormess, A. Lawrence, und J. Schneider, „Mapping Journeys – This is Service Design Doing Methods". Zugegriffen: 2. Mai 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.thisisservicedesigndoing.com/methods/mapping-journeys
[47] J. Nielsen, „Heuristic Evaluation", in *Usability Inspection Methods*, J. Nielsen und R. L. Mack, Hrsg., New York: John Wiley & Sons, 1994, S. 25–62.
[48] Figma Inc., „Figma – Collaborative Interface Design Tool". 2024. Zugegriffen: 2. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter:

https://www.figma.com
[49] CVMaker, „ltijs – LTI 1.3 Tool Provider Library for Node.js“. 2024. Zugegriffen: 2. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://github.com/Cvmcosta/ltijs
[50] Sketchfab Inc., „Sketchfab API Documentation“. 2024. Zugegriffen: 2. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://sketchfab.com/developers
[51] S. Guelton, „JSZip – Create, read and edit .zip files with JavaScript“. 2024. Zugegriffen: 2. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://stuk.github.io/jszip

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: *Mesh-Elemente in 3D*

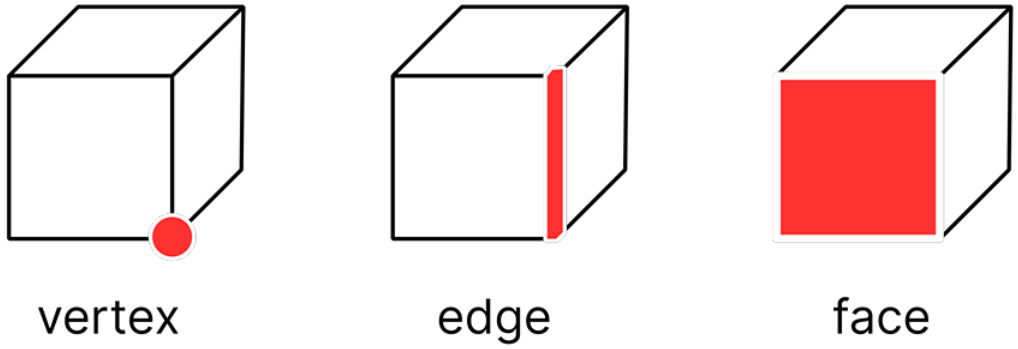


Abbildung 2: Textur Aufbau eines 3D-Objekts

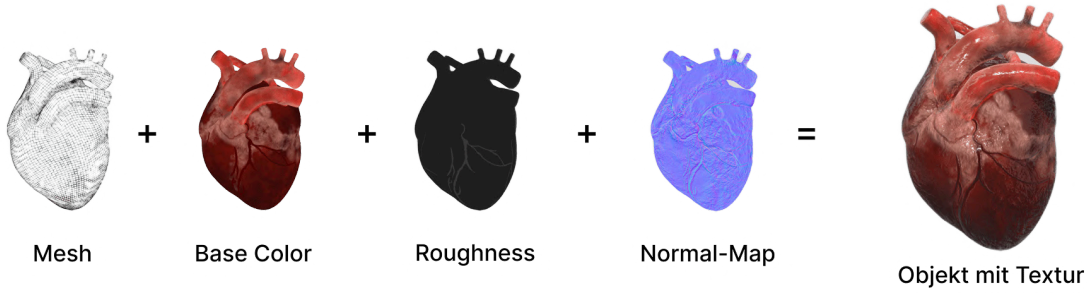


Abbildung 3: *Astronautentraining in VR mit der HTC Vive*

Abbildung 4: *Beispielhafte Darstellung medizinischer Inhalte in einer AR-Anwendung*

Abbildung 5: Blooms überarbeitete Taxonomie

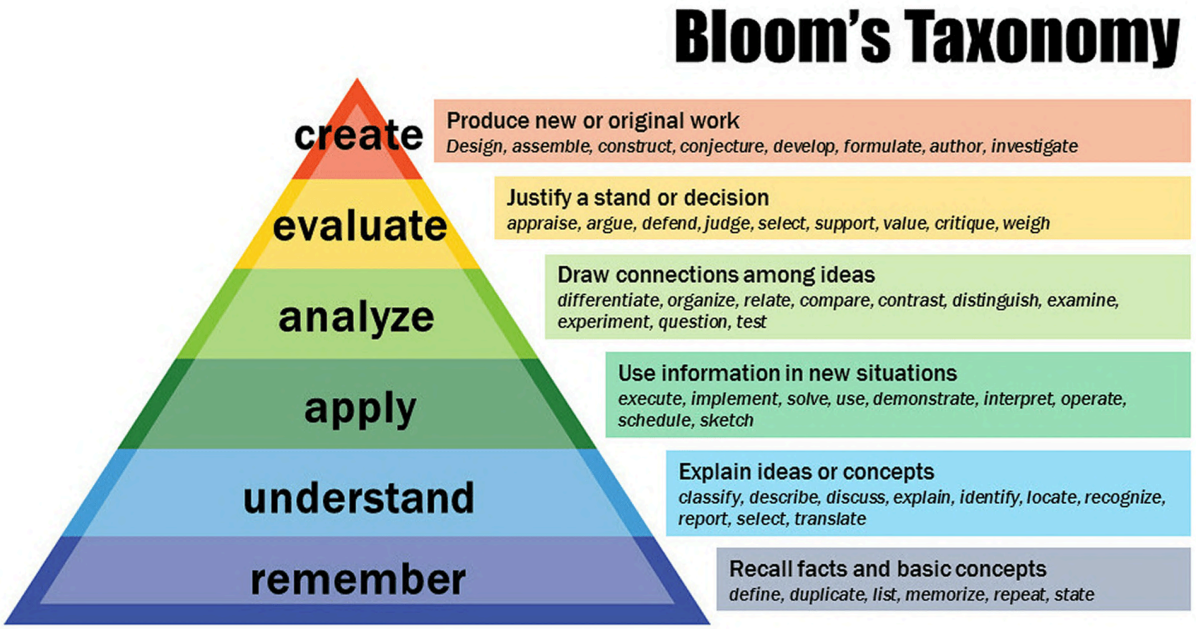


Abbildung 6: *Persona von Martin Berger*

Martin Berger

"Pragmatischer Anwender"

Alter: 48
Fach: Biologie & Erdkunde
Schule: Gemeinschaftsschule

Technikkompetenz: Mittel – nutzt regelmäßig Google Online-Dienste, Moodle, Präsentationstools und iPad-Anwendungen, möchte aber keine Zeit in komplexe Systeme investieren.

Arbeitsweise: Martin verwendet oft digitale Folien, kurze Videos und Moodle-Plugins. Technik soll ihn unterstützen, nicht herausfordern.

Motivation: Möchte seinen Unterricht visuell und modern gestalten, um die Aufmerksamkeit der Schüler:innen zu steigern, ohne aufwendig neue Systeme zu erlernen.

Didaktisches Ziel: Komplexe Strukturen anschaulich darstellen (z. B. Zellaufbau).

Technisches Ziel: Einfache Einbettung von 3D-Inhalten mit klarer Schritt-für-Schritt-Anleitung.

Bedürfnisse:
- Ein-Klick-Lösungen mit Moodle-Kompatibilität
- Intuitive Benutzeroberfläche mit klarer Struktur
- Vorlagen oder Beispiele zur schnellen Übernahme

Frustrationen:
- Wenn Tools lange Einarbeitung brauchen
- Angst, dass Technik während der Stunde versagt
- Keine Zeit, sich durch komplexe Tutorials zu arbeiten

"Ich möchte meinem Unterricht neue innovative Impulse geben – aber ohne dass ich dafür Programmierer werden muss."

Abbildung 7: *User Journey Map von Martin Berger*

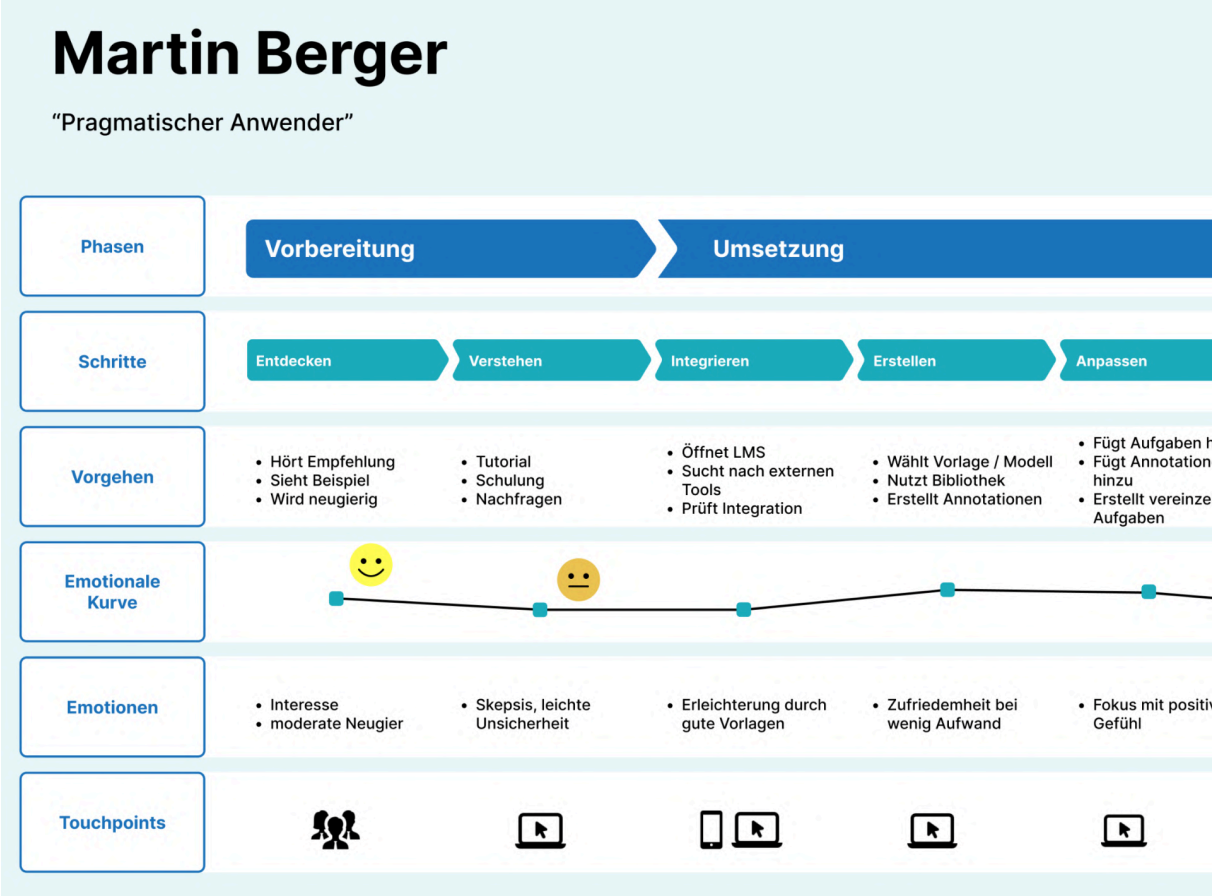


Abbildung 8: *Skizze des Low-Fidelity-Papierprototyps*

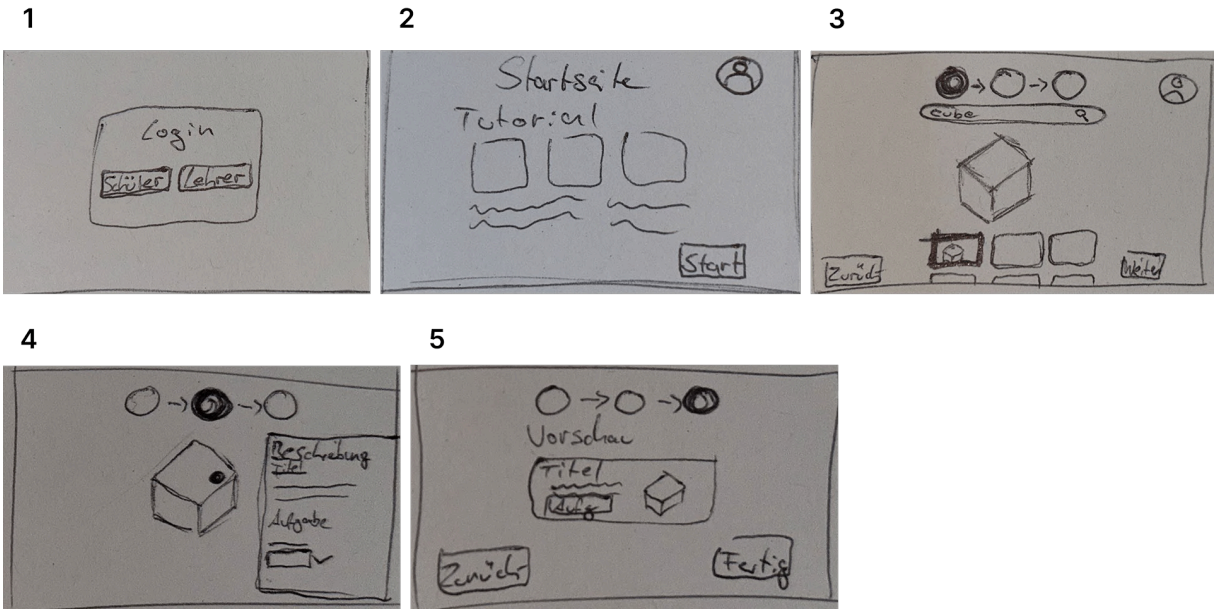


Abbildung 9: *Mid-Fidelity-Prototyp in Figma*

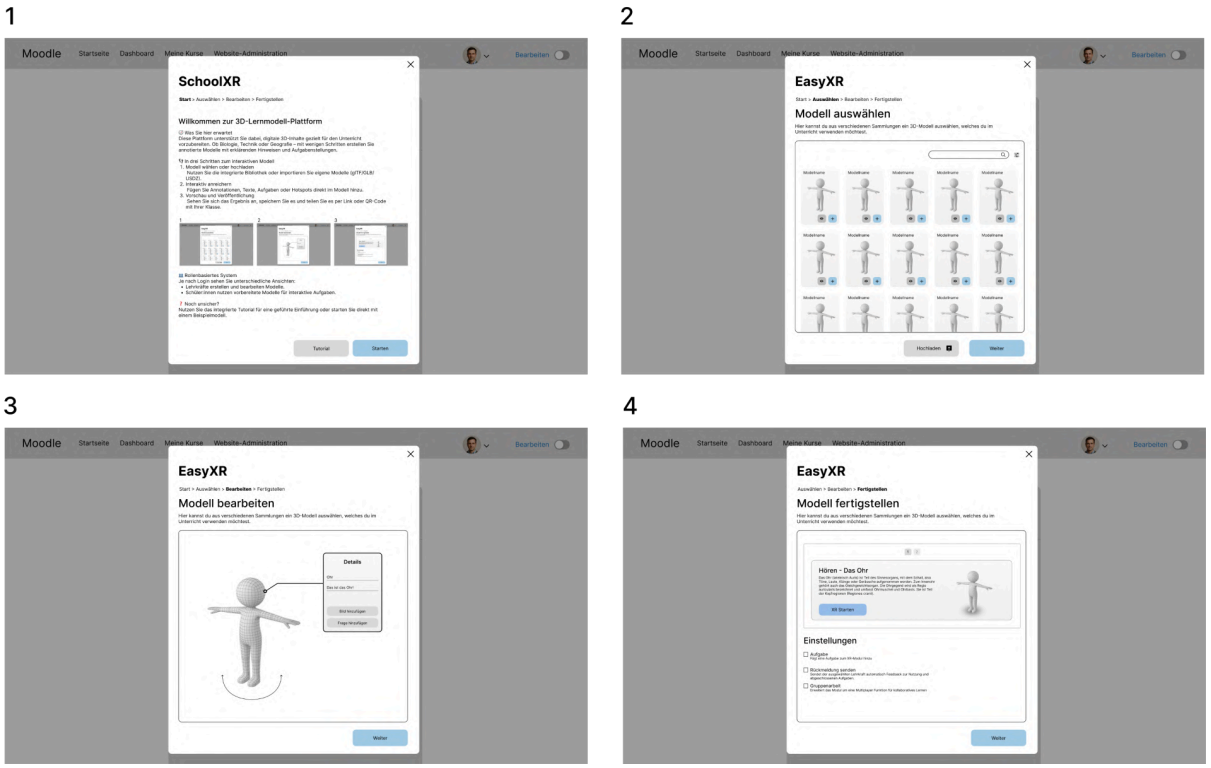


Abbildung 10: *Information-Flow-Diagram*

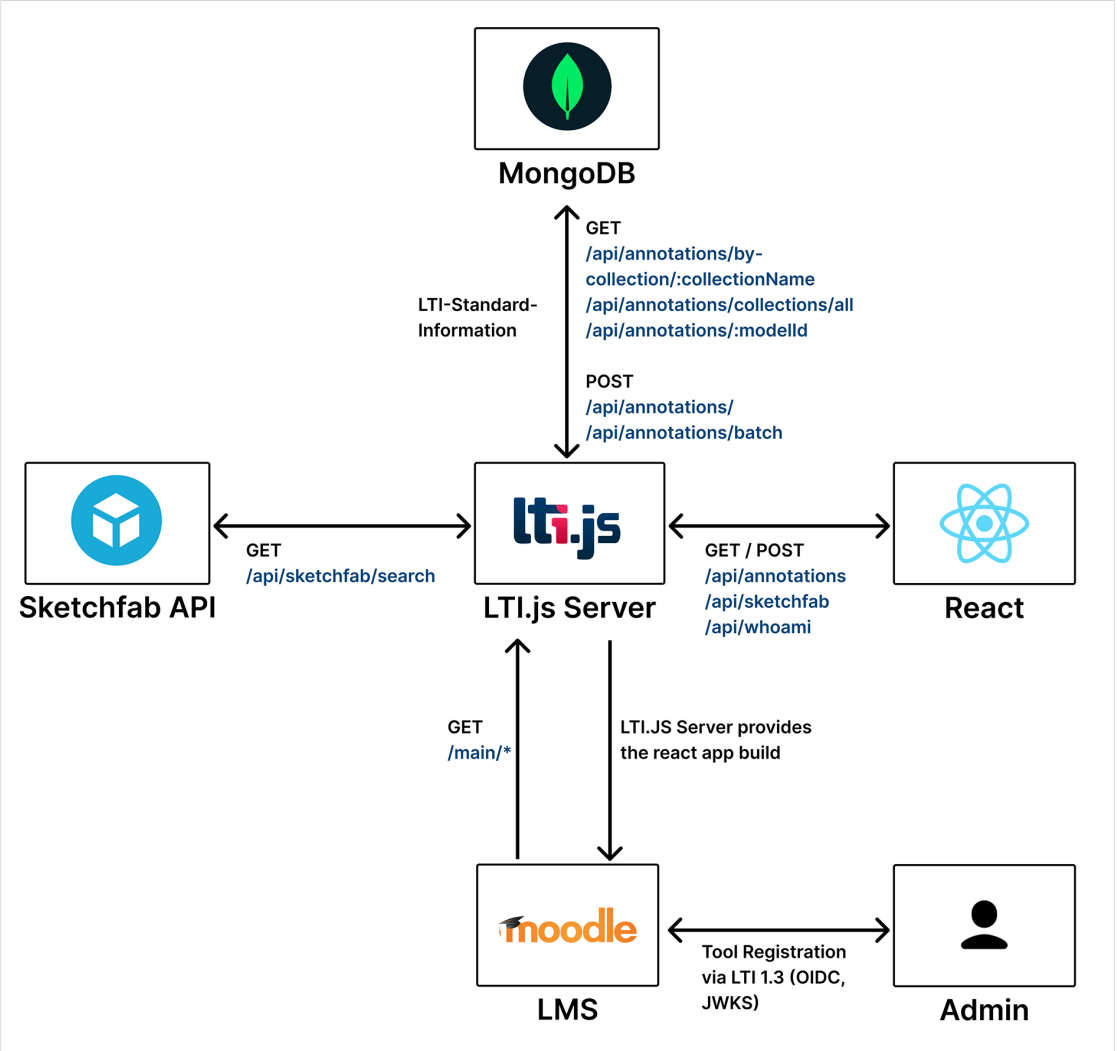


Abbildung 11: *Auswahlseite Technischer Prototyp*

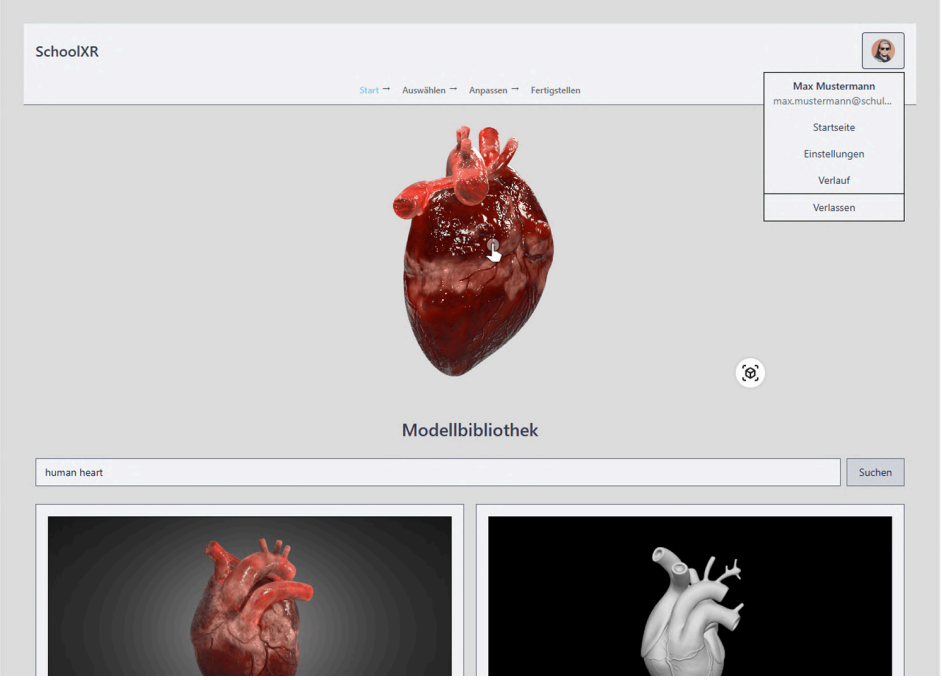


Abbildung 12: *Überarbeitete Elemente Prototyp 2*

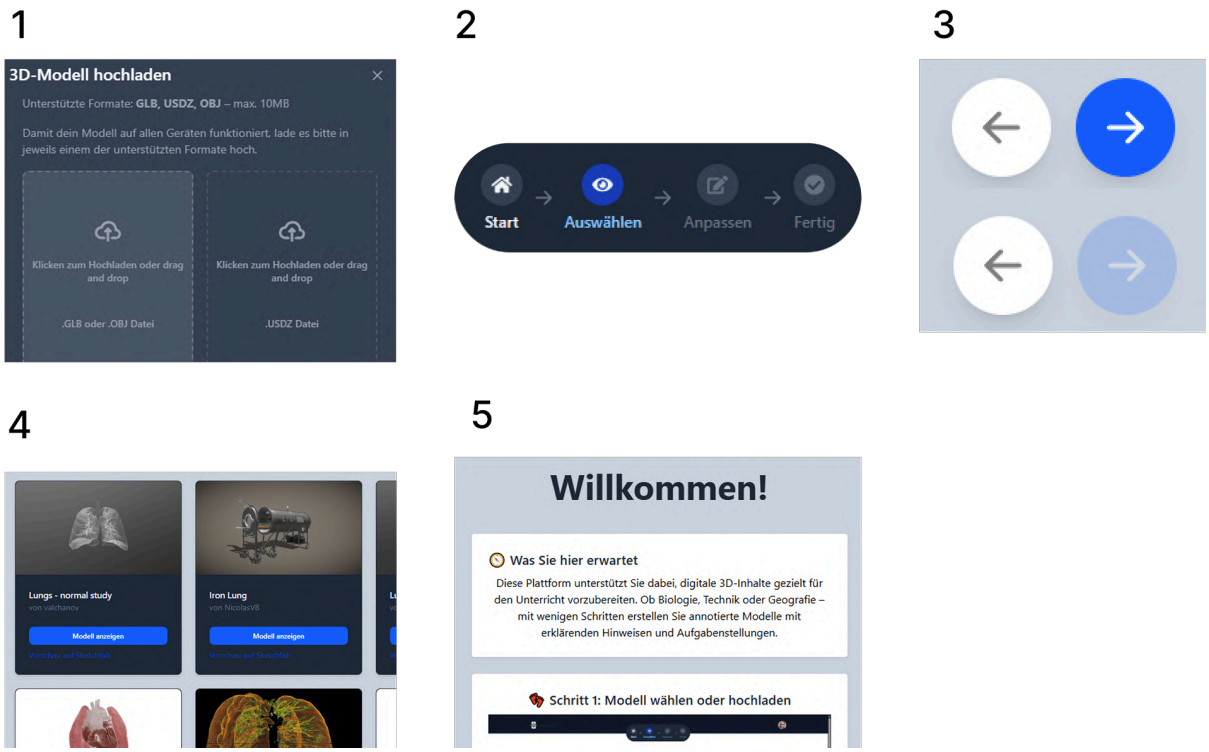
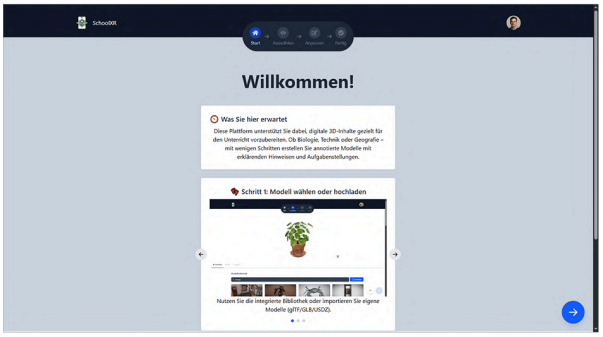
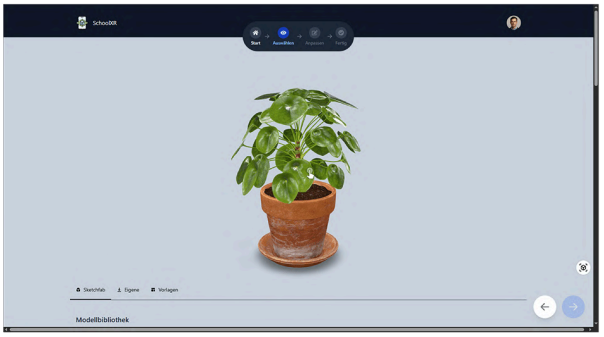


Abbildung 13: *Hauptansichten des Prototyps 2*

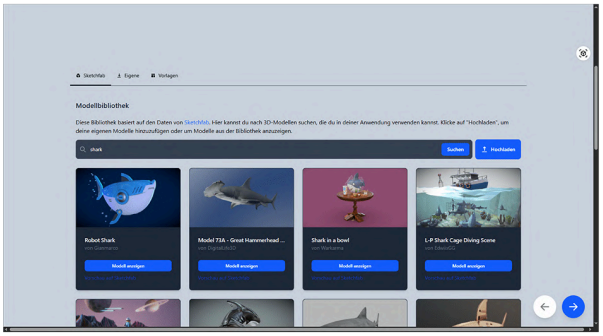
1



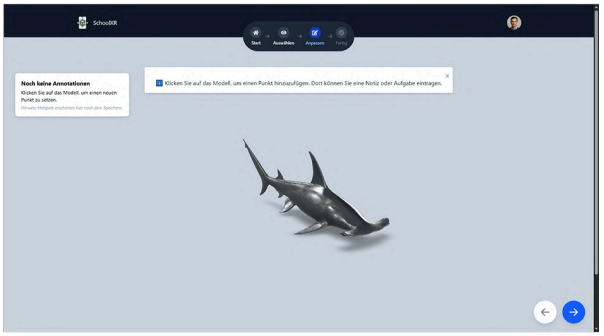
2



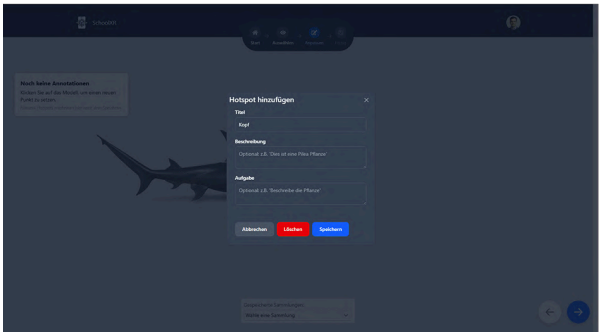
3



4



5



6

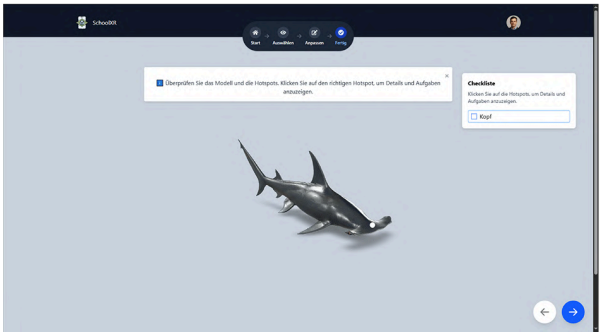


Abbildung 14: *Auswertung von Technikaffinität und verfügbaren Endgeräte*

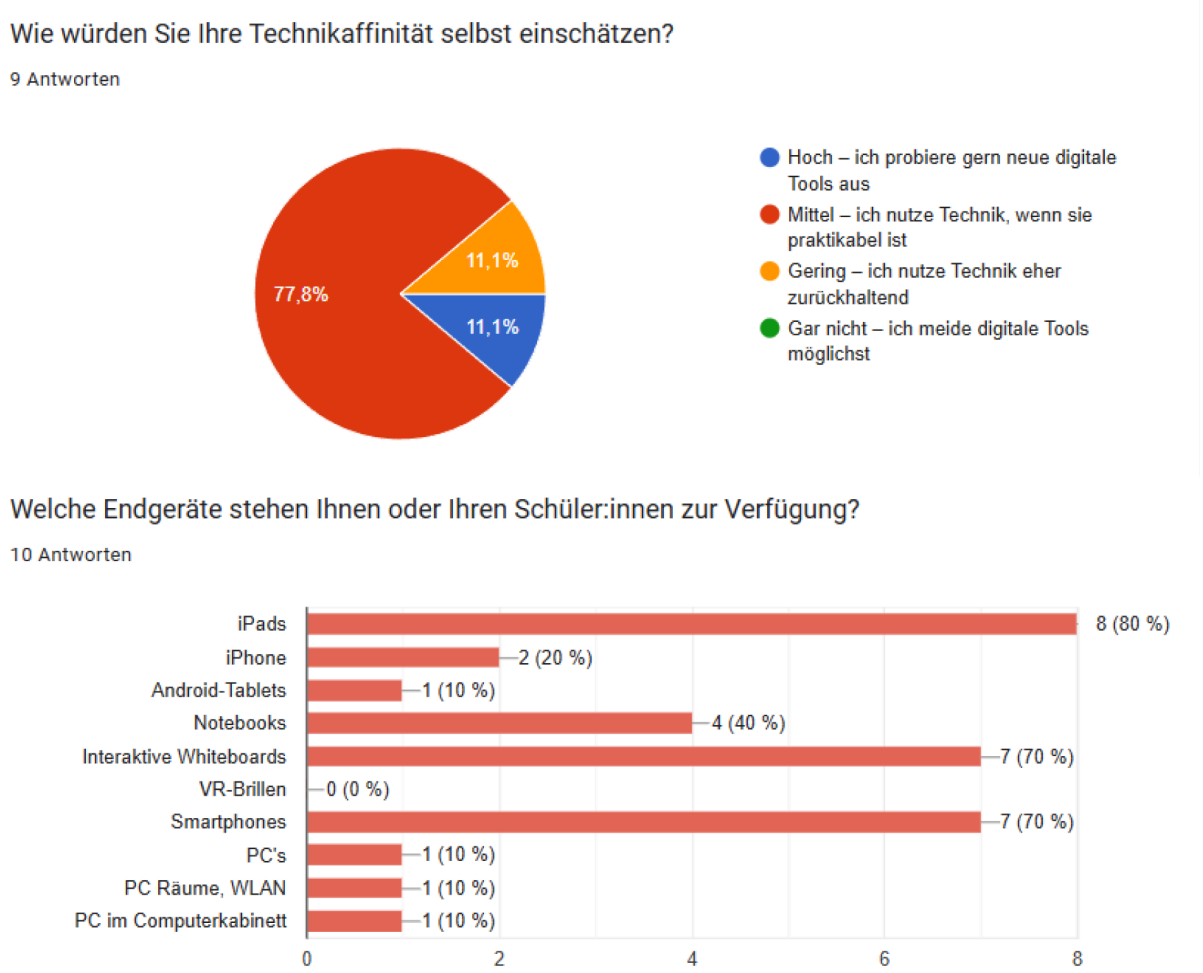
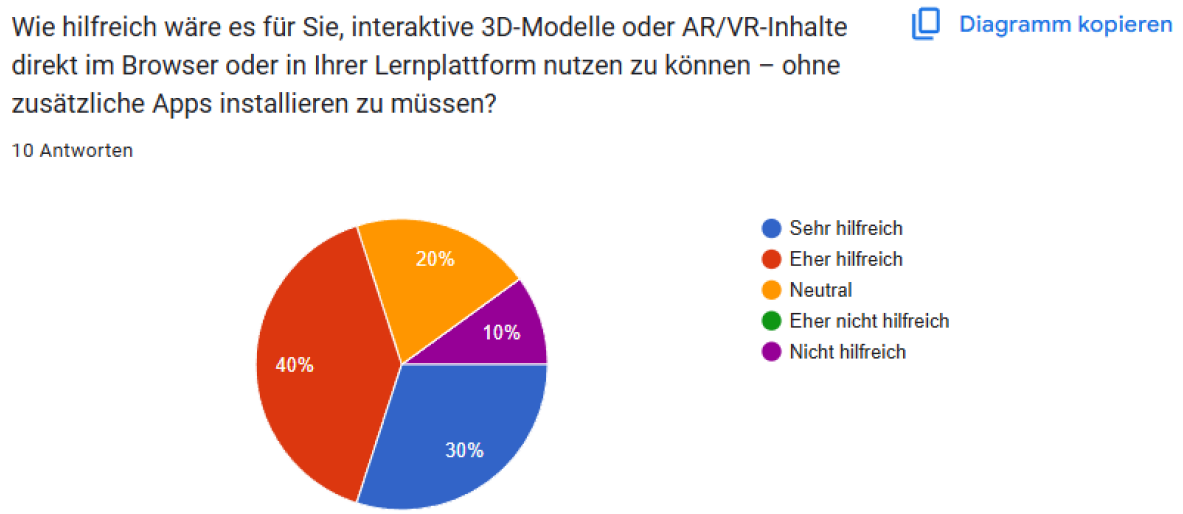


Abbildung 15: *Auswertung Interesse an XR*



12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Technologie-Vergleich

Kriterium	Apple Quick Look	Google Scene Viewer	model-viewer	WebXR (A-Frame)	Unity WebGL
Funktioniert auf iPad (Safari)?	Ja (nativ integriert)	Nein	Ja (über Quick Look)	Beschränkt[18]	Teilweise[19]
Funktioniert auf Android?	Nein	Ja (nativ integriert)	Ja (über Scene Viewer)	Ja	Teilweise[20]
Nutzung ohne App möglich?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Einbindung in Moodle etc.?	Einfach per Link/iFrame	Einfach per Link/iFrame	HTML/iFrame möglich	Mit technischem Aufwand	Möglich mit Hosting
Interaktivität (z. B. Buttons)?	Beschränkt	Beschränkt	Hotspots, Animationen möglich	Voll interaktiv	Voll interaktiv (aufwendig)
Nutzung von 3D-Modellen	Ja (USDZ-Format nötig)	Ja (glTF-Format nötig)	Ja (glTF & USDZ möglich)	Möglich, technischer Aufwand	Nur mit Entwickler-kenntnissen
Eignung für Lehrkräfte ohne IT-Kenntnisse	Sehr gut	Sehr gut	Gut (Basis-HTML nötig)	Weniger geeignet	Nicht geeignet
Empfohlen für …	iPads, spontaner Einsatz	Android, einfache AR	gemischte Endgeräte	Informatik-projekte	Komplexe Simulationen

[18] Kein WebXR-Support unter Safari (iOS)
[19] Einschränkungen bei Leistung und Stabilität auf mobilen Geräten
[20] Abhängig vom verwendeten Browser und Gerät

Tabelle 2: SWOT-Analyse

Stärken	Schwächen
• Kein App-Download nötig (Quick Look, Scene Viewer) • Plattformübergreifend (model-viewer) • Offene Standards fördern Interoperabilität • Einfache Einbindung in LMS möglich	• Kein WebXR-Support auf Safari/iOS • Unity instabil auf mobilen Geräten • Geringe Interaktivität bei Quick Look/Scene Viewer • Technisch komplexe LMS-Integration bei A-Frame/Unity
Chancen	**Risiken**
• Wachsende Akzeptanz von XR im Unterricht • Verfügbare 3D-Modelle aus Museen u. a. • Fortschritte bei WebXR (z. B. DOM-Overlays[21]) • Kombination von LMS & model-viewer als Einstieg	• Unterschiedliche Geräteformate (USDZ/glTF) nötig • Unklarheit in Schulen bzgl. Zuständigkeit/Know-how • Aufwand für Lehrkräfte • Fehlende Standardisierung bei WebXR

Tabelle 3: Anforderungen

ID	Anforderung	Typ	Quelle
F-01[22]	Anzeige von 3D-Modellen im Browser	Funktional	Keine App-Installation nötig, intuitive Nutzung (Kap. 5.3, 6.4)
F-02	Unterstützung von glTF/GLB und USDZ	Funktional	Plattformkompatibilität für iOS/Android (Kap. 3.1.1, 5.1, BYOD-Szenarien)
F-03	Hotspots / Annotationen in Modellen	Funktional	Didaktischer Mehrwert durch Interaktion (Kap. 3.2.2, Interviews)

[21] DOM-Overlays sind HTML-Elemente, die über eine Webanwendung gelegt werden, um z. B. interaktive Inhalte oder Benutzeroberflächen bereitzustellen, ohne die zugrunde liegende Anwendung direkt zu verändern.

[22] F-XX = Funktionale Anforderungen (Was soll die Software tun?)

F-04	Integration in bestehende Kurse	Funktional	Integration in bestehende LMS & Offline-Nutzung (Kap. 3.3, Interviews, 6.4)
F-05	Integration per iFrame in Moodle/dBildungscloud	Funktional	LMS-Kompatibilität (Kap. 3.3, Interview, Use Case UC3)
F-06	Hinzufügen von Text, Bild und Video	Funktional	Multimediale Anreicherung (Kap. 3.2.2, Interviews, Use Case UC1)
F-07	Upload eigener 3D-Modelle durch Lehrkräfte	Funktional	Flexibilität & Individualisierung (Zielsetzung, Use Case UC1)
F-08	Aufgabenformulierung im Tool integrierbar	Funktional	Lernzielorientierung und Steuerung (Kap. 3.2.5, Interview, Use Case UC3)
F-09	Feedbackfunktion zu Lernaktivität / Modellinteraktion	Funktional	Automatisierte Rückmeldung (Interview, Persona Martin, User Journey Nachbereitung)
NF-01[2][3]	Plattformunabhängigkeit (iOS, Android, Desktop)	Nicht-funktional	Gerätevielfalt im Unterricht (Kap. 5.1, Umfrage, Interview)
NF-02	Bedienbarkeit ohne technisches Vorwissen	Nicht-funktional	Zielgruppenvielfalt (Kap. 6.2, Personas Martin & Peter)
NF-03	Keine Softwareinstallation erforderlich	Nicht-funktional	Niedrige Einstiegshürde (Kap. 2.1, 5.5)
NF-04	Ladezeit < 5 Sekunden bei Standardmodell	Nicht-funktional	Performance und Stabilität (ISO 25010)
NF-05	DSGVO-konforme Nutzung ohne Benutzerkonto	Nicht-funktional	Datenschutz an Schulen (Kap. 3.3, Interview)
NF-06	Kompatibilität mit restriktiven Schulnetzwerken	Nicht-funktional	Praxisanforderungen aus Interviews
NF-07	Erweiterbarkeit (z. B. Modellbibliothek, Gamification)	Nicht-funktional	Zukunftsfähigkeit & Anschlussfähigkeit (Kap. 9, Persona Lena)
NF-08	Barrierearme Nutzung (z. B. Kontrast, Bedienung)	Nicht-funktional	ISO 25010: Usability & Accessibility

[23] NF-XX = Nicht-funktionale Anforderungen (Wie soll sie es tun?)

Tabelle 4: Testdokumentation digitaler Prototyp

Methode	Ziel / Fokus	Beobachtungen / Schwächen	Konkrete Verbesserungen
Cognitive Walkthrough	Schrittweises Durchgehen aus Sicht der Lehrkraft (z. B. bei UC1, UC2)	• Ziele mancher Seiten nicht sofort erkennbar • Weiter-/Zurück-Buttons teilweise missverständlich • Kein klarer „nächster Schritt"-Indikator	• Buttons neu beschriftet • Visuelle Progress-Anzeige ergänzt • Tooltips an kritischen Stellen hinzugefügt
Heuristische Evaluation	Analyse nach Nielsen-Heuristiken (z. B. Sichtbarkeit, Konsistenz, Rückmeldung)	• Ähnliche Farbgebung bei Navigationselementen • Keine direkte visuelle Reaktion nach Aktionen • Uneinheitliche Beschriftungen und Icons	• Farbkontrast erhöht • Feedback-Meldungen eingebaut • UI-Elemente nach UI-Standards überarbeitet
ISO 9241-110 Review	Bewertung bzgl. Selbstbeschreibung sfähigkeit, Erwartungs-konformität, Fehlertoleranz	• Annotationen optisch nicht mit Modell verbunden • Nutzer:in weiß nicht, was im LMS passiert • Manche Labels zu technisch formuliert	• Labels überarbeitet (didaktischer) • Annotationen näher am Modell • LMS-Integration visuell angedeutet
Anforderungs-Review	Abgleich mit den Use Cases (UC1–UC5) und didaktischen Zielen	• Modellbibliothek wirkt unstrukturiert • Keine Hinweise zur Aufgabenstellung sichtbar • Sammlungen nicht auffindbar oder benennbar	• Bibliothek mit Filtern, Labels, Beispielen ergänzt • Aufgabenfeld grafisch hervorgehoben • Sammlungsfunktion ergänzt

Tabelle 5: Anforderungen aus Interviews und Umfrage

Kategorie	Anforderungen laut Interviews	Zuordnung zu Anforderung (Kap. 6.3)
Technik	Webbasiert, keine App-Installation, kompatibel mit BYOD	F-01, F-02, NF-01, NF-03
Didaktik	Fächerübergreifend, klarer Bezug zur Unterrichtspraxis, Integration von Aufgaben	F-03, F-06, F-08
Usability	Intuitive Bedienung, bekannte UI-Muster, geringer Aufwand	NF-02, NF-08
Integration	Anschluss an bestehende Systeme (z. B. Moodle), DSGVO-konform	F-05, NF-05, NF-06
Praxisnähe	Vorlagen, Szenarien, Tutorials für sofortigen Einsatz	NF-07, F-09 (indirekt über Feedback-Logik)

13 Anhang

A1 Personas

Persona 1

Lena Richter

"Digitale Pioniere"

Alter: 29
Fach: Physik, Informatik
Schule: Gymnasium

Technikkompetenz: Sehr hoch – versiert im Umgang mit HTML, Webtools, LMS, iPads, gamifizierten Tools und auch etwas Erfahrung mit XR-Technologien.

Arbeitsweise: Lena plant ihren Unterricht digital, nutzt regelmäßig interaktive Tools und testet neue didaktische Formate. Sie ist aktives Mitglied im digitalen Kollegium und teilt Best Practices.

Motivation: Sie möchte Schüler:innen durch immersive Inhalte emotional binden, zukunftsorientierte Kompetenzen fördern und neue Technologien sinnvoll in die Didaktik integrieren.

Didaktisches Ziel: Eigenständiges, exploratives Lernen fördern – z. B. durch XR-Simulationen physikalischer Prozesse.

Technisches Ziel: Flexible XR-Plattform mit Möglichkeiten zur technischen Anpassung und Integration eigener Inhalte.

Bedürfnisse:
- Erweiterbarkeit und Modularität (Hotspots, Annotationen, Upload eigener Modelle)
- LMS-Integration ohne Einschränkungen
- Zugriff auf offene 3D-Ressourcen (z. B. Sketchfab, Museen)

Frustrationen:
- Geschlossene Plattformen ohne Schnittstellen
- Tools, die auf iPads nur eingeschränkt laufen
- Mangel an Interaktivität oder didaktischer Tiefe

"Ich will, dass meine Schüler:innen nicht nur sehen, wie ein Atom aufgebaut ist – sie sollen es erleben"

Persona 4

Martin Berger

"Pragmatischer Anwender"

Alter: 48
Fach: Biologie & Erdkunde
Schule: Gemeinschaftsschule

Technikkompetenz: Mittel – nutzt regelmäßig Google Online-Dienste, Moodle, Präsentationstools und iPad-Anwendungen, möchte aber keine Zeit in komplexe Systeme investieren.

Arbeitsweise: Martin verwendet oft digitale Folien, kurze Videos und Moodle-Plugins. Technik soll ihn unterstützen, nicht herausfordern.

Motivation: Möchte seinen Unterricht visuell und modern gestalten, um die Aufmerksamkeit der Schüler:innen zu steigern, ohne aufwendig neue Systeme zu erlernen.

Didaktisches Ziel: Komplexe Strukturen anschaulich darstellen (z. B. Zellaufbau).

Technisches Ziel: Einfache Einbettung von 3D-Inhalten mit klarer Schritt-für-Schritt-Anleitung.

Bedürfnisse:
- Ein-Klick-Lösungen mit Moodle-Kompatibilität
- Intuitive Benutzeroberfläche mit klarer Struktur
- Vorlagen oder Beispiele zur schnellen Übernahme

Frustrationen:
- Wenn Tools lange Einarbeitung brauchen
- Angst, dass Technik während der Stunde versagt
- Keine Zeit, sich durch komplexe Tutorials zu arbeiten

"Ich möchte meinem Unterricht neue innovative Impulse geben – aber ohne dass ich dafür Programmierer werden muss."

Persona 5

Peter Hoffmann

"Digital Skeptisch"

Alter: 61
Fach: Deutsch & Geschichte
Schule: Oberschule

Technikkompetenz: Grundlegend, nutzt z.B. Word, E-Mail, Moodle-Basics; fühlt sich jedoch schnell überfordert bei technischen Problemen.

Arbeitsweise: Peter unterrichtet gerne klassisch, setzt aber zunehmend digitale Tafelbilder oder Textdokumente ein. Digitale Medien bedeuten für ihn oft Stress.

Motivation: Möchte mit der Zeit gehen und den Unterricht interessanter machen – vor allem für visuelle Lerntypen. Sucht Lösungen, die ihn nicht überfordern.

Didaktisches Ziel: Inhalte lebendiger und greifbarer machen

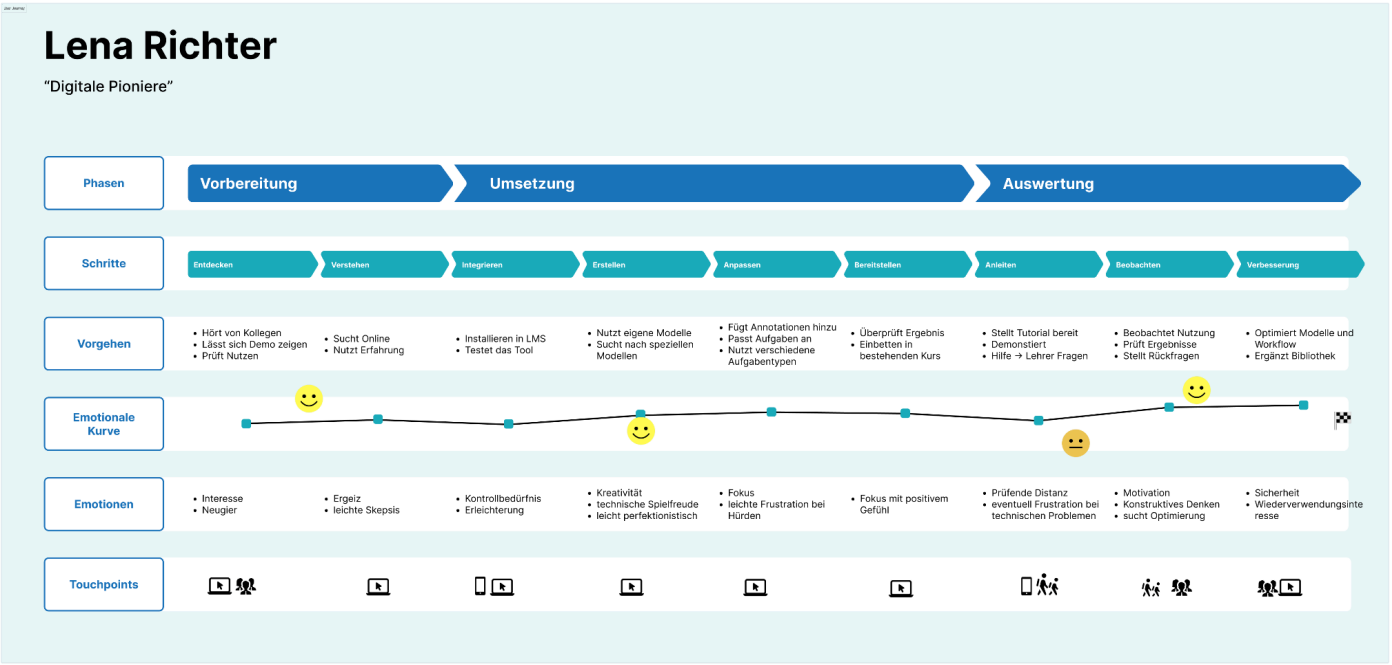
Technisches Ziel: Einfach starten, ohne Registrierung, Installation oder Vorwissen.

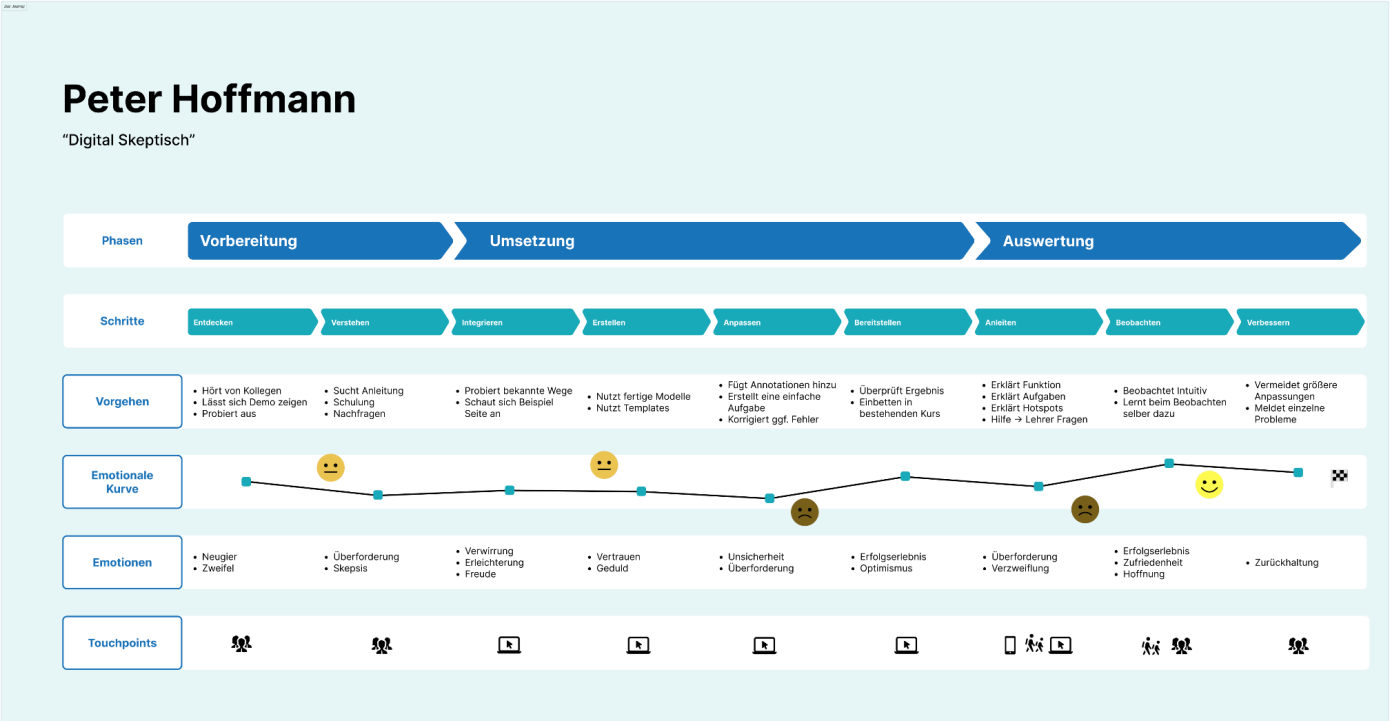
Bedürfnisse:
- Extrem intuitive Bedienung („Plug & Play")
- Fertige 3D-Objekte mit klarer Anleitung
- Keine technischen Begriffe oder Installationsschritte

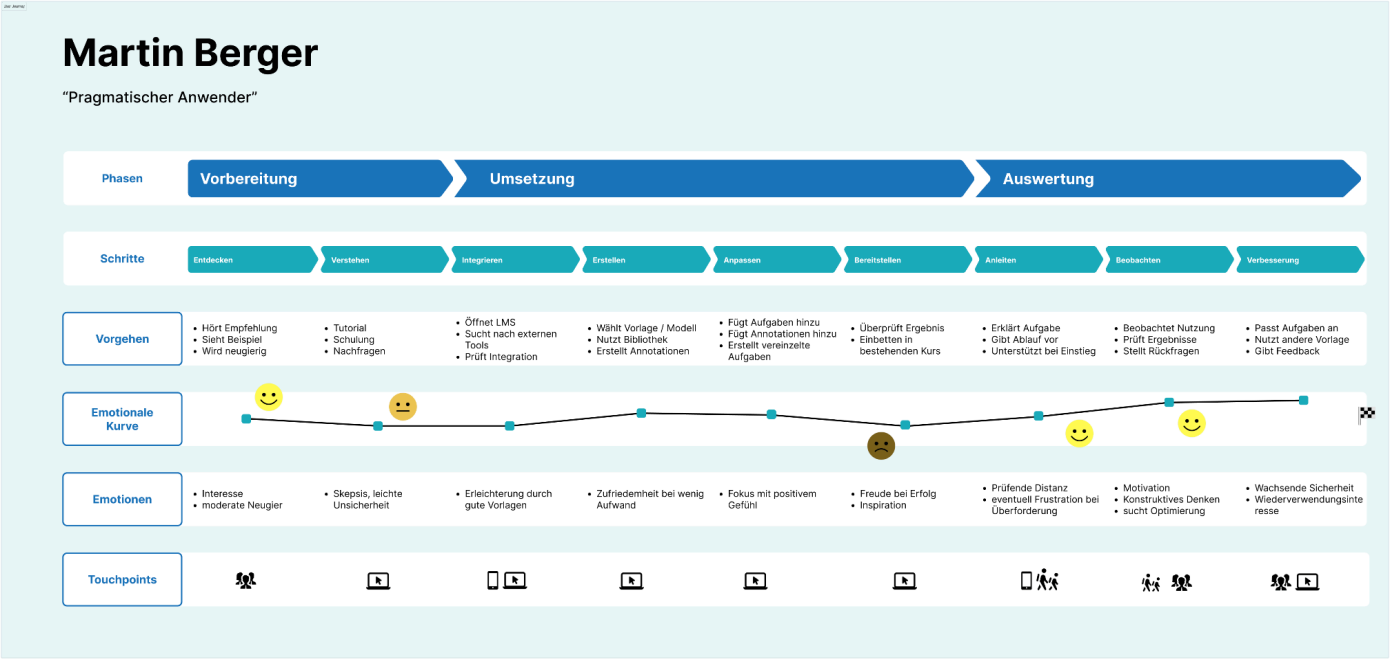
Frustrationen:
- Tools, die auf Safari nicht funktionieren
- Fehlermeldungen, ohne zu wissen, was sie bedeuten
- Wenn Technik mehr Zeit frisst, als sie spart

"Ich möchte, dass die Technik mir und meinen Schülern hilft – nicht, dass ich sie erstmal verstehen muss."

A2 User Journey Maps






Martin Berger
“Pragmatischer Anwender”
Phasen
Vorbereitung
Umsetzung
Auswertung
Schritte
Entdecken
Verstehen
Integrieren
Erstellen
Anpassen
Bereitstellen
Anleiten
Beobachten
Verbesserung
Vorgehen
• Hört Empfehlung
• Sieht Beispiel
• Wird neugierig
• Tutorial
• Schulung
• Nachfragen
• Öffnet LMS
• Sucht nach externen Tools
• Prüft Integration
• Wählt Vorlage / Modell
• Nutzt Bibliothek
• Erstellt Annotationen
• Fügt Aufgaben hinzu
• Fügt Annotationen hinzu
• Erstellt vereinzelte Aufgaben
• Überprüft Ergebnis
• Einbetten in bestehenden Kurs
• Erklärt Aufgabe
• Gibt Ablauf vor
• Unterstützt bei Einstieg
• Beobachtet Nutzung
• Prüft Ergebnisse
• Stellt Rückfragen
• Passt Aufgaben an
• Nutzt andere Vorlage
• Gibt Feedback
Emotionale Kurve
Emotionen
• Interesse
• moderate Neugier
• Skepsis, leichte Unsicherheit
• Erleichterung durch gute Vorlagen
• Zufriedemheit bei wenig Aufwand
• Fokus mit positivem Gefühl
• Freude bei Erfolg
• Inspiration
• Prüfende Distanz
• eventuell Frustration bei Überforderung
• Motivation
• Konstruktives Denken
• sucht Optimierung
• Wachsende Sicherheit
• Wiederverwendungsinteresse
Touchpoints

A3 Fragebogen Usability Test

Fragebogen zur Usability-Evaluation des XR-Prototyps

In Google anmelden, um den Fortschritt zu speichern. Weitere Informationen

Einleitung

Vielen Dank, dass Sie sich bereit erklärt haben, unseren XR-Prototypen für den Einsatz im Unterricht zu testen. Ziel dieses Tests ist es, Rückmeldung zur Benutzerfreundlichkeit und didaktischen Einsetzbarkeit der Anwendung zu erhalten.

Bitte führen Sie die folgende Aufgabe durch – sie ist einem typischen Szenario aus dem Biologieunterricht nachempfunden:

Aufgabenstellung

Stellen Sie sich vor, Sie sind Biologielehrer:in und möchten eine Unterrichtseinheit zum Thema „Kreislauf- und Organsysteme" vorbereiten. Um Ihren Schüler:innen das Herz anschaulich und interaktiv zu vermitteln, planen Sie den Einsatz eines webbasierten XR-Tools, das 3D-Modelle und Annotationen unterstützt.

Suchen Sie ein 3D-Modell eines menschlichen Skeletts.

Versehen Sie es mit zwei Annotationen:

1. eine am Schädel
2. eine an der Wirbelsäule.

Speichern Sie das Modell unter dem Namen „Skelettlektion" und schließen Sie die Bearbeitung erfolgreich ab.

👉 *Prototyp öffnen (bitte über Laptop, Tablet oder Desktop PC öffnen)*

Wenn Sie die Aufgabe abgeschlossen haben, nehmen Sie sich bitte 5–10 Minuten Zeit, um den folgenden Fragebogen auszufüllen. Ihre Rückmeldung hilft uns, die Anwendung weiter zu verbessern.

Bedienbarkeit

Bitte kreuzen Sie an, wie sehr Sie den Aussagen zustimmen:

Ich würde dieses System gerne regelmäßig verwenden.

	1	2	3	4	5	
Gar nicht	○	○	○	○	○	Ja

Ich empfand das System als unnötig komplex.

	1	2	3	4	5	
Gar nicht	○	○	○	○	○	Ja

Das System war einfach zu benutzen.

	1	2	3	4	5	
Gar nicht	○	○	○	○	○	Ja

Ich denke, ich bräuchte die Hilfe einer technisch versierten Person.

	1	2	3	4	5	
Gar nicht	○	○	○	○	○	Ja

Die Funktionen waren gut miteinander integriert.

	1	2	3	4	5	
Gar nicht	○	○	○	○	○	Ja

Es gab zu viele Inkonsistenzen im System.

	1	2	3	4	5	
Gar nicht	○	○	○	○	○	Ja

Ich denke, die meisten Lehrkräfte könnten das System schnell erlernen.

	1	2	3	4	5	
Gar nicht	○	○	○	○	○	Ja

Die Bedienung war umständlich.

	1	2	3	4	5	
Gar nicht	○	○	○	○	○	Ja

Ich fühlte mich bei der Nutzung sicher.

	1	2	3	4	5	
Gar nicht	○	○	○	○	○	Ja

Ich musste vieles lernen, bevor ich loslegen konnte.

	1	2	3	4	5	
Gar nicht	○	○	○	○	○	Ja

Offene Fragen

Was hat Ihnen besonders gut gefallen?

Meine Antwort

Gab es etwas, das unklar oder schwierig war?

Meine Antwort

Wie bewerten Sie die Umsetzung der Aufgabe (Modell finden, annotieren, speichern)?

Meine Antwort

Würden Sie das Tool im Unterricht einsetzen? Warum (nicht)?

Meine Antwort

Was würden Sie sich für eine nächste Version wünschen?

Meine Antwort

A4 Umfrageergebnisse “Integration von XR in den Schulunterricht”

Welche Rolle haben Sie im schulischen Umfeld?

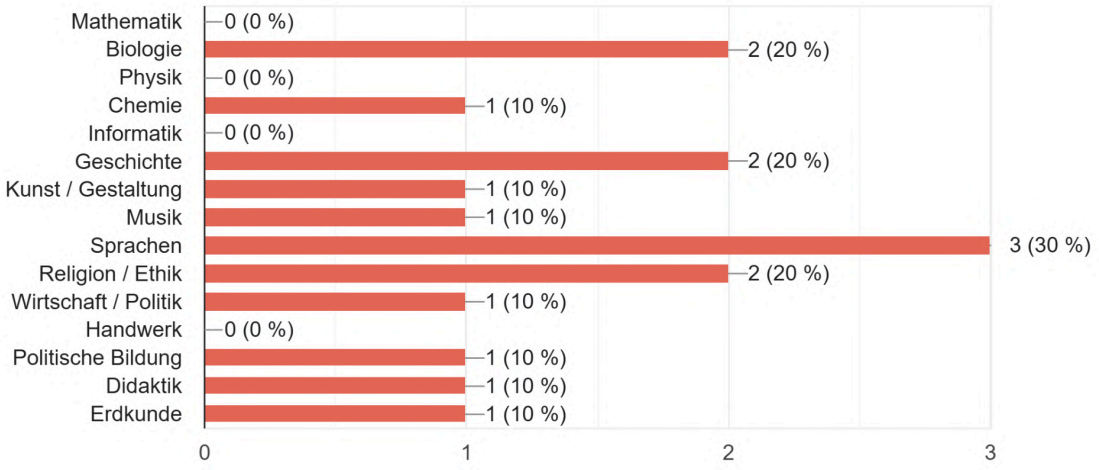
10 Antworten

An welcher Schulform sind Sie tätig / lernen Sie?

10 Antworten

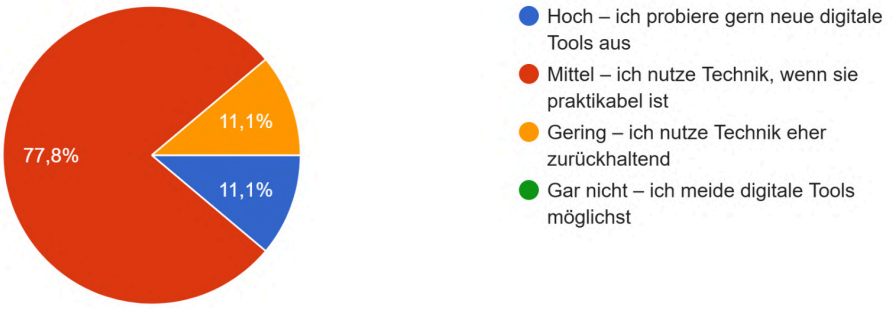
Welchen Fachbereichen gehören Sie an?

10 Antworten



Wie würden Sie Ihre Technikaffinität selbst einschätzen?

9 Antworten

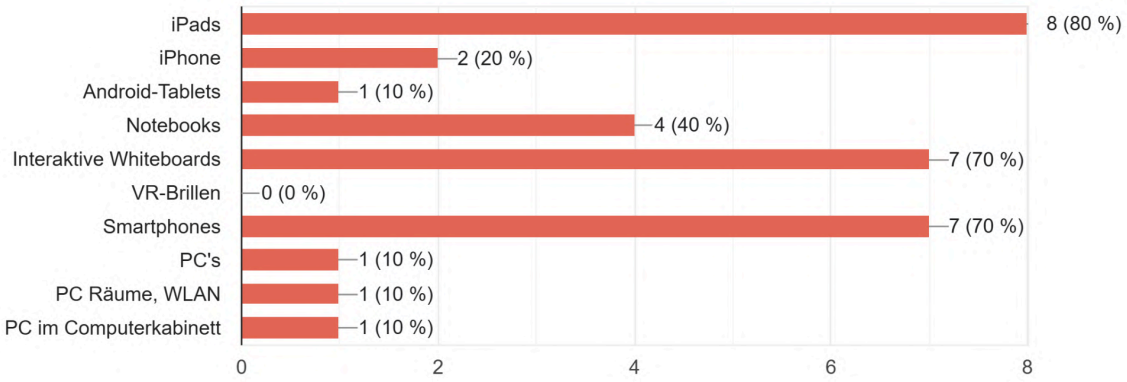


Wie sicher fühlen Sie sich im Umgang mit digitalen Medien im Unterricht?

9 Antworten

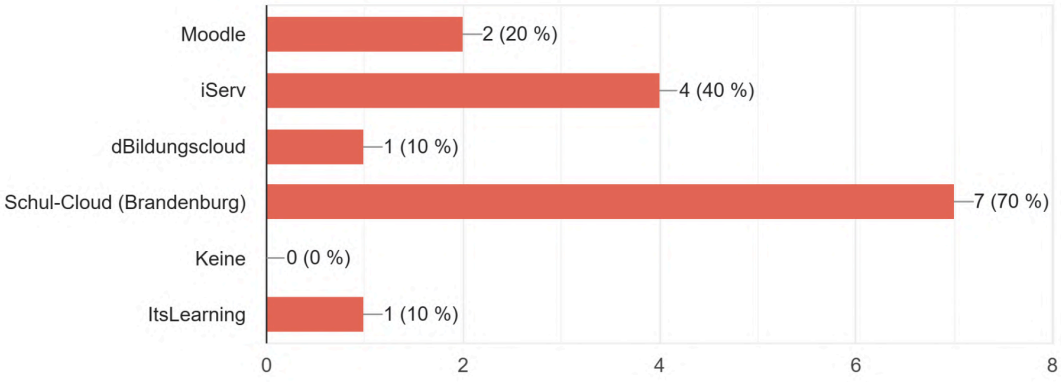
Welche Endgeräte stehen Ihnen oder Ihren Schüler:innen zur Verfügung?

10 Antworten



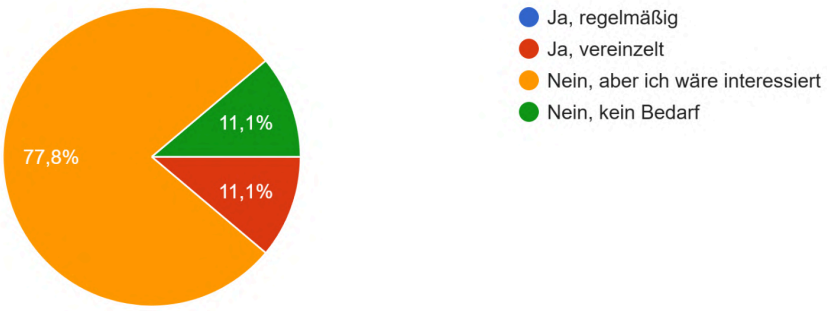
Welche digitalen Lernplattform(en) nutzen Sie im Schulalltag?

10 Antworten



Haben Sie bereits digitale 3D-Modelle oder virtuelle/erweiterte Realitätsinhalte (z. B. AR/VR) im Unterricht eingesetzt?

9 Antworten



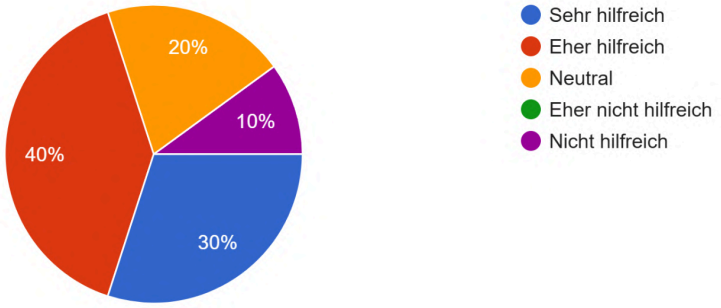
Falls ja: Welche Tools oder Plattformen haben Sie dafür genutzt?

1 Antwort

H5P

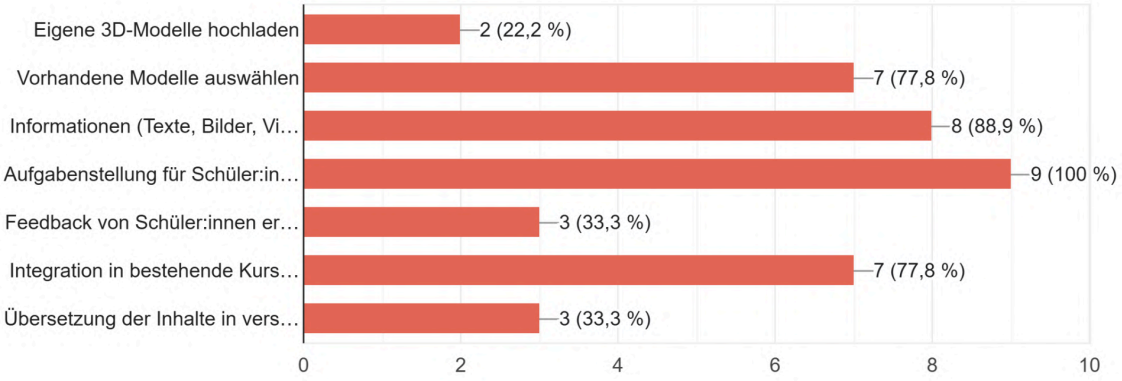
Wie hilfreich wäre es für Sie, interaktive 3D-Modelle oder AR/VR-Inhalte direkt im Browser oder in Ihrer Lernplattform nutzen zu können – ohne zusätzliche Apps installieren zu müssen?

10 Antworten



Welche Funktionen wären für Sie besonders wichtig?

9 Antworten



Gibt es Herausforderungen oder Frustrationen, die Sie im Umgang mit digitalen Medien im Unterricht erleben?

7 Antworten

Schlechte Internetverbindung

völlig unzureichende technische Ausstattung der Schule, schlechte Administration durch die zuständige IT-Abteilung der Stadt, zu wenig eigene administrative Rechte, fehlende Software/ jahrelanger bislang erfolgloser "Kampf" 3-D-Programme mit den SuS nutzen zu können

Unser Internet ist sehr langsam, daher dauern Downloads sehr lange.

zu geringe Bandbreite in der Schule, Absturzgefahr beim Hochladen (zu langsam, ruckeln)

Smartboards (besonders ältere Modelle) nerven manchmal

WLAN zu schwach

W-Lan Verbindung

Haben Sie konkrete Ideen oder Wünsche, wie Sie VR/AR/XR-Technologien im Unterricht einsetzen würden?

7 Antworten

virtuelle Exkursionen

interaktive Modelle mit Schülern erstellen zu können

Besuchen anderer Orte, die man via Klassenfahrt nur schwer besuchen kann; simulieren von Gesprächssituationen (je nach Möglichkeiten lässt sich sicherlich was finden)

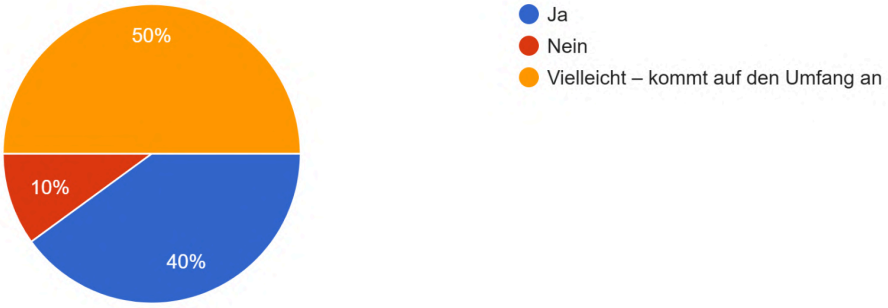
virtuelle Exkursionen

Virtuelle Exkursionen, Eintauchen in vergangene Zeiten, z.B. antikes Rom

Virtuelle Lernwelten und Exkursionen

Wären Sie bereit, nach der Entwicklung ein kurzes Feedback zum Tool zu geben (z. B. 5–10 Minuten Usability-Test)?

10 Antworten



Lizenzhinweis

Diese Arbeit steht unter der Creative Commons Lizenz CC BY-SA 4.0 International

https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de

Du darfst dieses Werk teilen und bearbeiten – unter der Bedingung, dass du den Urheber nennst und deine Änderungen unter derselben Lizenz weitergibst.

© Lasse Knodt, 2025

Hinweis zum Umgang mit KI-gestützten Anwendungen

Für die Erstellung der vorliegenden Arbeit wurden KI-gestützte Anwendungen eingesetzt, darunter ChatGPT, Perplexity.AI und DeepL Write.

Diese Anwendungen wurden als Werkzeuge zu Recherchezwecken verwendet, um so die Qualität der Arbeit zu verbessern und den wissenschaftlichen Anspruch zu erhöhen.

Die inhaltliche Konzeption, die wissenschaftliche Argumentation, die Auswahl und Bewertung der Quellen sowie die abschließende Verantwortung für sämtliche Inhalte obliegen uneingeschränkt dem Verfasser dieser Arbeit.

Die Nutzung der KI-gestützten Anwendungen erfolgte unter Beachtung der Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis. Insbesondere wurden keine automatisch generierten Inhalte direkt oder paraphrasiert übernommen, ohne dies zu kennzeichnen.

Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere, dass ich die Bachelorarbeit "Konzeption und Umsetzung einer webbasierten Anwendung für den Einsatz von XR-Technologien im Schulunterricht" selbständig und ohne unzulässige fremde Hilfe angefertigt habe und dass ich alle von anderen Autoren wörtlich übernommenen Stellen wie auch die sich an die Gedankengänge anderer Autoren eng anlehnenden Ausführungen meiner Arbeit besonders gekennzeichnet und die entsprechenden Quellen angegeben habe.

Diese Arbeit hat noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Ort, Datum Unterschrift