

Seminararbeit

Analyse und Konzeption eines VR-Szenarios zur
Simulation des Baus einer Fischaufstiegsanlage
in der höheren Lehre

Hussein Idris

Medizintechnik und Technomathematik

Fachhochschule Aachen

1. Betreuer: Prof. Dr. Philipp Rohde
2. Betreuer: M. Sc. Patrick Querl

15. Dezember 2024

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	2
2 Theoretische Grundlagen	4
2.1 Technische Grundlagen	4
2.1.1 Definitionen	4
2.1.2 Geschichte und Entwicklung von VR-Geräten	7
2.2 Didaktische Grundlagen	8
2.2.1 Vorteile des Lernens in VR	8
2.3 Konstruktion und Anforderungen der Fischaufstiegsanlage ..	10
3 Analyse und Konzeption	11
3.1 Anforderungen an das VR-Szenario	11
3.1.1 Didaktische Anforderungen	11
3.1.2 Technologische Anforderungen	14
3.2 Konzeptentwicklung	15
3.2.1 Interaktionsdesign und Benutzerführung	15
3.2.2 Visualisierung und Konzept der technischen Umsetzung	17
3.3 Gestaltung der Szene	18
3.3.1 Szenenaufbau und Umgebungsgestaltung	18
3.3.2 Wesentliche Bauelemente und Interaktive Objekte	18
3.3.3 Realismus und Immersionsfaktoren	19
3.4 Reflexion und Bewertung der Arbeit	20
4 Fazit	22

Kapitel 1

Einleitung

Fischaufstiegsanlagen (FAA) spielen eine entscheidende Rolle im Naturschutz, da sie nicht nur die ökologische Durchgängigkeit von Gewässern fördern und das Gleichgewicht der Ökosysteme stabilisieren, sondern auch konkret zur Rettung bedrohter Arten beitragen – wie an der Staustufe Geesthacht, wo der Lachs und der Europäische Stör durch die Wiederherstellung ihrer Wanderwege neue Lebensräume erschließen konnten und so ihre Bestände nachhaltig gesichert werden [16]. Universitäten und Forschende tragen dabei eine besondere Verantwortung, langlebige, umweltfreundliche und robuste Lösungen für die herausfordernden Probleme zu entwickeln, die unseren Planeten bedrohen. Eines dieser Probleme ist die Einschränkung der Wanderung von Fließgewässerorganismen durch Barrieren wie Stauwehre, Wasserkraftanlagen und gegebenenfalls Wasserfälle. Hier bietet die Fischaufstiegsanlage (auch Fischtreppe, -wanderhilfe, -leiter oder -weg genannt) eine mögliche Lösung für dieses Problem. Solche Anlagen ermöglichen Fischen und anderen Fließgewässerorganismen, Flusshindernisse wie Wehre und Dämme zu überwinden, indem sie ihnen einen durchgängigen Weg bieten. Mit der Zeit wurden neue und effiziente Technologien entwickelt, die den Lernprozess vereinfachen und verbessern. Virtual Reality ist eine solche Technologie, die ein ganz besonderes Potenzial für den Einsatz in der höheren Lehre hat [11]. Immersives Lernen geht weit über einfaches digitales Lernen hinaus, da es nicht nur Wissen durch direkte, interaktive Erfahrungen vertieft, sondern auch ein starkes Präsenzgefühl schafft [12]. VR ermöglicht es Studierenden, komplexe Konzepte in einer sicheren und kontrollierten Umgebung zu erforschen. Studien haben gezeigt, dass der Lerneffekt deutlich steigt, wenn VR-Technik effektiv eingesetzt wird. Mehrere Studiengänge an der RWTH Aachen University, darunter "Sustainable Management Water and Energy", Umweltingenieurwissenschaften und Bauingenieurwesen, verlangen Vorleistungen im Bereich virtueller Realität (VR), um zur Klausur in bestimmten Modulen zugelassen zu werden. Zu diesen Modulen zählen "Flood Risk Management" sowie "Global Changes and Sustainable Development". Die Vorleistungen umfassen Aufgaben wie die Präsentation vor Professoren und NPC-Avataren in einer virtuellen

Umgebung oder das virtuelle Errichten einer Hochwasserschutzwand, bei dem Studierende Bauelemente in einer simulierten Umgebung zusammensetzen und den Bauprozess realitätsnah erleben. In dieser Arbeit wird die Konzeption und Analyse eines VR-Szenarios entwickelt, in dem eine Fischaufstiegsanlage gebaut wird. Ziel ist es, eine Umgebung zu schaffen, die Studierenden ermöglicht, den Bauprozess einer solchen Anlage effizient und ohne unnötige Hürden zu verstehen. Zudem werden Metriken definiert, mit denen überprüft werden kann, ob die geplante Anlage den Anforderungen entspricht und korrekt konzipiert ist.

Kapitel 2

Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel werden die theoretischen Grundlagen dieser Arbeit erläutert. Um die nachfolgende Analyse verständlich zu gestalten, werden die verwendeten Tools und Techniken kurz vorgestellt. Die Arbeit basiert auf drei zentralen Themenbereichen: den technischen Grundlagen, den didaktischen Grundlagen sowie der Konstruktion und den Anforderungen der Fischaufstiegsanlage.

2.1 Technische Grundlagen

2.1.1 Definitionen

Im Folgenden werden einige Begriffe definiert und erläutert, auf denen diese Arbeit aufbaut, um eine einheitliche Grundlage für das Verständnis zu schaffen.

Virtual Reality (VR)

Virtual Reality wird als menschliche Erfahrung definiert, die durch die Konzepte der **Präsenz** und **Telepräsenz** charakterisiert wird. Präsenz bezieht sich auf die Wahrnehmung, sich in einer Umgebung zu befinden, während Telepräsenz das Gefühl beschreibt, „dort“ in einem vermittelten oder virtuellen Raum zu sein, anstatt in der tatsächlichen physischen Umgebung [18]. Telepräsenz kann durch zwei zentrale Dimensionen weiter verstanden werden:

- **Lebendigkeit (Vividness)**

Die Fähigkeit einer Technologie, eine sinnlich intensive und reichhaltige Umgebung zu erzeugen.

- **Interaktivität (Interactivity)**

Die Fähigkeit des Nutzers, die Umgebung in Echtzeit zu beeinflussen oder zu verändern. [18]

Augmented Reality (AR)

Augmented Reality bezeichnet die Projektion virtueller Objekte in reale Umgebungen, um die Wahrnehmung dieser Umgebung zu erweitern und zu verbessern. Ziel ist es, dem Nutzer ein intensiveres Erlebnis zu ermöglichen und die Interaktion mit der Umgebung zu erleichtern. Anders als bei VR, wo Nutzer vollständig in eine virtuelle Umgebung eintauchen, werden in AR virtuelle Objekte auf die reale Welt überlagert. Zudem ermöglicht AR die Entfernung realer Objekte aus der Umgebung, ein Konzept, das als „Diminished Reality“ bekannt ist. [1]

Extended Reality (XR)

Extended Reality umfasst VR und AR. Es beschreibt alle Kombinationen aus realen und virtuellen Umgebungen, bei denen Mensch und Computer miteinander interagieren. [1]

Head Mounted Display (HMD)

Ein Head-Mounted Display ist ein am Kopf getragenes Gerät, das dem Nutzer computergenerierte 3D-Bilder oder 360°-Videos liefert. Es ermöglicht Tiefenwahrnehmung und ein breites Sichtfeld, indem es jedem Auge leicht unterschiedliche Bilder zeigt und so die natürliche Funktionsweise des menschlichen Sehens imitiert. Häufig verfügen HMDs auch über Lautsprecher, die Raumklang simulieren können. Dadurch wird auch der Hörsinn angesprochen. Es gibt 3 Arten von HMDs:

- **Tethered:** Mit einem Computer verbunden, der die Verarbeitung und Darstellung übernimmt.
- **Stand-alone:** Funktioniert unabhängig, ohne dass ein separater Computer erforderlich ist.
- **Mobile:** Nutzt ein Smartphone, das in das Headset eingesetzt wird, als Display und zur Verarbeitung. [8]

In meiner Arbeit wird die Meta Quest 3 oder die Pico 4 genutzt, die in die Kategorie Standalone-HMD fallen.

Immersion

Immersion ist eine technische Eigenschaft, die zu einer hohen Präsenz führt [17]. Immersion misst auch, wie gut ein System die Außenwelt ausblenden kann. [6] Der Grad der Immersion variiert je nach Anzahl der durch die Technologie aktivierten Sinne und der Qualität der Hardware. VR-Erfahrungen mit einem Head-Mounted Display (HMD) oder in einem CAVE (Cave Automatic Virtual Environment) gelten als hochimmersiv, da sie die reale Welt effektiv ausblenden und eine intensive Sinneserfahrung ermöglichen. Im Vergleich dazu werden Desktop-VR oder Tablet-basierte Simulationen als niedrigimmersiv eingestuft, da sie weniger sensorische Tiefe und Immersion bieten. [12]



Abbildung 2.1: AixCave der RWTH-Aachen [20]

Degrees of Freedom (DoF)

Freiheitsgrade (Degrees of Freedom, DoF) ist ein Begriff, der sich auf Bewegungen entlang oder um eine Achse bezieht. In einem 3D-Raum bewegen sich Objekte auf sechs verschiedene Arten, entsprechend drei Achsen der **Bewegung (Translationsbewegung)** und drei Achsen der **Rotation**. Jede dieser Achsen stellt einen Freiheitsgrad dar. [13]

Im Kontext von Virtual Reality bezieht sich DoF auf die Achsen, die vom Tracking-System eines Headsets erfasst werden können:

- 3 DoF: Bezieht sich auf die Verfolgung von Rotationsbewegungen (Roll-Nick-Gier).
- 6 DoF: Umfasst zusätzlich die Verfolgung von Translationsbewegungen (vorwärts/rückwärts, seitlich, hoch/runter).

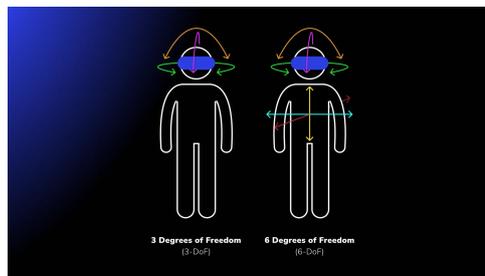


Abbildung 2.2: 3DoF vs 6DoF [19]

2.1.2 Geschichte und Entwicklung von VR-Geräten

1962 entwickelte Morton Heilig, ein US-amerikanischer Kameramann, das "Sensorama", eines der ersten Geräte für ein VR-ähnliches Erlebnis. Ziel war es, das Kinoerlebnis durch Immersion zu revolutionieren und neben „Sehen“ und „Hören“ auch „Riechen“ und „Fühlen“ einzubeziehen. Das arcade-ähnliche Gerät bot 3D-Bilder, weitwinklige Aufnahmen, Stereo-Sound, simulierten Wind und Düfte sowie Vibrationen in Sitz und Griffen [15]. Diese Kombination hat mehrere Sinne angesprochen und ein intensives Erlebnis geboten, das viele Ideen moderner VR-Technologie vorbereitet hat.

Eine weitere Art von immersiver VR-Umgebung ist das sogenannte CAVE (Cave Automatic Virtual Environment). Dabei handelt es sich nicht um ein Gerät, das aufgesetzt oder vor einem Bildschirm genutzt wird, sondern um einen würfelförmigen Raum, der in verschiedenen Größen, typischerweise etwa 3x3x3 Meter, gestaltet ist. Die Wände, der Boden und in einigen Fällen auch die Decke dienen als Projektionsflächen, auf denen mehrere synchronisierte Projektionen gezeigt werden. Um die von CAVE erzeugten Grafiken in 3D wahrzunehmen, tragen Nutzer eine spezielle 3D-Brille. Dieses immersive System wurde 1992 von Carolina Cruz-Neira, Daniel J. Sandin und Thomas

A. DeFanti am Electronic Visualization Laboratory der University of Illinois in Chicago entwickelt und gilt als Meilenstein in der Entwicklung virtueller Realitäten [5].

Die VR-Headsets, wie wir sie heute kennen, sind das Ergebnis langer Entwicklung. Seit den frühen 1990er-Jahren gab es viele Versuche, VR-Headsets zu verbessern und erfolgreich auf den Markt zu bringen – von der Sega VR über Sonys Glasstron bis hin zu den Quest Geräten, wie die Meta Quest 3, die in der Zukunft zur Visualisierung der Szenario zum Bau der Fischaufstiegsanlage eingesetzt werden soll. Die Meta Quest 3 vereint die neue Technologie und Benutzerfreundlichkeit. Mit einer Bildwiederholrate von 120 Hz und einer Auflösung von 2064 x 2208 Pixeln pro Auge liefert die Brille ein scharfes und immersives Erlebnis. Ausgestattet mit dem leistungsstarken Qualcomm Snapdragon XR2 Gen 2 Prozessor, 8 GB RAM und 128 oder 512 GB Speicherplatz, ist sie als Standalone-HMD ein vielseitiges und leistungsfähiges "All-in-One"-Gerät.

2.2 Didaktische Grundlagen

3D-Umgebungen sind besonders effektiv für das Lernen, insbesondere wenn die zu vermittelnde Inhalte aufeinander aufbauende Prozesse umfassen[11]. Außerdem verbessern immersive Erfahrungen die Merkfähigkeit der Lernenden [11]. Die Möglichkeit, in der virtuellen Umgebung zu interagieren und zu navigieren, trägt zusätzlich zu verbesserten Lernergebnissen bei. Ein großer Vorteil von VR-Übungen ist das schnellere und präzisere Erlernen prozessbasierter Aufgaben. Im Vergleich zu traditionellen Methoden machen Lernende in VR weniger Fehler und erzielen schneller Erfolge. Dies wird auch durch die „Virtual Memory Palaces“-Studie [11] bestätigt, die zeigt, dass VR-Teilnehmer signifikant bessere Ergebnisse erzielten als jene, die in einer Desktop-Umgebung mit mausbasierter Interaktion lernten, und dadurch hinter den Leistungen der VR-Lernenden zurückblieben.

2.2.1 Vorteile des Lernens in VR

Die Vorteile des Lernens in VR sind vielfältig. Ein entscheidender Punkt ist, dass es **Keine physikalischen Einschränkungen** gelten, wodurch Experimente und Szenarien möglich werden, die in der realen Welt unmöglich oder gefährlich wären. Zum Beispiel könnten Lernende sich in allen drei Raumachsen (x, y und z) frei bewegen oder schwere Bauteile eigenhändig heben und selbstständig montieren.

Ein weiterer Vorteil ist die **Reduzierung der Materialkosten**, da virtuelle Modelle physische Materialien ersetzen, wird das Lernen kostengünstiger, besonders in sensiblen oder teuren Ausbildungsbereichen wie Medizin oder Technik [12]. Materialien und Werkzeuge lassen sich mit Programmen wie Blender realistisch nachbilden, inklusive ihrer physikalischen Eigenschaften. So spart man sich die Kosten und Wartezeiten für

die Bestellung und Lieferung der Teile.

Zu dem bietet VR eine **sichere Umgebung**, in der Lernende gefährliche oder komplexe Prozesse gefahrlos üben können. Beispielsweise in Bereichen wie Medizin oder Chemie, wo komplexe Operationen oder gefährliche chemische Reaktionen oft ein erhebliches Risiko darstellen, ermöglicht VR ein risikofreies Training. Auf diese Weise können lebensgefährliche Situationen simuliert und sicher bewältigt werden[12].

Ein weiterer Vorteil ist die **Anpassbarkeit der VR-Lernumgebungen**. Da VR rein virtuell ist, besteht immer die Möglichkeit, eigene Szenarien oder Umgebungen individuell zu modellieren und zu gestalten. Diese Individualisierung ermöglicht es, die wichtigsten Aspekte hervorzuheben und weniger relevante Inhalte unauffällig darzustellen oder sogar vollständig auszublenden.

2.3 Konstruktion und Anforderungen der Fischaufstiegsanlage

Fischaufstiegsanlagen sind Bauwerke, die speziell errichtet werden, um Fischen das Passieren von Hindernissen wie Dämmen oder Wehren zu erleichtern. Ihr Hauptziel ist der Erhalt von Fischarten, die in diesen Gebieten leben oder saisonal wandern, was entscheidend für das Gleichgewicht des gesamten Ökosystems ist. Es existieren verschiedene Bauweisen für Fischaufstiegsanlagen, die je nach Standort, Fischart und weiteren Parametern variieren. Grundsätzlich lassen sich die Anlagen jedoch in zwei Hauptkategorien unterteilen: beckenartige und gerinnenartige Aufstiegsanlagen [7]. In dieser Arbeit liegt der Fokus auf den beckenartigen Fischaufstiegsanlagen. Bei beckenartigen Fischaufstiegsanlagen wird der große Höhenunterschied zwischen Ober- und Unterwasser durch eine Abfolge kleinerer Wasserbecken ausgeglichen, die jeweils durch Trennwände voneinander getrennt sind. Jede dieser Trennwände verfügt über eine Öffnung – entweder in Form eines Schlitzes oder eines Schlupflochs – durch die das Wasser von einem Becken ins nächste fließen kann. Dadurch entstehen mehrere Becken mit jeweils geringem Höhenunterschied und reduzierter Strömungsgeschwindigkeit, was es den Fischen erleichtert, gegen die Strömung anzuschwimmen und die Hindernisse sicher zu überwinden.



Abbildung 2.3: Beckenartige FAA [9]

Kapitel 3

Analyse und Konzeption

3.1 Anforderungen an das VR-Szenario

3.1.1 Didaktische Anforderungen

Lernziel

Bevor die didaktischen Anforderungen an die VR-Szene festgelegt werden, ist es essenziell, das Lernziel klar zu bestimmen. Das übergeordnete Ziel lautet: „Das VR-Szenario bietet eine praxisorientierte Lernmethode, mit der Studierende sich selbstständig Kompetenzen erarbeiten können, um eigenständig eine Fischaufstiegsanlage zu dimensionieren.“ Diese Zielsetzung hebt hervor, dass die Lernenden ihre analytischen Fähigkeiten nutzen und erweitern sollen. Sie verknüpfen dabei ihr vorhandenes Fachwissen mit im Kurs erworbenen Kenntnissen, analysieren relevante Daten und treffen fundierte Entscheidungen hinsichtlich komplexer Problemstellungen, in diesem Fall der Dimensionierung einer Fischaufstiegsanlage.

Wissenschaftliche Grundlage und Lerninhalte

Die Konzeption der VR-Szene stützt sich auf Forschungsergebnisse aus der einschlägigen Literatur. So beschreibt Radianti et al. (2020) in ihrer Übersicht, dass VR-Lernumgebungen unterschiedliche Lerninhalte unterstützen können. Zu diesen Lerninhalten zählen u. a. „Analytisches Denken und Problemlösung“ sowie „Deklaratives Wissen“ [14]. Die Dimensionierung einer Fischaufstiegsanlage entspricht dabei genau diesen beiden Kategorien: Einerseits wird analytisches Problemlösen gefördert, andererseits sind deklarative Wissensbestände (theoretische Konzepte, wissenschaftliche Prinzipien) gefördert und gefestigt.

Immersive Designelemente für Lernförderung

Radianti et al. [14] zeigen zudem, dass VR-Anwendungen mit Fokus auf diese Lerninhalte häufig auf grundlegende Interaktionen und realistische Umgebungen als zentrale Designelemente setzen. Diese Elemente erhöhen das Gefühl von Präsenz und Handlungsfähigkeit (Agency), indem sie die Lernenden in eine realitätsnahe, interaktive Lernumgebung versetzen – wobei Interaktivität besonders zur Förderung von Agency beiträgt.

Um die Wirksamkeit dieser Designelemente zu steigern, ist es notwendig, die Präsenz und Handlungsfähigkeit der Lernenden zu erhöhen. Laut dem CAMIL-Framework werden Präsenz durch Darstellungsgenauigkeit, Kontrollfaktoren und Immersion gesteigert, während Agency ebenfalls stark von Kontrollfaktoren beeinflusst wird [12]. Somit sind hochwertige Grafik, glaubwürdige Umgebungssounds, intuitive Steuerung sowie sinnvolle Interaktionsmöglichkeiten wesentliche Komponenten, um ein intensives „Eintauchen“ in die virtuelle Lernwelt zu ermöglichen.

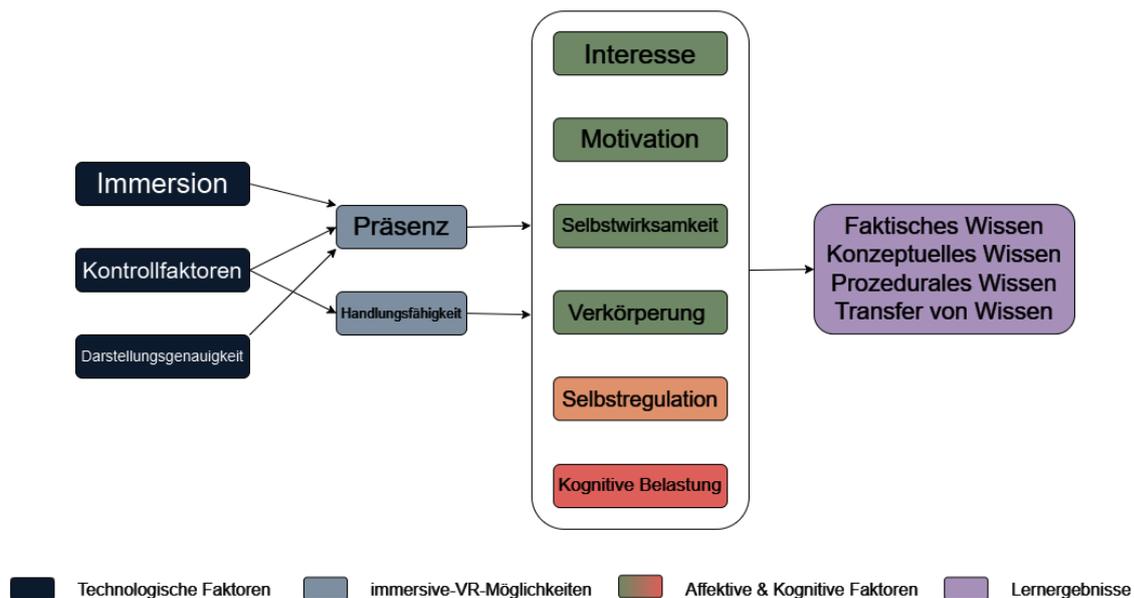


Abbildung 3.1: Übersicht über CAMIL [12]

In der genutzten App MyScore wird dieses Prinzip bereits umgesetzt, indem Avatare eingesetzt werden, die menschlichen Figuren nachempfunden sind. Die Lernenden können über ihre Avatare grundlegende Handlungen wie Greifen, Gehen und Drehen ausführen, wodurch die Steuerung natürlich und intuitiv wirkt. Ganzkörper Avatare können die Selbst-Präsenz erhöhen und sich somit positiv auf die Lernerfahrung auswirken. Zudem werden 3D-Modelle mit realitätsnahem visuellem Design eingesetzt und durch natürliche Umgebungsgeräusche ergänzt, um ein authentisches Umfeld zu

schaffen. Durch die Kombination aus „realistischen Umgebungen“ und „grundlegender Interaktion“ werden Präsenz gesteigert und ein höheres Maß an Handlungsfähigkeit erreicht.

Interaktive Gestaltung der VR-Szene

Die für die Konzeption der Fischaufstiegsanlage relevanten Parameter werden den Studierenden zu Beginn des VR-Trainings nicht direkt preisgegeben, um den Lerneffekt zu steigern. Stattdessen sind diese Parameter in der virtuellen Umgebung integriert und können von den Studierenden eigenständig gemessen oder identifiziert werden (z. B. durch Messen der Wassertiefe und der Strömungsgeschwindigkeit innerhalb der Szene). Diese Parameter basieren auf biologischen und technischen Anforderungen (z. B. Fischart, Strömungsgeschwindigkeit, Gewässerprofil). Durch eine realistisch gestaltete virtuelle Umgebung und einfache, aber zielgerichtete grundlegende Interaktionen werden die Lernenden in den Prozess involviert, ohne dabei von einer unübersichtlichen Nutzeroberfläche oder unnötiger Komplexität abgeschreckt zu werden. Gleichzeitig wird dadurch die kognitive Belastung reguliert, was ein effektiveres Lernen ermöglicht.

Hier knüpft auch die **Human-Computer Interaction (HCI)** an, eine technologische Wissenschaft, die die Kommunikation zwischen Mensch und Computer untersucht und auf gegenseitigem Verstehen sowie einem gezielten Informationsaustausch basiert. Die Prinzipien der HCI werden genutzt, um den Computer als harmonischen Assistenten in den Lernprozess zu integrieren. So ermöglicht die VR-Szene eine intuitive Bedienung und zielgerichtetes Feedback [2].

Pädagogische Strategien und Feedbackmechanismen

Gemäß dem Konzept des Constructive Alignment müssen Testverfahren die Erreichung der Lernziele direkt und messbar überprüfen. Hierzu wird in der Szene ein eingebettetes Evaluationssystem genutzt: Die VR-Szene prüft kontinuierlich die Plausibilität der Eingaben. Geben Studierende z. B. eine unrealistisch große Durchgangsöffnung oder eine zu hohe Strömungsgeschwindigkeit ein, erscheint ein sofortiges Feedback. Dieses besteht aus einem Warnhinweis, der erklärt, weshalb die Eingabe nicht sinnvoll ist. Zusätzlich wird eine Quelle (z. B. eine Wissensdatenbank) angezeigt, die die korrekte Information liefert. So wird ein direktes, lernförderliches Feedback sichergestellt.

Individuelle Lernstrategien und Unterstützungsmodi

Ein zentrales didaktisches Element ist die flexible Anpassung der Anleitungsstrategien an das individuelle Lernbedürfnis. Zu diesem Zweck stehen drei Unterstützungsmodi zur Verfügung:

- Eine detaillierte Schritt-für-Schritt-Anleitung für Einsteiger*innen
- Bedarfsorientierte Hinweise für selbstgesteuertes Lernen
- Ein Modus zur eigenständigen Erkundung für erfahrenere Lernende

Diese differenzierten Herangehensweisen legen Wert auf aktives, selbstgesteuertes Lernen, berücksichtigen unterschiedliche Vorkenntnisse und Lernstile und fördern so die Entwicklung von Problemlösekompetenzen.

Ergänzend dazu sind drei zentrale Fragen („Was muss ich tun?“, „Warum ist das relevant?“, „Wie gehe ich vor?“) in jedem signifikanten Arbeitsschritt klar zu kommunizieren. Diese Fragen sind entscheidend, um den Studierenden zu helfen, den Überblick zu behalten, ihre Fähigkeit zur Selbstreflexion zu stärken und ihr eigenes Lernverhalten gezielt zu steuern. Auf diese Weise unterstützt das didaktische Design nachhaltiges, kompetenzorientiertes Lernen und erhöht sowohl Motivation als auch Lernerfolg.

3.1.2 Technologische Anforderungen

Um ein VR-Szenario überzeugend zu gestalten und die zuvor genannten didaktischen Anforderungen klar hervorzuheben, ist eine stimmige technische Basis unerlässlich. Diese sollte die pädagogischen Grundlagen nicht nur effektiv unterstützen, sondern auch deren bestmögliche Umsetzung ermöglichen.

Dabei spielen drei Elemente eine zentrale Rolle:

- Geeignete **Hardware**
- Geeignete **Software**
- skalierbare **Infrastruktur**

In den folgenden Abschnitten werden diese Aspekte näher erläutert.

Hardware

Aufbauend auf den in den theoretischen Grundlagen vorgestellten Spezifikationen der **Meta Quest 3** lassen sich nun konkrete Anforderungen für den Einsatz im geplanten VR-Szenario ableiten. Die Leistungsfähigkeit dieser Standalone-Brille in Bezug auf Grafik, Rechenleistung und Benutzerfreundlichkeit ermöglicht es, komplexe Lernumgebungen realistisch darzustellen und interaktive Elemente flüssig zu integrieren. Neben

dem fortschrittlichen Controller-Tracking mit sechs Freiheitsgraden (6-DoF) bietet die Brille auch ein präzises Handtracking, das eine natürliche und intuitive Interaktion mit der virtuellen Umgebung ermöglicht. Diese Funktionen steigern die Immersion im VR-Szenario und tragen zur Optimierung des Lernprozesses bei.

Software

Die VR-Szene muss flexibel, realistisch und interaktiv gestaltet sein, um den Anforderungen des geplanten Szenarios gerecht zu werden. Aus diesem Grund setzen wir auf die bereits bestehende Open-Source-Software **MyScore**. Diese bietet zahlreiche Vorteile, darunter die Integration von Avataren für eine personalisierte Darstellung, realistische Umgebungen, einen hohen Freiheitsgrad bei der Gestaltung sowie die Möglichkeit zur direkten Entwicklung in Unity mit C#. Zudem verfügt MyScore über eine bereits etablierte Multiuser-Infrastruktur, die eine ortsunabhängige Kommunikation und Zusammenarbeit in der virtuellen Umgebung ermöglicht [4].

Infrastruktur

Die MyScore Plattform der RWTH bietet bereits bestehende Server, auf denen das VR-Szenario laufen kann. Dabei wird mit dem Prinzip eines dedicated Servers gearbeitet, um Betrug zu unterbinden. Für jede Session wird ein neuer Game-Server instanziiert, der für eine Benutzergruppe die Netzwerkkommunikation übernimmt, und Benutzerhandlungen sowie den Zustand der Szenen synchronisiert. Somit wird die Multiuser-Fähigkeit der Szene abgedeckt.

3.2 Konzeptentwicklung

3.2.1 Interaktionsdesign und Benutzerführung

In diesem Kapitel liegt der Fokus auf dem Interaktionsdesign der VR-Szene, das die Nutzer intuitiv durch die Umgebung führt und sie gezielt bis zur erfolgreichen Erreichung ihres Ziels begleitet.

Interaktionsdesign bildet die Grundlage, auf der eine Benutzeroberfläche (UI) entwickelt wird. Es beschreibt die Gestaltung und Optimierung der Schnittstelle zwischen Mensch und Computer, um eine effiziente, intuitive und angenehme Interaktion zu ermöglichen. Ein zentraler Aspekt des Interaktionsdesigns ist die Implementierung geeigneter Schnittstellen, die den Informationsaustausch zwischen Nutzer*in und VR-Szene ermöglichen. Diese Schnittstellen sollen nicht nur Eingaben verarbeiten, sondern auch gezieltes Feedback geben, um die Nutzererfahrung zu optimieren. Folgende Feedback-Ansätze können in der VR-Szene integriert werden:

Haptisches Feedback: Erzeugt durch die Verwendung von Unity's *XRIInputSubsystem* oder spezifischer Controller-APIs, wie *XRController.SendHapticImpulse*, um realistische Berührungen zu simulieren.

Indirektes Feedback durch die Umgebung: Realisiert durch animierte Umgebungsobjekte und die Manipulation von Lichteffekten mittels Unity's *Animator* und *Light*-Klassen.

Audiofeedback: Umgesetzt mit der *AudioSource*-Komponente und räumlichen Klangeffekten, die über Unity's 3D-Sound-System gestaltet werden.

Durch diese Kombination aus visuellen, auditiven und haptischen Elementen wird die Interaktion intuitiver und unterstützt die Zielerreichung innerhalb der VR-Szene.

Die VR-Szene ist darauf ausgelegt, Studierende gezielt nach Bedarf durch den Lernprozess zu führen und ihnen ein praxisnahes, interaktives Erlebnis zu bieten. Zu Beginn der Szene wird ein Einführungspanel angezeigt, das die Aufgabe und die Zielsetzung erläutert. Die Benutzerführung wird durch eine klare Aufgabenstellung und rechtzeitiges Feedback unterstützt. Während der Bearbeitung stehen den Studierenden interaktive Werkzeuge wie Messtools und ein eingebetteter Browser zur Verfügung, mit denen sie Informationen recherchieren und relevante Parameter wie Wassertiefe, Strömungsgeschwindigkeit oder Fischarten erfassen können. Diese interaktiven Tools müssen benutzerfreundlich und möglichst realitätsnah implementiert werden. Das UI enthält auch eine Bearbeitungszeitanzeige, damit die Studierenden ihren Fortschritt nachvollziehen können.

Der Plausibilitätscheck dient als Feedbackmechanismus, der den Nutzer darauf hinweist, dass eine Eingabe nicht korrekt ist, und ergänzend Hinweise zur Optimierung gibt. Hilfsobjekte wie Bemaßungslinien können bei Bedarf ein- und ausgeblendet werden. Am Ende der Aufgabe wird die Möglichkeit geboten, die Ergebnisse zu dokumentieren, indem ein Protokoll über eine Speech-to-Text-Funktion erstellt wird. Dafür kann ein Open-Source-KI-Modell wie **Whisper** genutzt werden, das über *Unity Sentis* direkt in die VR-Umgebung integriert wird. Die Nutzer können durch Klicken auf ein Mikrofon-Icon ihre Arbeit beschreiben, wobei ihre Sprache automatisch in Text umgewandelt wird. Die Methode des lauten Denkens ermöglicht es Studierenden, ihre kognitiven Prozesse zu dokumentieren und zu reflektieren, was die Analyse und Optimierung von Lernprozessen unterstützt und in Form eines Protokolls wertvolle Daten dafür liefert [3]. Dieses Protokoll kann anschließend exportiert und beispielsweise per E-Mail verschickt werden. Diese Funktion überwindet die Einschränkungen der Texteingabe in VR und ermöglicht eine schnelle Dokumentation.

3.2.2 Visualisierung und Konzept der technischen Umsetzung

Die technischen Details der VR-Szene basieren auf einer Kombination aus realistischen Simulationen und funktionalen Werkzeugen, die in Unity mit C# programmiert werden. Werkzeuge wie Maßbänder, digitale Winkelmesser oder Rechner sind möglichst naturnah gestaltet und übernehmen in der virtuellen Umgebung dieselben Funktionen wie ihre realen Pendanten. Das intuitive Benutzerinterface (UI) erleichtert es den Nutzern, Bauteile zu importieren, zu skalieren, zu positionieren, zu drehen und zu verschieben, sodass sie die Konstruktion der Fischaufstiegsanlage individuell anpassen können. Hierzu müssten parametrische Vorlagen implementiert werden, die zur Laufzeit in der Szene instanziiert und verändert werden können. Dazu sollen Prefabs in Verbindung mit einem geeigneten UI genutzt werden. Zusätzlich unterstützt eine integrierte Browserfunktion, welche bereits in MyScore enthalten ist, die Recherche, indem sie den direkten Zugriff auf externe Quellen ermöglicht. Ergänzend dazu wird eine im System eingebaute Datenbank bereitgestellt, die relevante Literatur und technische Merkblätter enthält. Darüber hinaus wird ein KI-gestützter Feedback-Generator auf Basis eines Large Language Models (LLM) implementiert. Dieses System ermöglicht es den Studierenden, direkt in der VR-Umgebung Fragen zu stellen und kontextbezogene Antworten zu erhalten, die auf den hinterlegten Daten und Merkblättern basieren. Diese Kombination aus Browser, integrierter Datenbank und einem LLM-Feedback-Generator sorgt für eine effiziente Informationsbeschaffung und erleichtert die Suche nach relevanten Inhalten, indem KI gezielt eingesetzt wird, um schneller zu präzisen und zielgerichteten Lösungen zu gelangen.

Zusätzlich werden temporäre Hilfsobjekte, beispielsweise Bemaßungslinien oder Messgeräte, dynamisch ein- und ausgeblendet, um den Fokus auf die eigentliche Aufgabe zu lenken. Die Bearbeitungszeitanzeige ist ebenfalls in das technische Konzept integriert und ermöglicht den Studierenden, ihre Zeit effektiv zu managen. Alle Funktionen des Benutzerinterfaces fördern die Interaktivität, unterstützen die Zielerreichung und bieten ein realistisches Arbeitsumfeld. Intuitive grundlegende Interaktion erleichtert die Handhabung der Werkzeuge, während realistische Umgebungen die Immersion verstärken und praxisnahe Bedingungen schaffen.

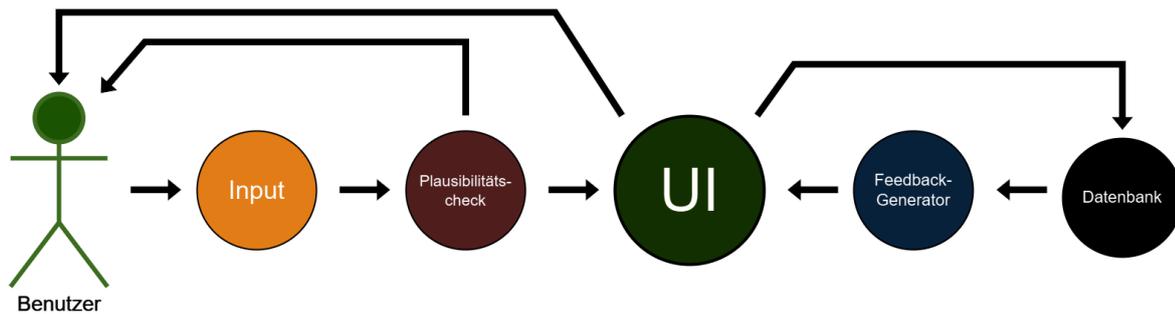


Abbildung 3.2: Informationsflussdiagramm

3.3 Gestaltung der Szene

Die Szene ist darauf ausgelegt, eine immersive Umgebung zu bieten, die die Studierenden bei ihrer Aufgabe unterstützt. Sie kann flexibel an die Gegebenheiten eines spezifischen Standorts angepasst werden, wobei Elemente wie Bäume, Häuser, Bauwerke und andere Merkmale naturnah und realitätsgetreu nachgebildet werden können, um eine möglichst authentische Darstellung des Umfelds zu gewährleisten.

3.3.1 Szenenaufbau und Umgebungsgestaltung

Die VR-Szene versetzt die Studierenden in eine Flusslandschaft mit realistisch dargestellten Wasserströmen, Vegetation, topografischen Gegebenheiten und, je nach Bedarf, auch mit natürlichen Geräuschen. Die Umgebung ist so gestaltet, dass sie relevante Parameter wie Wassertiefe, Strömungsgeschwindigkeit und andere wichtige Merkmale visualisiert und erfassbar sind, die für die Planung einer Fischaufstiegsanlage notwendig sind. Die Szene zeigt fließendes Wasser mit einer entsprechenden transparenten Textur und sichtbaren Strömungen. Die Ufer sind mit natürlichen Pflanzen und Steinen gestaltet, während die Fischaufstiegsanlage durch deutlich strukturierte Becken hervorsteht. Bewegende Fische, realistische Schatten und passende Soundeffekte verleihen der Umgebung Lebendigkeit. Die realitätsnahe Gestaltung der Umgebung trägt dazu bei, ein immersives Lernerlebnis zu schaffen. Aus hoher Immersion folgt eine hohe Präsenz, die wiederum zentrale Lernfaktoren wie Motivation, Interesse und Engagement stärkt. Dies führt letztlich zu einem signifikanten Wissenszuwachs [12].

3.3.2 Wesentliche Bauelemente und Interaktive Objekte

Zentrale Elemente der VR-Szene sind interaktive Objekte, die den Studierenden zur Verfügung stehen. Dazu gehören Messtools, mit denen die Wassertiefen und Strömungs-

geschwindigkeiten erfasst werden können, sowie maßgeschneiderte Bauelemente, die flexibel importiert, angepasst und positioniert werden können. Die Studierenden können Bauteile in der Szene drehen, schieben, skalieren und anpassen, um eine funktionale Konstruktion der Fischaufstiegsanlage zu erstellen.

Zusätzlich stehen temporäre Hilfsobjekte wie Bemaßungslinien und Referenzpunkte zur Verfügung, die nach Bedarf ein- oder ausgeblendet werden können. Diese Werkzeuge ermöglichen es den Studierenden, präzise zu arbeiten und ihre Konstruktionen realitätsnah zu gestalten. Auch ein eingebetteter Browser und andere digitale Hilfsmittel fördern die Effizienz und die Qualität der Arbeit.

3.3.3 Realismus und Immersionsfaktoren

Der Realismus in der VR-Szene wird durch die Integration visueller, auditiver und funktionaler Elemente gewährleistet. Detaillierte Darstellung von Wasserströmungen und realistisch gestaltete Werkzeuge schaffen eine authentische Umgebung, während die Möglichkeit, Objekte dynamisch zu manipulieren, das Engagement der Nutzer fördert. Die intuitive Steuerung und die Übertragung realer Funktionen in die virtuelle Welt ermöglichen es den Studierenden, tief in das Szenario einzutauchen und ihre Konstruktionen in maßstäblichen 1:1-Modellen zu erleben. Die Kombination aus realistischer Gestaltung und immersiven Interaktionsmöglichkeiten verbessert das räumliche Verständnis, steigert die Effizienz und unterstützt die Lösung komplexer Aufgaben, indem irrelevante Elemente ausgeblendet und schwer manipulierbare Objekte einfach bewegt werden können.



Abbildung 3.3: SketchUp-Modell eines abgeschlossenen Projekts einer beckenartigen FAA am Replener Meer in Moers. Das Modell dient als Beispiel für eine potenzielle virtuelle Umgebung im VR-Szenario.

Eine Visualisierung des Modells in einer georeferenzierten Umgebung ist in einer Cesium-Story verfügbar. [10]

3.4 Reflexion und Bewertung der Arbeit

Kosten

Die Umsetzung der VR-Szene bringt sowohl direkte als auch indirekte Kosten mit sich. Zu den direkten Kosten zählen die Anschaffung von Hardware wie VR-Headsets (z. B. Meta Quest 3) und leistungsstarken Computern sowie mögliche Lizenzgebühren für Software wie Unity. Hinzu kommen die Entwicklungskosten, die durch den Zeit- und Ressourcenaufwand für die Modellierung, Programmierung und Integration der Szenen entstehen. Indirekt können auch Schulungen für Studierende und Lehrende notwendig sein, um den Umgang mit der VR-Szene zu erleichtern. Langfristig bietet VR jedoch ein großes Einsparpotenzial, da physische Modelle, Materialkosten und der Zugang zu speziellen Lernumgebungen wie Baustellen durch die virtuelle Simulation ersetzt werden. Darüber hinaus tragen die Wiederverwendbarkeit und die Anpassbarkeit der Szenen zu einer nachhaltigen und kosteneffizienten Nutzung bei. Diese Eigenschaften ermöglichen es, das Konzept für unterschiedliche Lernziele und Anwendungsbereiche zu adaptieren, wodurch langfristig Ressourcen und Kosten eingespart werden können.

Nachhaltigkeit

Die VR-Szene fördert die Nachhaltigkeit, indem sie den Verbrauch physischer Materialien minimiert und ressourcenschonend arbeitet. Durch die virtuelle Darstellung entfallen der Bau und die Wartung physischer Modelle sowie die Notwendigkeit, reale Baustellen oder Standorte aufzusuchen. Dadurch wird nicht nur der Materialverbrauch reduziert, sondern auch der CO₂-Ausstoß durch weniger Reisen gesenkt. Zudem kann die Szene über mehrere Jahre hinweg für verschiedene Kurse und Lernziele eingesetzt werden, was ihre Umweltfreundlichkeit weiter steigert. Technologisch basiert die Szene auf modularen und skalierbaren Elementen, wodurch Anpassungen und Erweiterungen unkompliziert umgesetzt werden können.

Ausblick und Weiterentwicklung

Basierend auf dem vorliegenden Konzept ist geplant, die VR-Szene vollständig zu realisieren. Dies umfasst die Entwicklung realistischer Modelle, die Programmierung der interaktiven Elemente in Unity mit C# sowie die Implementierung eines dynamischen und intuitiven Benutzerinterfaces (UI).

Während der Entwicklung könnten einige Herausforderungen auftreten, insbesondere bei der Umsetzung komplexer Interaktionen oder physikalisch korrekter Simulationen. Ein weiterer technischer Aspekt ist die Optimierung der Szene, um auch auf Geräten

mit begrenzter Leistung, was ja gerade bei Standalone-HMDs super relevant ist, eine flüssige Darstellung zu gewährleisten. Eine wichtige Maßnahme hierfür ist die Minimierung der Polygonanzahl in den 3D-Modellen, wodurch die Rechenleistung entlastet wird, ohne die visuelle Qualität wesentlich zu beeinträchtigen. Darüber hinaus können verschiedene Baking-Techniken, wie Light Baking und Texture Baking, eingesetzt werden, um Beleuchtung und Texturen vorab zu berechnen und so die Echtzeitberechnung zu reduzieren. Eine weitere Optimierungsmöglichkeit besteht in der Reduktion der Anzahl der aktiven Objekte in der Szene, was die Berechnungen vereinfacht und die Leistung verbessert. Auch die Optimierung des Codes spielt eine wichtige Rolle, da effizienter und gut strukturierter Code die Performance der interaktiven Elemente und der gesamten Szene deutlich steigern kann. Schließlich kann der Einsatz von Level of Detail (LOD) helfen, indem für Objekte je nach Entfernung zur Kamera unterschiedliche Detailstufen verwendet werden, wodurch die Rechenlast dynamisch angepasst wird. Für große Modelle oder weitläufige Terrains bietet sich der Einsatz von Tiling an, wie es beispielsweise in Cesium verwendet wird. Mit diesen Maßnahmen wird die Szene ressourcenschonend gestaltet und eine optimale Nutzererfahrung ermöglicht. Gleichzeitig muss das System benutzerfreundlich und intuitiv gestaltet sein, damit es für Nutzer mit unterschiedlichen technischen Vorkenntnissen leicht zugänglich bleibt. Langfristig bietet dieses Konzept eine vielversprechende Grundlage für eine breitere Integration von VR in der Hochschulbildung. Neben der Anwendung im Bereich Wasserbau könnten ähnliche Szenarien für andere Disziplinen wie Medizin, Architektur oder Ingenieurwesen entwickelt werden.

Besonders interessant ist auch die Verbindung von VR mit künstlicher Intelligenz (KI), die großes Potenzial für die Weiterentwicklung bietet. Ein KI-Assistent für die VR-Interaktion könnte hilfreich sein, indem er den Nutzenden kontextbezogene Hinweise zu gängigen Interaktionen bietet. Dadurch könnte die Benutzererfahrung intuitiver gestaltet werden, indem der Assistent gezielt Vorschläge zur Navigation, zur Nutzung von Werkzeugen oder zur Optimierung der Arbeitsabläufe innerhalb der VR-Szene macht. Darüber hinaus könnten KI-Module wie Meshy integriert werden, um auf Basis eines einfachen Texteingabe-Prompts Modelle zu erstellen, die direkt in der Szene verwendet werden können. Diese Fortschritte würden die Effizienz und die Anpassungsfähigkeit der VR-Szene erheblich steigern und neue Möglichkeiten für immersive Lernumgebungen schaffen.

Kapitel 4

Fazit

Die Seminararbeit widmet sich der Fragestellung, wie Virtual Reality (VR) eingesetzt werden kann, um den Bau von Fischaufstiegsanlagen realistisch zu simulieren und in der höheren Lehre anschaulich zu vermitteln. Ziel ist es, technische, ökologische und pädagogische Aspekte zu kombinieren, um ein Lernwerkzeug zu entwickeln, das komplexe Inhalte praxisnah und interaktiv darstellt. Dies ist besonders relevant, da Fischaufstiegsanlagen eine bedeutende Rolle für den ökologischen Gewässerschutz spielen und ihre Planung und Umsetzung oft anspruchsvolle Prozesse umfassen.

Die theoretischen Grundlagen der Arbeit legen den Fokus auf die technischen und didaktischen Möglichkeiten von VR. Es werden die Entwicklung der Technologie, ihre Vorteile und bisherigen Einsatzbereiche beschrieben. Hervorgehoben wird dabei insbesondere das Potenzial von VR, durch Immersion und Interaktivität Lernende stärker einzubinden als herkömmliche Methoden. Zur theoretischen Fundierung wird das Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL) herangezogen, das erklärt, wie VR Lernprozesse unterstützen kann, indem es Interesse, Motivation und Selbstwirksamkeit steigert.

Ein zentraler Punkt der Arbeit ist die Analyse der Anforderungen an das VR-Szenario. Dabei werden sowohl didaktische als auch technologische Gesichtspunkte berücksichtigt. Auf der einen Seite sollen die Lernenden durch das Szenario relevante technische Fähigkeiten und ökologische Zusammenhänge verstehen. Auf der anderen Seite müssen technische Normen, wie die DWA-Merkblatt [7], sowie hydrologische und ökologische Rahmenbedingungen des Fischaufstiegs in die Konzeption einbezogen werden. Diese Doppelperspektive gewährleistet, dass das VR-Szenario sowohl fachlich korrekt als auch pädagogisch sinnvoll gestaltet ist.

Auf Grundlage dieser Analyse wird ein Konzept für das VR-Szenario entwickelt. Dieses zielt darauf ab, die praktischen Schritte des Baus einer Fischaufstiegsanlage in einer immersiven Umgebung darzustellen. Die Konzeption berücksichtigt dabei sowohl technische Herausforderungen, wie die Gestaltung von einer FAA, als auch die ökologischen Anforderungen, etwa die Gewährleistung der Durchgängigkeit für Fische.

Durch die Simulation dieser Prozesse wird den Lernenden ermöglicht, einen umfassenden Einblick in die Praxis zu gewinnen, ohne reale Bauprojekte durchführen zu müssen.

Die praktische Umsetzung des Szenarios wird ebenfalls thematisiert. Die Arbeit beschreibt mögliche Technologien und Softwarelösungen, die für die Entwicklung des VR-Szenarios genutzt werden könnten. Dabei wird auch auf potenzielle Herausforderungen eingegangen, wie die Sicherstellung realistischer Darstellungen oder die Anforderungen an die technische Ausstattung der Lernenden.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Weiterentwicklung des VR-Szenarios. Es wird vorgeschlagen, die Lerneffekte des Szenarios systematisch zu überprüfen, beispielsweise durch Feedback von Studierenden. Dieses Feedback kann genutzt werden, um das Szenario weiter zu optimieren und an die Bedürfnisse der Zielgruppe anzupassen. Eine solche Evaluation ist entscheidend, um die Wirksamkeit und Praxistauglichkeit der entwickelten Lösung sicherzustellen.

Abschließend diskutiert die Arbeit, wie solche VR-Anwendungen zukünftig weiterentwickelt und breit eingesetzt werden könnten. Damit eröffnet die Arbeit Perspektiven für den verstärkten Einsatz moderner Technologien in der Lehre und betont deren Potenzial, komplexe Themen verständlicher und zugänglicher zu machen.

Literaturverzeichnis

- [1] Ahmed Jamah Ahmed Alnagrat, Rizalafande Che Ismail, Syed Zulkarnain Syed Idrus, and Rawad Mansour Abdulhafith Alfaqi. A review of extended reality (xr) technologies in the future of human education: Current trend and future opportunity. *Journal of Human Centered Technology*, 2022.
- [2] Peng Bian, Yi Jin, and Nairen Zhang. Research on human-computer interaction design for distance education websites. *2010 5th International Conference on Computer Science & Education*, pages 716–719, 2010.
- [3] Conrad Borchers, Jiayi Zhang, Ryan S. Baker, and Vincent Aleven. Using think-aloud data to understand relations between self-regulation cycle characteristics and student performance in intelligent tutoring systems. *Proceedings of the 14th Learning Analytics and Knowledge Conference*, 2023.
- [4] Raymond Leonardo Chandra, Djamel Berkaoui, Koen Castermans, and Heribert Nacken. Utilizing virtual reality in higher education marketing through open-source and open-educational software. *Proceedings of the 2023 7th International Conference on Big Data and Internet of Things*, 2023.
- [5] Carolina Cruz-Neira, Daniel J. Sandin, Thomas A. DeFanti, Robert V. Kenyon, and John C. Hart. The cave: audio visual experience automatic virtual environment. *Commun. ACM*, 35(6):64–72, June 1992.
- [6] James J. Cummings and Jeremy N. Bailenson. How immersive is enough? a meta-analysis of the effect of immersive technology on user presence. *Media Psychology*, 19:272 – 309, 2016.
- [7] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. *DWA-M 509: Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung*. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef, Deutschland, May 2014.
- [8] D. Hamilton, James McKechnie, Edward A. Edgerton, and Claire Wilson. Immersive virtual reality as a pedagogical tool in education: a systematic literature review

- of quantitative learning outcomes and experimental design. *Journal of Computers in Education*, 8:1 – 32, 2020.
- [9] Stephan Heimerl. Beckenartige fischaufstiegsanlagen – grundlagen und konstruktion. In *Fachtagung 2014 „Fischwanderung in genutzten Gewässern“*, Biel, Schweiz, 2014. Wasser-Agenda 21, Fichtner Water Transportation GmbH. Vortrag über Grundlagen und Konstruktion von Fischaufstiegsanlagen, mit praktischen Beispielen und Stand der Technik.
- [10] Hussein Idris. Cesium story: Fischaufstiegsanlage am replener meer. <https://ion.cesium.com/stories/viewer/?id=0eaa628d-48ed-433f-90ce-f2c0485afbc0#slide-id-233351>, 2024. Story erstellt am 10. August 2024.
- [11] Eric Krokos, Catherine Plaisant, and Amitabh Varshney. Virtual memory palaces: immersion aids recall. *Virtual Reality*, 23:1 – 15, 2018.
- [12] Guido Makransky and Gustav Bøg Petersen. The cognitive affective model of immersive learning (camil): a theoretical research-based model of learning in immersive virtual reality. *Educational Psychology Review*, 33:937 – 958, 2021.
- [13] MechaTech. What is a 3 dof vs 6 dof in vr?
- [14] Jaziar Radianti, Tim A. Majchrzak, Jennifer Fromm, and Isabell Wohlgenannt. A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Comput. Educ.*, 147:103778, 2020.
- [15] Stefan Reismann. Sensorama - virtual reality in 1962, 2023.
- [16] NABU Schleswig-Holstein. Fischaufstieg staustufe geesthacht, 2020. Letzter Zugriff: 12. Dezember 2024.
- [17] Mel Slater. Immersion and the illusion of presence in virtual reality. *British journal of psychology*, 109 3:431–433, 2018.
- [18] Jonathan Steuer. Defining virtual reality: dimensions determining telepresence. 1992.
- [19] STRIVR Team. 6dof vs 3dof: Understanding the importance. Letzter Zugriff: 12. Dezember 2024.
- [20] ART Tracking. University aachen germany: Academic research. <https://ar-tracking.com/de/solutions/case-studies/academic-research/university-aachen-germany>. Zugriff am 15. Dezember 2024.