



Fachbereich 5
Informatik und Sprachen



MARTIN-LUTHER-UNIVERSITÄT
HALLE-WITTENBERG

Institut für Informatik

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen
Grades Master of Science (M. Sc.)

Kseniia Krylova

Vorname Name

Interaktive Medien, 4069098 / 218 101 876

Studiengang, Martikeldnummer

Thema:

Entwicklung einer interaktiven
Lernumgebung in Virtual Reality
für die Biotechnologie

Prof. Dr. Arne Berger

1. Prüfer / 1. Prüferin

Prof. Dr. Johannes Tümler

2. Prüfer / 2. Prüferin

03.06.2024

Datum der Abgabe

Selbstständigkeitserklärung

Diese Arbeit wurde von mir selbständig verfasst und in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht in einem anderen Studiengang als Prüfungsleistung vorgelegt. Ich habe keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen, einschließlich der angegebenen oder beschriebenen Software, verwendet.

Halle, 03.06.2024 Ort, Datum

Krylova Unterschrift

Diese Version der Masterarbeit enthält Korrekturen, die nach der Begutachtung der Arbeit vorgenommen wurden.

Danksagung

Ich möchte diese Gelegenheit nutzen, um meinen Dank an all die Personen auszudrücken, die mich während der Erstellung meiner Masterarbeit unterstützt haben.

Zunächst möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Arne Berger bedanken, der meine Masterarbeit betreut hat. Besonders dankbar bin ich für die Unterstützung bei der Themenauswahl und dem Vorschlag dieses interessanten Themas sowie für die wertvollen Ratschläge und Fragestellungen. Vor allem die ständige Unterstützung und Motivation waren von unschätzbarem Wert.

Ich bin sehr dankbar Herrn Prof. Dr. Johannes Tümler für die Unterstützung, wertvollen Tipps und fachliche Expertise zum Thema Virtual Reality. Ich schätze es sehr, dass er seine Erfahrungen mit mir geteilt hat, was mir ermöglicht hat, viele Anregungen in die Masterarbeit und in die Lernanwendung einfließen zu lassen.

Ein besonderer Dank geht an Herrn Prof. Dr. Alexander Carôt für die Initiierung dieses tollen Studiengangs sowie für die Begleitung und Unterstützung während meines gesamten Masterstudiums.

Frau Prof. Dr. Jana Rödiger möchte ich für die tolle Zusammenarbeit, ihre innovativen Ideen und das wertvolle Feedback danken, die maßgeblich zur Entwicklung der VR-Lernanwendung und zur Masterarbeit beigetragen haben.

Ein herzlicher Dank gilt Herrn Dr. Klaus Epperlein für die hervorragende Unterstützung bei der Aufbereitung der Lerninhalte zur Weinherstellung, der Organisation der Exkursion zu Weingütern und seine Hilfsbereitschaft.

Frau Dr. Beata Walter danke ich für ihre wertvollen Anmerkungen zu den didaktischen Aspekten und ihr Engagement in der Vorstudie. Das Thema Didaktik war von großer Bedeutung für diese Masterarbeit.

Ein ganz besonders großes Dankeschön geht an meine Kollegin und gute Freundin Rong Huang, die mich in der stressigen Zeit unterstützt hat. Zudem danke ich ihr für die tolle Zusammenarbeit und die Entwicklung des „Biotech-Hauses“, dessen Teil die VR-Anwendung dieser Masterarbeit ist.

Ein herzlicher Dank geht an meine gute Freundin Lisa Börgen für ihre großartige Unterstützung während der Erstellung meiner Masterarbeit sowie für das wertvolle Feedback zum Text und für das Korrekturlesen.

Abschließend möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Azar Aliyev herzlich bedanken, der meinen beruflichen und Lebensweg entscheidend beeinflusst hat und meine Idee zum Studium unterstützt hat. Ohne seine Unterstützung wäre mein Studium und somit auch diese Masterarbeit nicht möglich gewesen.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	ix
Tabellenverzeichnis	x
Abkürzungsverzeichnis	x
1 Einleitung	1
2 Theoretische Hintergründe	4
2.1 Virtual Reality (VR)	4
2.1.1 Begrifflichkeiten	4
2.1.2 Abgrenzung	6
2.1.3 Funktionsweise	6
2.1.4 Vergleich zwischen VR und Computersimulationen	9
2.1.5 Eigenschaften von VR	12
2.2 Lerntheoretische und didaktische Grundlagen	14
2.2.1 Mediendidaktik	14
2.2.2 Didaktische Methoden	16
2.2.3 Klassische Lerntheorien	16
2.2.4 Cognitive Load Theory (CLT)	17
2.2.5 Multimediales Lernen	18
2.2.6 Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML)	18
2.3 VR-Technologie als Bildungsmedium	19
2.3.1 Chancen	20
2.3.2 VR-Lernumgebungen	22
2.3.3 Veranschaulichungen in VR	23
2.3.4 Lernmodelle zum Lernen in VR	28
2.4 Konzeption und Umsetzung	32
2.5 Weinherstellung	34
3 State of the Art: VR in der Lehre für Biotechnologie	38
3.1 Einsatz von VR in der Lehre der Biotechnologie	38
3.2 Anwendungsfall	39
3.3 Probleme in der Lehre der Biotechnologie	40
3.4 Lehr- und Medienformen	40
3.4.1 Biotech-Haus	41
3.4.2 Labster	42
3.4.3 Überblick	42
4 Konzept und Umsetzung	44

4.1	Vorgehensweise	44
4.2	Mediendidaktische Planung	46
4.3	Konzeption	49
4.4	Technische Umsetzung	55
4.4.1	Entwicklungstechnologien	55
4.4.2	Struktur des Projekts	58
4.4.3	3D-Modellierung	59
4.4.4	Visuelle Effekte	65
4.4.5	Kontrolle der Lernschritte und Interaktion	69
4.5	Einsatz der Gestaltungsprinzipien	71
4.5.1	Kohärenzprinzip	71
4.5.2	Signalisierungsprinzip	74
4.5.3	Redundanzprinzip	75
4.5.4	Segmentierungsprinzip	76
4.5.5	Pre-Training-Prinzip	77
4.5.6	Modalitätsprinzip	78
4.5.7	Personalisierungsprinzip	78
4.5.8	Verkörperungsprinzip	79
4.5.9	Stimmprinzip	79
5	Forschungsdesign der Expertenevaluation	80
5.1	Expertenevaluation	80
5.2	Forschungsdesign	81
5.2.1	Teilnehmende	82
5.2.2	Zielsetzung und Fragestellungen	82
5.2.3	Methoden	83
5.3	Vorstudie	87
5.3.1	Teilnehmende	87
5.3.2	Interviewführung	87
5.3.3	Transkriptions- und Auswertungsverfahren	88
5.3.4	Auswertung	88
5.3.5	Diskussion	93
6	Zusammenfassung und Ausblick	99
A	Fragebogen für die quantitative Teilstudie	119
B	Checkliste für Experteninterview	122
C	Quellcode-Listings	124
D	Shader Graphs	131
E	Verwendete Software und Hilfsmittel	133
F	Verwendete Ressourcen	134

Abbildungsverzeichnis

1.1	Fokus der Masterarbeit	2
2.1	Verwendungshäufigkeit der Begriffe „VR“ und „Simulation“ in 98 Tageszeitungen von 1988 bis 1993. Quelle: Biocca et al. (1995, S. 6).	5
2.2	Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum nach Milgram & Kishino (1994). Quelle: Wölfel (2023, S. 16), die 3D-Umgebung wurde von Flavio Della Tommasa erstellt	6
2.3	Prinzip des stereoskopischen Sehens in einem HMD. Eigene Darstellung nach Dörner et al. (2019, S. 182)	7
2.4	Google Cardboard. Quelle: Google (2023)	8
2.5	HP Reverb G2. Quelle: HP Development Company, L.P. (2024)	8
2.6	Vive Fokus 3. Quelle: HTC Corporation (2024a)	8
2.7	Exozentrische Perspektive. Quelle: Surer et al. (2019)	11
2.8	Egozentrische Perspektive. Quelle: Labster ApS (2024b)	11
2.9	Rahmenmodell der Didaktik nach Paul Heimann. Eigene Darstellung nach Kerres (2024g, S. 250)	15
2.10	Modale Gedächtnismodell. Quelle: Eigene Darstellung nach Atkinson & Shiffrin (1968)	17
2.11	Cognitive Theory of Multimedia Learning. Quelle: Eigene Darstellung nach Mayer (2005a)	18
2.12	Beispiel für abbildungstreue Veranschaulichungen: AstoriaVR. Quelle: blendFX & hug Films (2022)	24
2.13	Beispiel für schematisierende Veranschaulichungen: Virtueller Rundflug durch den Schädel. Quelle: Christina Klus, Dorothea-Erxleben-Lernzentrum Halle (2023)	26
2.14	Beispiel für schematisierende Veranschaulichungen: Virtueller Rundflug durch den Schädel. Quelle: Christina Klus, Dorothea-Erxleben-Lernzentrum Halle (2023)	26
2.15	Beispiel für konkretisierende Veranschaulichungen: Nanome. Quelle: HTC Corporation (2024c)	27
2.16	Beispiel für metaphorische Veranschaulichungen: Inside the Router. Quelle: Leonhardt et al. (2022)	27
2.17	Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL). Quelle: Makransky & Petersen (2021)	28
2.18	Meaningful iVR Learning (M-iVR-L) Modell. Quelle: Mulders et al. (2022)	32
2.19	Sequenzielles Vorgehen. Quelle: Kerres (2024g)	33
2.20	Iteratives Vorgehen. Quelle: Kerres (2024g)	34
2.21	Ernte der Trauben. Quelle: Hochschule Anhalt	35
2.22	Maische. Quelle: Hochschule Anhalt	35
2.23	Weinpresse. Quelle: Hochschule Anhalt	36
2.24	Kammerfilterpresse. Quelle: Hochschule Anhalt	36

2.25 Gärtanks im Keller. Quelle: Hochschule Anhalt	37
2.26 Holzfässer im Keller. Quelle: Hochschule Anhalt	37
3.1 Biotech-Haus in VR. Quelle: Rong Huang	41
3.2 Labster-Simulation aus dem Kurs der Kategorie „Biotechnologie“. Quelle: Labster ApS (2024a)	42
4.1 Vorgehensweise	45
4.2 Folie aus der Präsentation „Weinherstellung“. Quelle: Schmid (2002)	47
4.3 Schritte der Weinherstellung. Quelle: Eigene Darstellung	50
4.4 Flowchart für den Schritt „1.1. Trauben in den Trichter der Entrappmaschine laden“. Quelle: Eigene Darstellung	52
4.5 Struktur des Projekts in Unity	58
4.6 Ordnerstruktur für Modelle	58
4.7 Low-Poly-3D-Modell eines Traubenbüschels	60
4.8 Pivot in Autodesk Maya	61
4.9 Drehpunkt in Unity	61
4.10 Flaschenhalter in Maya	61
4.11 Flaschenhalter in Unity	61
4.12 WineBarrelModel Quelle: WineBarrelModel	62
4.13 Erstellung der Texturen für den Tank	63
4.14 Abfallbehälter. Quelle: Hochschule Anhalt	63
4.15 Erstellung einer nahtlosen Textur	63
4.16 Abfallbehälter mit Rappen und Blättern in Unity	64
4.17 Ablauf der Erstellung von 3D-Modellen, Texturierung und Import in Unity	64
4.18 Partikel System	66
4.19 Particle System Material	66
4.20 Shader Graph	67
4.21 Simulation der fließenden Maische	67
4.22 Unity Simple Liquid Einstellungen	68
4.23 Abfüllung der Weinflasche in VR	69
4.24 Schwefelung in VR	72
4.25 Schwefelung abgeschlossen	72
4.26 Zuckermessung in VR	72
4.27 Bild in dekorativem Rahmen in VR	73
4.28 Weinfässer in VR	73
4.29 Weinflasche mit Glas im Weinraum	74
4.30 Weinflasche mit Glas als Belohnung	74
4.31 Pfeile in der Entrappmaschine in VR	75
4.32 Pfeil, der ein Glas in VR zeigt	75
4.33 Signalisierungsprinzip in VR	75
4.34 Beispiel für das Segmentierungsprinzip: Lernschritt zum Entrappen in Lerneinheiten geteilt	76
4.35 Lernschritte zum Entrappen in Unity	76
4.36 Lernschritte zur Abfüllung und Verpackung in Unity	77

4.37 Beispiel für das Segmentierungsprinzip: Schritt zum Beobachten der inneren Mechanismen der Entrappmaschine	77
4.38 Pre-Training-Prinzip in VR	78
4.39 Pre-Training-Prinzip in VR	78
5.1 Ablaufschema eines parallelen Designs. Quelle: Eigene Darstellung nach Foscht et al. (2009, S. 254)	82
5.2 Fragebogen-Daten	95
5.3 Ablaufschema für quantitative Teilstudie. Icons von Slidicon (2024) auf Flaticon.com .	97
5.4 Ablaufschema für qualitative Teilstudie. Icons von Slidicon (2024) auf Flaticon.com .	98
5.5 Checkliste für Experteninterview. Einige Punkte basieren auf Bogner et al. (2014, S. 59)	98
A.1 Überarbeiteter Fragebogen für die quantitative Teilstudie, Teil 1	119
A.2 Überarbeiteter Fragebogen für die quantitative Teilstudie, Teil 2	120
A.3 Überarbeiteter Fragebogen für die quantitative Teilstudie, Teil 3	121
B.1 Überarbeiteter Fragebogen für die qualitative Teilstudie, Teil 1	122
B.2 Überarbeiteter Fragebogen für die qualitative Teilstudie, Teil 2	123
D.1 Shader Graph: Simulation der fließenden Maische durch den Schlauch	131
D.2 Shader Graph: Visueller Effekt für den Weinflaschen-Socket	132

Tabellenverzeichnis

2.1	Vergleich zwischen 3D-Computergraphik und VR. Quelle: Dörner et al. (2019, S. 15) .	9
2.2	Merkmale der VR im Vergleich zu 3D-Computersimulationen in Anlehnung an Dörner et al. (2019, S. 15)	10
2.3	Analyseschema zur Planung hybrider Lernarrangements. Quelle: Kerres (2002)	15
2.4	Definitionen nach Mayer (2005b); eigene Übersetzung	18
2.5	VR-Lernumgebungen. Quelle: Schwan & Buder (2002, S. 117)	22
2.6	Formen der Veranschaulichung in virtuellen Realitäten. Quelle: Schwan & Buder (2002, S. 111)	24
3.1	Vergleich zwischen Biotech-Haus und Labster im Rahmen des Anwendungsfalls . . .	43
4.1	Analyseschema zur Planung einer VR-Lernanwendung nach Kerres (2002)	49
4.2	Lernschritte, Interaktionen und Lernziele im Weinherstellungsprozess	51
4.3	Lernschritte und technische Umsetzung	53
4.4	Übersicht der 3D-Modelle	54
4.5	Mindestanforderungen für den Betrieb des Unity Editors. Quelle: Unity Technologies (2024f)	57
4.6	Ordnerstruktur für ein Objekt in Unity	59
4.7	Visual Effects	65
4.8	Einsatz des Personalisierungsprinzips in der VR-Lernanwendung	79
5.1	Aussagen zur Bewertung der VR-Lernanwendung auf einer Likert-Skala bezüglich der ausgewählten didaktischen Methode	83
5.2	Aussagen zur Bewertung der VR-Lernanwendung auf einer Likert-Skala hinsichtlich der Lernergebnisse	84
5.3	Aussagen zur Bewertung auf einer Likert-Skala hinsichtlich der Ziele des Instruktionsdesigns	84
5.4	Hauptfragen für Experteninterview	86
5.5	Übersicht der befragten Expertinnen und Experten	87
E.1	In dieser Arbeit und für die Entwicklung der Anwendung verwendete Software und Hilfsmittel	133
F.1	In dieser Arbeit und für die Entwicklung der Anwendung verwendete externe Ressourcen, Teil 1	134
F.2	In dieser Arbeit und für die Entwicklung der Anwendung verwendete externe Ressourcen, Teil 2	135

Abkürzungsverzeichnis

AR	Augmented Reality
CAMIL	Cognitive Affective Model of Immersive Learning
CL	Cognitive Load
CLT	Cognitive Load Theory
CTML	Cognitive Theory of Multimedia Learning
DdD	Design dein Design
EFiL	Educational Framework for immersive Learning
ECL	Extraneous Cognitive Load
GCL	Germane Cognitive Load
HMD	Head-Mounted Display
M-iVR-L	Meaningful iVR Learning Modell
MCLSVE	Multidimensional Cognitive Load Scale for Virtual Environments
VR	Virtual Reality
xR	Extended Reality

Zusammenfassung

Durch den schnellen technischen Fortschritt findet Virtual Reality (VR) zunehmend ihren Weg in den Bildungsbereich und eröffnet Lernenden neue Möglichkeiten, sich Wissen anzueignen. Auch in der Lehre der Biotechnologie zeigt VR großes Potenzial, da sie hilft, Schwierigkeiten beim Erwerb praktischer Fähigkeiten und bei der Verknüpfung von Theorie und Praxis zu überwinden. An der Hochschule Anhalt wurde das Konzept des Biotech-Hauses entwickelt, einer virtuellen Plattform, die Lernenden ermöglicht, erste praktische Erfahrungen in der Herstellung biotechnologischer Produkte zu sammeln und die zugrunde liegenden Prozesse besser zu verstehen. Im Rahmen dieser Arbeit wird ein zusätzliches Szenario für die Weinherstellung konzipiert und umgesetzt.

Der Einsatz von VR in der Lehre umfasst zahlreiche Aspekte, von der Planung und didaktischen Analyse bis hin zur Konzeption und Entwicklung. Dies erfordert die Zusammenarbeit verschiedener Fachbereiche wie Informatik, VR-Technologie, Didaktik, Biotechnologie und Weinherstellung. In dieser Arbeit wird am Beispiel der Weinherstellung für die Lehre der Biotechnologie das gesamte Projekt von der Konzeption bis zur Umsetzung dargestellt. Die Vorgehensweise wird präsentiert und begründet. Es wird beschrieben, wie die Lerninhalte für die VR-Anwendung aufbereitet und technisch umgesetzt werden, wobei gezeigt wird, wie die didaktische Methode die technische Umsetzung beeinflusst. Zusätzlich werden die Aspekte wie 3D-Modellierung, Texturierung und die Implementierung visueller Effekte erläutert. Besondere Aufmerksamkeit wird der Gestaltung der VR-Lernanwendung gewidmet, bei dem eine Lernumgebung geschaffen wird, die den Lernprozess unterstützt. Anschließend wird ein Forschungsdesign für eine Expertenevaluation entworfen. Es wird eine Vorstudie mit Expertinnen und Experten aus den Bereichen Extended Reality, Didaktik und Biotechnologie durchgeführt, um das Forschungsdesign zu optimieren.

Kapitel 1

Einleitung

Durch den schnellen technischen Fortschritt der VR-Technologie finden immersive und interaktive VR-Lernumgebungen immer mehr ihren Weg in den Bildungsbereich und eröffnen den Lernenden neue Möglichkeiten zum Lernen. Dabei werden Lernszenarien oder ganze Lebenssituationen virtuell simuliert, sodass die Lernenden eintauchen und sich intensiv mit den Lerninhalten auseinandersetzen können. In der Literatur werden zahlreiche Potenziale von VR hervorgehoben. Dazu gehören unter anderem das sichere Training (Xu et al. 2014; Buttussi & Chittaro 2018), die anschauliche Darstellung komplexer Lerninhalte und die Wiederholbarkeit von Experimenten (Schuir et al. 2019). Besonders betont wird der Erwerb von Handlungskompetenzen und prozeduralem Wissen, da in VR-Umgebungen realitätsnahe Handlungen durchgeführt werden können (Zender et al. 2018; Makransky & Petersen 2021). Auch in der Lehre der Biotechnologie zeigt VR großes Potenzial, da es ein besseres Verständnis komplexer Themen und eine optimale Vorbereitung auf praktische Laborarbeiten ermöglicht (Seifan et al. 2020; Sánchez-López et al. 2024).

Trotz des zunehmenden Interesses an VR als Lehrmittel und der steigenden Anzahl seiner Einsätze wurde in einer Reihe von Studien betont, dass bei einer Vielzahl der VR-Lernanwendungen keine konzeptionelle didaktische Grundlage genannt wird (Zender et al. 2018; Mulders et al. 2020; Buchner et al. 2022). Radianti et al. (2020) zeigen in ihrer systematischen Übersichtsarbeit, dass 68% der Artikel, in denen VR-Inhalte oder VR-Anwendungen für die Hochschulbildung beschrieben werden, keine expliziten Lerntheorien als Basis erwähnen. Auch wird der Einsatz von VR in der Lehre von manchen Autorinnen und Autoren kritisch reflektiert, indem sie die technologiegetriebene Nutzung und den damit verbundenen Hype hinterfragen (Zender et al. 2018; Makransky & Petersen 2021). Dabei wird betont, dass eine fundierte Planung und Umsetzung eines didaktischen Konzepts sowie die gezielte Aufbereitung der Lehrinhalte, die sich der Möglichkeiten der VR-Technologie bedienen, in erster Linie für den Lernerfolg entscheidend sind (Zender et al. 2018; Kerres 2024f). Obwohl die Planung digitaler Lernangebote und traditioneller Unterrichtsangebote viele Gemeinsamkeiten aufweisen, gibt es auch wesentliche Unterschiede, insbesondere in der didaktischen Konzeption (Kerres 2024g). Daher ergibt sich die erste Forschungsfrage:

1. *Welche Planungsprozesse und didaktischen Überlegungen sind entscheidend für die Integration von VR in der Lehre?*

In einem breiten Bildungskontext wird die VR-Technologie ähnlich wie andere digitale Lern-

medien behandelt, jedoch mit besonderen Eigenschaften, die sie von anderen Mensch-Maschine-Schnittstellen abheben.

Aus Sicht der Mediendidaktik (Kerres 2024a) sollte die VR-Technologie gezielt genutzt werden, um zur Lösung von Bildungsproblemen beizutragen. Die im Rahmen dieser Masterarbeit erstellte VR-Lernanwendung wird für Biotechnologie am Beispiel der Weinherstellung entwickelt. Dabei gilt es, einerseits Probleme in der Lehre der Biotechnologie zu analysieren und andererseits zu untersuchen, wie VR dazu beitragen kann, diese Probleme zu adressieren und das Lernen zu unterstützen. Daraus ergibt sich die zweite Forschungsfrage:

2. Welche spezifischen Herausforderungen ergeben sich bei der Lehre in der Biotechnologie, insbesondere am Beispiel der Weinherstellung, und inwiefern kann die VR-Technologie dazu beitragen, diese Herausforderungen zu meistern?

Anschließend spielen die eigentliche Gestaltung und die Entwicklung der VR-Anwendung als digitales Lernwerkzeug eine wichtige Rolle. Die Kombination der Eigenschaften der VR wie Immersion und Interaktion bedeutet fundamentale Unterschiede zu den anderen traditionellen und multimedialen Lernmedien, die aus kognitiver Sicht wesentliche Konsequenzen für die Informationsverarbeitung und den Wissenserwerb der Lernenden haben (Schwan & Buder 2002). Daraus ergibt sich die dritte Forschungsfrage:

3. Wie sollte eine VR-Lernanwendung gestaltet sein, um Lernprozesse gezielt auf definierte Lernziele auszurichten?

Dementsprechend setzt sich die vorliegende Arbeit zum Ziel, die drei Forschungsfragen zu untersuchen und am konkreten Beispiel der VR-Lernanwendung für Biotechnologie zu beantworten, indem eine interaktive Lernumgebung in Virtual Reality für die Biotechnologie entwickelt wird. Dabei fokussiert sich diese Arbeit auf die Konzeption und Entwicklung der VR-Lernanwendung und analysiert den Planungsprozess, ohne jedoch allgemeine Entscheidungen über den generellen Einsatz von VR in der Lehre oder die Wahl der didaktischen Methode zu treffen. Anschließend wird ein Forschungsdesign entworfen und dieses evaluiert, um die VR-Lernanwendung durch Expertinnen und Experten bewerten zu lassen. Der Überblick über den Fokus der Masterarbeit ist in Abbildung 1.1 dargestellt.



Abbildung 1.1: Fokus der Masterarbeit

Das im Rahmen dieser Arbeit erstellte Lernszenario für Biotechnologie wird am Beispiel der Weinherstellung entwickelt. Die Idee basiert auf einem bereits bestehenden Projekt des Biotech-Hauses – ein Konzept, das an der Hochschule Anhalt entwickelt wurde, um die Rolle der Biotechnologie im Alltag zu verdeutlichen (Huang et al. 2022). Hierfür wird das Biotech-Haus um einen virtuellen Weinraum und Weinkeller ergänzt.

Diese Arbeit umfasst insgesamt sechs Kapitel einschließlich der Einleitung. Die Einleitung schließt mit dieser Gliederung ab. Kapitel 2 behandelt Virtual Reality als Technologie und Bildungsmedium und erörtert die relevanten theoretischen Hintergründe. Kapitel 3 bietet einen Überblick über den Einsatz von Virtual Reality in der Lehre für Biotechnologie, einschließlich verwandter Studien, aktueller Lehrmethoden und Herausforderungen in der Lehre. Kapitel 4 widmet sich dem Konzept und der Umsetzung, beschreibt die Struktur und Vorgehensweise sowie die Implementierung, mit einem Fokus auf die Gestaltung der Lerninhalte und visuellen Effekte. Kapitel 5 beschreibt das Forschungsdesign der Expertenevaluation und die Vorstudie. Abschließend bietet Kapitel 6 eine Zusammenfassung der Arbeit und stellt Vorhaben und Vorschläge für weitere Arbeiten vor.

Kapitel 2

Theoretische Hintergründe

Im folgenden Kapitel werden die theoretischen Grundlagen und Konzepte vermittelt, die für die Anwendung und Erforschung von Virtual Reality im Bildungsbereich von Bedeutung sind. Es werden auch relevante Kontextfaktoren und kognitive Aspekte der Informationsverarbeitung berücksichtigt. Abschließend wird ein Abschnitt über die Weinherstellung eingefügt, der wichtige Informationen über den Weinherstellungsprozess liefert.

2.1 Virtual Reality (VR)

Virtual Reality, im Folgenden als VR abgekürzt, beschreibt eine computergenerierte Umgebung, die es ermöglicht, in eine dreidimensionale Welt einzutauchen und interaktiv mit dieser zu agieren. Durch den Einsatz spezieller Ausgabegeräte wie Head-Mounted Displays (HMDs) werden die Nutzenden visuell, akustisch und auch haptisch in die virtuelle Umgebung integriert. Diese immersive Erfahrung wird durch die Simulation von Sinneseindrücken erreicht, welche die Präsenz in der virtuellen Welt verstärken und ein Gefühl des „Dort-Seins“ erzeugen. Dabei bezieht sich der Begriff VR sowohl auf die Hardware wie HMDs als auch im weiteren Sinne auf die zugrundeliegende Technologie, von der die HMD ein Teil sind. Im Rahmen dieser Arbeit liegt der Fokus auf dem letztgenannten Aspekt. Der folgende Abschnitt widmet sich der Definition und der Differenzierung von VR gegenüber ähnlichen Technologiekonzepten.

2.1.1 Begrifflichkeiten

Der Begriff „Virtual Reality“ wurde erstmals Ende der 1980er Jahre von Jaron Lanier in den Sprachgebrauch eingeführt, um damalige technologische Entwicklungen, die als „virtual environments“ und „virtual workstations“ beschrieben wurden, unter einem Begriff zu vereinen (Lanier & Biocca 1992). Jaron Lanier gründete im Jahr 1984 VPL Research, ein Unternehmen mit dem Ziel, VR einem breiten Publikum zugänglich zu machen. Obwohl zuvor Begriffe wie *Artificial Reality* (Krueger 1991), *Cyberspace* (Bormann 1994) und *Simulation* (Biocca et al. 1995) vor allem im Rahmen populärwissenschaftlicher Texte bereits bekannt waren, erlangte der Begriff VR Anfang der 1990er Jahre zunehmend Bekanntheit (Biocca et al. 1995). Die Abbildung 2.1 zeigt die Häufigkeit der Verwendung der Begriffe „Virtual Reality“ und „Simulation“ in 98 Tageszeitungen von Januar 1988 bis Dezember

1993.

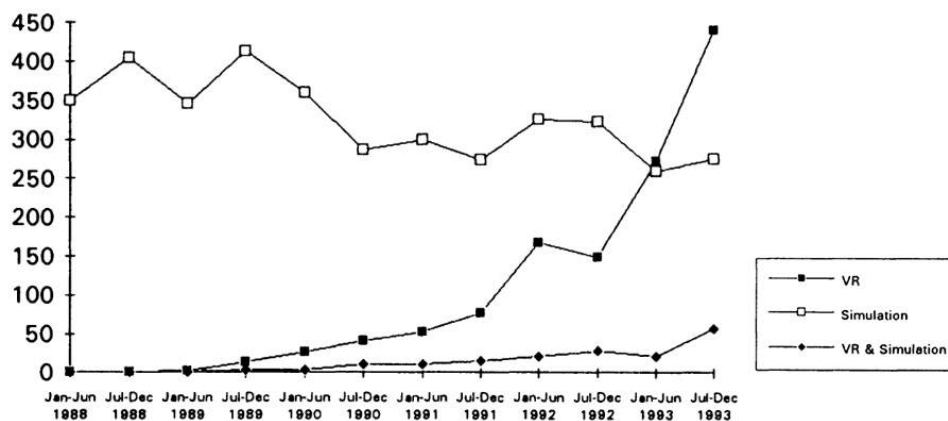


Abbildung 2.1: Verwendungshäufigkeit der Begriffe „VR“ und „Simulation“ in 98 Tageszeitungen von 1988 bis 1993. Quelle: Biocca et al. (1995, S. 6).

Valente & Bardini (1995) stellten in ihrer Untersuchung fest, dass die Verbreitung des Begriffs „Virtual Reality“ maßgeblich durch seine Präsenz in den Massenmedien vorangetrieben wurde. In ihrem Beitrag kommen sie zu dem Schluss, dass durch die Aufmerksamkeit der technikaffinen Presse und der Filmindustrie in den frühen 1990er Jahren die Verbreitung und Anerkennung des Begriffs sowie der Konzepte von Virtual Reality weit fortgeschritten ist, wenn nicht sogar abgeschlossen. Bryson (2013) schrieb in seinem Essay „Virtual Reality: A Definition History – A Personal Essay“, dass der Begriff „Virtual Reality“ zu dieser Zeit breit verwendet wurde, um eine Vielzahl technologischer Entwicklungen von dreidimensionalen fotorealistischen Simulationen bis hin zu künstlicher Intelligenz zu beschreiben. Daher entstand die Notwendigkeit einer klaren Definition von Virtual Reality, damit sie in ihrer breiten Verwendung nicht an Bedeutung verliert. Die Definition von Virtual Reality wurde wie folgt festgelegt:

„Virtual Reality is the use of computer technology to create the effect of an interactive three-dimensional world in which the objects have a sense of spatial presence“.

Dabei konzentrierte er sich auf deren kognitive Effekte, die eine Raumwahrnehmung, Präsenzerleben und die Interaktion mit Objekten beinhalten. Sherman & Craig (1995) kamen zu einer ähnlichen Definition:

„Virtual reality, a medium composed of highly interactive computer simulations that sense the user’s position and replace or augment the feedback of one or more senses – giving the feeling of being immersed, or being present in the simulation“.

Laut dem Oxford English Dictionary (2023) wird Virtual Reality definiert als

„A computer-generated simulation of a lifelike environment that can be interacted with in a seemingly real or physical way by a person, esp. by means of responsive hardware such as a visor with screen or gloves with sensors; such environments or the associated technology as a medium of activity or field of study“.

Angesichts der vielfältigen Ausdifferenzierungen, die der Begriff „Virtual Reality“ in der Literatur gefunden hat, existieren gemeinsame Definitionsmerkmale: computergenerierte Simulation, Immersion und Interaktion.

2.1.2 Abgrenzung

Neben VR existieren auch andere immersive Technologien wie Augmented Reality (AR) und Augmented Virtuality (AR), die zusammengefasst als Mixed Reality beschrieben werden können. Der Begriff Mixed Reality bezieht sich auf den Bereich zwischen realer Umgebung und virtueller Realität, wie er im Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum von Milgram & Kishino (1994) dargestellt wird, das in Abbildung 2.2 zu sehen ist.

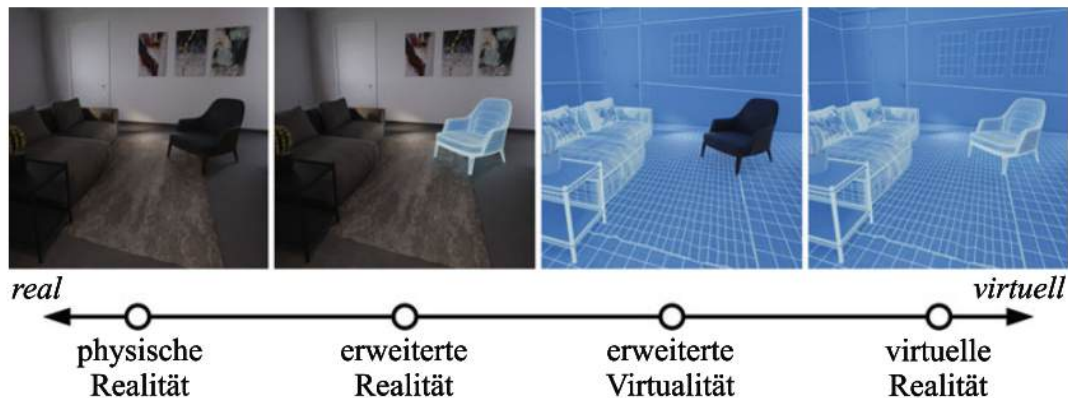


Abbildung 2.2: Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum nach Milgram & Kishino (1994).
Quelle: Wölfel (2023, S. 16), die 3D-Umgebung wurde von Flavio Della Tommasa erstellt

Auf der linken Seite der Abbildung ist die physische Realität dargestellt, wobei der Anteil der Realität stetig abnimmt und der Anteil der virtuellen Realität entsprechend zunimmt. Wenn virtuelle Objekte die Realität überlagern und dabei der Anteil der Realität überwiegt, spricht man von Augmented Reality (AR). In der Augmented Virtuality dominiert hingegen der virtuelle Anteil, während die Echtzeitdarstellung von realen Objekten in digitalen Umgebungen erfolgt. Während VR und AR häufig in verschiedenen Bereichen eingesetzt werden und gut bekannt sind, findet Augmented Virtuality seltener Anwendung. Ein Beispiel hierfür ist eine AV-Anwendung, die eingesetzt wird, um zu untersuchen, wie unterschiedliche Kontexte die Wahrnehmungen beeinflussen, speziell im Bereich der Geschmackserfahrungen (RexVet Project 2024).

Die vorgestellten immersive Technologien variieren deutlich in Bezug auf die eingesetzten Eingabe- und Ausgabegeräte. Alle verfolgen jedoch das gemeinsame Ziel, eine Verschmelzung von Realität und Virtualität zu erreichen. In dieser Arbeit wird ausschließlich VR behandelt. Im Folgenden wird auf die grundlegende Funktionsweise von Eingabe- und Ausgabegeräten für VR eingegangen.

2.1.3 Funktionsweise

Aus technischer Perspektive wird der Einsatz stereoskopischer Verfahren für dreidimensionale Darstellungen mittels Head-Mounted Displays (HMD) als notwendige Bedingung und zentrales Unterscheidungsmerkmal von VR gegenüber anderen Mensch-Maschine-Schnittstellen hervorgehoben.

HMD ist ein visuelles Ausgabegerät, das direkt am Kopf des Benutzers getragen wird und unmittelbar vor den Augen positioniert ist. Für VR-Anwendungen werden diese Geräte auch als VR-Brillen bezeichnet. Die grundlegende Funktionsweise der VR-Brillen basiert auf einer binokularen Optik, die es dem Benutzer ermöglicht, Inhalte stereoskopisch wahrzunehmen. „Binokular“ bedeutet, dass das Gerät für jedes Auge eine getrennte Optik verwendet, wodurch unterschiedliche Bilder für das

linke und das rechte Auge erzeugt werden. Die Differenz zwischen diesen beiden Bildern, auch binokulare Disparität genannt, ist ein wesentliches Merkmal des menschlichen visuellen Systems, das in VR-Brillen genutzt wird, um eine stereoskopische Ansicht zu erzeugen und damit einen räumlichen Eindruck zu vermitteln (Urey et al. 2011). Die Abbildung 2.3 verdeutlicht das Prinzip des stereoskopischen Sehens in einem HMD, indem gezeigt wird, wie sich die Sichtfelder der Displays für das linke und das rechte Auge überschneiden.

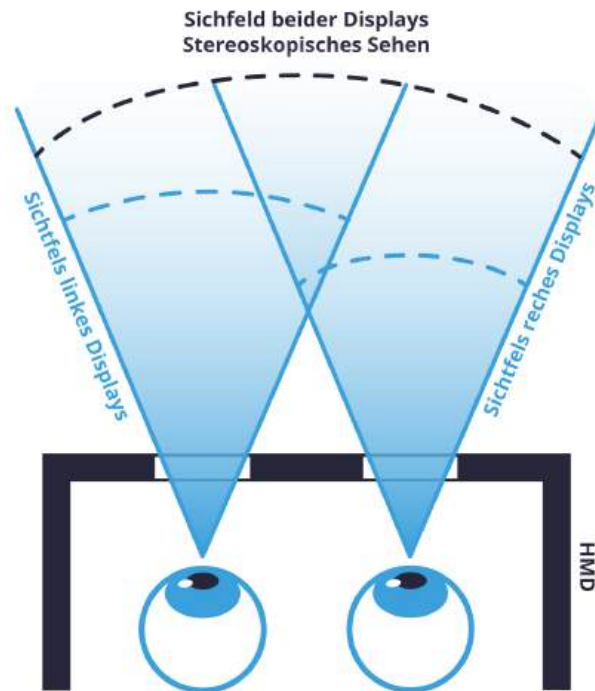


Abbildung 2.3: Prinzip des stereoskopischen Sehens in einem HMD.
Eigene Darstellung nach Dörner et al. (2019, S. 182)

Die Google Cardboard ist ein Beispiel für eine einfache technische Umsetzung einer VR-Brille, die in Abbildung 2.4 dargestellt ist. Es handelt sich dabei um ein kostengünstiges VR-Headset, das hauptsächlich aus einem Stück faltbarem Karton besteht, in das zwei Linsen eingebettet sind. Die Person setzt ihr Smartphone in das Cardboard ein, wobei das Display des Smartphones als Bildschirm dient. Spezielle VR-Anwendungen auf dem Smartphone teilen das Bildschirmbild in zwei kleinere, seitlich versetzte Bilder auf, die durch die Linsen betrachtet werden.



Abbildung 2.4: Google Cardboard. Quelle: Google (2023)

Die fortgeschritteneren VR-Systeme, repräsentiert durch typische Consumer-VR-Brillen, lassen sich in zwei Hauptkategorien unterteilen: PC-verbundene und Standalone-Systeme.

PC-verbundene VR-Systeme sind direkt mit einem Computer verbunden, der die erforderliche Rechenleistung liefert, um komplexe virtuelle Umgebungen darzustellen. Ein Beispiel für ein solches System ist das HP Reverb G2, welches auf Abbildung 2.5 dargestellt ist. Diese Systeme bieten üblicherweise eine höhere Bildqualität und erweiterte Interaktionsmöglichkeiten, benötigen jedoch eine verkabelte Verbindung zum PC, was die Bewegungsfreiheit des Nutzers einschränken kann.

Standalone-HMDs sind eigenständige Geräte, die alle notwendigen Komponenten wie Prozessor, Bildschirm und Akku intern verbaut haben und keine externe Recheneinheit benötigen. Ein Beispiel hierfür ist das HTC Vive Focus, das in Abbildung 2.6 dargestellt ist. Diese Geräte bieten größere Bewegungsfreiheit und sind einfacher einzurichten, da sie nicht auf externe Hardware angewiesen sind. Allerdings kann die Rechenleistung im Vergleich zu PC-verbundenen HMDs begrenzter sein, was die Komplexität der darstellbaren VR-Umgebungen einschränken kann.



Abbildung 2.5: HP Reverb G2. Quelle: HP Development Company, L.P. (2024)



Abbildung 2.6: Vive Fokus 3. Quelle: HTC Corporation (2024a)

HMDs sind mit einem integrierten Tracking-System ausgestattet oder werden in Kombination mit einem solchen System verwendet (Dörner et al. 2019, S. 170). Dies dient dazu, die Blickrich-

tung und Position der virtuellen Kamera kontinuierlich entsprechend der aktuellen Position und Ausrichtung des HMDs anzupassen.

2.1.4 Vergleich zwischen VR und Computersimulationen

Da die computergenerierte Simulation in VR mittels Hardware- und Softwarekomponenten realisiert wird und die Person mit der Hardware durch 3D-Interface interagiert, kann VR als eine Form der Mensch-Maschine-Schnittstelle betrachtet werden. Krueger (1991) definiert VR als „*ultimate form of the interaction between humans and machines*“. Dabei ist es sowohl wichtig, die Gemeinsamkeiten als auch die Unterschiede zwischen VR-Umgebungen und anderen Mensch-Maschine-Schnittstellen zu betrachten und die charakteristischen Merkmale gegenüberzustellen, um die spezifischen Eigenschaften der VR-Technologie hervorzuheben. Es gibt eine Vielzahl verschiedener Mensch-Maschine-Schnittstellen und Interfaces. Dörner et al. (2019) et al. bieten einen Vergleich von VR und herkömmlicher Computergrafik, die in Tabelle 2.1 dargestellt wird.

Tabelle 2.1: Vergleich zwischen 3D-Computergraphik und VR. Quelle: Dörner et al. (2019, S. 15)

3D-Computergraphik	Virtuelle Realität
Rein visuelle Präsentation	Multimodale (d. h. mehrere Sinnesmodalitäten ansprechende also z. B. gleichzeitig visuelle, akustische und haptische) Präsentation
Präsentation nicht notwendigerweise zeitkritisch	Echtzeitdarstellung
Betrachterunabhängige Präsentation (exozentrische Perspektive)	Betrachterabhängige Präsentation (egozentrische Perspektive)
Statische Szene oder vorberechnete Animation	Echtzeitinteraktion und -simulation
2D-Interaktion (Maus, Tastatur)	3D-Interaktion (Körperbewegung, Hand-, Kopf- u. Körpergestik) + Spracheingabe
Nicht-immersive Präsentation	Immersive Präsentation

Die Merkmale der 3D-Computergrafik, wie „nicht notwendigerweise zeitkritische Präsentation“ und „statische Szene oder vorberechnete Animation“, beziehen sich auf Formen der 3D-Computergrafik, die Videos und Anwendungen mit herkömmlichen Interfaces umfassen. Jedoch besitzen Formen der 3D-Computergrafik wie Computerspiele auch die Fähigkeit zur Echtzeitinteraktion und -simulation sowie Echtzeitdarstellung und integrieren zudem akustische Effekte, was eine zusätzliche akustische Sinnesmodalität darstellt. Andererseits können auch statische Szenen oder animierte Sequenzen Bestandteil einer VR-Anwendung sein. Im Rahmen dieser Arbeit werden zur Gegenüberstellung mit VR-Technologie und zur Hervorhebung ihrer Eigenschaften Computersimulationen betrachtet. Diese stellen monitorbasierte Anwendungen dar, die Echtzeitinteraktion und 3D-Grafik bieten. Typische Beispiele hierfür sind Computerspiele oder interaktive Lernanwendungen und -simulationen. Basierend darauf wird eine vergleichende Übersicht über VR und Computersimulationen erstellt, die auf der von Dörner et al. (2019, S. 15) vorgeschlagenen Klassifikation beruht. Die vergleichenden Charakteristika sind in Tabelle 2.2 dargestellt.

Tabelle 2.2: Merkmale der VR im Vergleich zu 3D-Computersimulationen in Anlehnung an Dörner et al. (2019, S. 15)

Merkmal	3D-Computersimulation	VR
Sinnesmodalität	Multimodale Präsentation • visuelle • auditive	Multimodale Präsentation • visuelle • auditive • haptische
Reaktionsgeschwindigkeit	Echtzeitdarstellung, Echtzeitinteraktion und -simulation	Echtzeitdarstellung, Echtzeitinteraktion und -simulation
Interaktionstechniken	exozentristische Perspektive und egozentristische Perspektive	meistens egozentristische Perspektive
Interaktionsform	2D-Interaktion (Maus, Tastatur, ggf. Spracheingabe)	3D-Interaktion (Körperbewegung, Hand-, Kopf- u. Körpergestik, Controller und ggf. Spracheingabe)
Immersion	Nicht-immersive Präsentation	Immersive Präsentation

Die **Sinnesmodalität** bezieht sich auf die verschiedenen Kanäle, durch die Menschen Informationen aus ihrer Umwelt aufnehmen und verarbeiten. Zu diesen Kanälen zählen der visuelle, auditive, taktile, gustatorische, olfaktorische sowie der vestibuläre Sinn. Multimodale Präsentation bezeichnet das gleichzeitige Ansprechen mehrerer dieser Sinneskanäle durch mediale Vermittlung; ein Merkmal, das sowohl 3D-Computersimulationen als auch VR-Umgebungen bieten. 3D-Computersimulationen beschränken sich jedoch auf visuelle und auditive Sinneseindrücke, während VR zusätzlich haptische Sinnesmodalitäten anspricht. Jedoch erweitern moderne Entwicklungen im Bereich der VR-Technologien dieses Spektrum um olfaktorische Wahrnehmung, indem Düfte durch tragbare miniaturisierte Geruchsgeneratoren erzeugt werden (Liu et al. 2023). Im Feld der visuellen Darstellung hat die Entwicklung der VR-Technologie bisher die größten Fortschritte erzielt.

Die **Reaktionsgeschwindigkeit** gilt als wesentliches Kriterium für interaktive Mediensysteme (Shneiderman 1992). Eine geringe Latenz ist für die Echtzeitinteraktion unerlässlich und sollte unterhalb der Wahrnehmungsschwelle des Menschen liegen, um eine unmittelbare Reaktion des Systems auf Nutzeraktionen zu gewährleisten. Beide Technologien, monitorbasierte Computersimulationen und VR-Anwendungen, verfügen über die Eigenschaft der Echtzeitinteraktion sowie Echtzeitdarstellung. Dabei spielen sowohl die Qualität der Hardware als auch eine latenzoptimierte Softwareprogrammierung eine entscheidende Rolle, um Echtzeitinteraktion sowie Echtzeitdarstellung ohne Verzögerungen durch notwendige Rechenzeiten zu gewährleisten.

Interaktionstechniken, die Art und Weise, wie mit virtuellen Objekten manipuliert wird, lassen sich in egozentristische und exozentristische Techniken klassifizieren (Dörner et al. 2019, S. 232). Bei der *exozentristischen Perspektive* betrachtet die nutzende Person die virtuelle Welt aus einer Drittpersonenperspektive, das heißt, sie interagiert mit der virtuellen Umgebung durch einen virtuellen Charakter oder ein Bedienelement. Dies könnte beispielsweise ein Modell eines Autos oder eine virtuelle Figur sein, die in Computerspielen als Third-Person-Ansicht bezeichnet wird. Ein Beispiel hierfür ist in Abbildung 2.7 dargestellt. Im Gegensatz dazu werden bei der *egozentristischen Perspektive* die Nutzenden konzeptuell als Teil der virtuellen Umgebung verstanden; die Wahrnehmung erfolgt aus der Ich-Perspektive, das heißt, die Darstellung der virtuellen Umgebung wird so erlebt, als sähe man sie durch die Augen der Person selbst. In der Spieleindustrie wird dies

als First-Person-Perspektive bezeichnet. Ein Beispiel dafür ist in Abbildung 2.8 dargestellt. 3D-Computersimulationen erlauben sowohl exozentrische als auch egozentrische Perspektiven. Obwohl es VR-Anwendungen mit exozentrischer Perspektive gibt, wie zum Beispiel das VR-Spiel Moss™ (Polyarc 2018), konzentriert sich der Großteil dennoch auf eine egozentrische Perspektive, die den Nutzenden die Illusion vermittelt, tatsächlich Teil der virtuellen Welt zu sein.



Abbildung 2.7: Exozentrische Perspektive.
Quelle: Surer et al. (2019)

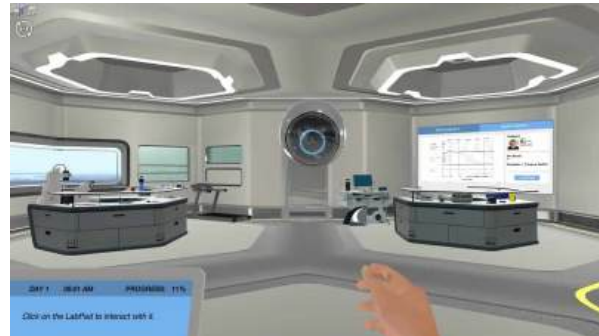


Abbildung 2.8: Egozentrische Perspektive.
Quelle: Labster ApS (2024b)

Ein wesentlicher Unterschied zwischen Computersimulationen und VR-Anwendungen besteht in den **Interaktionsformen**, insbesondere in der Anzahl der in der Benutzerschnittstelle repräsentierten Dimensionen. Die Benutzerschnittstelle von Computersimulationen ist klassisch im 2D-Raum angelegt, wobei die Interaktion hauptsächlich durch die Nutzung konventioneller Eingabegeräte wie Maus oder Tastatur innerhalb einer zweidimensionalen Ebene erfolgt. Diese Art der Interaktion wird auch als WIMP (Windows, Icons, Menus, Pointer) Paradigma bezeichnet (Kamani 2009). Im Gegensatz dazu erlauben die VR-Anwendungen eine 3D-Interaktion, die durch Körperbewegungen sowie Hand-, Kopf- und Körpergestik realisiert wird. Aufgrund der fortgeschrittenen technologischen Eigenschaften von VR-Systemen, einschließlich des Trackings von Position und Orientierung im dreidimensionalen Raum sowie der Eingabemöglichkeiten mittels Controllern, stellt die Mensch-Maschine-Schnittstelle in diesem Fall eine realitätsnahe Simulation des dreidimensionalen Raumes dar. Nutzende können sich innerhalb dieser simulierten Umgebung bewegen und virtuelle Objekte interaktiv manipulieren. Diese Interaktionsform wird als besonders intuitiv wahrgenommen, da sie auf im Alltag erworbenen Verhaltensmustern und Gewohnheiten basiert. Diese Benutzerschnittstelle stellt ein Beispiel für ein Post-WIMP-Interface dar, deren Interaktionstechniken weit über die traditionellen WIMP-Interfaces hinausgehen (Dam 1997). Die Möglichkeit einer Spracheingabe durch ein Mikrofon steht sowohl bei 3D-Computersimulationen als auch in VR-Umgebungen zur Verfügung.

Immersion gilt als ein Kernmerkmal, das die VR-Technologie von anderen Mensch-Maschine-Schnittstellen abhebt (Dörner et al. 2019, S. 14). Immersion beschreibt metaphorisch das Eintauchen in eine virtuelle Welt, bei dem die Nutzenden das Gefühl haben, Teil dieser Welt zu sein. Im Gegensatz dazu bleibt die Erfahrung bei 3D-Computersimulationen auf die zweidimensionale Darstellung und Interaktion beschränkt, was eine weniger immersive Wahrnehmung zur Folge hat. Solche Formen der 3D-Computergrafik werden der *nichtimmersiven virtuellen Realität* zugeordnet, die sich als Präsentation von virtuellen Welten auf einem Bildschirm zeigen (Wölfel 2023, S. 23). Immersion wird besonders als eine Eigenschaft von VR hervorgehoben und wird im Folgenden näher beschrieben.

2.1.5 Eigenschaften von VR

Basierend auf den oben genannten vergleichenden Charakteristika zwischen VR und monitorbasierten Computersimulationen lassen sich drei wesentliche rezeptionsseitige Eigenschaften von VR identifizieren, die VR von anderen Mensch-Maschine-Schnittstellen abheben und für diese Arbeit besonders relevant sind: Präsenzerleben, Handlungsfähigkeit und räumliche Wahrnehmung.

Immersion und Präsenzerleben

In der Literatur werden zwei Konzepte der Immersion unterschieden: die technologische (Fähigkeit des Systems, den Nutzenden eintauchen zu lassen) und die psychologische (von den Nutzenden wahrgenommene) Immersion (Slater & Wilbur 1997). Das erste Konzept bezieht sich auf die technischen Möglichkeiten des Systems, die Sinneseindrücke der Nutzenden möglichst umfassend anzusprechen, um so eine Illusion der Realität zu erschaffen. Der Effekt einer solchen Illusion, also das Eintauchen in eine virtuelle Welt, wird maßgeblich durch Head-Mounted Displays (HMDs) erreicht. Diese Geräte umschließen die Augen vollständig, füllen das gesamte Sichtfeld aus und schließen dadurch die Wahrnehmung von visuellen Reizen aus der realen Welt aus, sodass die Nutzenden ausschließlich die Inhalte der virtuellen Umgebung sehen. Dadurch wird die Immersivität vorrangig durch die visuelle Komponente erreicht, während auditive und taktile Sinnesmodalitäten eine sekundäre Rolle spielen und bei qualitativer Umsetzung die Immersion unterstützen sowie das subjektive Gefühl des Eintauchens der Nutzenden verstärken.

Nach Slater & Wilbur (1997) gründet sich Immersion auf vier charakteristische Eigenschaften eines VR-Systems:

- *Inklusivität*: Sinneseindrücke sollen komplett durch virtuelle Stimuli ersetzt werden, wodurch eine Isolation von der physischen Umwelt erreicht wird.
- *Reichhaltigkeit*: Die Anzahl der simultan erfahrbaren Sinnesmodalitäten sollte so hoch wie möglich sein.
- *Umschließung*: Die Ausgabegeräte des VR-Systems sollen ein umfassendes, panoramisches Erlebnis bieten und nicht lediglich ein begrenztes Blickfeld abdecken.
- *Lebendigkeit*: Die virtuellen Inhalte sollen realitätsnah und lebendig dargestellt werden, beispielsweise durch eine hohe Auflösung, angemessene Beleuchtung, hohe Bildwiederholraten und eine hohe Audio-Bitrate (Jerald 2015, S. 45).

Slater & Wilbur (1997) weisen in ihrer Arbeit darauf hin, dass die Selbstdarstellung in einer virtuellen Umgebung durch einen sogenannten „virtuellen Körper“ für die Immersion erforderlich ist, aus dessen Perspektive die virtuelle Umgebung wahrgenommen wird. Dabei ist die Position des virtuellen Körpers im Raum von Bedeutung – beispielsweise die visuelle Wahrnehmung auf Höhe der Augen des virtuellen Körpers. Diese Form der Präsentation wird als egozentrische Perspektive bezeichnet und wurde bereits in Abschnitt 2.1.4 erläutert. Das zweite Konzept der Immersion beschreibt einen kognitiven Zustand, der durch die Interaktion mit der immersiven virtuellen Umgebung hervorgerufen und als *Präsenz* definiert wird. In der Literatur wird dieses subjektive Gefühl als „being there“ beschrieben und vermittelt das Empfinden, Teil einer künstlich erschaffenen Umgebung zu sein, anstatt der realen, physischen Umgebung, in der sich die Person tatsächlich

befindet (International Society for Presence Research 2020). Es ist festzustellen, dass das Konzept der Präsenz nicht ausschließlich für VR-Umgebungen relevant ist. Zudem ist für das Präsenzerleben die Immersion als technisches Merkmal nicht zwangsläufig notwendig. Lombard & Ditton (1997) beschreiben das Konzept des „dort zu sein“ („being there“) als die „älteste Form der Präsenz“ und erörtern diesen Effekt auch für traditionelle Medien wie das Fernsehen und sogar für schriftliche Erzählungen. Andererseits stellt Präsenz für immersive VR-Umgebungen jedoch ein charakteristisches Definitionsmerkmal dar (Steuer 1992). Slater (2009) teilt das Präsenzgefühl in virtuellen Umgebungen in zwei Typen auf:

- *Ortsillusion*: Das subjektive Gefühl, an einem bestimmten Ort zu sein, obwohl man sich bewusst ist, dass dies nicht der Fall ist.
- *Plausibilitätsillusion*: Das subjektive Gefühl, dass die Ereignisse in der virtuellen Umgebung tatsächlich stattfinden, obwohl man sich bewusst ist, dass dies nicht der Fall ist.

Da Präsenz ein psychologisches Phänomen ist (Slater 2003), beeinflussen neben den technischen Merkmalen eines VR-Systems natürlich auch individuelle Faktoren das Ausmaß des Präsenzerlebens. So haben Diemer et al. (2015) in ihrer Studie gezeigt, dass starke Emotionen wie Stress mit einem hohen Maß an Präsenzgefühl korrelieren. Auch Cybersickness kann sich auf das Präsenzerleben auswirken. Eine hohe Immersion der VR-Umgebung und das damit verbundene Gefühl des „being there“ können bei einigen Nutzenden physiologisches Unwohlsein hervorrufen (Weech et al. 2019).

Handlungsfähigkeit

Handlungsfähigkeit ist eine rezeptionsseitige Eigenschaft des VR-Systems, die es Nutzenden ermöglicht, aktive Handlungen durchzuführen und auf die virtuelle Umgebung einzuwirken. Dabei sind motorische Aktionen wie das Greifen von Objekten, Bewegen oder Drücken gemeint. Handlungsfähigkeit ist ein Merkmal der Interaktivität und beeinflusst gemeinsam mit der Immersion das Präsenzerleben (Steuer 2006). In der Psychologie und den Kognitionswissenschaften wird der Begriff „sense of agency“ verwendet, der das Gefühl beschreibt, eigene Handlungen initiieren und kontrollieren zu können (Moore & Fletcher 2012) sowie das Bewusstsein zu haben, die Ursache dieser Handlungen zu sein (Guy et al. 2023). In der Informatik wird der Begriff „sense of agency“ mit dem Gefühl assoziiert, aktiv auf die digitale Umgebung Einfluss nehmen zu können, beispielsweise durch die Steuerung eines virtuellen Charakters, die Nutzung interaktiver Schnittstellen oder das Navigieren innerhalb einer virtuellen Umgebung (Wölfel 2023). Dabei ist die Handlungsfähigkeit direkt mit den Interaktionsmöglichkeiten einer VR-Anwendung verbunden, die vom Typ und Ziel der Anwendung abhängig sind. Wenn die nutzende Person in der Lage ist, sich in einer virtuellen Umgebung zu bewegen und umherzuschauen, jedoch keine Interaktion mit Objekten, wie beispielsweise deren Ergreifen, möglich ist und somit kein Einfluss auf den weiteren Verlauf genommen werden kann, ist die Handlungsfähigkeit gering.

Räumliche Wahrnehmung

Unter räumlicher Wahrnehmung wird die visuelle Erfassung der geometrischen Eigenschaften virtueller Objekte und Räume sowie des eigenen virtuellen Körpers verstanden, einschließlich ihrer

relativen Positionen und Größen zueinander. In den Neurowissenschaften wird bei der menschlichen räumlichen Wahrnehmung zwischen egozentrischer und allozentrischer Raumrepräsentation unterschieden (Klatzky 1998). Das *allozentrische Referenzsystem* bezieht sich auf die Lokalisierung von Objekten relativ zur Umgebung und nicht zum Beobachter (May 2022). Es handelt sich um eine Objekt-zu-Objekt-Repräsentation (Kozhevnikov 2023), die Informationen über die Lage eines Objekts oder seiner Teile in Bezug auf andere Objekte kodiert. Das *egozentrische Referenzsystem* bezieht sich auf die Lokalisierung von Objekten relativ zum eigenen Körper des Betrachters. Es nutzt ein Selbst-zu-Objekt-Repräsentationssystem (Kozhevnikov 2023), das es ermöglicht, unabhängig von der eigenen Position im Raum zu navigieren. VR ermöglicht es, diese Eigenschaften der menschlichen räumlichen Wahrnehmung zu nutzen, sodass Nutzende in der virtuellen Umgebung Objekte sowohl relativ zur Umgebung als auch relativ zum eigenen Körper lokalisieren und deren Größe einschätzen können. Die räumliche Wahrnehmung in VR-Umgebungen und deren Verlässlichkeit sind mit dem Grad der Präsenz verbunden, die ein Nutzer aufgrund der Kombination von technischen Eigenschaften des VR-Systems erfährt, einschließlich Immersion, 3D-Interaktionsform und egozentrischer Perspektive (Draper et al. 1996; Hofmann 2002).

2.2 Lerntheoretische und didaktische Grundlagen

Im Rahmen dieser Arbeit geht es um die Entwicklung einer VR-Anwendung zu Lehr- und Lernzwecken. Dabei werden Technik und Medien genutzt, um das Lernangebot zu gestalten. Das Lernen beinhaltet die Aufnahme von Informationen und deren Verarbeitung zu Wissen, während das Lehren darin besteht, diesen Prozess gezielt vorzubereiten, zu gestalten und zu unterstützen (Schwan & Buder 2002). Dabei sind verschiedene Aspekte von Bedeutung – von didaktischen Überlegungen bis hin zu den kognitiven Prozessen während des Lernens. Wie das Lernen verstanden wird und welche Rolle der Technik und digitalen Lösungen dabei zugeschrieben wird, beeinflusst die Konzipierung der Lernanwendung und deren Umsetzung (Kerres 2024e).

2.2.1 Mediendidaktik

Mediendidaktik, als ein Teilgebiet der Erziehungswissenschaften, bildet zusammen mit der Medienerziehung das Feld der Medienpädagogik und widmet sich dem Lernen mit Medien aus didaktischer Perspektive (Kerres 2018, S. 62). Während sich die Medienerziehung auf die Handlungsorientierung konzentriert, um Handlungskompetenzen im Umgang mit Medien zu fördern, fokussiert die Mediendidaktik auf das Konzept der Gestaltungsorientierung. Dies beinhaltet die Entwicklung von Modellen und Methoden zur Konzeption von mediengestützten Lernangeboten. Dabei wird ein pragmatischer Ansatz verfolgt, der die Anwendung von Medien zur Lösung konkreter Bildungsprobleme in den Vordergrund stellt. Man geht davon aus, dass digitale Medien an sich nicht zu Verbesserungen im Bildungsbereich führen. Kerres (2024d, S. 80) formuliert es folgendermaßen:

„Nicht die Technik verändert Bildung, sondern Technik kann gestaltet werden, um Bildung zu ermöglichen und zu verbessern“.

Die gestaltungsorientierte Mediendidaktik basiert vorrangig auf dem didaktischen Rahmenmodell, das von Heimann & Reich (1976) für die Beschreibung und Analyse des Schulunterrichts entwickelt wurde (Witt & Czerwionka 2013). Das Rahmenmodell umfasst grundlegende Entscheidungs-

felder wie Lehrinhalte, Lehrziele, Lehrmethoden und Medien. Die Abbildung 2.9 zeigt das didaktische Rahmenmodell.

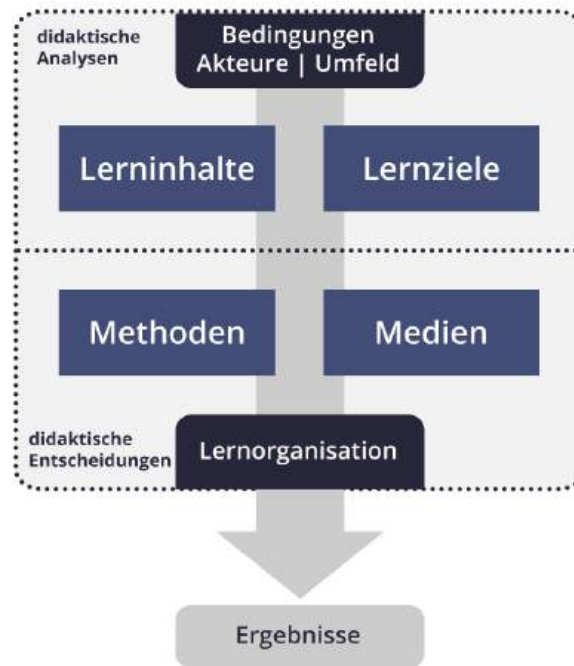


Abbildung 2.9: Rahmenmodell der Didaktik nach Paul Heimann.
Eigene Darstellung nach Kerres (2024g, S. 250)

Im Rahmenmodell werden die Entscheidungsfelder für Lehrmethoden und Medien separat behandelt. Dies bedeutet, dass die Auswahl einer Lehrmethode unabhängig von der Auswahl der Medien erfolgen sollte, obwohl diese Entscheidungen sich wechselseitig beeinflussen (Kerres 2024g).

Kerres (2002) hebt spezifische Kriterien hervor, die bei der mediendidaktischen Planung und dem Einsatz von Medien in Bildungsmaßnahmen berücksichtigt werden sollten. Diese umfassen diverse Aspekte der Gestaltung und Analyse, die in Tabelle 2.3 unten detailliert aufgeführt sind.

Tabelle 2.3: Analyseschema zur Planung hybrider Lernarrangements. Quelle: Kerres (2002)

Projektziele	Was wird mit dem Medieneinsatz erhofft? Effektivitäts-/Effizienzsteigerung, Steigerung der Flexibilität, didaktische Innovation, neue Lernformen, Verzahnung von Wissensvermittlung und Wissensmanagement
Zielgruppe	An wen richtet sich das Lernangebot? Anzahl der Personen, Geschlecht, Alter, regionale Verteilung, Mobilität, Medienzugang, Vorerfahrungen, Vorkenntnisse
Lerninhalte und -ziele	Welche Inhalte sollen mit welchem Ziel vermittelt werden? Deklaratives Wissen, prozedurales Wissen, kontextuelles Wissen
Didaktische Struktur/Methode	Wie soll das Angebot didaktisch aufbereitet werden? Linear organisierte Sequenz, hypertextuell organisierter Interaktionsraum, Wissenskommunikation (Übergang zum Wissensmanagement)
Lernorganisation	Wie soll das Angebot organisatorisch realisiert werden? Getaktet vs. ungetaktete Distribution, tutorielle Betreuung 1:1 oder 1:n (kooperatives verteiltes Lernen) - synchron oder asynchron, Mediendistribution physikalisch oder immateriell, Verteil- oder Vermittlungsnetz

2.2.2 Didaktische Methoden

Bei der methodischen Aufbereitung von Lerninhalten wird eine Unterscheidung zwischen den didaktischen Methoden Exposition und Exploration getroffen (Kerres 2024b). Bei *expositorischen Lehrmethoden* wird der Lernprozess durch Fremdsteuerung strukturiert, wobei die Lerninhalte systematisch und entlang eines festgelegten Lernpfades präsentiert werden. Dieser Ansatz führt dazu, dass die Lernenden auf einer vorgegebenen Route durch das Lehrmaterial geleitet werden. *Explorative Ansätze* im Lernen ermöglichen es den Lernenden, ihren eigenen Lernpfad zu konstruieren. Dabei wird das Lernen durch Neugier und Interesse gefördert, was zu einer aktiven Beteiligung führt. Die Lernenden setzen sich selbst Ziele und initiieren verschiedene Handlungen in einer selbst gewählten Reihenfolge, um diese Ziele zu erreichen. Der Lernprozess unter explorativen Bedingungen ist nicht linear, sondern passt sich den individuellen Bedürfnissen und dem Fortschritt der Lernenden an. Neben expositorischen und explorativen Ansätzen hebt Kerres (2024c) auch *problemorientierte Methoden* hervor. Problemorientierte Lehrmethoden zielen darauf ab, das Problem des Lerntransfers direkt zu behandeln (Kerres 2024c, S. 334). Ein wesentliches Merkmal dieser Ansätze ist der generative Prozess des Problemlösens. Lernende werden mit spezifischen Problemen konfrontiert und müssen eigenständig Lösungen erarbeiten. Diese Methode unterstützt nicht nur das Verständnis des Gelernten, sondern fördert auch die Fähigkeit, Wissen in neuen Kontexten anzuwenden.

Kerres (2024c) erklärt, dass keine didaktische Methode universell vorteilhaft ist. Die Auswahl sollte vielmehr von den spezifischen Bildungszielen und den didaktischen Rahmenbedingungen abhängen. Verschiedene Methoden unterstützen unterschiedliche Lernprozesse und sind je nach den pädagogischen Intentionen geeignet, die klar definiert und abgestimmt werden müssen.

2.2.3 Klassische Lerntheorien

Die *behavioristische Lerntheorie* besagt, dass Lernen eine beobachtbare Verhaltensänderung darstellt, die als Reaktion auf äußere Reize entsteht (Arnold 2005). Innerpsychische Vorgänge bleiben unberücksichtigt, weshalb das Gehirn als „Black Box“ betrachtet wird. Im Zentrum steht dabei der Zusammenhang zwischen Umweltreizen und Verhaltensreaktionen: Wenn auf ein Verhalten eine positive Rückmeldung aus der Umgebung folgt, steigt die Wahrscheinlichkeit seines Wiederauftretens. Tritt als Folge eines Verhaltens eine negative Konsequenz für die Person ein, spricht man von einer „Bestrafung“ (Kerres 2001). Das neu zu beobachtende gewünschte Verhalten wird als „erlernt“ betrachtet. Der Lernvorgang lässt sich dabei vollständig von außen durch die „Lehrenden“ steuern.

Der *Kognitivismus* stellt eine Lerntheorie dar, die den Fokus auf interne mentale Prozesse legt. Im Gegensatz zum Behaviorismus, der äußere Verhaltensänderungen betont, konzentriert sich der Kognitivismus darauf, wie Wissen erworben, verarbeitet und gespeichert wird. Lernen wird hier als ein Prozess der Informationsverarbeitung gesehen. Moderne Theorien des multimedialen Lernens basieren meist auf kognitiven Ansätzen (Rey 2009, S. 33). Zu den bekanntesten zählen die Theorie der kognitiven Belastung und die kognitive Theorie des multimedialen Lernens.

Der *Konstruktivismus* ist eine Lerntheorie, die davon ausgeht, dass Wissen nicht passiv aufgenommen, sondern aktiv von Lernenden durch ihre Erfahrungen und Interaktionen mit der Umwelt konstruiert wird.

2.2.4 Cognitive Load Theory (CLT)

Die Cognitive Load Theory (CLT) ist ein anerkannter kognitionspsychologischer Ansatz, der sich mit multimedialem Lernen beschäftigt (Sweller 1988). Sie basiert auf der Annahme, dass Lernen mit kognitiver Belastung verbunden ist und erklärt, welche Faktoren das Lernen erleichtern oder erschweren können. Seit ihrer Einführung im Jahr 1988 wurde die CLT kontinuierlich spezifiziert und erweitert. Mittlerweile gibt es zahlreiche Übersichtsartikel, die über die aktuelle Entwicklungen und Erkenntnisse der CLT aufklären (Sweller et al. 2019; Hanham et al. 2023). In diesem Abschnitt werden die grundlegenden Postulate der Theorie dargestellt.

Im Kontext der CLT spielen das Langzeitgedächtnis und das Arbeitsgedächtnis eine zentrale Rolle in der Strukturierung und Verarbeitung von Informationen beim Lernen. Das Langzeitgedächtnis dient als umfangreiche Speicherbasis für Wissen und Fähigkeiten, die über längere Zeiträume hinweg behalten werden. Hingegen ist das Arbeitsgedächtnis ein kognitives System, in das neue Daten eintreffen, verarbeitet und über kurze Zeiträume gespeichert werden. Informationen können auf zwei Wegen in das Arbeitsgedächtnis gelangen: Entweder stammen sie aus dem Langzeitgedächtnis, wenn es sich um bereits gelerntes Material handelt, oder sie kommen bei neuen Informationen aus dem sensorischen Speicher. Das bekannteste modale Gedächtnismodell, entwickelt von Atkinson & Shiffrin (1968), ist in Abbildung 2.10 dargestellt.



Abbildung 2.10: Modale Gedächtnismodell. Quelle: Eigene Darstellung nach Atkinson & Shiffrin (1968)

Das Hauptziel bei der Entwicklung von Lernmaterialien besteht darin, Lernende dabei zu unterstützen, wichtige Informationen im Langzeitgedächtnis zu speichern. Wenn die Information neu ist, muss sie so präsentiert werden, dass sie die Beschränkungen des Arbeitsgedächtnisses bei der Verarbeitung neuer Informationen berücksichtigt (Sweller et al. 2019).

In der CLT werden drei Kategorien der kognitiven Belastung unterschieden: intrinsische, extrinsische und germane kognitive Belastung (Paas & Sweller 2014). Die *intrinsische Belastung* bezieht sich auf die Komplexität der Lerninhalte selbst, wird durch das Ausmaß der Elementinteraktivität bestimmt (Sweller 2010) und hängt von der Menge des Vorwissens des Lernenden ab (Renkl et al. 2004). Die *extrinsische Belastung* bezieht sich auf die Art und Weise, wie Lerninformationen präsentiert werden. Diese Form der Belastung entsteht durch die Gestaltung des Lehrmaterials und ist nicht direkt mit den Lerninhalten verbunden. Die *germane Belastung*, auch bekannt als lernrelevante kognitive Belastung, trägt direkt zum Lernen bei und fördert die Bildung neuer Wissensstrukturen. Diese Art der Belastung ist wünschenswert, da sie die aktive Verarbeitung von Informationen und deren Integration in das Langzeitgedächtnis unterstützt.

2.2.5 Multimediales Lernen

Mayer (2005b) definiert *Multimedia* als die Darstellung von Inhalten sowohl in Wortform, wie etwa gesprochener oder gedruckter Text, als auch in Bildform, darunter Grafiken und Videos. Multimediales Lernen findet statt, wenn Menschen mentale Repräsentationen aus Worten und Bildern aufbauen. Multimediale Instruktionen beinhalten die Darstellung von Worten und Bildern, die darauf ausgerichtet sind, das Lernen zu fördern. Tabelle 2.4 fasst diese Definitionen zusammen.

Begriff	Definition
Multimedia	Repräsentation von Worten (wie gedruckter oder gesprochener Text) und Bildern (wie Illustrationen, Fotos, Animationen oder Videos)
Multimediales Lernen	Aufbau mentaler Repräsentationen aus Worten und Bildern
Multimediale Instruktion	Repräsentation von Worten und Bildern, die darauf abzielen, das Lernen zu fördern

Tabelle 2.4: Definitionen nach Mayer (2005b); eigene Übersetzung

Der Prozess, bei dem Personen diese mentalen Modelle aus Worten und Bildern formen, ist ein zentraler Aspekt der kognitiven Theorie multimedialen Lernens nach Mayer, die im Folgenden erläutert wird.

2.2.6 Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML)

Die von Mayer (2005a) entwickelte Cognitive Theory of Multimedia Learning gründet sich auf drei Grundannahmen. Die erste davon ist, dass Menschen über getrennte Kanäle für die Verarbeitung von visuellen (bildhaften) und auditiven (verbalen) Informationen verfügen. Die zweite Annahme betrifft die eingeschränkte Kapazität des menschlichen Arbeitsgedächtnisses, was bedeutet, dass Menschen jeweils nur eine begrenzte Menge an Informationen in jedem Kanal verarbeiten können. Die dritte Annahme bezieht sich auf die aktive Verarbeitung von Informationen. Menschen beteiligen sich aktiv an kognitiven Prozessen, um eine kohärente mentale Repräsentation ihrer Erfahrungen zu konstruieren. Diese aktiven kognitiven Prozesse umfassen das Beachten relevanter eingehender Informationen, das Organisieren dieser Informationen in eine kohärente kognitive Struktur und das Integrieren der eingehenden Informationen mit bereits vorhandenem Wissen. Die CTML ist in Abbildung 2.11 dargestellt.

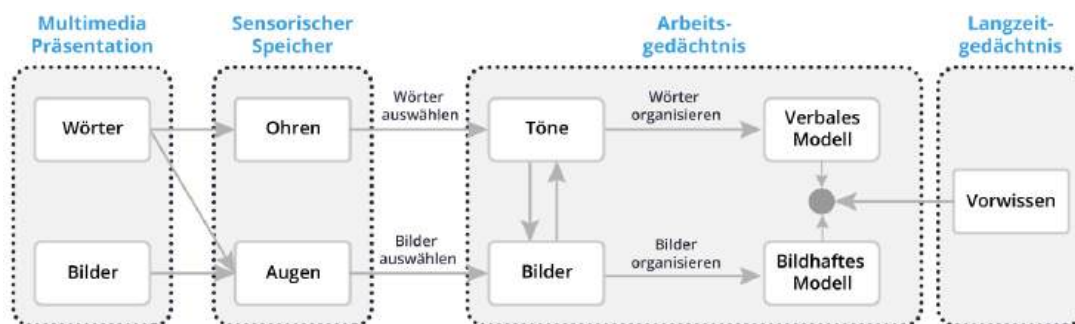


Abbildung 2.11: Cognitive Theory of Multimedia Learning. Quelle: Eigene Darstellung nach Mayer (2005a)

2.3 VR-Technologie als Bildungsmedium

Das steigende Interesse an VR für Bildungszwecke wurde vielfach hervorgehoben. Sowohl in der wissenschaftlichen Forschung als auch in der Praxis wird der Einsatz von VR zu Lehr- und Lernzwecken intensiv diskutiert und erprobt. Im Forschungsbereich werden kognitionspsychologische Aspekte des VR-gestützten Lernens (Makransky et al. 2019a; Parong & Mayer 2021; Petersen et al. 2022) sowie medienpädagogische und didaktische Aspekte bei der Gestaltung von VR-Lernumgebungen untersucht (Fowler 2015; Mulders et al. 2020; Mulders et al. 2022). In der Praxis finden VR-Lernszenarien bereits breite Anwendung in unterschiedlichen Bereichen, darunter in Industrie (Berg & Vance 2017; Wyk et al. 2019), Medizin (Mantovani et al. 2003) und Luftfahrt (Vora et al. 2002), wo sie aktiv erforscht und eingesetzt werden. Darüber hinaus wird VR zunehmend in der Hochschullehre eingesetzt (Stepan et al. 2017; Cruz & Mendoza 2018; Huang et al. 2022). Im Jahr 2020 haben bereits 41,9% der deutschen Hochschulen Augmented und Virtual Reality als Instrument zur Bereicherung der Präsenzlehre durch digitale Medien in Betracht gezogen (Hochschulforum Digitalisierung 2023). VR-Lernumgebungen werden zusammen mit AR-Lernansätzen als immersives Lernen bezeichnet und von Geugis & Fell (2020) wie folgt definiert:

„Immersives Lernen bezeichnet einen Lernansatz, der digitale Technologien wie Virtual Reality (VR) oder Augmented Reality (AR) nutzt, um Lernende beim Kompetenzaufbau so wie beim Erlernen von Prozessen zu unterstützen. Dies wird u.a. durch die Interaktion, das selbstständige Handeln sowie das Eintauchen des Lernenden in eine interaktive Lernumgebung – Immersion – erreicht.“

Ein wichtiger Aspekt, der mit der Nutzung von VR in der Lehre verbunden ist, ist der sogenannte „Hype“-Faktor, der einen erhöhten Interesse und Erwartungen im Zusammenhang mit innovativen Technologien bedeutet (Makransky & Petersen 2021, S. 951). Laut dem Konzept des „Hype Cycle“ des Marktforschungsunternehmens Gartner durchlaufen innovative Technologien verschiedene Stufen des Hypes (Gartner 2024). Der Moment des erhöhten Interesses an einer Technologie wird dabei „Peak of Inflated Expectations“ genannt und ist nach Ansicht von Bloesch & Fenn (2018) in erster Linie mit Medienberichterstattung und intensiven Marketingkampagnen verbunden. Makransky & Petersen (2021) führen dabei die Übersichtsarbeit von Chandler (2009) an und betonen, dass es wichtig ist, über den „Wow“-Faktor dynamischer Visualisierungen für das Lernen hinauszuschauen und Lernprozesse sowie kognitive Faktoren zu berücksichtigen.

Neben den kognitionspsychologischen Aspekten des VR-gestützten Lernens, die sich auf die lernende Person beziehen, wird VR als Bildungsmedium auch im allgemeinen Bildungskontext betrachtet (Mulders et al. 2020; Kerres 2024g), wobei Lehr- und Lernzwecke, Bildungsanliegen sowie didaktische Aspekte berücksichtigt werden. Das VR-gestützte Lernangebot sollte einen Mehrwert gegenüber herkömmlichen Methoden bieten und auf Lehr- und Lernziele ausgerichtet sein (Kerres 2018). Digitale Medien, einschließlich VR, sind kein Selbstzweck; ihre Nutzung allein garantiert nicht automatisch eine Verbesserung der Lernergebnisse (Getto & Kerres 2018). Entscheidend ist die sinnvolle Integration in den pädagogischen Kontext, bei der die Lehr- und Lernziele im Vordergrund stehen. Deshalb sollte der Einsatz von VR in der Lehre auf einer fundierten pädagogischen und mediendidaktischen Basis erfolgen und ein konkretes Bildungsbedürfnis adressieren.

2.3.1 Chancen

Der Einsatz immersiver VR-Technologien in der Lehre wird von verschiedenen Motivationen vorangetrieben, darunter Grenzen aufgrund von Gefahrensituationen, physische Unzugänglichkeit, Zeitbeschränkungen und ethische Bedenken (Ott & Freina 2015). VR als Bildungsmedium wird in der Literatur oft als „sicheres Training“ dargestellt, bei dem verschiedene Fähigkeiten sicher trainiert werden können, zum Beispiel in der Medizin (Scerbo 2004; Guze 2015), im Bauwesen (Sacks et al. 2013), in der Luftfahrt- und Brandsicherheit (Xu et al. 2014; Buttussi & Chittaro 2018) sowie im Unterricht in Fächern mit potenziellem Risiko, wie dem Chemieunterricht (Wiepke et al. 2022). Dabei wird als besonderer Vorteil von VR die Wiederholbarkeit in Bezug auf das Training genannt, wobei prozedurale Fähigkeiten mehrfach geübt werden können (Schuir et al. 2019).

Ein weiteres Potenzial von VR als Bildungsmedium wird in der interaktiven, dreidimensionalen Veranschaulichung der Lerninhalte gesehen, die den Studierenden eine tiefere und anschaulichere Einsicht in komplexe Themen ermöglichen soll (Schuir et al. 2019). Auf diese Weise können abstrakte Konzepte mithilfe von 3D-Demonstrationen in VR visualisiert und interaktiv erkundet werden, was in der Realität oft aufgrund von Entfernung, Zeitbeschränkungen oder Sicherheitsfaktoren nicht möglich ist (Alfalah 2018).

Die genannten Argumente für den Einsatz von VR, wie gefährliche Situationen, Zeitbeschränkungen, hohe Materialkosten und physische Unzugänglichkeit, sind Gründe dafür, warum reale Praktika nicht möglich sind. Die Aspekte wie Sicherheit, Wiederholbarkeit und die Darstellung komplexer Sachverhalte sind nicht ausschließlich Vorteile von VR. Auch andere Lernformen können diese Eigenschaften aufweisen, wenn sie einzeln betrachtet werden. Beispielsweise können Experimente in Computersimulationen mehrfach wiederholt werden, wobei sie auch Sicherheit bieten, gerade weil sie keine praktische (reale) Anwendung beinhalten. Die Darstellung komplexer Sachverhalte und Konzepte kann, als einzelner Aspekt betrachtet, auch durch andere Medienformen wie 3D-Animationen und Videos auf dem Bildschirm geboten werden. Durch den Einsatz von VR wird jedoch erhofft, eine Simulation zu schaffen, in der Fähigkeiten trainiert werden können, die sonst in der Originalumgebung aufwändig oder nicht möglich wären. Die VR-Technologie bietet die Möglichkeit, eine immersive dreidimensionale Lernumgebung zu schaffen, die aktiv und eigenständig erkundet werden kann. Diese Aspekte können insbesondere dort von Vorteil sein, wo spezifische Affordanzen der VR – Präsenzerleben, Handlungsfähigkeit und Raumwahrnehmung – zur Lösung spezifischer Bildungsanliegen beitragen.

Herausforderungen

Cybersickness

Trotz der zahlreichen Vorteile und Einsatzmöglichkeiten von VR der Bildung, bringt das Medium auch einige Herausforderungen mit sich. Eine potenzielle Herausforderung, die sich negativ auf das Lernen und die Lernergebnisse beim Einsatz von VR auswirken kann, sind unerwünschte Nebenwirkungen wie Kopfschmerzen, Übelkeit, Schwindel und Orientierungslosigkeit, die beim Nutzen von VR auftreten können. Diese Symptome des Unwohlseins sind unter dem Begriff „Cybersickness“ bekannt. Roettl & Terlutter (2018) führten eine Studie durch, in der sie analysierten, wie ein identisches Videospiel in 2D, stereoskopischem 3D oder VR mit einem HMD wahrgenommen wird.

Die Ergebnisse zeigten, dass das VR-Spielen mit einem HMD im Vergleich zu 2D- und 3D-Spielen mit zweidimensionalen Bildschirmen signifikant höhere Level von Schwindel und Übelkeit hervorruft. Diese Effekte können das Lernerlebnis und die allgemeine Wahrnehmung des Spiels erheblich beeinträchtigen, was bei der Entwicklung und Implementierung von VR-Technologien in Lern- und Unterhaltungsanwendungen berücksichtigt werden muss (Roettl & Terlutter 2018). Um das Risiko des Auftretens von Cybersickness zu verringern, muss der Einfluss der Faktoren bei der Entwicklung minimiert werden. Zum Beispiel können Latenzzeiten durch technische Verbesserungen reduziert und die Bewegungen der Nutzerinnen und Nutzer durch Teleportation eingeschränkt werden (Dörner et al. 2019, S. 69). Auch das Einschränken des Sichtfelds während der Fortbewegung kann Übelkeit reduzieren. Beispielsweise kann eine Vignette während kontinuierlicher Bewegung oder ein schnelles Abblenden auf Schwarz beim Teleportieren eingesetzt werden (Unity Technologies 2024a). Trotz der Maßnahmen, die bei der Entwicklung von VR-Lernanwendungen zur Verringerung unerwünschter Nebenwirkungen ergriffen werden, ist deren Auftreten auch mit individuellen Eigenschaften verbunden. Beispielsweise kann sich die Situation bei Personen, die unter Sehstörungen leiden, verschlechtern (Dörner et al. 2019, S. 67). Daher sollte bei der Verwendung von VR in der Lehre dies berücksichtigt werden und möglicherweise alternative Lernangebote für Personen angeboten werden, die besonders anfällig für Cybersickness mit HMD sind.

Kognitive Belastung in VR

Verschiedene Studien deuten darauf hin, dass das Lernen in immersiven VR-Lernumgebungen eine höhere kognitive Belastung verursacht als das Lernen mit weniger immersiven Medien, wie beispielsweise monitorbasierten Computersimulationen (Makransky et al. 2019b; Meyer et al. 2019; Parong & Mayer 2018).

Andersen & Makransky (2020) entwickelten Multidimensional Cognitive Load Scale for Virtual Environments (MCLSVE), die Unterskalen für extrinsische kognitive Belastung umfasst. Diese beinhalten extrinsische kognitive Belastung, die mit der Interaktion in einer virtuellen Lernumgebung zusammenhängt (EL_{int}), sowie extrinsische kognitive Belastung, die beim Lernen in komplexen 3D-virtuellen Umgebungen auftritt (EL_{env}). EL_{int} beschreibt die extrinsische kognitive Belastung, die durch die Art und Weise entsteht, wie eine Person mit der Umgebung interagiert, zum Beispiel durch das Greifen von 3D-Objekten. EL_{env} hingegen bezieht sich auf die extrinsische kognitive Belastung, die durch virtuelle Elemente innerhalb der virtuellen Umgebung, wie 3D-Objekte oder Charaktere, verursacht wird. Eine solche Differenzierung der Faktoren der extrinsischen kognitiven Belastung in VR ist wichtig, um zu verstehen, wie die Gestaltung der Lerninhalte und der VR-Lernumgebung optimiert werden kann, um das Lernen zu fördern (Andersen & Makransky 2020).

Ein weiterer Grund für die hohe kognitive Belastung in VR-Lernumgebungen kann mit technischen Herausforderungen für Lernende verbunden sein, die bisher keine Erfahrung mit Head-Mounted Displays haben. Vinitskiy et al. (2024) in einer Studie fanden heraus, dass eine vorbereitende Schulung im Umgang mit den Controllern und den Interaktionen in einem virtuellen Trainingsraum unmittelbar vor dem eigentlichen VR-Training – eine sogenannte Anpassungsphase – die kognitive Belastung reduziert. Dabei wurde festgestellt, dass die Art der Anpassungssimulation keine Rolle spielt, ob es sich um eine Standardtrainingsumgebung eines HMD-Herstellers, wie zum Beispiel „First Steps“ von Oculus, oder eine ähnliche Umgebung wie in der Lernumgebung handelt.

2.3.2 VR-Lernumgebungen

Schwan & Buder (2002) betrachten verschiedene Typen von VR-Lernumgebungen hinsichtlich ihrer wissenserwerbsbezogenen Interaktionsformen und der zugrunde liegenden pädagogisch-psychologischen Konzepte. Dabei unterscheiden sie folgende Typen: Explorationswelten, Trainingswelten, Experimentierwelten und Konstruktionswelten. Die Übersicht ist in Tabelle 2.5 dargestellt und wird im Folgenden erläutert.

Tabelle 2.5: VR-Lernumgebungen. Quelle: Schwan & Buder (2002, S. 117)

Interaktionsform	Pädagogische Orientierung	Prinzip	Beispiel
Exploration	konstruktivistisch, cognitive flexibility	freie Erkundung in selbstgewählter Reihenfolge und Geschwindigkeit	Historische Gebäude
Training	behavioristisch-kognitivistisch	Erwerb prozeduraler Fertigkeiten in realistischem Ambiente	Bedienung von Maschinen, Verhaltenstherapie
Experiment	Entdeckendes Lernen	Erwerb von Wissen über Mechanismen durch systematische Parametervariation	Steuerung einer Chemiefabrik
Konstruktion	Konstruktionismus, learning by design	Konzeption und Implementation einer virtuellen Realität	Ökosystem Wald

Explorationswelten ermöglichen es Lernenden, virtuelle Räume und Objekte in individuell bestimmtem Tempo und in beliebiger Reihenfolge zu erkunden. Die Beispiele umfassen eine Vielzahl von Lerngegenständen, darunter historische Bauwerke, Sehenswürdigkeiten, Planeten, Museen und anatomische Strukturen des menschlichen Körpers. Diese Lernobjekte können aus verschiedenen, frei gewählten Perspektiven und Blickwinkeln betrachtet werden, was die Lernerfahrung in verschiedenen Kontexten bereichert. Da die Lernenden weitgehende Kontrolle über ihre Lernpfade und die Art der Darstellung haben, eignen sich Explorationswelten besonders für jene mit hoher intrinsischer Motivation (Kerres 2001). In Explorationswelten liegt der Schwerpunkt auf dem Verstehen und der Vermittlung von meist deklarativem Wissen (Hellriegel & Čubela 2018).

In *Trainingswelten* hingegen steht der Erwerb handlungsbezogener Kompetenzen und die Vermittlung prozeduraler Fertigkeiten im Mittelpunkt. Die Beispiele hierfür sind Fahrsimulatoren, virtuelle Umgebungen für Verhaltenstherapien und Trainingsumgebungen zum Erlernen der Bedienung komplexer Maschinen. Virtuelle Trainingswelten sind besonders nützlich, wenn das Erlernen und Üben von Fähigkeiten in der realen Welt zu gefährlich, teuer oder kompliziert wäre, da sie eine sichere und kontrollierte Trainingsumgebung bieten. Im Unterschied zu Explorationswelten, die eigenständiges Erkunden fördern, ist das Lernverhalten in Trainingswelten stärker durch die Aufgabenstellung und die Lehrerkontrolle über spezifische Lernbedingungen bestimmt, was weniger Raum für selbstständige Erkundungen lässt. Die didaktische Gestaltung basiert dabei vorwiegend auf den Prinzipien der behavioristischen und kognitivistischen Lerntheorien. Da sie sequentiell strukturiert sind und einen weniger selbstständigen Lernstil fördern, eignen sich Trainingswelten besonders gut für Personen mit extrinsischer Motivation (Kerres 2001).

Experimentalwelten ermöglichen es Lernenden, die Eigenschaften oder Parameter virtueller Objekte festzulegen und die daraus resultierenden Auswirkungen ihrer Handlungen zu betrachten. Beispiele hierfür sind virtuelle chemische Experimente (Bogusevski et al. 2020) oder Simula-

tionen zur Newtonschen Mechanik (Youngblut 1998). Die Entwicklung solcher Experimentalwelten kann den Einsatz mathematischer Modelle erfordern, um physikalische Prozesse oder andere dynamische Veränderungen virtueller Objekte, die für das Lernen relevant sind, zu simulieren. Ziel ist es, dass die Lernenden durch das Testen und Überprüfen von Hypothesen kausale Zusammenhänge erkennen und verstehen können. Die didaktische Basis von Experimentalwelten gründet sich auf das Prinzip des entdeckenden Lernens, bei dem der Lernvorgang analog zu wissenschaftlichen Entdeckungsprozessen gestaltet wird (Jong & Joolingen 1998).

Konstruktionswelten bieten Lernenden die Möglichkeit, eigene virtuelle Objekte und Umgebungen zu erstellen und zu entwickeln. Die Beispiele umfassen die Gestaltung chemischer Moleküle und Ökosysteme (Youngblut 1998). Konstruktionswelten, ähnlich wie Experimentalwelten, fördern das Entwickeln mentaler Modelle zu komplexen Themen. Der wesentliche Unterschied besteht jedoch darin, dass Konstruktionswelten auf deduktiven Prinzipien beruhen, während Experimentierwelten auf induktiven Prinzipien basieren. Bei einem induktiven Ansatz beginnt man mit einem spezifischen Beispiel, wie einem chemischen Experiment oder einer Beobachtung, und leitet daraus ein allgemeines Gesetz oder Prinzip ab, indem man vom Speziellen zum Allgemeinen fortschreitet (Kerres 2001). Im Gegensatz dazu verfahren Konstruktionswelten nach einem umgekehrten Prinzip: vom Allgemeinen zum Besonderen. Zuerst wird ein allgemeines Konzept oder Prinzip erläutert, das die Lernenden dann in einer virtuellen Welt umsetzen und das Ergebnis ihrer Implementierung beobachten. Konstruktionswelten basieren auf der konstruktivistischen Lerntheorie bzw. dem Prinzip des „learning-by-design“.

2.3.3 Veranschaulichungen in VR

VR-Umgebungen ähneln anderen multimedialen Präsentationsformen wie Videos, Fotos und Diagrammen in ihrer visuellen Darstellung, die deutlich anschaulicher ist als abstrakt-symbolische Formen wie Texte und Formeln. Schwan & Buder (2002) haben unterschiedliche Arten der Visualisierung von Lerninhalten in ihren Darstellungen als abbildungstreu, schematisierend, konkretisierend und metaphorisch klassifiziert. Die Form der Veranschaulichung in der virtuellen Lernumgebung wird dadurch bestimmt, ob der Lerninhalt gegenständlich oder abstrakt ist. Die Übersicht ist in Tabelle 2.6 dargestellt und wird im Folgenden erläutert.

Tabelle 2.6: Formen der Veranschaulichung in virtuellen Realitäten. Quelle: Schwan & Buder (2002, S. 111)

Typ der Veranschaulichung	Dargestellter Sachverhalt	Darstellungsprinzip	Beispiel
Abbildungstreue	Gegenständlich	Möglichst realistische, illusionistische Darstellung	Rekonstruktionen historischer Gebäude, Fahrsimulationen
Schematisierend	Gegenständlich	Vereinfachende, grafische Darstellung, Verzicht auf irrelevante Details	Veranschaulichung des menschlichen Gehirns
Konkretisierend	Abstrakt	Versinnlichung nicht unmittelbar wahrnehmbarer Daten, Umwandlung symbolischer in bildhaft-analoge Repräsentationen	Elektrische Felder, mathematische Funktionen
Metaphorisch	Abstrakt	Veranschaulichung abstrakter Konzepte in Analogie zu vertrauten, alltäglichen Sachverhalten	Zentralprozessor als „Paketbote“

Abbildungstreue Formen der Veranschaulichung beziehen sich auf gegenständliche Sachverhalte und kommen zum Einsatz, wenn es erforderlich ist, die Lernumgebung realistisch darzustellen. Diese Art der Veranschaulichung ist bei der technischen Umsetzung besonders anspruchsvoll. Bei der Entwicklung von solchen realistischen VR-Umgebungen wird neben der 3D-Modellierung auch besonderes Augenmerk auf Beleuchtung und realistische Texturen gelegt. Zusätzlich kann der Einsatz von Realfilmaufnahmen sowie vorgerenderten stereoskopischen 360°-CG-Renderings auf einem mobilen Endgerät erfolgen. Beispiele hierfür sind virtuelle Rundgänge durch historische Gebäude, wie etwa die App „AstoriaVR“, die eine Zeitreise in den Nachtclub Astoria im Jahr 1986 in Leipzig ermöglicht (Cyranek & Schuster 2021). Ein Screenshot ist in Abbildung 2.12 dargestellt.



Abbildung 2.12: Beispiel für abbildungstreue Veranschaulichungen: AstoriaVR.
Quelle: blendFX & hug Films (2022)

Ein weiterer Einsatzbereich für abbildungstreue Veranschaulichungen findet sich in Trainingswelten, wie sie in Abschnitt 2.3.2 beschrieben wurden, wo das Lernen in der Realität zu aufwändig oder gefährlich ist. Beispielsweise ermöglicht das „Underground Roof Fall Hazard Assessment VR Training“ (GVR Training Computer Software 2023) das virtuelle Trainieren beruflicher Fähigkeiten zur Beurteilung von Einsturzgefahren in unterirdischen Minen, wobei die virtuelle Umgebung und Objekte realistisch dargestellt werden. Der hohe Grad an Realismus steigert die Chance, dass die Lernerfahrung auf die Bedingungen der realen Umgebung übertragen und dort angewendet werden können (Schwan & Buder 2002, S. 112).

Schematisierende Veranschaulichungen beziehen sich ebenfalls auf gegenständliche Sachverhalte, verzichten jedoch im Gegensatz zu abbildungstreuen Darstellungen bewusst auf hohen Realismus. Dabei werden irrelevante Details ausgeblendet, sodass sich die Lernenden auf die relevanten Informationen konzentrieren können. VR-Lernumgebungen haben ein großes Lernpotenzial, wenn sie gegenständliche Elemente visualisieren, die in der Realität außerhalb der unmittelbaren Wahrnehmung der menschlichen Sinne liegen. Winn (1993) definiert in diesem Zusammenhang drei Darstellungsprinzipien, von denen das *Prinzip der Großskalierung* insbesondere in schematisierenden Darstellungen zum Einsatz kommt. Dieses Prinzip bedeutet, dass Objekte über ihre realen Größenverhältnisse hinaus vergrößert oder verkleinert werden können, um eine detaillierte Untersuchung ihrer Struktur und Beschaffenheit zu ermöglichen. Ein Beispiel hierfür ist die VR-Anwendung für die Astronomieausbildung, wobei die Planeten und Himmelskörper in verkleinertem Maßstab dargestellt werden, sodass Lernende die Möglichkeit haben, die Größenverhältnisse und das Verhalten dieser himmlischen Objekte zu beurteilen (Detlefsen 2014). Ein weiteres Beispiel für solche schematischen Veranschaulichungen ist eine dreidimensionale, interaktive Darstellung des menschlichen Gehirns in Form eines virtuellen Rundflugs durch den Schädel, die von Christina Klus entwickelt und medizinisch von Franziska Rhode und Dr. Sebastian Simmermacher begleitet wurde (Dorothea-Erxleben-Lernzentrum Halle 2023). Diese VR-Lernanwendung ermöglicht es, virtuell durch den Schädel zu navigieren und die Struktur des Gehirns zu erkunden. Das Modell des Gehirns wurde auf Basis von MRT-Daten eines Kleinhirnbrückenwinkels entwickelt und ist nicht fotorealistisch, sondern grafisch vereinfacht dargestellt. Besonders die Vermittlung von räumlichem Verständnis und die Visualisierung der dreidimensionalen Zusammenhänge steht im Vordergrund. Dabei sind lernrelevante Details, sowie weitergehende Informationen über die gezeigten Hirnnerven besonders hervorgehoben. Die Abbildungen 2.13 und 2.14 zeigen einen Screenshot dieser VR-Lernanwendung.

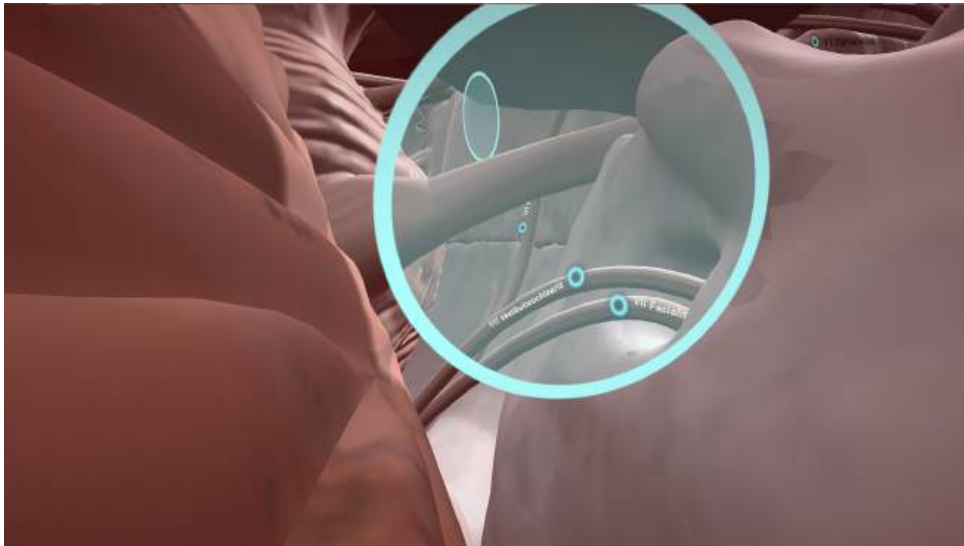


Abbildung 2.13: Beispiel für schematisierende Veranschaulichungen: Virtueller Rundflug durch den Schädel. Quelle: Christina Klus, Dorothea-Erxleben-Lernzentrum Halle (2023)

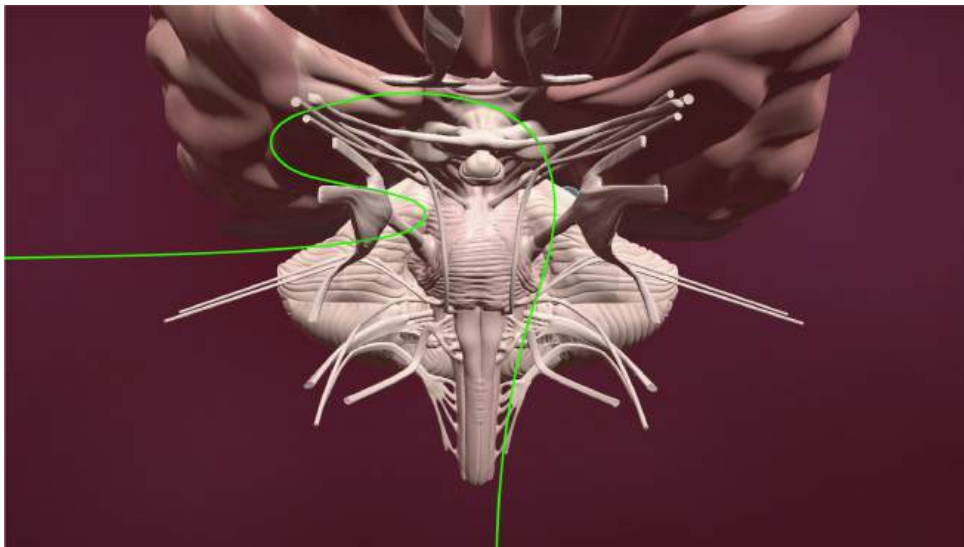


Abbildung 2.14: Beispiel für schematisierende Veranschaulichungen: Virtueller Rundflug durch den Schädel. Quelle: Christina Klus, Dorothea-Erxleben-Lernzentrum Halle (2023)

Während abbildungstreue und schematisierende Darstellungen sich auf gegenständliche Inhalte fokussieren, zielen *konkretisierende* Veranschaulichungen auf die Visualisierung abstrakter Sachverhalte ab. Diese Darstellungsform wird hauptsächlich in mathematischen und naturwissenschaftlichen Lernkontexten genutzt, um abstrakte Konzepte, die visuell nicht fassbar sind, räumlich darzustellen und somit greifbarer zu machen. Dies gilt beispielsweise für die Visualisierung physikalischer Konzepte oder mathematischer Formeln. Dabei kommen zwei weitere Darstellungsprinzipien von Winn (1993) zum Einsatz, die als das *Prinzip der Sinnesskalierung* (transduction) und das *Prinzip der Verdinglichung* (reification) bezeichnet werden. Das Prinzip der Sinnesskalierung macht es möglich, Informationen, die nicht direkt von Menschen wahrnehmbar sind, wie elektrische Felder oder Schall, erlebbar zu machen. Das Prinzip der Verdinglichung hingegen transformiert nicht-physische, abstrakte Konzepte oder Phänomene, wie mathematische Formeln oder chemische Verbindungen, in visuell greifbare Darstellungen. Ein Beispiel für den Einsatz konkretisierender Ver-

anschaulichungen in VR-Lernumgebungen ist die Anwendung „Prisms Math“ von Prisms of Reality (2024), wo abstrakte mathematische Konzepte aus Algebra und Geometrie zur Lösung realer Probleme verwendet werden. Ein weiteres Beispiel ist die VR-Lernanwendung „Nanome“, in der chemische Verbindungen visualisiert werden, wie in Abbildung 2.15 dargestellt (Nanome Inc. 2024).

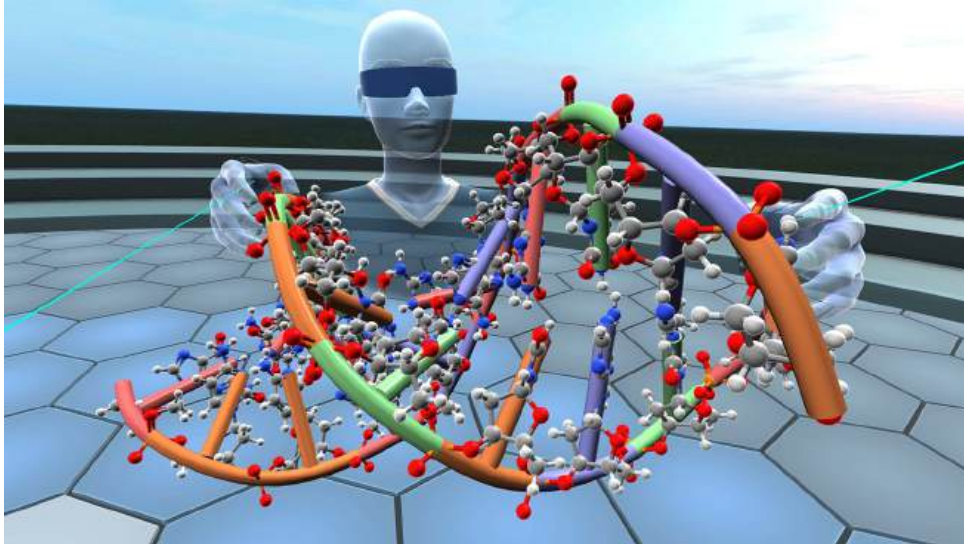


Abbildung 2.15: Beispiel für konkretisierende Veranschaulichungen: Nanome. Quelle: HTC Corporation (2024c)

Ähnlich wie konkretisierende Darstellungsformen ermöglichen auch *metaphorische Veranschaulichungen* die Darstellung abstrakter Lerninhalte. Die metaphorische Veranschaulichung verwendet Metaphern, um abstrakte Konzepte zugänglich zu machen, indem sie diese durch bildhafte Vergleiche beschreibt. Ein Beispiel für solch eine metaphorische Veranschaulichung ist die VR-Lernanwendung „Inside the Router“, eine interaktive VR-Anwendung zum Erlernen von Konzepten wie Routing und Netzwerkadressübersetzung (Leonhardt et al. 2022). In „Inside the Router“ werden Metaphern verwendet, wobei das System als ein Rohrpostsystem dargestellt wird, in dem die Verbindungswege zu den verschiedenen Netzwerkkomponenten die Rohre sind. Die IP-Pakete sind durch Kapseln symbolisiert, die durch diese Rohre transportiert werden. Abbildung 2.16 zeigt einen Screenshot.



Abbildung 2.16: Beispiel für metaphorische Veranschaulichungen: Inside the Router. Quelle: Leonhardt et al. (2022)

Die oben beschriebenen Veranschaulichungsformen schließen sich nicht notwendigerweise gegenseitig aus, sondern können in einer VR-Lernumgebung kombiniert werden. Beispielsweise kann eine Überlagerung von abbildungstreu Darstellungen mit schematischen oder abstrakten Elementen erfolgen. In welchem Maße eine bestimmte Darstellungsform oder eine Kombination verwendet wird, hängt von der didaktischen Aufbereitung und den entsprechenden didaktischen Entscheidungen ab.

2.3.4 Lernmodelle zum Lernen in VR

Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL)

Das Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL), entwickelt von Makranksy & Petersen (2021), ist ein forschungsbasiertes theoretisches Modell, das den Lernprozess in immersiver virtueller Realität (IVR) beschreibt und wichtige Einflussfaktoren identifiziert. Das CAMIL basiert auf den Merkmalen von VR sowie auf allgemeinen Motivations- und Lerntheorien. Es postuliert, dass Lehrmethoden, die auf der Grundlage von Forschungsergebnissen mit weniger immersiven Medien entwickelt wurden, grundsätzlich auf das Lernen in IVR übertragbar sind. Allerdings vertritt CAMIL die Ansicht, dass das Medium mit der Methode interagiert. Dies bedeutet, dass bestimmte Lehrmethoden in der IVR-Umgebung effektiver oder weniger effektiv sein können als in anderen Medien. Zum Beispiel könnten Methoden, die in textbasierten oder Video-Medien gut funktionieren, nicht dieselbe Wirksamkeit in einer IVR-Umgebung erzielen, in der der Benutzer vollständig in eine virtuelle Realität eingetaucht ist. Makranksy & Petersen (2021) betonen, dass es daher entscheidend ist, Lehrmethoden zu adaptieren oder neu zu entwickeln, die die spezifischen Merkmale der IVR, wie das Präsenzerleben und die Interaktion mit der virtuellen Welt, optimal nutzen. Das CAMIL konzentriert sich ausschließlich auf immersive VR, was den Einsatz von Head-Mounted Displays (HMDs) umfasst. Abbildung 2.17 zeigt die im CAMIL-Modell enthaltenen Konstrukte und deren Beziehungen zueinander.

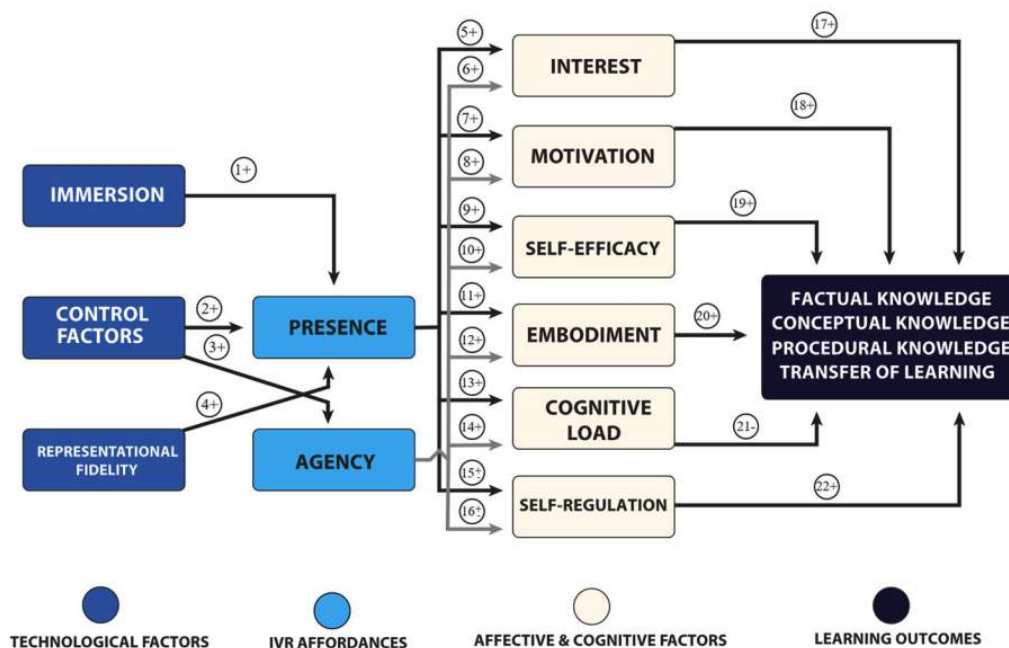


Abbildung 2.17: Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL). Quelle: Makranksy & Petersen (2021)

Das CAMIL definiert technologische Merkmale der IVR, wie Immersion, Repräsentationsgenauigkeit und Kontrollfaktoren, und beschreibt sie als wichtige Faktoren, die das Präsenzerleben und die Handlungsfähigkeit beeinflussen. Immersion als technologisches Merkmal bezieht sich auf eine Eigenschaft des VR-Systems, die es ermöglicht, den Nutzer so in eine virtuelle Umgebung einzubinden, dass diese als real wahrgenommen wird. Dieser Aspekt wurde in Abschnitt 2.1.5 näher erläutert. Kontrollfaktoren umfassen Variablen wie den Grad, die Direktheit und die Art der Kontrolle (Witmer & Singer 1998). Die Repräsentationsgenauigkeit setzt sich aus Aspekten wie dem Realismus der Darstellung, der Glätte der Anzeige und der Konsistenz des Objektverhaltens zusammen (Dalgarno & Lee 2010). Das Präsenzerleben und die Handlungsfähigkeit wirken sich wiederum auf affektive und kognitive Prozesse aus, darunter Interesse, Motivation, Selbstwirksamkeit, Verkörperung, kognitive Belastung und Selbstregulation, die zum Erwerb von Faktenwissen, konzeptuellem und prozeduralem Wissen sowie zum Lerntransfer führen.

Die in CAMIL verwendeten Arten von Wissen basieren teilweise auf der Taxonomie von Anderson & Krathwohl (2001), die vier Wissensarten umfasst: Faktenwissen, konzeptuelles Wissen, prozedurales Wissen und metakognitives Wissen. Dabei wird der Lerntransfer hinzugefügt, der in der Literatur als ein Lernergebnis zitiert wird (Makransky & Petersen 2021, S. 947).

Faktenwissen bezieht sich auf das Wissen über einzelne Elemente von Sachverhalten. Anderson & Krathwohl (2001, S. 45) unterteilen dieses Wissen in die Kenntnis der Terminologie, wie beispielsweise Wörter oder Symbole, sowie das Wissen über spezifische Details und Elemente, zum Beispiel Daten, Personen oder Orte.

Konzeptuelles Wissen bezieht sich hingegen auf komplexere Strukturen wie Kategorien und die Zusammenhänge zwischen Elementen. Dabei umfasst es drei Untertypen: Wissen über Klassifikationen und Kategorien (z. B. Arten von Blumen), Wissen über Prinzipien und Verallgemeinerungen (z. B. physikalische Gesetze) sowie Wissen über Theorien, Modelle und Strukturen (z. B. genetische Modelle der DNA) (Anderson & Krathwohl 2001, S. 48). Parong & Mayer (2018) stellten in ihrer Studie fest, dass VR bei der Vermittlung von Faktenwissen im Biologieunterricht weniger effektiv war als konventionelle Folienpräsentationen auf einem Desktop-Computer, wobei die Lernenden zudem weniger Zeit mit der Lektion verbrachten. Bei der Vermittlung von konzeptuellem Wissen wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt.

Prozedurales Wissen bezieht sich auf Wissen über Abläufe, also praktisch anwendbares Handlungswissen. Anderson & Krathwohl (2001, S. 52) unterteilt prozedurales Wissen in Kenntnisse über fachspezifische Fertigkeiten (z. B. Algorithmen zum Lösen von Gleichungen), Kenntnisse über fachspezifische Methoden (z. B. Forschungsmethoden) und Wissen über Kriterien zur Bestimmung des geeigneten Einsatzes von Verfahren (z. B. Kriterien zur Auswahl des passenden Typs eines Webframeworks für die Website-Entwicklung). Radianti et al. (2020) haben in ihrer Übersichtsstudie festgestellt, dass ein Großteil der von ihnen analysierten Artikel VR-Anwendungen zur Vermittlung von prozeduralem Wissen beschreibt. Makransky & Petersen (2021) weisen darauf hin, dass VR optimale Bedingungen für den Erwerb prozeduralen Wissens bietet. Dies wird durch den Einsatz geeigneter Sensoren wie Handschuhe oder kamerabasiertes Tracking ermöglicht, wodurch die Durchführung von Handlungen beliebig oft wiederholt werden kann. Die wiederholte Übung ist für den Erwerb prozeduraler Fertigkeiten unerlässlich (Kerres 2024h). Der Einsatz von VR in der Lehre zum Erwerb prozeduralen Wissens ist besonders dort von Bedeutung, wo reale Handlungen oft zu aufwendig, gefährlich, kompliziert oder kostenintensiv sind. Ein Beispiel hierfür ist das virtuelle Training von Brandschutzmaßnahmen im Operationssaal (Sankaranarayanan et al. 2018) oder das

Erlernen chirurgischer Eingriffe in VR (Xin et al. 2019).

Lerntransfer bezieht sich darauf, erworbenes Wissen und Fähigkeiten in neuen oder unterschiedlichen Kontexten anzuwenden. Es geht darum, das Gelernte auf neue Situationen zu übertragen und anzuwenden.

Petersen et al. (2022) führten eine Studie durch, um das CAMIL zu überprüfen, indem sie die Einflüsse des Präsenzerlebens und der Handlungsfähigkeit auf die Lernerfahrung analysierten. Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigten Unterschiede zur ursprünglichen Theorie des CAMIL auf. Insbesondere wurde festgestellt, dass Präsenzerleben und Interaktivität keine positiven Auswirkungen auf die intrinsische Motivation und die Selbstwirksamkeit haben. Zudem gab es keine signifikanten Effekte auf die extrinsische kognitive Belastung durch Interaktion. Jedoch war der Einfluss des Präsenzerlebens auf das situative Interesse signifikant.

Basierend auf CAMIL sowie mediendidaktischen Aspekten haben Makransky & Petersen (2021) folgende didaktische Maßnahmen hervorgehoben, die für immersive VR-Lernumgebungen besonders relevant sein könnten:

- *Kohärenzprinzip*: Die Vermeidung von unnötigen und für das Lernen irrelevanten Materialien, wie Texten, Bildern und Tönen, kann den Lernprozess fördern (Mayer & Fiorella 2014).
- *Signalisierungsprinzip*: Das Einfügen von Hinweisen, die die Struktur des Lerninhalts verdeutlichen, kann den Lernprozess unterstützen (Mayer & Fiorella 2014). Diese Hinweise erleichtern es den Lernenden, ihre Aufmerksamkeit auf wichtige Aspekte zu konzentrieren, ohne das Gefühl der Präsenz zu stören.
- *Pre-Training-Prinzip*: Wenn der lehrenden Person die Namen und Eigenschaften der Hauptkonzepte vor dem Unterricht bekannt gegeben werden, kann dies den Lernprozess verbessern (Mayer & Pilegard 2014).
- *Segmentierungsprinzip*: Das Aufteilen der Aufgabe in nutzergesteuerte Segmente anstelle der Darstellung einer kontinuierlichen Lerneinheit kann das Lernen verbessern (Mayer & Pilegard 2014).
- *Modalitätsprinzip*: Die Verwendung von gesprochenem Text anstelle von geschriebenem Text in multimedialen Lernmaterialien fördert das Lernen (Mayer & Pilegard 2014, S. 340).
- *Verkörperungsprinzip*: Die Verwendung von verkörperten Agenten, die menschenähnliche Gesten, Bewegungen, Blickkontakt und Gesichtsausdrücke zeigen, verbessert das Lernen (Mayer 2014b).
- *Feedbackprinzip*: Selbstwirksamkeit kann durch das Feedbackprinzip gesteigert werden, indem es den Lernenden ermöglicht, ihre Antworten zu bewerten und fehlerhaftes Wissen zu korrigieren, was wiederum zum Lernprozess beiträgt (Johnson & Priest 2014).

Makransky & Petersen (2021) weisen darauf hin, dass es neben den im CAMIL erwähnten Aspekten auch andere wichtige Faktoren gibt, die das Modell beeinflussen, aber nicht explizit genannt werden. Dazu gehören unter anderem die Benutzerfreundlichkeit des Systems, soziale Faktoren und verschiedene Personenvariablen wie beispielsweise Alter, Anfälligkeit für Cybersickness, Kapazität des Arbeitsgedächtnisses, Vertrautheit mit der Technologie und Vorwissen.

Meaningful iVR Learning (M-iVR-L) Modell

Mulders et al. (2020) entwickelten ein Framework für den Einsatz von immersiver VR-Lernumgebungen, das als Meaningful iVR Learning (M-iVR-L) Modell bezeichnet wird. Das M-iVR-L Modell gründet auf zwei Annahmen: Erstens wird das Lernen in iVR als multimediales Lernen verstanden, da in virtuellen Umgebungen Bilder und Texte kombiniert präsentiert werden. Zweitens wird Lernen als ein aktiver Prozess betrachtet, der sich von der einfachen Reproduktion von Informationen oder Konzepten unterscheidet. Dies basiert auf dem von Mayer (2002) postulierten Konzept des „meaningful learning“, das sich vom „rote learning“ abgrenzt. Rote Learning bezieht sich auf das auswendige Lernen von Informationen, ohne diese tiefgehend zu verstehen oder verarbeiten zu können. Es ermöglicht das Wiedergeben von Fakten oder Daten, ohne dass die Fähigkeit besteht, das Gelernte auf neue oder praktische Situationen anzuwenden. Im Gegensatz dazu basiert meaningful learning darauf, dass die lernende Person sich das Wissen nicht nur merkt, sondern auch die Fähigkeit bekommt Inhalte zu verstehen, anzuwenden, zu analysieren, zu bewerten und kreativ Neues zu erschaffen.

Da VR-Lernumgebungen multimediales Lernen darstellen, nutzen Mulders et al. (2020) im ersten Modellschritt die *Kognitive Theorie des multimedialen Lernens* (CTML) sowie die damit verbundenen Theorien der dualen Kodierung, der kognitiven Belastung und der generativen Lernstrategien als theoretische Basis.

Um meaningful learning in VR zu fördern, definiert der zweite Modellschritt *Ziele des Instruktionsdesigns*, der einige CTML-Prinzipien enthält, welche dieser Prinzipien Mulders et al. (2020) für VR relevant finden. Das erste Ziel des Instruktionsdesigns ist die Reduktion unnötiger kognitiver Belastung. Neben dem Kohärenz- und Signalisierungsprinzip nach Mayer & Fiorella (2014) wird in diesem Zusammenhang auch das *Redundanzprinzip* erwähnt. Dieses Prinzip besagt, dass die Kombination von Bild und Ton zur Vermittlung von Lerninhalten den Wissenserwerb stärker fördert als die redundante Präsentation derselben Informationen durch Bild, Ton und Text (Mayer & Fiorella 2014, S. 309). Das zweite Ziel des Instruktionsdesigns ist die Organisation wesentlicher kognitiver Prozesse, wobei das *Modalitätsprinzip*, das *Segmentierungsprinzip* und das *Pre-Training-Prinzip* zur Anwendung kommen (Mayer & Pilegard 2014, S. 316). Drittens zielt das Instruktionsdesign darauf ab, die generative kognitive Verarbeitung zu fördern. In diesem Zusammenhang kommen soziale Hinweisreize und generative Lernstrategien zum Einsatz. Zu den sozialen Hinweisen gehören das Personalisierungsprinzip, das Stimmprinzip und das Verkörperungsprinzip (Mayer 2014b, S. 365). Bei den generativen Lernstrategien werden Methoden wie Selbstverbalisation oder Zusammenfassen angewandt, ergänzt durch das Selbst-Erklärungsprinzip (Wylie & Chi 2014) und das generative Zeichnungsprinzip (Leutner & Schmeck 2014).

Im Gegensatz zum CAMIL heben Mulders et al. (2020) in ihrem Modell die Wichtigkeit didaktischer Überlegungen hervor und integrieren neben kognitiven Faktoren und Schlüsselmerkmalen der VR-Technologie auch Lehr- und Lernziele sowie technische Herausforderungen, die beim Einsatz immersiver VR-Lernumgebungen berücksichtigt werden müssen. Zudem schlagen Mulders et al. (2022) eine erweiterte Version des Modells vor, die Gestaltungsempfehlungen sowohl für den Einsatz innerhalb als auch außerhalb von VR-Anwendungen bietet, was als „in und über VR“ (Mulders et al. 2022) bezeichnet wird. Das M-iVR-L Modell ist in Abbildung 2.18 dargestellt.

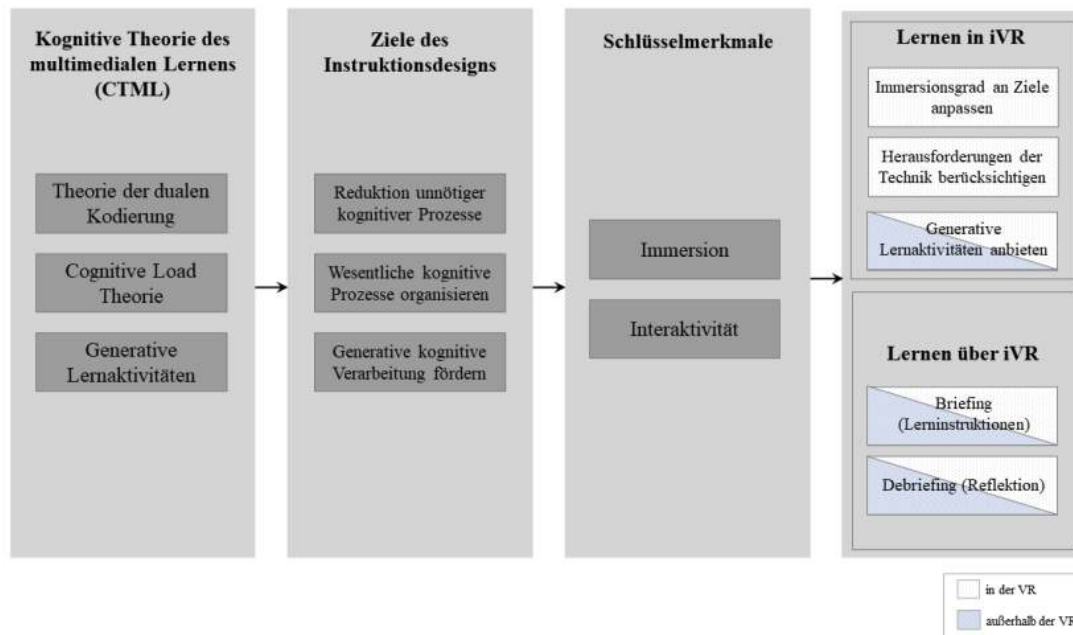


Abbildung 2.18: Meaningful iVR Learning (M-iVR-L) Modell. Quelle: Mulders et al. (2022)

Mulders et al. (2022) stellen in ihrem Modell folgende Gestaltungsempfehlungen vor, die speziell für den Einsatz *in* der VR vorgesehen sind:

- Lernprozesse müssen auf den festgelegten Lehr- und Lernzielen basieren und der Grad der Immersion sollte entsprechend angepasst werden. Beispielsweise muss bei der Auswahl eines Typs der Veranschaulichung, wie von Schwan & Buder (2002, S. 110) erörtert, geprüft werden, ob eine abbildungstreue Visualisierung für das Erreichen der Lernziele essenziell ist. Im Kontext der Darstellung des menschlichen Gehirns beispielsweise kann von fotorealistischen Darstellungen abgesehen und stattdessen eine schematische Visualisierung bevorzugt werden, um kognitive Überlastungen zu minimieren.
- Die Berücksichtigung technischer Herausforderungen ist wesentlich, da Lernende, die bisher nur wenig Erfahrung mit VR haben, oft Schwierigkeiten im Umgang mit solchen Anwendungen erfahren.
- Es ist sinnvoll, konstruktive Lernaktivitäten zu fördern, die dazu beitragen, Wissen aufzubauen und dessen Anwendung in praktischen Kontexten zu erleichtern. Diese Aktivitäten können sowohl innerhalb als auch außerhalb von VR-Umgebungen durchgeführt werden.

Das Lernen *über* VR bezieht sich auf Lehrerfahrungen außerhalb der virtuellen Umgebung und umfasst Briefing sowie De-Briefing. Hierbei liefert das Briefing eine vorbereitende Einführung, während das De-Briefing als Werkzeug für die nachträgliche Reflexion und Analyse der Lernerfahrungen dient.

2.4 Konzeption und Umsetzung

Die Planung und Umsetzung eines VR-gestützten Lernangebots kann sowohl aus der Perspektive des Instruktionsdesigns als auch aus der Perspektive der Softwareentwicklung betrachtet werden.

Instruktionsdesign befasst sich mit der systematischen Planung und Entwicklung von Lernangeboten. Dabei wird ein modellbasiertes Vorgehen angewendet, das auf Erkenntnissen der Lehr-Lern-Forschung und Erfahrungen beruht (Kerres 2024g). Merriënboer & Kester (2014) zählen Modelle des Instruktionsdesigns zu Multimedia-Lerntheorien „at higher level“, wobei die systematische Gestaltung von Kursprogrammen, die kognitiven Aspekte der menschlichen Wahrnehmung sowie multimediale Prinzipien berücksichtigt werden.

Modelle des Instruktionsdesigns können als Grundlage des didaktischen Designs verwendet werden. Mulders et al. (2023) nutzten das 4C/ID-Modell von Merriënboer (2020) zur didaktischen Konzeption der VR-Lackierwerkstatt, die zur Vermittlung komplexer Fertigkeiten und beruflicher Kompetenzen eingesetzt wird. Das 4C/ID-Modell beschreibt die Struktur von Bildungsprogrammen als bestehend aus vier Komponenten: Lernaufgaben, unterstützende Information, prozedurale Information und Üben von Teilaufgaben (Merriënboer 2020). Mulders et al. (2021) haben die VR-Lernanwendung hinsichtlich der Passung des 4C/ID-Modells evaluiert und festgestellt, dass die konzipierten Lernszenarien die Lernprozesse der Auszubildenden unterstützen und bedeutsam zum Kompetenzerwerb beitragen.

Aus der Perspektive der Softwareentwicklung wird das VR-gestützte Lernangebot als ein digitales Produkt betrachtet. Zentrale Ansätze beinhalten traditionelle Entwicklungsmethoden, bei denen der Prozess schrittweise in Phasen unterteilt ist, sowie Methoden der Agile Entwicklung mit einer flexibleren Vorgehensweise. Agile Entwicklungsmethoden ermöglichen iterative Optimierung und hohe Flexibilität. Bei der Konzipierung und Entwicklung der VR-Lernanwendung „Biotech-Haus“ verwendete Huang (2021) einen agilen Ansatz, um flexibel auf die sich ändernden Anforderungen des Projekts einzugehen. Dies ermöglichte eine iterative Optimierung der Anwendung und einen kontinuierlichen Austausch im Team hinsichtlich Theorie und Praxis. Mulders et al. (2023) setzten agile Methoden zur Entwicklung der VR-Lackierwerkstatt ein. Die Durchführung erfolgte in Zusammenarbeit mit Ausbildungspersonal und Auszubildenden, wobei die Aufgaben in einer Vielzahl von Iterationen erprobt und weiterentwickelt wurden.

Am Learning Lab der Universität Duisburg-Essen wurde ein allgemeines Modell „Design dein Design (DdD)“ konzipiert, das sowohl sequenzielle als auch iterative Elemente umfasst (Kerres 2024g). Das sequenzielle Vorgehen beschreibt ein systematisches und schrittweises Vorgehen. Solch ein sequenzielles Vorgehen ist typisch für traditionelle Entwicklungsmethoden. Dabei sind die Konzeptionsphase und die Entwicklungsphase des digitalen Lernangebots klar definierte Abschnitte, die jeweils mit einem eindeutig erkennbaren Ergebnis abschließen. Das Modell ist in Abbildung 2.19 dargestellt.

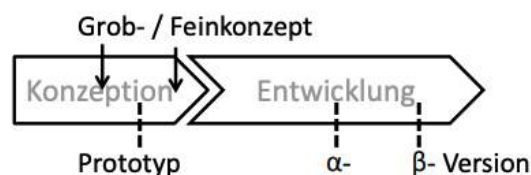


Abbildung 2.19: Sequenzielles Vorgehen. Quelle: Kerres (2024g)

Das iterative Vorgehen hingegen stellt einen zyklusbasierten Ablauf dar und ähnelt agilen Methoden. Ein Vorteil ist, dass jederzeit ein nutzbarer Prototyp verfügbar ist. Das iterative Vorgehen ist in Abbildung 2.20 dargestellt.

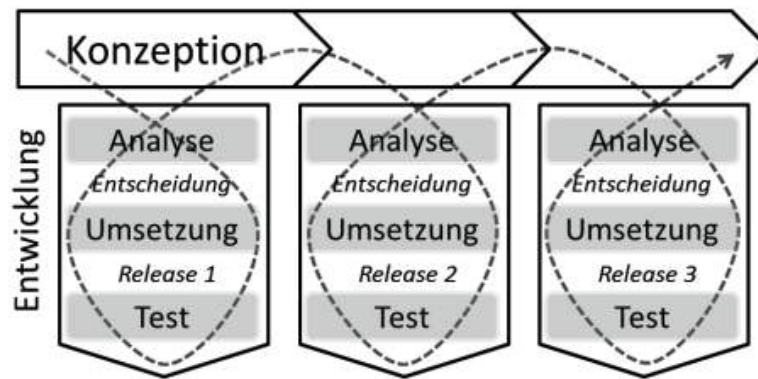


Abbildung 2.20: Iteratives Vorgehen. Quelle: Kerres (2024g)

Es existiert eine große Vielfalt an Planungsmodellen digitaler Lernangebote. Dennoch merkt Tennyson (1994) an, dass sie keine Rahmenbedingungen des konkreten Anwendungsfalls berücksichtigen und nicht angeben, für welche Bildungsprobleme und didaktischen Herausforderungen sie formuliert worden sind. Aufgrund der Vielfalt von Bildungskontexten und Anforderungen bieten die Modelle keine universellen und fertigen Lösungen und beschreiben lediglich ein mögliches Vorgehen (Kerres 2024g).

Das DdD-Modell geht davon aus, dass ein Vorgehen an Anforderungen und Bedingungen angepasst werden kann, wobei beide Methoden – sequenzielles und iteratives Vorgehen – kombiniert werden können. Kerres (2024g) empfiehlt, den eigenen Ansatz zu analysieren, anstatt vorgegebene Modelle strikt anzuwenden:

“Die Leistung des didaktischen Designs besteht darin, ein Vorgehen zu entwickeln und nicht darin, ein vorliegendes Vorgehensmodell anzuwenden.“

2.5 Weinherstellung

Um Lehrmaterialien und Informationen zur Weinherstellung zu sammeln, wurde eine Exkursion zu den Weingütern von Frau Prof. Dr. Jana Rödiger und Herrn Dr. Epperlein organisiert. Dieser Abschnitt enthält eine Beschreibung des Weinproduktionsprozesses, die als Grundlage für die Gestaltung der VR-Lernanwendung dient. Diese Initiative verfolgt das Ziel, Lerninhalte zu erstellen, die auf Expertenwissen im Bereich der Weinherstellung basieren und die Realität möglichst genau abbilden.

Die Weinproduktion beginnt traditionell im Herbst mit der Ernte der Trauben, bekannt als Weinlese. Diese kann manuell oder mechanisch mittels eines Vollernters erfolgen. Bei letzterer Methode fährt ein Traubenvollernter über eine Reihe von Rebstöcken hinweg und führt dabei die Reben tunnelartig unter sich hindurch. Durch Rütteln der weißen Streben werden die Trauben von den Rebstöcken getrennt. Die Erntezeit liegt je nach Traubensorte zwischen September und November. Die Ernte der Trauben mithilfe eines Traubenvollernters ist auf Abbildung 2.21 dargestellt.



Abbildung 2.21: Ernte der Trauben. Quelle: Hochschule Anhalt

Die Weiterverarbeitung beginnt mit der Beförderung der Trauben in eine Entrappmaschine, wo Bisulfite zugesetzt werden, um antimikrobielle und antioxidative Eigenschaften zu gewährleisten, was den Geschmack bewahrt und die Lagerfähigkeit des Weins erhöht. In der Maschine werden die Beeren von den Stielen getrennt und die Rückstände entsorgt. Der dabei austretende Traubensaft und die Beeren bilden die Maische, welche in Abbildung 2.22 dargestellt ist.



Abbildung 2.22: Maische. Quelle: Hochschule Anhalt

Diese Maische wird dann in eine pneumatische Weinpresse gepumpt, wo eine Membran die Maische gegen die Außenwände des Zylinders drückt, in der Schlitze sind, sodass der Most extrahiert wird. Abbildung 2.23 zeigt die Weinpresse. Anschließend kann der Zuckergehalt des Mosts mit

einem Refraktometer gemessen werden, um den potenziellen Alkoholgehalt zu bestimmen.



Abbildung 2.23: Weinpresse. Quelle: Hochschule Anhalt

Der Most wird anschließend in einer Kammerfilterpresse filtriert, um Trübstoffe zu entfernen. Die Filterplatten sind in Abbildung 2.24 dargestellt.



Abbildung 2.24: Kammerfilterpresse. Quelle: Hochschule Anhalt

Nach der Filtration wird der geklärte Most mit Weinhefe versetzt und zur Fermentation in Gär-tanks geleitet. Der Zucker wird im Verlauf mehrerer Tage in Ethanol umgewandelt, wobei durch wassergefüllte Röhrchen oder Ventile CO_2 entweichen kann, ohne dass Sauerstoff in den Tank ge-langt. Abbildung 2.25 zeigt die Gärtanks.



Abbildung 2.25: Gärtanks im Keller. Quelle: Hochschule Anhalt

Nach Abschluss der Gärung wird der Jungwein zur weiteren Reifung entweder in Holzfässer oder Edelstahltanks überführt. Während der Reifung wandelt die Hefen die verbleibenden Nährstoffe in ein komplexes Aromenspektrum um. Bei der Lagerung in Holzfässern tragen auch die Fässer charakteristische Aromen zum Wein bei. Die Holzfässer sind in Abbildung 2.26 dargestellt.



Abbildung 2.26: Holzfässer im Keller. Quelle: Hochschule Anhalt

Nach Abschluss der Reifung wird der Wein in Flaschen abgefüllt und jede Flasche wird etikettiert.

Kapitel 3

State of the Art: VR in der Lehre für Biotechnologie

In diesem Kapitel wird ein Überblick über den Einsatz von VR in der biotechnologischen Bildung gegeben. Dabei wird der aktuelle Stand der Literatur zu diesem Thema beleuchtet. Es wird der spezifische Anwendungsfall erläutert. Probleme in der Lehre der Biotechnologie werden diskutiert und analysiert. Dabei werden auch die aktuellen Lehr- und Medienformen erläutert, die derzeit an der Hochschule Anhalt in der biotechnologischen Ausbildung verwendet werden. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der Computersimulation Labster und der VR-Lernanwendung Biotech-Haus, die in diesem Anwendungsfall genutzt wird. Diese Anwendungen werden hinsichtlich ihrer Vorteile und Herausforderungen für den konkreten Anwendungsfall betrachtet.

3.1 Einsatz von VR in der Lehre der Biotechnologie

In der Ausbildung im Bereich der Biotechnologie wird zunehmend VR eingesetzt, um praxisorientierte Lernerfahrungen zu ermöglichen, insbesondere in Fällen, in denen reale Erfahrungen aus praktischen Gründen nicht durchführbar sind.

Seifan et al. (2020) entwickelten ein virtuelles Labor für Bioprozesstechnik an der University of Waikato, das speziell für Studierende des Studiengangs Chemieingenieurwesen konzipiert wurde. Teilnehmende wurde gebeten, sowohl an physischen als auch an virtuellen Laborübungen teilzunehmen und verschiedene Fragebögen auszufüllen. Es stellte sich heraus, dass die Studierenden durch die Arbeit im virtuellen Bioprozesstechnik-Labor ein vertieftes Verständnis für Fermentationsprinzipien, Laborsicherheitsvorschriften, Versuchsdesign und Datenanalyse entwickelten. Laut Umfrageergebnissen stimmten in einer Befragung zum Simulationslabor 65% der Studierenden zu, dass das virtuelle Labor das Vertrauen in die praktische Laborarbeit stärkt. Nach Teilnahme an einem physischen Labor stieg die Zustimmung jedoch auf 94%.

In einer Übersichtsarbeit von Sypas & Kalles (2018) wird aufgezeigt, dass virtuelle Labore in Schulen der K-12-Stufe sowie in Bachelor- und Masterstudiengängen im Bereich Biologie, Biotechnologie und Chemie aktiv eingesetzt werden. Die Ergebnisse zeigen insgesamt positive Effekte auf die kognitive Belastung der Studierenden, deren Fähigkeitenentwicklung und Motivation. Die Au-

toren stellen jedoch fest, dass die meisten untersuchten Studien darauf hindeuten, dass virtuelle Labore nicht die physischen ersetzen sollten. Ihre Vorteile kommen besser zur Geltung, wenn sie in Kombination mit traditionellen praktischen Übungen eingesetzt werden.

Huang et al. (2022) entwickelten das Konzept eines Biotech-Hauses, das ein virtuelles Haus darstellt, in dem verschiedene typische Gegenstände angeordnet und interaktiv genutzt werden können. Dabei werden im Wohnbereich des VR-Hauses verschiedene Herstellungsverfahren konzipiert und umgesetzt, wie die Joghurt- und Backhefeherstellung. Es sind weitere Szenarien geplant, darunter die Herstellung von Enzymen, Penicillin und Insulin, sowie andere Verfahren. Ziel ist es, die Allgegenwärtigkeit der Biotechnologie im Alltag zu verdeutlichen. Huang et al. (2022) sehen ein großes Potenzial der VR-Technologie in der Lehre. VR bietet eine zeiteffiziente Unterstützung, erhöht die Motivation beim Lernen und dient als ergänzende Vorbereitung auf praktische Arbeiten für die Lernenden. Huang et al. (2022) betonen auch, dass der Einsatz der Technik dem Bildungszweck dienen sollte.

Eine systematische Überblicksstudie von Mercado & Picardal (2023) ergab, dass die meisten veröffentlichten Fachartikel die Effektivität von VR für den Unterricht in Naturwissenschaften, Biologie und Biotechnologie bewerteten, indem sie es mit traditionellen Lehrmethoden verglichen. Somit variierte die Effektivität von virtuellen Simulationen oder virtuellen Laboren je nach Art der traditionellen Methode, mit der sie verglichen wurden. Mercado & Picardal (2023) schlussfolgern, dass virtuelle Labore für Biotechnologie als sinnvolles zusätzliches oder unterstützendes Lehrmittel sowie sogar als Alternative zu praktischen Laborübungen verwendet werden können, trotz der Argumente einiger Autoren, dass sie diese niemals vollständig ersetzen können. Es wurde auch festgestellt, dass die Kombination von virtuellen Laboren mit praktischen Laborübungen bessere Lernergebnisse liefern kann. Allerdings muss in diesem Fall der Auswahl der Technologien und der Lernmethoden besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Mercado & Picardal (2023) stellten außerdem fest, dass die meisten in der Überblicksstudie enthaltenen Studien keine didaktische Methoden oder Lerntheorien bei der Gestaltung der virtuellen Laboren berücksichtigten.

Sánchez-López et al. (2024) führten eine Studie durch, bei der sie VR in der analytischen Biotechnologie zum Thema Infrarotspektroskopie (IR) einsetzten. VR wurde in einen Kurs integriert, der eine theoretische Grundlage, Übungen mit IR-Spektren, ein Quiz und Wettkampfspiele umfasste. Die Studie zeigte, dass die Gruppe, die VR nutzte, im Vergleich zu den Kontrollgruppen bessere Ergebnisse bei der Zwischenprüfung zu Fragen der IR-Spektroskopie erzielte und laut Umfrage ein höheres Engagement meldete. Sánchez-López et al. (2024) weisen jedoch darauf hin, dass die Anwendbarkeit der Studie auf einen bestimmten Kurs und eine bestimmte Technik beschränkt war. Daher sind weitere Untersuchungen erforderlich, um festzustellen, ob die Ergebnisse auch in anderen Bildungskontexten oder für andere analytische Methoden anwendbar sind.

3.2 Anwendungsfall

Die in dieser Masterarbeit entwickelte VR-Lernanwendung ist speziell für das Modul „Angewandte Biotechnologie“ konzipiert, welches sich an Bachelor-Studierende der Biotechnologie als Pflichtmodul sowie an Studierende der Bachelorstudiengänge Lebensmitteltechnologie, Pharmatechnik und Verfahrenstechnik als Wahlpflichtmodul richtet (Hochschule Anhalt 2023, S. 13). Der Bachelorstudiengang „Biotechnologie“ deckt alle Entwicklungsstadien biotechnologischer Verfahren ab, von

der mikrobiologischen Stammauswahl über die gentechnische Modifikation von Zellen bis hin zur Gestaltung von Bioreaktoren (Hochschule Anhalt 2022). Absolventen finden berufliche Perspektiven in Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen, der biotechnischen Produktion, der Agrar- und Lebensmittelindustrie, der pharmazeutischen Industrie, medizinischen Bereichen und der Umweltbranche. Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte VR-Lernanwendung wird für das Lehrszenario der Weinherstellung erstellt, wobei die Produktionsprozesse des Weins simuliert werden sollen.

3.3 Probleme in der Lehre der Biotechnologie

In der Lehre im Bereich Biotechnologie treten verschiedene Schwierigkeiten auf, die den Lernprozess für Studierende, insbesondere den Erwerb praktischer Fähigkeiten und die Verknüpfung von Theorie und Praxis, erschweren oder verlangsamen. In den geführten Diskussionen mit Prof. Dr. Jana Rödiger, der Studiendekanin des Fachbereichs für angewandte Biowissenschaften und Prozesstechnik an der Hochschule Anhalt wurden folgende spezifische Herausforderungen und Probleme identifiziert:

- **Zeitintensive biotechnologische Verfahren:** Die Entwicklungsdauer für biotechnologische Verfahren, die für die Herstellung in der Lebensmittel- und medizinischen Biotechnologie sowie für die Erzeugung mikrobieller Biomasse notwendig sind, ist oft langwierig und überschreitet die zeitlichen Rahmen von Lehrplänen. Zum Beispiel dauert die Inkubationszeit für die Herstellung von Joghurt zwischen 2 und 8 Stunden, während die Fermentation bei der Weinproduktion Monate in Anspruch nehmen kann. Diese langen Prozesszeiten erschweren die Integration praktischer Übungen in festgelegte Stundenpläne, was dazu führt, dass bestimmte Prozessschritte in der Praxis oft übersprungen werden. Dies kann das Verständnis der praktischen Anwendung erschweren.
- **Ressourcenintensität:** Die hohen Anschaffungskosten für Materialien und Ausrüstungen führen zu einer signifikanten finanziellen Belastung, die den praktischen Einsatz in der biotechnologischen Ausbildung erheblich erschwert.
- **Gefährliche oder kritische Situationen:** Die Arbeit mit bestimmten Materialien oder Geräten kann gefährlich sein und ist möglicherweise nicht für Schulungszwecke zugänglich.
- **Begrenzte Wiederholbarkeit von Experimenten:** Aufgrund der genannten Gründe haben Studierende möglicherweise nicht die Möglichkeit, Experimente mehrmals zu wiederholen, um das Gelernte zu festigen.

3.4 Lehr- und Medienformen

Die Lehrformen für das Modul „Angewandte Biotechnologie“ umfassen Vorlesungen, Übungen und Praktikum. Im Praktikum werden, soweit dies zugänglich und zeitlich machbar ist, Produkte im Labormaßstab biotechnologisch hergestellt, um das theoretische Wissen in die Praxis umzusetzen und zu vertiefen. Verwendete Medienformen sind dabei Vorlesungsmaterialien wie Manuskripte, Präsentationen und Arbeitsblätter, sowie die Tafel, Arbeitsanleitungen für die Praktikumsversuche und Webseiten (Hochschule Anhalt 2023, S. 13). Neben den traditionellen Medienformen werden

auch digitale Lösungen wie VR und Computersimulationen erprobt und entwickelt. Im Folgenden werden diese detailliert beschrieben. Die Entscheidungen zugunsten einer bestimmten Lehrform oder digitalen Lösung werden dabei nicht diskutiert.

3.4.1 Biotech-Haus

Das Konzept des Biotech-Hauses entstand an der Hochschule Anhalt durch die Zusammenarbeit von Prof. Dr. Jana Rödiger und Prof. Dr. Johannes Tümler. Es wurde als VR-Lernanwendung am Beispiel der Joghurtherstellung im Rahmen der Masterarbeit von Huang (2021) umgesetzt. Huang et al. (2022) entwickeln das Projekt weiter und setzen es in der Lehre für Biotechnologie ein. Das Konzept des Biotech-Hauses verfolgt das Ziel, die Rolle der Biotechnologie im täglichen Leben zu verdeutlichen, und bietet eine virtuelle Plattform, auf der Lernende erste praktische Erfahrungen in der Herstellung biotechnologischer Produkte sammeln können. Die immersive Lernumgebung stellt ein virtuelles Wohngebäude dar, in dem jeder Raum mit themenspezifischen, interaktiv nutzbaren Objekten ausgestattet ist. Dies ermöglicht es Lernenden, alltägliche Produkte virtuell herzustellen, wie zum Beispiel Joghurt in der Küche. Zukünftig ist geplant, die Herstellung weiterer Produkte wie Zitronensäure, Milchsäure, Aminosäuren, Enzyme, Penicillin und Insulin zu ermöglichen, wobei Lernende von der alltäglichen Haus-Umgebung in eine Laborumgebung wechseln können (Huang et al. 2022). Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Masterarbeit wird auch die Herstellung von Backhefe für das Biotech-Haus umgesetzt. Ein Screenshot des Biotech-Hauses ist in Abbildung 3.1 dargestellt.



Abbildung 3.1: Biotech-Haus in VR. Quelle: Rong Huang

Im Bereich der Lebensmittelbiotechnologie soll das Biotech-Haus um weitere VR-Szenarien erweitert werden, darunter auch die Weinherstellung, welche das Thema dieser Masterarbeit darstellt. Hierfür wird das Biotech-Haus um einen virtuellen Weinraum und Weinkeller ergänzt.

3.4.2 Labster

Labster ist eine Lernanwendung in Form von Simulationen, die vom Unternehmen Labster ApS (2024b) speziell für Bildungseinrichtungen entwickelt wird. An der Hochschule Anhalt werden web-basierte Labster-Simulationen im Bachelorstudiengang Biotechnologie angeboten, die über einen Webbrowser und Monitor genutzt werden. Auf diese Weise haben die Studierenden die Möglichkeit, auch von zu Hause aus zu üben. Die Simulationen bieten eine interaktive virtuelle Lernumgebung, in der Aufgaben zu einem ausgewählten Thema bearbeitet werden müssen. Es kann entweder ein geführter Modus mit Hinweisen oder ein autonomer Modus gewählt werden. Die Lernenden interagieren dabei aus der egozentrischen Perspektive mit der virtuellen Umgebung. Die Abbildung 3.2 zeigt einen Screenshot der Labster-Simulation aus dem Kurs der Kategorie „Biotechnologie“.



Abbildung 3.2: Labster-Simulation aus dem Kurs der Kategorie „Biotechnologie“.
Quelle: Labster ApS (2024a)

3.4.3 Überblick

Digitale Lösungen wie das Biotech-Haus oder Labster stellen interaktive virtuelle Simulationen für das Lernen dar und können somit von etablierten Lernmethoden wie Vorlesung oder Praktikum abgegrenzt werden. Im Folgenden werden beide Lösungen hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile diskutiert. Dabei ist zu beachten, dass der Vergleich nur im Rahmen eines konkreten Anwendungsfalls erfolgt, in dem diese Lernanwendungen eingesetzt und erprobt werden, und daher keine allgemeingültigen Aussagen darstellt. Dieses spezifische Vergleichsergebnis kann unter anderen Bedingungen oder in unterschiedlichen Kontexten möglicherweise nicht zutreffen.

Vor allem unterscheiden sich das Biotech-Haus und Labster in der Plattform bzw. in der verwendeten Technologie. Das Biotech-Haus ist eine immersive VR-Lernanwendung, während Labster eine webbasierte Monitor-Anwendung ist, die an der Hochschule Anhalt verwendet wird. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass Lernende im Biotech-Haus mit einer dreidimensionalen Lernumgebung konfrontiert werden, die sie aktiv und selbstgesteuert erkunden können. Die monitorbasierte Anwendung hingegen bietet eine geringere Interaktivität, da die Interaktion hauptsächlich durch die Nutzung konventioneller Eingabegeräte wie Maus oder Tastatur innerhalb einer

zweidimensionalen Ebene erfolgt. Dies führt allerdings zu Unterschieden in der Lernorganisation zugunsten von Labster, da Geräte wie PCs und Monitore in den meisten Haushalten vorhanden sind und die Lernenden von zu Hause aus üben und ihren Zeitplan flexibel anpassen können. VR-Brillen hingegen sind derzeit im Vergleich dazu weniger häufig genutzt. Die Hochschule Anhalt organisiert daher das VR-gestützte Lernangebot des Biotech-Hauses mittels kabelloser, akkubetriebener Standalone-VR-Headsets in Präsenzlehrveranstaltungen vor Ort, unterstützt durch kontinuierliche technische Betreuung.

Das Biotech-Haus wird an der Hochschule Anhalt konzipiert und weiterentwickelt, was eine hohe Flexibilität in Bezug auf Lerninhalte bietet, da eigene Lerneinheiten erstellt und an Lehrpläne angepasst werden können. Labster hingegen wird von einem Unternehmen entwickelt und bietet einen umfangreichen Katalog fertiger Simulationen, die nicht individuell angepasst werden können. Allerdings erfordert das Biotech-Haus erheblichen Aufwand, da es konzipiert und entwickelt werden muss, was spezifische Fähigkeiten sowie zeitliche und finanzielle Investitionen voraussetzt. Im Vergleich dazu steht der vergleichsweise geringere Aufwand für den Erwerb einer Jahreslizenz von Labster. Eine Übersicht ist in Tabelle 3.1 dargestellt.

Tabelle 3.1: Vergleich zwischen Biotech-Haus und Labster im Rahmen des Anwendungsfalls

Kriterium	Biotech-Haus	Labster
Plattform	Virtual Reality	Webbrowser
Interaktionsform	3D-Interaktion (Körperbewegung, Hand-, Kopf- u. Körpergestik, Controller)	2D-Interaktion (Maus, Tastatur)
Lerninhalte	• Erstellung eigener Lerneinheiten • Anpassung von Lerninhalten • vollständige Individualisierung des Lerninhalts	• Katalog fertiger Simulationen • keine Möglichkeit zur Anpassung des Lerninhalts • keine Möglichkeit zur Erstellung neuer Lerneinheiten
Lernorganisation	Erfordert spezielle Ausrüstung und Lernorganisation; keine Heimnutzung möglich	Integriert in Moodle, ermöglicht das Lernen von zu Hause aus und das wiederholte Durchführen von Experimenten
Anschaffung	Eigene Entwicklung: Kosten für die Entwicklung, didaktische Konzeption, sowie der Kauf von externen Ressourcen, Schaffung zusätzlicher Arbeitsplätze, Wartung	Lizenzkauf: Jährliche Lizenzgebühren

Kapitel 4

Konzept und Umsetzung

In diesem Kapitel wird das gesamte Projekt von der Konzeption bis zur Umsetzung dargestellt. Die Vorgehensweise wird präsentiert und begründet. Die entwickelte VR-Lernumgebung für die Weinherstellung wird aus der Perspektive der mediendidaktischen Planung betrachtet. Dabei wird die Aufbereitung der Lerninhalte für die VR-Anwendung beschrieben und die technische Umsetzung erläutert. Zusätzlich wird auf das 3D-Modellieren, Texturieren und die Implementierung von visuellen Effekten eingegangen. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der Gestaltung der VR-Lernumgebung und dem Einsatz von Gestaltungsprinzipien, um eine Lernumgebung zu schaffen, die den Lernprozess unterstützt.

4.1 Vorgehensweise

Die Vorgehensweise im Rahmen dieser Arbeit basiert auf den Ideen des DdD-Modells, bei denen sequenzielles Vorgehen und iteratives Vorgehen kombiniert werden, wie in Abschnitt 2.4 beschrieben. Die Abbildung 4.1 gibt einen Überblick. Im Ablaufschema sind die didaktischen Analysen und Entscheidungen nach dem Rahmenmodell der Didaktik integriert, um einen besseren Überblick über die Planungsprozesse und die didaktischen Überlegungen zu bieten, die entscheidend für die Integration von VR in der Lehre sind. Das Rahmenmodell der Didaktik wurde in Abschnitt 2.2.1 näher erläutert.

Zu den didaktischen Analysen gehören die Untersuchung der Rahmenbedingungen, die Identifikation der beteiligten Akteure und deren Rollen sowie die Analyse des Lernumfelds und der Zielgruppe. Zu den didaktischen Entscheidungen gehören die Entscheidungsfelder Lehrinhalte, Lehrziele, Lehrmethoden und Medien. In dieser Phase wird die Wahl der didaktischen Methode und der Medien getroffen. Als Ergebnis dieser Phase vor der Konzeption stehen die gewählte didaktische Methode, die Medien sowie die formulierten Lehr- und Lernziele fest.

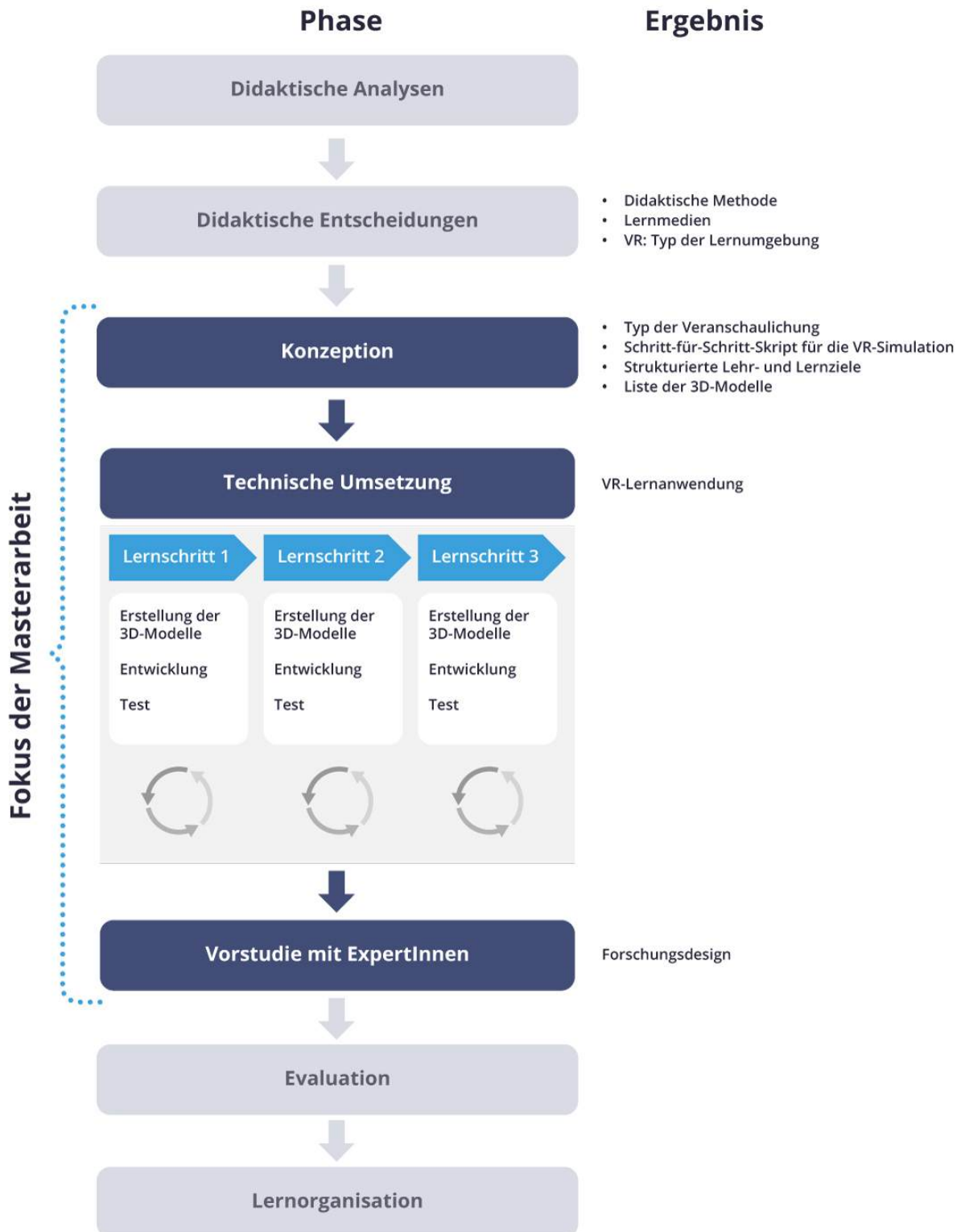


Abbildung 4.1: Vorgehensweise

Der gesamte Prozess stellt ein sequenzielles Vorgehen dar, bei dem jede Phase mit einem eindeutig erkennbaren Ergebnis abschließt. Jedoch wird innerhalb der Entwicklungsphase ein iteratives Vorgehen angewendet, wobei jeder Lernschritt iterativ entwickelt wird. Diese flexible Vorgehensweise innerhalb der Entwicklungsphase ermöglicht eine interdisziplinäre Zusammenarbeit und einen ständigen Austausch der beteiligten Personen. Auf diese Weise werden die Lernschritt-

te schrittweise ausgearbeitet, und dennoch ist jederzeit ein funktionsfähiges Ergebnis verfügbar. Wenn die VR-Lernanwendung entwickelt wird, folgt eine Vorstudie und Evaluation. Die anschließende Phase ist die Lernorganisation, die zeitliche und räumliche Aspekte der Organisation umfasst. Dabei liegt der Fokus dieser Masterarbeit auf der Konzeptionsphase, Umsetzungsphase sowie der Vorstudie mit Expertinnen und Experten. Didaktische Analysen und Entscheidungen für Inhalte, die Auswahl der Technik sowie lernorganisatorische Aspekte werden nicht behandelt.

Damit illustriert dieses Ablaufschema, wie die Planung des Einsatzes von VR in der Lehre erfolgt und beantwortet die erste Forschungsfrage: *„Welche Planungsprozesse und didaktischen Überlegungen sind entscheidend für die Integration von VR in der Lehre?“* Im Folgenden wird dies anhand eines konkreten Anwendungsfalls verdeutlicht.

4.2 Mediendidaktische Planung

In diesem Abschnitt wird die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte VR-Lernumgebung für die Weinherstellung im allgemeinen Bildungskontext aus der Perspektive der mediendidaktischen Planung betrachtet. Bevor mit der Konzeptentwicklung und technischen Umsetzung begonnen wird, folgen zunächst didaktische Analysen und Entscheidungen, wie in Abschnitt 2.2.1 beschrieben wurde.

Didaktische Analysen und Entscheidungen umfassen Bedingungen, Umfeld sowie verschiedene Faktoren, darunter Kontexte und Akteure, Lehr- und Lernziele, Lehrinhalte sowie die Beschreibung der Zielgruppe. Die VR-Lernanwendung wird für das Modul „Angewandte Biotechnologie“ an der Hochschule Anhalt entwickelt, bei dem Lehr- und Lernziele sowie Lehrinhalte bereits definiert wurden. Im Modulhandbuch für Angewandte Biotechnologie sind folgende Lernziele und Kompetenzen aufgelistet (Hochschule Anhalt 2023, S. 13):

- *„Die Studierenden kennen wirtschaftlich bedeutende biotechnologische Verfahren. Sie haben gelernt, diese in das interdisziplinäre Gebiet der Biotechnologie sicher einzuordnen und Schnittmengen benachbarter Wissensbereiche erkannt.“*
- *„Die Studierenden kennen verschiedene Möglichkeiten zur Prozessoptimierung und sind befähigt, diese an Beispielen nachzuvollziehen.“*
- *„Im Praktikum werden Produkte im Labormaßstab biotechnologisch hergestellt und die theoretischen Kenntnisse werden praktisch vertieft. Die Studierenden sind befähigt, Ergebnisse selbstständig auszuwerten und zu beurteilen.“*

Das Thema „Weinherstellung“ ist ein Teilgebiet der Lebensmittelbiotechnologie und zielt darauf ab, den Studierenden Fachwissen über die Herstellungsverfahren des Weins sowie die damit verbundenen mikrobiologischen Prozesse zu vermitteln. Die Lehrinhalte zur Weinherstellung werden hauptsächlich durch Vorlesungen vermittelt. Verfügbare Medienformen für die Vermittlung dieser Inhalte umfassen Vorlesungsmaterialien wie Manuskripte, PowerPoint-Präsentationen, Arbeitsblätter, sowie Tafeln und Webseiten. Die Nutzung der Computersimulation Labster, die in Abschnitt 3.4.2 beschrieben wurde, ist für die Weinherstellung nicht geeignet, da spezifische Lerninhalte zum Thema Weinherstellung dort nicht vorhanden sind. Die Folie einer Präsentation zur Weinherstellung ist in Abbildung 4.2 dargestellt.

Die Weinherstellung - Übersicht

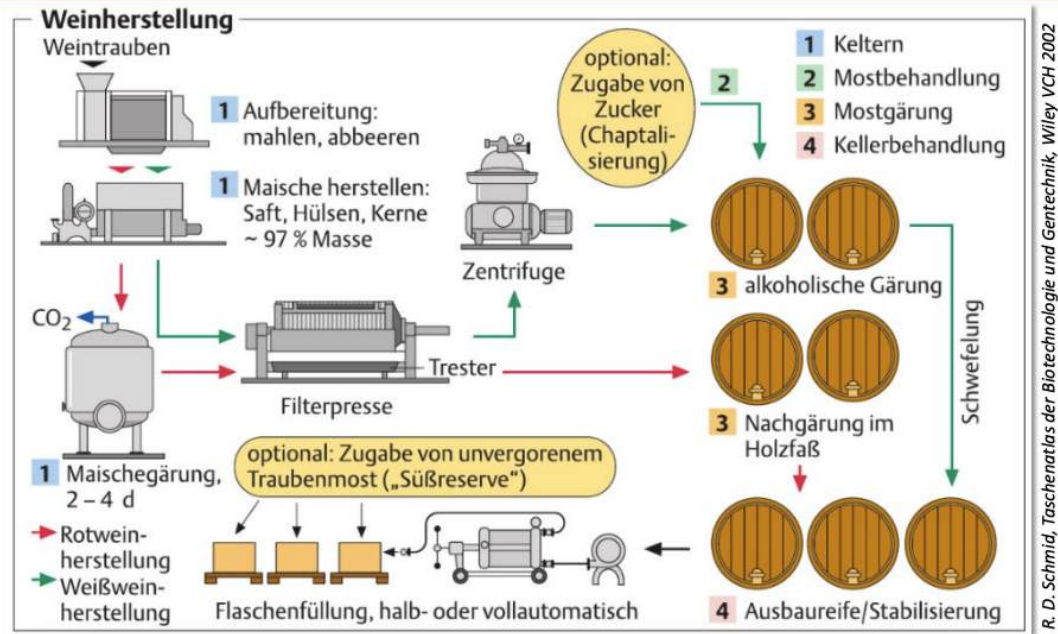


Abbildung 4.2: Folie aus der Präsentation „Weinherstellung“. Quelle: Schmid (2002)

Die Zugangsbeschränkungen zu Weingütern, verbunden mit hohen Kosten für die Nutzung spezialisierter Ausrüstung und Sicherheitsbedenken, machen es nahezu unmöglich, dass Studierende praktische Erfahrungen durch eigenhändiges Arbeiten sammeln können. Zusätzlich erschweren terminliche Abstimmungen und die begrenzte Verfügbarkeit geeigneter Weingüter die Organisation solcher Praktika.

Auf Basis der Ergebnisse der didaktischen Analyse werden didaktische Entscheidungen getroffen. Wie bereits im Abschnitt 2.2.1 erwähnt, erfolgt die Entscheidung für eine bestimmte Lehrmethode unabhängig von der Medienwahl und der dafür verwendeten Technik und umgekehrt. Beispielsweise ist der Unterricht, den eine Lehrperson mit einer Gruppe von Lernenden durchführt und dabei die Reihenfolge der Lerninhalte festlegt, mit dem Lernen mittels einer Computersimulation vergleichbar, sofern auch diese eine linear organisierte Sequenz entlang eines vorgegebenen Lernpfades verwendet (Kerres 2024b, S. 338).

Die Auswahl von Medien und spezifischer Technik hängt von der Lernsituation und den Rahmenbedingungen ab. Dabei spielen die definierten Bildungsanliegen sowie Lehr- und Lernziele eine wichtige Rolle. Bestimmte Ziele können sowohl mit neuen Medien als auch mit etablierten, konventionellen Mitteln verfolgt werden. Beispielsweise kann konzeptuelles Wissen über die Güteklassen des Weins mittels einer Folie vermittelt werden. Die Funktionsweise einer Weinpresse lässt sich hingegen in einem Video darstellen. Jedoch können bestimmte Medienformen spezifische Arten des Wissenserwerbs besonders fördern. An dieser Stelle wird der Einsatz von VR in der Lehre als Lehrmedium diskutiert.

Im Kapitel 3 wurden die folgenden spezifischen Herausforderungen, die sich bei der Lehre in

der Biotechnologie ergeben, analysiert und identifiziert: zeitintensive biotechnologische Verfahren, Ressourcenintensität, gefährliche oder kritische Situationen und begrenzte Wiederholbarkeit von Experimenten. Speziell für den Bereich der Weinherstellung, wie zuvor beschrieben, wird dies durch Zugangsbeschränkungen zu Weingütern ergänzt. Wie bereits in Abschnitt 2.3.1 diskutiert, sind die genannten Herausforderungen der Grund dafür, warum ein Praktikum für das ausgewählte Fachgebiet aufwendig oder nicht möglich ist.

Durch den Einsatz von VR erhofft man sich eine realitätsnahe Simulation des Weinherstellungsprozesses, in der Lernende Handlungen durchführen können, die in einem realen Weingut aufgrund von Zugangsbeschränkungen, Sicherheitserwägungen und organisatorischen Schwierigkeiten sonst nicht möglich wären. Eine solche Simulation kann durch die einzigartigen Eigenschaften der VR erreicht werden. Durch die Immersion und Interaktionen in dreidimensionalen Umgebungen sehen sich die Lernenden mit einer Lernumgebung konfrontiert, die aktiv und eigenständig erkundet werden kann (Schwan & Buder 2002). Die Eigenschaften von VR wurden in Abschnitt 2.1.5 detailliert beschrieben. Die Affordanzen der VR, wie Handlungsfähigkeit und Präsenzerleben, ermöglichen optimale Bedingungen für den Erwerb von prozeduralem Wissen (Radianti et al. 2020; Makransky & Petersen 2021). Die Raumwahrnehmung ermöglicht eine realistische Einschätzung der Dimensionen der Geräte, die in der Weinproduktion eingesetzt werden. Auf diese Weise kann die zweite Forschungsfrage beantwortet werden: *„Welche spezifischen Herausforderungen ergeben sich bei der Lehre in der Biotechnologie, insbesondere am Beispiel der Weinherstellung, und inwiefern kann die VR-Technologie dazu beitragen, diese Herausforderungen zu meistern?“*.

Den Vorteilen der VR stehen vielseitige Herausforderungen gegenüber, wie der Aufwand für die Entwicklung, die Beschaffung der Hardware und die damit verbundenen Kosten, die Betreuung der VR-Hardware, organisatorische Komplexitäten und gesundheitliche Risiken wie Cybersickness. Diese Faktoren wurden bereits in Abschnitt 2.3.1 detailliert beschrieben und müssen dementsprechend stets abgewogen werden. Die Entscheidung für den Einsatz von VR ist an der Hochschule bereits gefallen, und die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte VR-Lernanwendung für die Weinherstellung ist als Erweiterung des Biotech-Houses vorgesehen.

Als didaktische Methode wurde der expositive Instruktionsansatz gewählt, bei dem das Lernen entlang eines vorgegebenen Lernpfades in einer linear organisierten Sequenz der Lerninhalte erfolgt. Die VR-Lernanwendung nach Schwan & Buder (2002) gestaltet sich als Trainingswelten, die das Fachwissen über den Prozess der Weinherstellung systematisch und interaktiv vermitteln. Der Typ der Veranschaulichungen wird dabei abbildungstreu sein, was bedeutet, dass eine möglichst realistische Umgebung geschaffen wird (Schwan & Buder 2002).

Die Lernorganisation umfasst zeitliche und räumliche Aspekte bei der Planung des Lernangebots. Das Lernangebot wird durch den Einsatz kabelloser, akkubetriebener Standalone-VR-Headsets in Präsenzlehrveranstaltungen vor Ort realisiert, unterstützt durch kontinuierliche technische Betreuung. Weitere Aspekte der Lernorganisation werden im Rahmen dieser Arbeit nicht betrachtet.

Die Planungsschritte bei dem Einsatz der VR-Lernanwendung wurden in Anlehnung an das Analyseschema zur Planung hybrider Lernarrangements nach Kerres (2002) zusammengefasst und sind in Tabelle 4.1 dargestellt.

Tabelle 4.1: Analyseschema zur Planung einer VR-Lernanwendung nach Kerres (2002)

Projektziele	<i>Was wird mit dem Einsatz von VR in der Biotechnologie für Weinherstellung erhofft?</i> Fachwissen über den Prozess der Weinherstellung systematisch und interaktiv zu vermitteln. Durch die Eigenschaften der VR, wie Handlungsfähigkeit, Raumwahrnehmung und Präsenzerleben, erhofft man sich eine realitätsnahe Simulation des Weinherstellungsprozesses, in der Lernende Handlungen durchführen können, die in einem realen Weingut aufgrund von Zugangsbeschränkungen sonst nicht möglich wären.
Zielgruppe	<i>An wen richtet sich das Lernangebot?</i> Studierende der Biotechnologie
Lerninhalte und -ziele	<i>Welche Inhalte sollen mit welchem Ziel vermittelt werden?</i> Prozedurales Wissen, konzeptuelles Wissen, Faktenwissen
Didaktische Struktur/Methode	<i>Wie soll das Angebot didaktisch aufbereitet werden?</i> Linear organisierte Sequenz; Expositorischer Instruktionsansatz, bei dem das Lernen entlang eines vorgegebenen Lernpfades erfolgt
Lernorganisation	<i>Wie soll das Angebot organisatorisch realisiert werden?</i> Das Lernangebot wird mittels kabelloser, akkubetriebener Standalone-VR-Headsets in Präsenzlehrveranstaltungen vor Ort umgesetzt, unterstützt durch kontinuierliche technische Betreuung.

4.3 Konzeption

Die Konzeptionsphase umfasst eine detaillierte Beschreibung des Lernpfades und aller Lernschritte, die in der Lernanwendung implementiert werden sollen. In dieser Phase erfolgt die Zusammenarbeit mit Fachexperten. Es wird auch die Form der Veranschaulichung der Lerninhalte ausgewählt sowie eine allgemeine Beschreibung der technischen Umsetzung, die für die Realisierung jedes Schrittes erforderlich ist. Als Ergebnis dieser Phase entsteht ein Schritt-für-Schritt-Skript für die VR-Simulation, eine Beschreibung der Lernziele, Flowcharts zur Darstellung der Lernschritte und eine Liste der benötigten 3D-Modelle.

In Zusammenarbeit mit Lehrpersonen und Weinexperten wurden die Schritte der Weinherstellung festgelegt, die in Abbildung 4.3 dargestellt sind. Der gesamte Prozess umfasst acht Hauptschritte, wobei jede Phase wiederum spezifische Aktionen und Interaktionen der Lernenden in der VR-Umgebung beinhaltet.



Abbildung 4.3: Schritte der Weinherstellung. Quelle: Eigene Darstellung

Jede Handlung innerhalb der Lernschritte wird weiter in spezifischere Interaktionen mit der VR-Umgebung und den 3D-Modellen untergliedert. Dabei wird eine Liste der erforderlichen 3D-Modelle definiert. Zudem wird der Wissenserwerb für Faktenwissen, konzeptuelles Wissen und prozedurales Wissen berücksichtigt, wie es im CAMIL-Modell von Andersen & Makransky (2020) dargestellt wurde. Diese Strukturierung ermöglicht es einerseits, alle Schritte für die technische Umsetzung festzulegen und andererseits die Lernziele für jeden Schritt zu definieren, um zu bestimmen, welches Wissen jeder Schritt unterstützt und welches spezifische Lernziel er verfolgt. Zudem hilft sie dabei, relevante Interaktionen zu identifizieren, die die Lernprozesse unterstützen. Die Strukturierung des Lernschritts „Entrappen“ ist in Tabelle 4.2 dargestellt.

Tabelle 4.2: Lernschritte, Interaktionen und Lernziele im Weinherstellungsprozess

Lernschritt	Interaktionen	3D-Modelle	Wissenserwerb
1. Entrappen			
1.1. Trauben in den Trichter der Entrappmaschine laden	1.1.1. Eine Kiste mit Trauben nehmen 1.1.2. Trauben in den Trichter laden 1.1.3. Kiste zurücklegen	• Kiste • Traubenbüschel • Entrappmaschine	<i>Faktenwissen</i> Fachspezifische Begriffe: Bitterstoffe <i>Konzeptuelles Wissen</i> - <i>Prozedurales Wissen</i> • Wie die Trauben in die Entrappmaschine gelangen
1.2. Trauben entrappen und Maische erhalten	1.2.1. Starttaste der Entrappmaschine drücken 1.2.2. Funktionieren der Entrappmaschine beobachten 1.2.3. Entrappmaschine ausschalten	• Entrappmaschine • Maische im Behälter der Entrappmaschine • Abfallbehälter • Reste (Rappen und Blätter) im Abfallbehälter	<i>Faktenwissen</i> • Fachspezifische Begriffe: Entrappmaschine, Maische • Bezeichnungen für Teile des Equipments: Korb, Welle mit Fingern, Rotierende Walzen • Anzahl der Umdrehungen der rotierenden Welle mit Fingern pro Minute • Anzahl von Umdrehungen des Korbes pro Minute <i>Konzeptuelles Wissen</i> • Aufbau und Mechanismus der Entrappmaschine <i>Prozedurales Wissen</i> • Wie man Trauben entrappt
1.3. Schwefelpulver hinzufügen	1.3.1. Info über Schwefelung anschauen 1.2.1. Schwefelpulver mit dem Löffel greifen, was auf dem Tisch steht 1.2.2. Schwefelpulver mit dem Löffel in die Maische hinzufügen	• Löffel • Eimer mit Pulver • Tisch • Entrappmaschine	<i>Faktenwissen</i> - <i>Konzeptuelles Wissen</i> • Schwefelprozess, der für die Weinherstellung relevant ist <i>Prozedurales Wissen</i> • Wie man Wein schwefelt
1.4. Maische in die Weinpresse pumpen	1.4.1. Pumpentaste drücken 1.4.2. Beobachten, wie die Maische durch den Schlauch fließt 1.4.3. Pumpe anhalten	• Pumpe • Schlauch von der Entrappmaschine zur Pumpe • Schlauch von der Pumpe zur Weinpresse • Weinpresse • Entrappmaschine	<i>Faktenwissen</i> - <i>Konzeptuelles Wissen</i> - <i>Prozedurales Wissen</i> • Wie man die Maische von der Entrappmaschine zur Weinpresse leitet

Ebenso kann von der Lehrperson beurteilt werden, ob es tatsächlich notwendig ist, innerhalb der VR-Anwendung spezifisches deklaratives Wissen zu erwerben, wie zum Beispiel die Anzahl der Umdrehungen der rotierenden Welle pro Minute, oder ob es ausreicht, das allgemeine Funktionsprinzip der Entrappmaschine zu verstehen. Diese Entscheidung obliegt der Lehrperson, daher werden in dieser Arbeit die Lehrinhalte sowie Lehr- und Lernziele nicht diskutiert, sondern es wird lediglich gezeigt, wie dies für die Konzeption und technische Umsetzung strukturiert werden kann. Auf diesem Schritt können auch irrelevante Lernobjekte oder Materialien identifiziert und gemäß dem

Kohärenzprinzip eliminiert werden. Das Kohärenzprinzip sowie andere Gestaltungsprinzipien und deren Einsatz werden im Abschnitt 4.5 detailliert beschrieben.

Für jede Handlung wird bei Bedarf ein Flowchart festgelegt. Ein Flowchart, auch Flussdiagramm genannt, ist eine grafische Darstellung, die den Ablauf oder die Schritte eines Prozesses oder Systems zeigt. Dies kann besonders relevant sein für eine VR-Umgebung, in der die Nutzenden frei mit jedem 3D-Objekt interagieren können, das sich in greifbarer Nähe befindet. Das Flowchart ermöglicht es, mögliche Handlungen zu identifizieren, die nicht dem definierten Lernpfad entsprechen, und gegebenenfalls eine spezifische Logik zu programmieren oder Objekte zu deaktivieren, um kognitive Belastungen zu vermeiden. Abbildung 4.4 zeigt das Flowchart für den Schritt „1.1. Trauben in den Trichter der Entrappmaschine laden“.

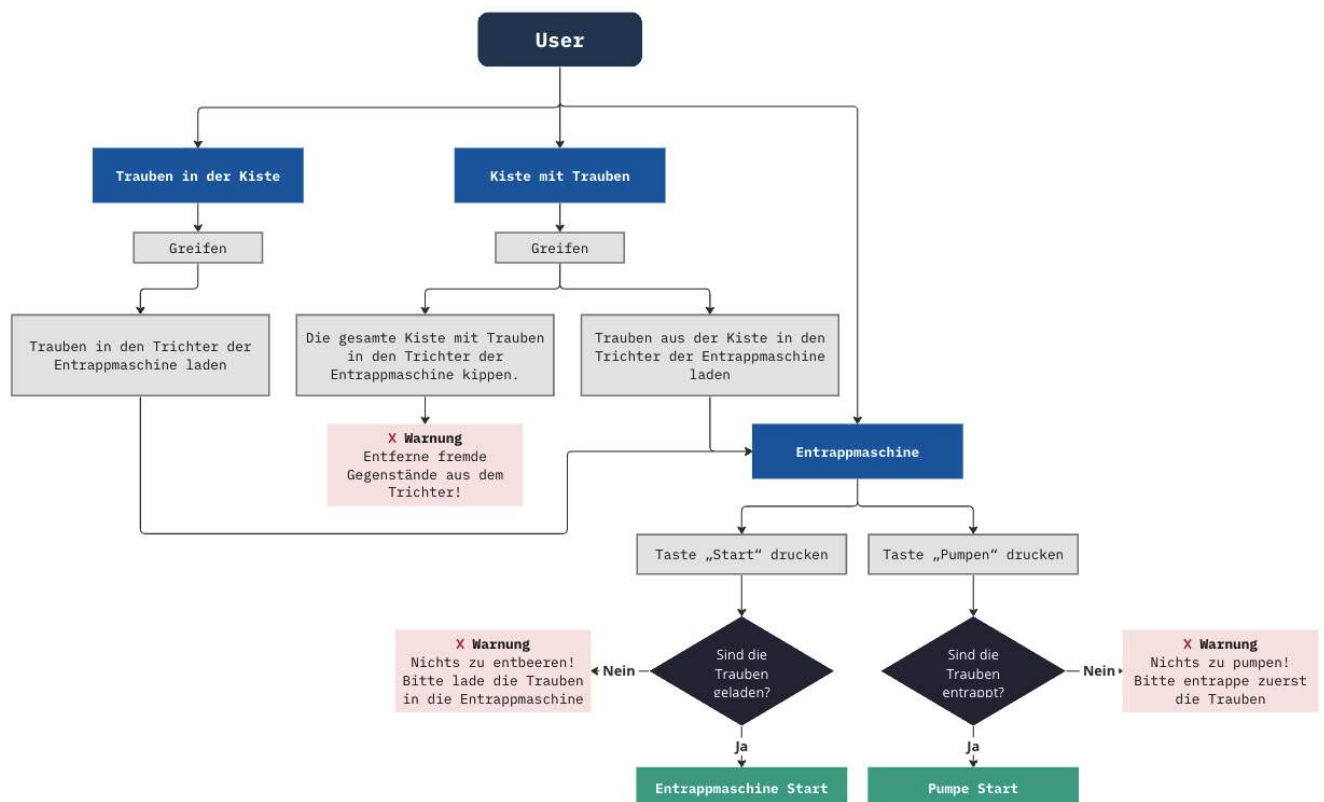


Abbildung 4.4: Flowchart für den Schritt „1.1. Trauben in den Trichter der Entrappmaschine laden“. Quelle: Eigene Darstellung

Es wurde festgelegt, dass die Lernenden neben der erwarteten Aktion, eine Kiste mit Trauben zu nehmen und diese in den Trichter der Entrappmaschine zu laden, auch andere Handlungen durchführen können. Zum Beispiel könnten sie zuerst die Start-Taste der Entrappmaschine drücken, ohne Trauben geladen zu haben. Dafür wird eine Logik definiert, die überprüft, ob die Trauben geladen sind. Ebenso könnten die Lernenden versuchen, eine ganze Kiste mit Trauben in den Trichter zu werfen, was in der Realität eine gefährliche Situation darstellen würde, die zu einem Geräteschaden führen kann. In einem solchen Fall erhalten die Lernenden eine Warnung: „Entferne fremde Gegenstände aus dem Trichter!“. Es ist auch möglich, dass die Lernenden einen Traubenbusch aus der Kiste nehmen und ihn in den Trichter werfen. In dieser Anwendung wurde beschlossen, keine quantitativen Messungen wie das Gewicht des geladenen Traubenguts zu verwenden, um sich auf den Prozess selbst zu fokussieren. Daher wird die Entrappmaschine aktiviert und der weite-

re Lernprozess ist möglich, unabhängig davon, ob die Lernende nur einen Traubenbusch oder die ganze Kiste geladen hat. Zukünftige Versionen der VR-Lernanwendung könnten weiterentwickelt werden, um physikalische Eigenschaften wie Gewicht und Menge zu berücksichtigen.

Auf Basis der in Tabelle 4.2 dargestellten Struktur wird eine Liste der Lernziele erstellt, die angibt, welches Wissen in welchem Schritt erworben werden soll und wie dies technisch umgesetzt werden kann, um den Lernprozess zu unterstützen. Dies erfordert technische Kompetenzen, einschließlich Kenntnisse über die Möglichkeiten und Einschränkungen von Unity, wie beispielsweise die Skripterstellung und visuelle Effekte.

Tabelle 4.3: Lernschritte und technische Umsetzung

Schritt Nr.	Wissenserwerb	Einsatz in der VR	Technische Umsetzung (grob)
1.1	Wie die Trauben in die Entrappmaschine gelangen (prozedurales Wissen)	Die lernende Person nimmt eine Kiste mit Trauben und lädt sie in den Trichter der Entrappmaschine	Kisten und Trauben sollen greifbar sein. Für den Trichter der Entrappmaschine sollte ein hoher Collider konfiguriert werden, damit die Traubenbüschel dort verbleiben können.
1.2.	Fachspezifische Begriffe: Entrappmaschine, Maische (Faktenwissen)	Die Begriffe „Entrappmaschine“ und „Maische“ wurden als Text dargestellt.	Canvas mit UI elements
1.2.	Aufbau und Mechanismus der Entrappmaschine (konzeptuelles Wissen)	Nach dem Start der Entrappmaschine wird erklärt, wie die Entrappmaschine funktioniert, der gesamte Text sollte in kleine Einheiten unterteilt sein. Um die Mechanismen von innen betrachten zu können, wird die Oberfläche der Entrappmaschine transparent.	Teile der 3D-Modelle, die transparent werden sollen, müssen zwei Materialien haben: Original Material und Transparent Material. Diese sollten je nach dargestelltem Schritt zwischen sich umgeschaltet werden. Um den Effekt der in den Behälter fallenden Maische sowie der Rappen und Blätter im Abfallbehälter zu simulieren, werden Particle Effects eingesetzt.
1.2.	Wie man Trauben entrappt (prozedurales Wissen)	Die lernende Person startet die Entrappmaschine mit den in den Trichter geladenen Trauben und erhält Maische, die sie im Behälter sehen kann. Anschließend schaltet sie die Entrappmaschine aus.	Die Starttaste der Entrappmaschine sollte einen Collider haben, der bei Einwirkung (OnClick/Enter) ein Skript zur Aktivierung der Entrappmaschine auslöst. Die Taste muss interaktiv sein: Sie ändert ihre Position, um ein Drücken zu simulieren, und ihr Material wechselt zu einem hervorgehobenen Zustand.
1.2.	Wie man die Maische von der Entrappmaschine zur Weinpresse leitet (prozedurales Wissen)	Der Lernende drückt die Pumpentaste an der Entrappmaschine und schaltet sie nach dem Pumpen der Maische aus. Um visuell zu verdeutlichen, dass die Maische gepumpt wird, sollten Pfeile oder visuelle Effekte verwendet werden.	Die Pumpentaste muss interaktiv sein, ähnlich wie die Starttaste, wobei ein Duplikat des Objekts erstellt wird. Während die Maische in die Weinpresse gepumpt wird, wird die Oberfläche des Schlauches transparent, ähnlich wie bei der Entrappmaschine. Der Fließeffekt der Maische durch den Schlauch wird mittels Shader Graph simuliert.

Die technische Umsetzung ist grundlegend skizziert und beschreibt mögliche Unity-Komponenten sowie die zugehörige Logik, die zur Realisierung beitragen. Dabei kann eingeschätzt werden, ob und wie es technisch möglich ist, eine Interaktion oder einen visuellen Effekt, der den Erwerb spezifischen Wissens und damit den Lernprozess unterstützt, zu implementieren.

Anschließend wird auf Basis der Tabellen 4.2 und 4.3 eine Liste von 3D-Objekten erstellt, die in der VR-Lernumgebung verwendet werden. Diese Liste ist in Tabelle 4.4 dargestellt.

Tabelle 4.4: Übersicht der 3D-Modelle

ID	3D-Modell	Elemente
1	Kiste	Interaktives Objekt (greifbar)
2	Traubenbüschel	Interaktives Objekt (greifbar)
3	Entrappmaschine	Statische Elemente: Stand, Trichter, Behälter, Gehäuse Interaktive Elemente: Tasten, Korb, Walzen, Welle
4	Tisch	Statisches Objekt
5	Maische im Behälter	Statisches Objekt
6	Reste (Rappen und Blätter)	Statisches Objekt
7	Löffel	Interaktives Objekt (greifbar)
8	Eimer mit Schwefelpulver	Statisches Objekt
9	Glas	Interaktives Objekt (greifbar)
10	Refraktometer	Interaktives Objekt (greifbar)
11	Schlauch	Statisches Objekt
12	Pumpe	Statisches Objekt
13	Weinpresse	Statische Elemente: Gehäuse, Behälter, Stand Interaktive Elemente: Zylinder, Taste
14	Most im Behälter	Statisches Objekt
15	Tank	Statisches Objekt
16	Flasche	Interaktives Objekt (greifbar)
17	3-Wege-Kugelhahn	Statische Elemente: Kugelhahn Interaktive Elemente: Drehgriff
18	Kammerfilterpresse	Statische Elemente: Gehäuse Interaktive Elemente: Filterplatten, Taste
19	Abfüllmaschine	Statische Elemente: Gehäuse, Stand, Schläuche Interaktive Elemente: Flaschenhalterung
20	Karton mit Korken	Statisches Objekt
21	Weinflasche	Interaktives Objekt (greifbar)
22	Verkorker	Statische Elemente: Stand Interaktive Elemente: Korkenziehergriff
23	Kapselschrumpfgerät	Statisches Objekt
24	Kapseln	Interaktives Objekt (greifbar)
25	Etiketten	Interaktives Objekt (greifbar)
26	Holzfässer	Statisches Objekt

4.4 Technische Umsetzung

4.4.1 Entwicklungstechnologien

In diesem Abschnitt wird die Auswahl der Entwicklungstechnologien für die VR-Lernanwendung dargelegt. Da die im Rahmen dieser Masterarbeit entwickelte VR-Lernanwendung als Erweiterung des Biotech-Hauses vorgesehen ist, basiert die Entscheidung für die verwendete Hard- und Software auf den bereits eingesetzten Technologien. Dies gewährleistet eine Integration und Konsistenz in der technologischen Umgebung. Huang (2021) gibt in ihrer Masterarbeit einen Überblick über die Entwicklungsumgebung für das Biotech-Haus.

Entwicklungsumgebung

Die Umgebung wird mit der Software Unity in der Version 2021.3.4f1 programmiert. Unity ist eine weitverbreitete Entwicklungsplattform, die primär für die Erstellung interaktiver 3D- und 2D-Anwendungen verwendet wird. Sie ermöglicht die Entwicklung und Ausführung von Spielen sowie immersiven VR-Anwendungen (Unity Technologies 2024i). Die Entwicklung von VR-Anwendungen weist Parallelen zur Entwicklung von Videospielen auf, da in beiden Fällen interaktive 3D-Erlebnisse geschaffen werden. Ein wesentlicher Unterschied in der VR-Entwicklung liegt jedoch in der Notwendigkeit, spezifische Faktoren zu berücksichtigen, wie das Präsenzerleben, die Vermeidung von bewegungsinduzierter Cybersickness und die grafische Optimierung für VR-Brillen.

Für die Entwicklung von VR-Anwendung wird das Plugin OpenXR verwendet, das ein offener, lizenzfreier Standard ist, entwickelt von der Khronos (Unity Technologies 2024k). Dieser Standard ermöglicht es, die Anwendungen über verschiedene Plattformen hinweg zu erstellen und zu betreiben, ohne für jedes einzelne Gerät speziellen Code entwickeln zu müssen.

Ein wesentlicher Bestandteil der Entwicklungsumgebung ist das XR Interaction Toolkit, ein von Unity entwickeltes Framework, das grundlegende Komponenten für Interaktionen in VR-Anwendungen bereitstellt (Unity Technologies 2024j).

3D-Modellierung

Im Biotech-Haus werden 3D-Modelle im FBX-Format verwendet. FBX-Technologie ist ein gängiges Austauschformat für 3D-Assets, das den Datenaustausch zwischen Autodesk-3D-Software und anderer Drittanbieter-Software ermöglicht (Autodesk Inc. 2024c). Für das Biotech-Haus wurden Modelle sowohl aus externen Quellen, wie heruntergeladenen Assets aus offenen Quellen, als auch selbst erstellte Modelle mit SketchUp verwendet (Huang 2021).

Für die 3D-Modellierung ist die Wahl der Software nicht entscheidend, da viele Anwendungen den Export von Modellen im FBX-Format unterstützen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden zwei Softwarelösungen verwendet: ProBuilder in Unity und Autodesk Maya.

ProBuilder ist ein 3D-Modellierungswerkzeug, das direkt im Unity Editor integriert ist. Es ermöglicht, 3D-Geometrie zu erstellen und zu bearbeiten, ohne die Unity-Umgebung verlassen zu müssen (Unity Technologies 2024e). Mit ProBuilder werden Räume und Umgebungen sowie eine Treppe erstellt, da es ermöglicht, schnell Strukturen direkt in Unity zu prototypisieren.

Autodesk Maya ist eine professionelle Software für 3D-Modellierung, Animation und Rendering. Sie wird häufig in der Film- und Spieleindustrie eingesetzt. Maya bietet umfangreiche Werkzeuge für die Erstellung komplexer 3D-Modelle und Animationen (Autodesk Inc. 2024a). Zudem bietet Autodesk eine einjährige kostenlose Studentenlizenz an (Autodesk Inc. 2024a). Mit Autodesk Maya werden die 3D-Modelle modelliert, wie zum Beispiel Ausrüstung und Objekte.

Texturierung

Für 3D-Modelle werden ebenfalls Texturen benötigt. Da die VR-Lernumgebung möglichst realistisch gestaltet werden soll, wird besonderes Augenmerk auf die Texturen gelegt. Texturen sind grafische Bilder, die auf die Oberfläche eines 3D-Modells aufgetragen werden, um das Aussehen des Materials in Unity zu bestimmen. Im Rahmen dieser Arbeit werden sowohl Texturen aus externen offenen Quellen als auch selbst erstellte Texturen verwendet. Für die Erstellung eigener Texturen wird Software wie Adobe Photoshop und Adobe Substance 3D Painter eingesetzt. Adobe Substance 3D Painter ist eine Software zur Erstellung und Bearbeitung von 3D-Texturen (Adobe 2024b). Sie enthält eine umfangreiche Bibliothek realistischer Materialien, die zur Erstellung eigener Texturen verwendet werden können. Adobe bietet eine kostenlose einjährige Studentenlizenz an, die Tools für 3D-Modellierung und Texturierung beinhaltet (Adobe 2024a). Zudem wurde Adobe Lightroom zur Bearbeitung der Texturen eingesetzt.

Andere Tools

Darüber hinaus wurden im Rahmen dieser Arbeit weitere Softwarelösungen und Tools verwendet. Die VR-Lernanwendung enthält UI-Elemente, die Texte und Illustrationen umfassen. Für die Erstellung von Illustrationen wurde Adobe Illustrator genutzt. Zur Erstellung und Bearbeitung von Text-Hinweisen sowie zur Benennung von Ausrüstungsteilen wurden Google Übersetzer und Quillbot verwendet. Für die Erstellung von Flowcharts kam das Miro Board zum Einsatz.

Hardware

In dieser Arbeit wird ein MacBook für die Entwicklung eingesetzt. Die Mindestanforderungen sowie die Hardware-Spezifikationen des MacBooks sind in Tabelle 4.5 dargestellt, wo ein Überblick über das verwendete System gegeben wird.

Tabelle 4.5: Mindestanforderungen für den Betrieb des Unity Editors. Quelle: Unity Technologies (2024f)

Mindestanforderungen	macOS	Das verwendete System
Betriebssystem-version	High Sierra 10.13+ (Intel editor) Big Sur 11.0 (Apple silicon Editor)	Sonoma 14.0
CPU	x64-Architektur mit Unterstützung des SSE2-Befehlssatzes (Intel-Prozessoren) Apple M1 oder höher (Apple silicon-basierte Prozessoren)	Apple M1 Max
Grafik-API	Metal-kompatible Intel und AMD GPUs	Metal Support: Metal 3 Type: GPU
Zusätzliche Anforderungen	Von Apple offiziell unterstützte Treiber (Intel Prozessor), Rosetta 2 ist erforderlich für Geräte mit Apple Silicon, die entweder Apple Silicon oder Intel Versionen des Unity Editors nutzen.	Rosetta 2 installiert; Unity Editor im Intel-Modus genutzt wird

Der Unity Editor wird über den Unity Hub installiert. Der Unity Hub ist eine eigenständige Anwendung, die es ermöglicht, verschiedene Versionen des Unity Editors herunterzuladen, zu verwalten und zu starten (Unity Technologies 2024g). Das Biotech-Haus wurde ursprünglich für die Intel-Architektur entwickelt und verwendet den Unity Editor, der speziell für Intel-Prozessoren ausgelegt ist. Aus diesem Grund wird die VR-Anwendung im Rahmen dieser Arbeit weiterhin in der Intel-Version von Unity bearbeitet. Dies wird durch den Einsatz von Rosetta realisiert, einem Dienst von Apple, der es ermöglicht, Anwendungen, die für Intel-Prozessoren entwickelt wurden, auf Apple Silicon Maschinen auszuführen (Apple Inc 2024). Seit der Version Unity Hub 3.0.0 werden auch Apple Silicon Prozessoren unterstützt, was bedeutet, dass der Unity Editor nativ auf Apple Silicon Maschinen betrieben werden kann (Unity Technologies 2024h). Allerdings gibt es bei der Entwicklung mit Unity auf macOS einige Einschränkungen: Der native Apple Silicon Editor unterstützt weder den CPU Lightmapper noch den direkten Import von SketchUp, einer 3D-Software (Unity Technologies 2024f). Lightmapping ist der Prozess, bei dem die Helligkeit von Oberflächen in einer Szene vorab berechnet und das Ergebnis in einer Textur, der sogenannten Lightmap, gespeichert wird (Unity Technologies 2024d). Dies kann besonders wichtig für die Entwicklung realistischer Umgebungen sein, da Beleuchtung ein wesentlicher Bestandteil davon ist. Daher wird für die weitere Entwicklung empfohlen, auf der Windows-Plattform zu arbeiten. Da in dieser Arbeit jedoch nicht speziell an der Beleuchtung gearbeitet wird und nur grundlegende Beleuchtung verwendet wird, ist es optimal, die Entwicklung auf dem Mac fortzusetzen.

VR-System

Das VR-System, das für die Entwicklung und das Testen des Projekts verwendet wird, ist das HTC Vive Focus 3 (HTC Corporation 2024b). Das HTC Vive Focus 3 verfügt über zwei LCD-Anzeigen mit einer Auflösung von 2448 x 2448 Pixeln pro Auge. Die Aktualisierungsrate beträgt 90 Hz, und das Sichtfeld erstreckt sich bis zu 120 Grad. Es nutzt VIVE Inside-out Tracking, das bis zu einer empfohlenen Spielfläche von 10x10 Metern funktioniert. Diese Tracking-Technologie verwendet integrierte Kameras, um die Position und Bewegungen des Headsets im Raum zu erfassen, ohne dass externe Sensoren erforderlich sind. Das HTC Vive Focus 3 wird mit zwei Controllern geliefert, die präzises Tracking und eine intuitive Interaktion in der VR-Umgebung ermöglichen.

Die VR-Lernanwendung wird in eine APK-Datei exportiert. Eine APK-Datei ist das Installationspaketformat für Android-Anwendungen. Dies ermöglicht die Unterstützung und Ausführung der Anwendung auf anderen Android-basierten VR-Geräten.

4.4.2 Struktur des Projekts

Die Struktur des Projekts wurde gemäß den Empfehlungen von Unity Technologies (2024b) erstellt. Abbildung 4.5 zeigt die Projektstruktur. Alle Content-Dateien des Projekts befinden sich im Ordner „Assets“.

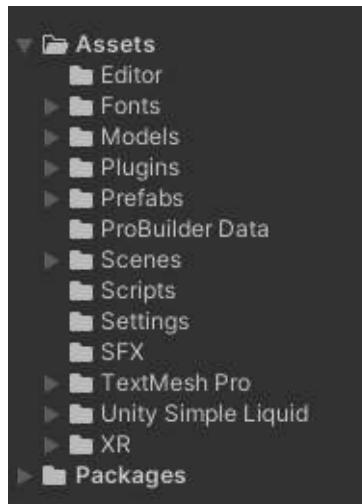


Abbildung 4.5: Struktur des Projekts in Unity

Für jedes komplexe Objekt wurde jedoch ein eigener Unterordner innerhalb des Ordners „Models“ erstellt, der die notwendigen Elemente und Skripte für das Objekt enthält. Dadurch sind alle Elemente eines Objekts in einem Ordner zusammengefasst. Dieser Ordner kann leicht gefunden, exportiert oder gelöscht werden, ohne dass jeder einzelne Bestandteil, wie beispielsweise die Textur eines Objekts, separat gesucht werden muss. Abbildung 4.6 zeigt die Ordnerstruktur für das Objekt Entrappmaschine. In Tabelle 4.6 ist angegeben, wofür jede Ordner vorgesehen ist.

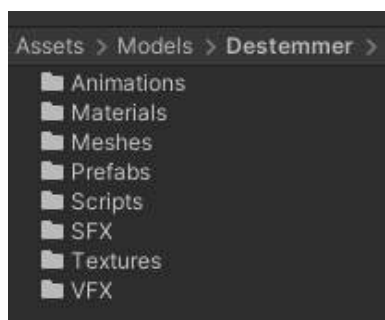


Abbildung 4.6: Ordnerstruktur für Modelle

Tabelle 4.6: Ordnerstruktur für ein Objekt in Unity

Asset Typ	Beschreibung
Animations	Diese Ordner enthält animierte Clips (Animation Clips) und Animator-Controller.
Materials	Diese Ordner enthält Materialien, die die Eigenschaften der Oberfläche von Objekten in Unity definieren.
Meshes	Hier werden Modelle im FBX-Format gespeichert, die in einer externen 3D-Software erstellt wurden.
Prefabs	Hier sind Prefabs gespeichert, die vorgefertigte 3D-Modelle oder -Objekte in Unity sind und mehrfach verwendet werden können.
Scripts	In diesem Ordner sind alle entwickelten Skripte für das Objekt gespeichert.
SFX	SFX steht für Soundeffekte (Sound Effects). Hier werden die Soundeffekte für das Objekt gespeichert.
Shaders	In diesem Ordner werden Shader-Dateien gespeichert, die mithilfe des Shader Graph erstellt werden.
Textures	Diese Ordner enthält Texturen, die für Materialien verwendet werden.
VFX	VFX steht für visuelle Effekte (Visual Effects). In diesem Ordner werden beispielsweise Partikeleffekte gespeichert.

4.4.3 3D-Modellierung

Der Einsatz jedes Lernschritts beginnt mit der 3D-Modellierung, wie in der Abbildung 4.1 in der Umsetzungsphase dargestellt. Eine Liste der 3D-Modelle für jeden Lernschritt ist in Tabelle 4.2 enthalten. Referenzen und Beispiele für die Modelle wurden von Weinexperten und Prof. Dr. Jana Rödiger bereitgestellt. Da in dieser Lernanwendung der Schwerpunkt auf dem Herstellungsprozess liegt und die Mechanismen der Maschinen schematisch und vereinfacht dargestellt werden, wurden für die Erstellung der 3D-Modelle keine technischen Daten herangezogen und auf Details verzichtet. Die 3D-Modelle sind vereinfacht und zeigen nur die wesentlichen Mechanismen.

Erstellung von 3D-Modellen

In der 3D-Modellierung unterscheidet man zwischen High-Poly- und Low-Poly-Modellen. High-Poly und Low-Poly Modelle unterscheiden sich durch die Anzahl der Polygone, die zur Darstellung eines 3D-Modells verwendet werden. High-Poly-Modelle besitzen eine hohe Anzahl von Polygonen, was zu detaillierteren und realistischeren Darstellungen führt, aber auch mehr Rechenleistung erfordert. Low-Poly-Modelle hingegen haben weniger Polygone, was sie weniger detailliert macht, aber deutlich weniger Rechenleistung benötigt. Für die VR-Anwendung in dieser Arbeit werden möglichst Low-Poly-Modelle verwendet, und auf die Darstellung kleiner Details wie Schrauben und Knöpfe verzichtet, um die Leistung zu optimieren und eine flüssige VR-Erfahrung zu gewährleisten. Dies spart erheblich an Rechenleistung und ist besonders wichtig für VR-Umgebungen, wo eine hohe Bildwiederholrate und eine reibungslose Darstellung entscheidend sind. Ein Beispiel für ein Low-Poly-3D-Modell eines Traubenbüschels ist in Abbildung 4.7 dargestellt.

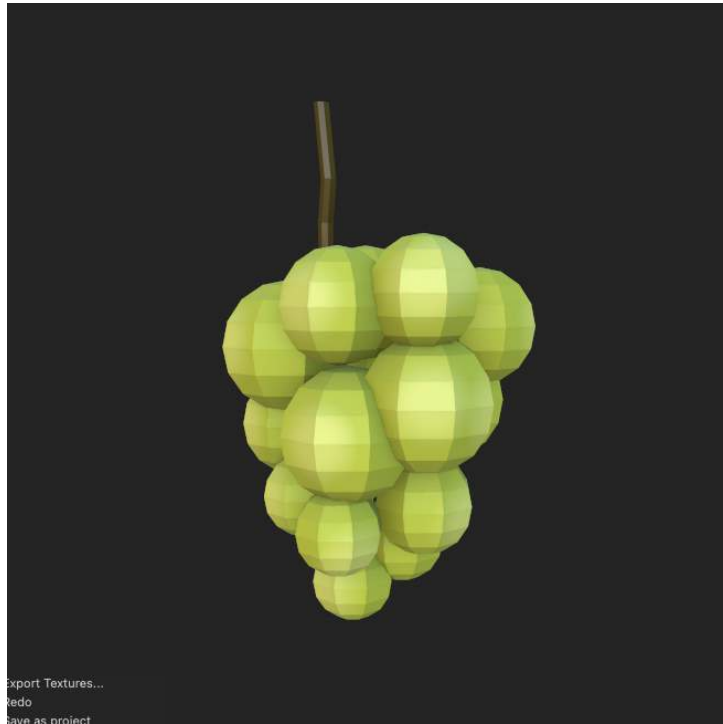


Abbildung 4.7: Low-Poly-3D-Modell eines Traubenbüschels

Bei der Erstellung von 3D-Modellen werden die Interaktionen mit diesen Objekten in Unity berücksichtigt. Dabei sind mehrere Aspekte wichtig. Zum einen, welcher Teil des 3D-Objekts statisch und welcher dynamisch ist.

Zum anderen kann die Interaktion mit dem 3D-Objekt eine Veränderung der Position des Objekts im Raum mit einem veränderten Drehpunkt hervorrufen. Ein Beispiel dafür ist der manuelle Weinflaschenverkorker, bei dem das Verkorken mittels eines Hebels erfolgt, der sich auf und ab bewegt. Hierbei bewegt sich der Hebel relativ zu seinem Drehpunkt, der sich unten an der Hebelstange befindet. Dieser Punkt wird als Pivot bezeichnet (Autodesk Inc. 2024b). Ein Pivot ist ein Referenzpunkt, um den sich ein 3D-Objekt dreht oder bewegt. Damit dies in Unity nutzbar ist, wird der Pivot in Autodesk Maya verschoben, wie in Abbildung 4.8 dargestellt.

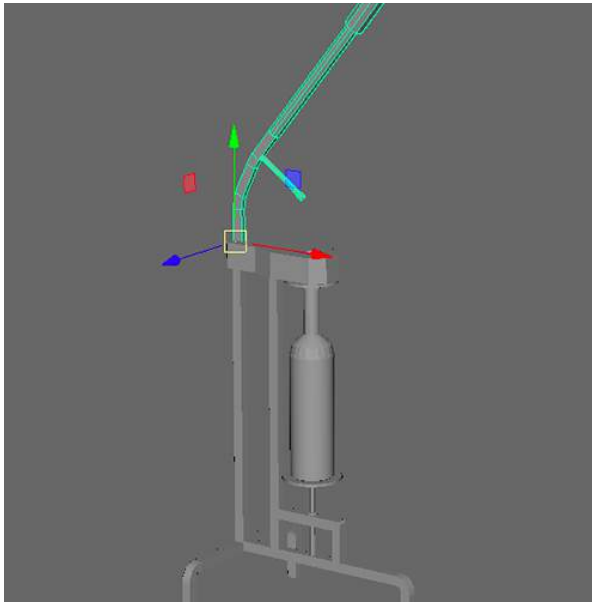


Abbildung 4.8: Pivot in Autodesk Maya



Abbildung 4.9: Drehpunkt in Unity

Der dritte Aspekt besteht darin, zu berücksichtigen, welche wiederholenden Elemente das 3D-Modell aufweist, damit diese Elemente in Unity dupliziert werden können. Dies ist besonders relevant, wenn der entsprechende Teil dynamisch ist oder andere Unity-Komponenten besitzt. Das Duplizieren solcher Objekte in Unity direkt vorzunehmen spart Zeit und optimiert den Entwicklungsprozess. Abbildung 4.10 zeigt das 3D-Modell einer Weinflaschen-Abfüllmaschine. Sie verfügt über einen Flaschenhalter, in den leere Flaschen zum Befüllen mit Wein eingesetzt werden. In Unity hat der Flaschenhalter eine Animation und enthält außerdem weitere untergeordnete Objekte wie Sockets für die Flaschen und Trigger, wie in Abbildung 4.11 gezeigt. Dieses Objekt wurde zuerst konfiguriert und dann in Unity dupliziert.

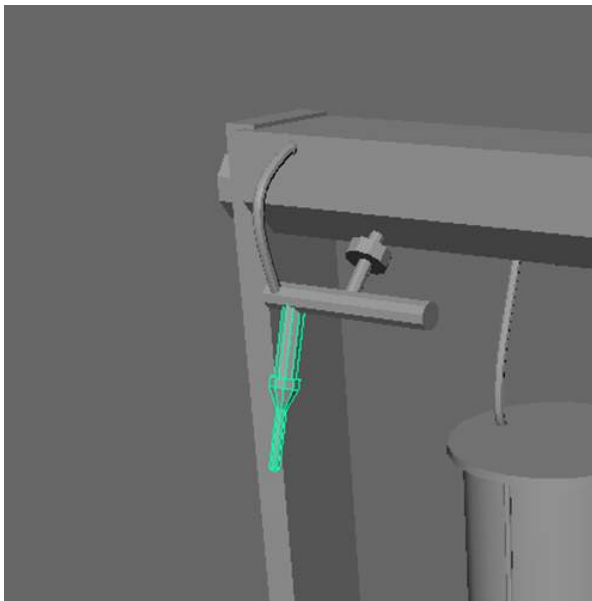


Abbildung 4.10: Flaschenhalter in Maya

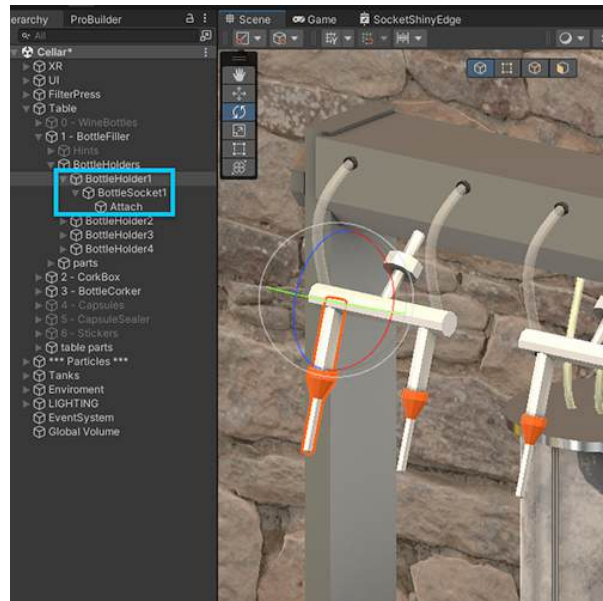


Abbildung 4.11: Flaschenhalter in Unity

Neben den selbst erstellten Modellen wurden auch Modelle aus offenen Quellen verwendet.

Beispielsweise wurde das 3D-Modell eines Holzfasses von Cock (2022) genutzt, die in Abbildung 4.12 gezeigt sind.



Abbildung 4.12: WineBarrelModel Quelle: WineBarrelModel

Texturing

Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte VR-Lernumgebung stellt eine abbildungstreue Visualisierung dar, bei der die Anforderungen an die Materialien der 3D-Objekte hoch sind, weshalb die Texturen möglichst realistisch sein müssen. Die Texturen werden auf zwei Arten erstellt: Zum einen werden sie mit der Software Adobe Substance 3D Painter erstellt, zum anderen durch die Verarbeitung von Fotomaterialien, die bei einem Besuch auf einem Weingut aufgenommen wurden. Zusätzlich werden Texturen aus öffentlich zugänglichen Quellen wie Asset-Datenbanken genutzt. Adobe Substance 3D Painter verfügt über eine integrierte Datenbank mit Standardmaterialien wie Stahl, Holz und anderen, die bei der Erstellung von Texturen verwendet werden können.

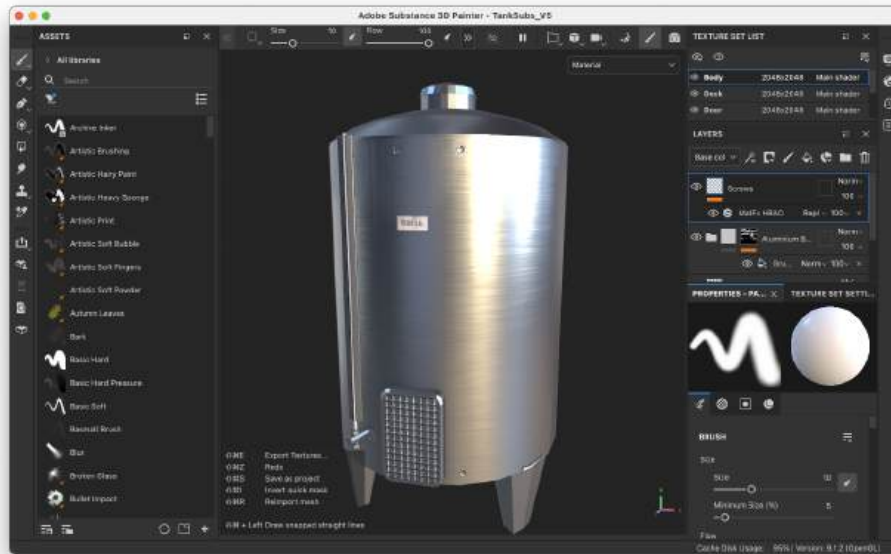


Abbildung 4.13: Erstellung der Texturen für den Tank

Für die Erstellung realistischer Texturen wurden ebenfalls Fotomaterialien verwendet, die während einer Exkursion auf dem Weingut gesammelt wurden. Auf diese Weise wurden Texturen für Maische und Restabfall erstellt. Das Originalfoto zeigt einen Abfallbehälter mit Rappen und Blättern auf einem Weingut, wie in Abbildung 4.14 dargestellt ist. Die Textur muss nahtlos sein, was bedeutet, dass sie so gestaltet sein sollte, dass die Kanten der Textur beim Zusammentreffen nicht sichtbar sind und ein durchgehendes Muster ohne erkennbare Übergänge bilden. Dies kann mit spezieller Software oder über Online-Generatoren für nahtlose Texturen erreicht werden. In Abbildung 4.15 wird die Erstellung einer nahtlosen Textur mithilfe des Offset-Werkzeugs in Adobe Photoshop gezeigt. Das Ergebnis ist in Abbildung 4.16 dargestellt.

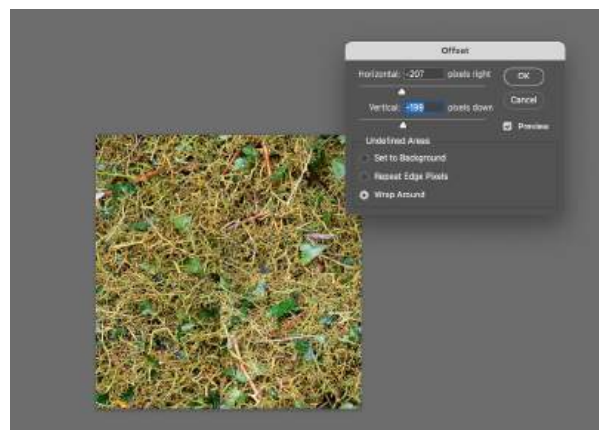
Abbildung 4.14: Abfallbehälter.
Quelle: Hochschule AnhaltAbbildung 4.15: Erstellung einer
nahtlosen Textur



Abbildung 4.16: Abfallbehälter mit Rappen und Blättern in Unity

Ablauf

Die Erstellung von 3D-Modellen für Unity folgt einem strukturierten Ablauf, der im Folgendem beschrieben ist. Zunächst werden die 3D-Modelle in Autodesk Maya erstellt und im FBX-Format in den Unity-Ordner „Meshes“ für das jeweilige Objekt exportiert. Autodesk Maya bietet ein Unity-Integrations-Tool, mit dem FBX-Dateien direkt aus Maya nach Unity exportiert werden können (Unity Technologies 2024l). Dies optimiert den Workflow zwischen der 3D-Software und Unity und gewährleistet eine nahtlose Integration der 3D-Modelle. Danach wird die FBX-Datei in Adobe Substance 3D Painter importiert, wo die Texturen für das Modell erstellt werden. Diese Texturen werden anschließend im PNG-Format in den Unity-Ordner „Textures“ für das jeweilige Objekt exportiert. Abschließend werden im Ordner „Materials“ Materialien für das Objekt erstellt, wobei die in „Textures“ gespeicherten Texturen angewendet werden. Dieser Ablauf ist in Abbildung 4.17 dargestellt.

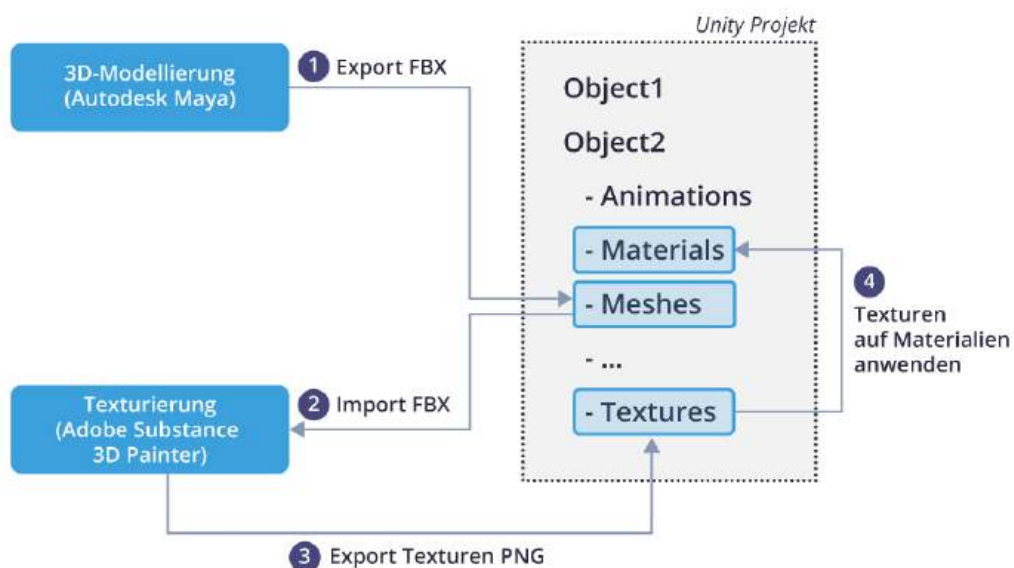


Abbildung 4.17: Ablauf der Erstellung von 3D-Modellen, Texturierung und Import in Unity

Wenn die Textur manuell in Adobe Photoshop auf Basis von Fotomaterialien erstellt wird, werden die Texturen direkt im PNG-Format in den Ordner „Textures“ exportiert. Für diese Anwendung wird das Format PNG mit einer Auflösung von 1024x1024 Pixeln verwendet.

4.4.4 Visuelle Effekte

In dieser Anwendung wurden visuelle Effekte implementiert, um die Simulation möglichst realistisch zu gestalten. Zudem wurden visuelle Effekte verwendet, um verschiedene Prozesse darzustellen, wie zum Beispiel das Fließen des Mosts durch einen Schlauch und das Hervorheben von Elementen, die eine Interaktion erfordern. In Tabelle 4.7 sind die verwendeten Effekte aufgelistet.

Effekt	Tool	Quelle
Fallende Maische in Entrappmaschine	Partikel System	Unity
Fallende Traubenstiele in Abfallbehälter	Partikel System	Unity
Fließender Most in Weinpresse	Partikel System	Unity
Fließen der Maische und des Mosts durch einen Schlauch	Shader Graph	Unity
Hervorheben des Sockets für Weinflaschen	Shader Graph	Unity
Flüssigkeitssimulation für Most und Wein	Asset	Evgrashin et al. (2020)

Tabelle 4.7: Visual Effects

Ein Partikel System ist eine Technik zur Modellierung unregelmäßiger Naturphänomene wie Feuer, Rauch, Wasserfälle, Wolken und wird häufig in Motion Graphics und Computergrafiken eingesetzt. Dabei wird ein Objekt als eine Ansammlung von kleinen Teilchen (particles) dargestellt. Diese Teilchen werden über einen bestimmten Zeitraum im System erzeugt, bewegen sich innerhalb des Systems und verschwinden schließlich wieder aus dem System (Reeves 1983).

Unity verfügt über ein Built-in Partikel System, das in diesem Projekt verwendet wird (Unity Technologies 2024c). Abbildung 4.18 zeigt das Partikel System zur Simulation von fallender Maische in der Entrappmaschine. Dabei sind die Teilchen (particles) Traubenbeeren, die sich nach unten bewegen. Der Zeitraum beträgt 5 Sekunden, danach wiederholt sich der Vorgang in einer Schleife.



Abbildung 4.18: Partikel System

Das Bild der Traubenbeeren ist eine JPG-Datei mit einer Auflösung von 512x512 Pixeln und einem schwarzen Hintergrund, wie in Abbildung 4.19 dargestellt. Die schwarze Farbe der Textur wird in der Simulation nicht angezeigt, da die additive Farbmischung in Unity dafür sorgt, dass Schwarz unsichtbar wird. Nur die farbigen Bereiche sind sichtbar, wodurch der Eindruck entsteht, dass die Traubenbeeren runde Objekte sind.

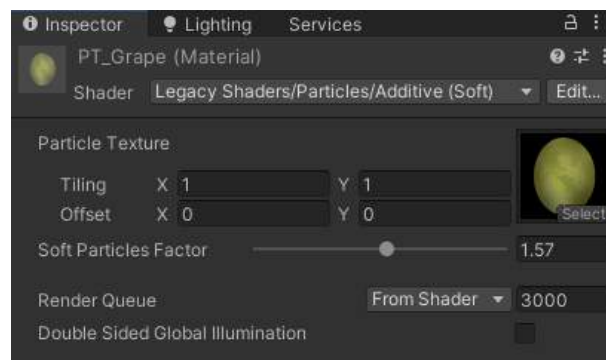


Abbildung 4.19: Particle System Material

Für die Simulation der fließenden Maische durch einen Schlauch und die Pumpe in die Weinpresse wurde der Shader Graph in Unity verwendet, der es ermöglicht, mithilfe eines grafischen Frameworks verschiedene Shader zu erstellen (Unity Technologies 2024m). Dabei wurden drei Eingabevariablen definiert: Texture, Tiling und Geschwindigkeit. Die Textur wurde auf Basis von Fotomaterialien aus der Weinexkursion erstellt, wie in Abschnitt 4.4.3 beschrieben. Tiling bestimmt, wie oft die Textur horizontal und vertikal wiederholt wird. Geschwindigkeit legt fest, mit welcher Geschwindigkeit die Textur entlang des Schlauchs bewegt wird. Ein Teil des Shader Graphs ist in Abbildung 4.20 und das Ergebnis in Abbildung 4.21 dargestellt.

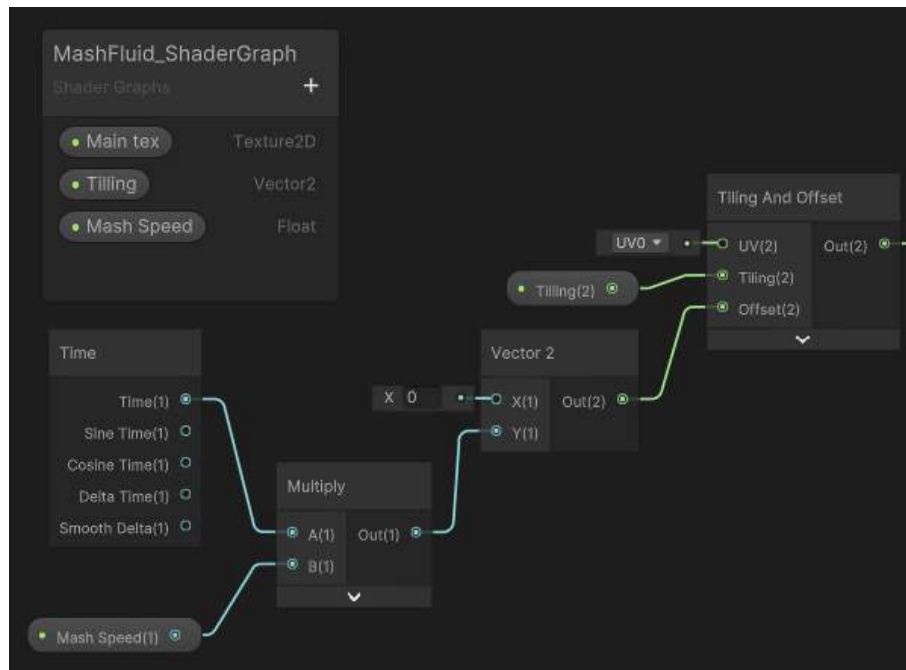


Abbildung 4.20: Shader Graph

Die vollständigen Shader Graphen sind in Anhang D zu finden.



Abbildung 4.21: Simulation der fließenden Maische

Für die Simulation der Flüssigkeit für Most und Wein wurde ein Unity Simple Liquid von Evgras-hin et al. (2020) verwendet. Der Code enthält Skripte und Shader, die es ermöglichen, Einstellungen direkt im Unity-Inspector vorzunehmen. Abbildung 4.22 zeigt die Einstellungen der Komponenten. Einige Parameter der Komponente ermöglichen direkte Interaktionen im Code.

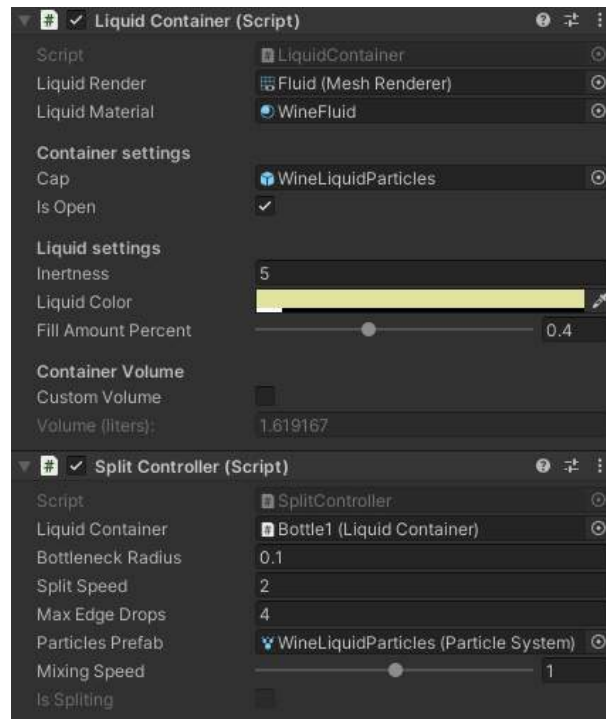


Abbildung 4.22: Unity Simple Liquid Einstellungen

So wurde beispielsweise der Parameter „Fill Amount Percent“, der als float von 0 bis 1 die Füllmenge der Flasche von 0 bis 100% darstellt, verwendet, um die Arbeit der Abfüllmaschine zu simulieren, bei der die Flaschen gefüllt werden. Code 4.1 zeigt einen Teil des Codes, in dem die Flasche innerhalb der festgelegten Zeit (5 Sekunden) von 0 auf 85% gefüllt wird, nachdem sie in den Flaschenhalter eingesetzt wurde. Die Simulation ist in Abbildung 4.23 dargestellt.

Code 4.1: Coroutine zum Füllen einer Weinflasche

```

1 IEnumerator FillLiquidContainer(LiquidContainer container, float duration)
2 {
3     float startTime = Time.time;
4     float endTime = startTime + duration;
5     float startValue = container.fillAmountPercent;
6     float endValue = 0.85f;
7
8     while (Time.time < endTime)
9     {
10        float elapsed = (Time.time - startTime) / duration;
11        // Füllt die Weinflasche von 0 bis 85%
12        container.fillAmountPercent = Mathf.Lerp(startValue, endValue, elapsed);
13        yield return null;
14    }
15
16    container.fillAmountPercent = endValue;
17 }

```




Abbildung 4.23: Abfüllung der Weinflasche in VR

4.4.5 Kontrolle der Lernschritte und Interaktion

Da die Anwendung eine linear organisierte Sequenz darstellt, bei der das Lernen entlang eines vorgegebenen Lernpfades erfolgt, ist die Kontrolle über die Lernschritte und die Interaktionen von großer Bedeutung. Um sicherzustellen, dass jeder Schritt korrekt abgeschlossen wird und die Interaktion mit anderen Objekten gesteuert wird, werden Variablen und boolesche Werte eingeführt. Diese dienen dazu, den Status jedes Lernschrittes zu überprüfen und darauf basierend die nächsten Schritte oder Aktionen innerhalb der Anwendung zu aktivieren oder zu deaktivieren. So wird ein strukturierter und kontrollierter Lernprozess sowie eine reibungslose Interaktivität gewährleistet. Zu diesem Zweck wurde ein Skript namens `AppStateManager.cs` erstellt, in dem diese Werte und Zustände definiert sind. Ein Beispiel des Codes ist im Listing 4.2 dargestellt. In den Zeilen 3 bis 6 werden verschiedene Zustände der Weinpresse definiert, die in anderen Komponenten von Unity verwendet werden können. In Zeile 9 wird eine Methode `IsWinepressReadyForSelection()` definiert, welche überprüft, ob das Entrappen bereits abgeschlossen ist und das Pressen der Maische noch nicht abgeschlossen ist. Wenn dies der Fall ist, gibt die Methode `true` zurück. In Listing 4.3 wird diese Methode in Zeile 27 bei der Interaktion mit der Starttaste verwendet. Das bedeutet, dass vor dem Pressen überprüft wird, ob die Trauben entrappt wurden und ob dieser Schritt noch nicht abgeschlossen ist.

Code 4.2: Teil des Codes von `AppStateManager.cs`

```

1 public static WinepressStatus currentWinepressStatus;
2 {
3     ReadyForSelection, // Bereit für die Programmauswahl
4     SelectionActive, // Programmauswahl aktiv
5     InOperation, // In Betrieb
6     Inactive // Inaktiv

```

```

7     }
8
9     public static bool IsWinepressReadyForSelection()
10    {
11        return isDestemmingComplete && !isWinepressComplete;
12    }
13
14    public static bool IsWinepressSelectionActive()
15    {
16        return currentWinepressStatus == WinepressStatus.SelectionActive;
17    }

```

Code 4.3: Teil des Codes von BtnWeinpressStart.cs

```

1     private void OnTriggerEnter(Collider other)
2     {
3         if (!_isPressed)
4         {
5             _presser = other.gameObject;
6             press.transform.localPosition = new Vector3(0.2f, 0f, 0f);
7
8             // Überprüfen, ob Entrappen nicht abgeschlossen ist
9             if (!AppStateManager.isDestemmingComplete)
10            {
11                // Zeigt eine Warnung an, wenn vorhanden
12                if(destemNotCompletedWarning != null)
13                    destemNotCompletedWarning.SetActive(true);
14
15                if(pumpNotCompletedWarning != null && pumpNotCompletedWarning.activeSelf)
16                    pumpNotCompletedWarning.SetActive(false);
17            }
18
19            // Überprüfen, ob der Weinpressvorgang abgeschlossen ist
20            if (AppStateManager.isWinepressComplete)
21            {
22                // Zeigt eine Warnung an, wenn vorhanden
23                if(stepCompletedWarning != null)
24                    stepCompletedWarning.SetActive(true);
25            }
26            // Überprüfen, ob die Weinpresse zur Auswahl bereit ist und keine Auswahl aktiv ist
27            if (AppStateManager.IsWinepressReadyForSelection()
28                && !AppStateManager.IsWinepressSelectionActive())
29            {
30                // Aktiviert den Knopf und zeigt die Start-UI an
31                ActivateButton();
32                ShowStartUI();
33                AppStateManager.currentWinepressStatus =
34                    AppStateManager.WinepressStatus.SelectionActive;
35            }
36            _isPressed = true;
37        }
38    }

```

Ein kurzes Übersichtsvideo der Lernanwendung, das in VR aufgenommen wurde, kann über den folgenden Link angesehen werden: <https://netstorage.fb-emw.de/s/QoSwJr5foywzQeY>. Es ist auch im XR-Labor der Hochschule Anhalt zugänglich.

4.5 Einsatz der Gestaltungsprinzipien

Neben der didaktischen Konzeption, der Aufbereitung der Lerninhalte und der technischen Umsetzung spielt die Gestaltung einer VR-Lernumgebung in Bezug auf die Lernprozesse eine wichtige Rolle. Die Frage, *wie* die Lernanwendung so entwickelt werden kann, dass sie die gesetzten Lehr- und Lernziele erreicht, bezieht sich nicht nur auf Planung und Konzeption, sondern auch auf die Gestaltung der virtuellen Umgebung sowie Interaktionen innerhalb der virtuellen Realität. Ein zentraler Aspekt dabei sind die kognitiven Prozesse, die während des Lernens ablaufen. Dabei wird auf die Theorie der kognitiven Belastung (CLT) und die Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML) zurückgegriffen, welche in den Abschnitten 2.2.4 und 2.2.6 erläutert wurden. Einer der Postulate dieser Theorien ist, dass das Arbeitsgedächtnis begrenzt ist. Daher sollte die Gestaltung der Lernanwendung darauf abzielen, unnötige kognitive Belastung zu reduzieren und lernrelevante kognitive Belastung zu fördern, um den Lernprozess zu unterstützen. Dies ist eine Antwort auf die dritte Forschungsfrage: *„Wie sollte eine VR-Lernanwendung gestaltet sein, um Lernprozesse gezielt auf definierte Lernziele auszurichten?“* Am Beispiel der Umsetzung der Gestaltungsprinzipien wird im Folgenden detailliert erläutert, wie diese Prinzipien in der Praxis angewendet wurden. Es wurden Gestaltungsprinzipien aus dem M-iVR-L Modell von Mulders et al. (2020) sowie jene Prinzipien ausgewählt, die Makransky & Petersen (2021) als relevant für VR betrachtet haben.

4.5.1 Kohärenzprinzip

Das Kohärenzprinzip bezieht sich auf eine Darstellungstechnik, deren Ziel es ist, die extrinsische kognitive Belastung zu minimieren, indem lernirrelevante Informationen eliminiert werden (Mayer 2014a, S. 63). Wie bereits in Abschnitt 2.3.1 erwähnt, unterscheiden Petersen et al. (2022) die extrinsische kognitive Belastung, indem sie diese einerseits auf die Interaktionstechnik (EL_{int}) und andererseits auf die durch die Komplexität der virtuellen Lernumgebung (EL_{env}) entstehende kognitive Belastung beziehen. In der von Andersen & Makransky (2020) entwickelten MCLSVE-Skala ist ein Punkt im Bezug auf das Kohärenzprinzip besonders relevant: *„The virtual environment was full of irrelevant content.“*. Zu den Elementen einer virtuellen Lernumgebung, die lernrelevant sein können und somit die EL_{env} erhöhen, zählen 3D-Objekte, Texturen, visuelle Effekte und Soundeffekte. Da die in dieser Arbeit entwickelte VR-Lernumgebung ein expositorisches Verfahren darstellt, bei dem jeder Lernschritt vordefiniert ist, erscheinen greifbare 3D-Objekte zur Reduzierung der EL_{env} im Sinne des Kohärenzprinzips nur während der Aktivierung eines Lernschritts und verschwinden nach der Erledigung der Aufgabe. Beispielsweise erscheinen 3D-Objekte für die Schwefelung, wie ein Eimer mit Schwefelpulver und ein Löffel, nur auf dem Tisch, nachdem die Maische bereitgestellt wurde (Abbildung 4.24) und eine Schwefelung notwendig ist. Nach der Erledigung der Aufgabe verschwinden diese 3D-Objekte wieder, wie in Abbildung 4.25 dargestellt.



Abbildung 4.24: Schwefelung in VR



Abbildung 4.25: Schwefelung abgeschlossen

Genauso ist der Lernschritt der Zuckermessung in der VR-Lernanwendung dargestellt. Ein Becherglas zum Aufnehmen der Maische und ein Refraktometer erscheinen nur dann, wenn die entsprechende Handlung für den Fortschritt notwendig ist.



Abbildung 4.26: Zuckermessung in VR

Dabei wurde darauf geachtet, dass die Steuerung der Sichtbarkeit von Objekten in der VR-Umgebung so gestaltet wurde, dass sie erfolgt, wenn die lernende Person ihre Aufmerksamkeit nicht auf diese Objekte richtet. Das heißt, dass in diesem Moment entweder keine visuelle oder interaktive Auseinandersetzung mit den Objekten stattfindet. Ein Beispiel hierfür ist die Handhabung eines Refraktometers: Verschwindet dieses Gerät unerwartet aus der virtuellen Hand der lernenden Person, während sie gerade eine Interaktion durchführt und beispielsweise eine Taste am Controller gedrückt hält, könnte dies zu Verwirrung führen. Ein solches Vorgehen widerspricht dem Verhalten von Objekten in der Realität und kann daher das Präsenzgefühl negativ beeinträchtigen.

Es gibt ebenfalls 3D-Objekte, die keinen direkten didaktischen Wert aufweisen, aber dennoch ein integraler Bestandteil der simulierten Umgebung sind und dazu beitragen, diese authentisch erscheinen zu lassen. Dies ist besonders relevant, wenn es sich um eine abbildungstreue Veranschaulichung der Umgebung handelt, wie es in dieser Arbeit der Fall ist. Um eine Entscheidung

darüber zu treffen, ob ein 3D-Objekt in einer Szene notwendig ist, wurde geprüft, ob ein solches Objekt auch in der realen Umgebung, die simuliert wird, vorhanden ist. Beispielsweise war laut Erfahrungen aus einer Weinexkursion kein Bild in dekorativem Rahmen im Weinkeller vorhanden, daher könnte dieses dekorative Bild als irrelevant betrachtet werden (Abbildung 4.27). Im Gegensatz dazu sind Weinfässer typische und erwartete Elemente in einem Weinkeller und tragen zur Schaffung einer realistischen Atmosphäre bei, da solche Fässer mit dieser Umgebung assoziiert werden (Abbildung 4.28).



Abbildung 4.27: Bild in dekorativem Rahmen in VR



Abbildung 4.28: Weinfässer in VR

Mayer & Fiorella (2014, S. 285) zählen akustische Effekte, wie beispielsweise Hintergrundmusik (Mulders et al. 2022), zu den Elementen, die die kognitive Belastung erhöhen können, wenn sie für den Lernprozess nicht relevant sind. Jedoch wurden, ähnlich wie bei den 3D-Objekten, die zur Schaffung einer authentischen Umgebung verwendet werden, die Tonaufnahmen von Geräten aus der Weinexkursion in die VR-Lernumgebung integriert.

In Bezug auf die EL_{int} wurde im Sinne des Kohärenzprinzips darauf geachtet, lernirrelevante Interaktionen zu reduzieren. Beispielsweise können die Startknöpfe an den Maschinen und die zugehörigen Maschinenaktionen deaktiviert werden, wenn sie für den aktuellen Lernschritt nicht relevant sind. Allerdings ist aus der Perspektive der Benutzerfreundlichkeit einer Mensch-Maschine-Schnittstelle eine Rückmeldung in Form einer Benachrichtigung oder eines entsprechenden Tons sinnvoll, wenn die Nutzenden versuchen eine Aktion auszuführen, die nicht zugänglich ist. Ebenso wurde die Interaktion bzw. das Greifen für einige Objekte deaktiviert. Zum Beispiel ist bei einem Karton mit Korken nur das Greifen der Korken selbst möglich.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass für jedes Element, das in der VR-Lernumgebung verwendet wird – sei es ein 3D-Objekt, eine Interaktion oder visuelle sowie akustische Effekte – klar definiert werden muss, welche spezifische Rolle jedes Element in Bezug auf den Lernprozess spielt und wie es das Lernen fördert. Ein Beispiel hierfür ist eine Weinflasche mit einem Glas, die auf dem Tisch im Weinraum neben dem Schwefelpulver stehen. Der Wein kann virtuell getrunken werden, wie in Abbildung 4.29 dargestellt. Die Aktion hat keine Lernrelevanz für den betreffenden Lernschritt und könnte daher die lernende Person ablenken. Dieselbe Weinflasche mit Glas am Ende des Lernpfades, nachdem alle Aufgaben erledigt wurden, kann hingegen als Ergebnis der durchgeführten Schritte im Weinproduktionsprozess und als Belohnung interpretiert werden, was zur Steigerung des Engagements beiträgt (Abbildung 4.30).



Abbildung 4.29: Weinflasche mit Glas im Weinraum



Abbildung 4.30: Weinflasche mit Glas als Belohnung

Das Kohärenzprinzip bezieht sich auch auf Lernmaterial, das in VR präsentiert wird und ebenso für andere Medienformen von Bedeutung ist. Beispielsweise wurde auf Erzählungen über Weingeschichte oder Videos, die die Weinlese zeigen, verzichtet und stattdessen nur die für das Lernen essenziellen textuellen Instruktionen beibehalten. Mayer & Fiorella (2014) bezeichnen solche lernirrelevanten Informationen als „seductive details“.

4.5.2 Signalisierungsprinzip

Nach dem Signalisierungsprinzip ermöglicht das Hervorheben lernrelevanter Informationen eine Reduzierung der kognitiven Belastung. Im Kontext von VR können Textanmerkungen an 3D-Objekten eingesetzt werden. Albus et al. (2021) untersuchen in seiner Studie die Auswirkungen von Textanmerkungen in VR-Lernumgebungen auf verschiedene Lernindikatoren und die kognitive Belastung. Es wurde festgestellt, dass die Erinnerungsleistung beim Lernen mit Textanmerkungen zu 3D-Objekten höher ist als ohne solche Anmerkungen. Die Lernaspekte wie Verständnis und Lerntransfer wurden durch die Implementierung von Textanmerkungen nicht verbessert.

Ein weiteres Beispiel für die Anwendung des Signalisierungsprinzips in VR kann die Hervorhebung von 3D-Objekten sein, um auf mögliche Interaktionen hinzuweisen oder die Aufmerksamkeit zu lenken (Albus et al. 2021). Dies kann durch Farbmarkierungen, Pfeile oder Symbole erfolgen (Mautone & Mayer 2001). Im Kontext des Signalisierungsprinzips ist ein Punkt auf der MCLSVE-Skala von Andersen & Makransky (2020) besonders relevant: „*It was difficult to find the relevant learning information in the virtual environment*“.

In der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten VR-Lernanwendung werden farbliche Hervorhebungen, Pfeile und visuelle Effekte verwendet. Pfeile dienen sowohl dazu, die Aufmerksamkeit auf Objekte zu lenken, die für den aktuellen Lernschritt eine Interaktion erfordern, als auch für Animationen. Abbildung 4.31 präsentiert Pfeile, die Teil einer Animation sind und die Richtung anzeigen, in die die Maische in der Entrappmaschine fällt. Abbildung 4.32 zeigt einen Pfeil, der auf ein Glas deutet, das gegriffen werden soll.

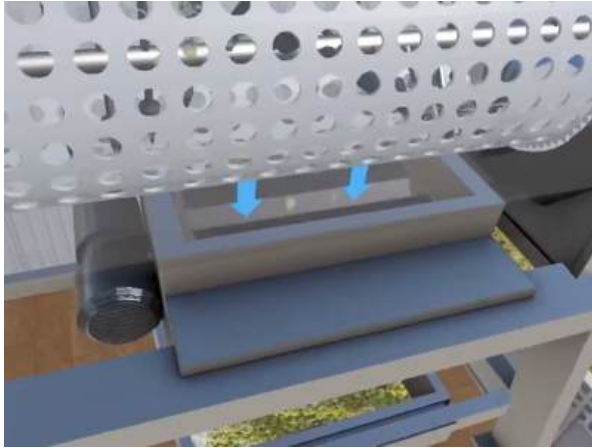


Abbildung 4.31: Pfeile in der Entrappmaschine in VR



Abbildung 4.32: Pfeil, der ein Glas in VR zeigt

Ein visueller Effekt wurde verwendet, um Stellen zu markieren, an denen Objekte angebracht werden können. Abbildung 4.33 zeigt einen visuellen Effekt auf der Abfüllmaschine, der mit Shader Graph erstellt wurde, um den Ort zu kennzeichnen, an dem die Weinflasche aufgehängt werden soll.



Abbildung 4.33: Signalisierungsprinzip in VR

4.5.3 Redundanzprinzip

Das Redundanzprinzip stellt heraus, dass eine audiovisuelle Darstellung von Informationen durch Bild und Ton den Lernprozess mehr unterstützt als eine redundante Wiedergabe derselben Informationen in Bild, Ton und zusätzlichem Text. Die Idee dieses Prinzips besteht darin, dass die gleichzeitige Präsentation derselben Informationen in mehreren Formen die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses erhöhen kann (Kalyuga & Sweller 2014). In der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten VR-Lernanwendung werden textuelle Instruktionen verwendet, während auf die auditive Wiedergabe derselben Informationen, also das Vorlesen durch eine Stimme, verzichtet wurde.

4.5.4 Segmentierungsprinzip

Dieses Prinzip ist durchgängig im Rahmen dieser Arbeit umgesetzt. Das Segmentierungsprinzip spielt eine zentrale Rolle bei der Entwicklung der VR-Lernanwendung zur Weinherstellung, weil es systemgesteuertes, schrittweises Lernen ermöglicht, bei dem die Lernaufgaben in kleine Lerneinheiten unterteilt sind.

Ein Beispiel hierfür ist ein Lernschritt, der zeigt, wie man Trauben entrappt und wie die Entrappmaschine funktioniert. Dieser Lernschritt wurde in 14 einzelne Schritte unterteilt, wie in Abbildung 4.34 dargestellt ist.

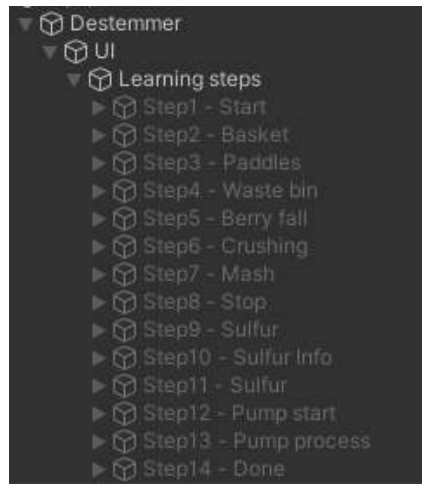


Abbildung 4.34: Beispiel für das Segmentierungsprinzip: Lernschritt zum Entrappen in Lerneinheiten geteilt

Zu jedem Schritt wird ein kurzer Texthinweis angezeigt und die entsprechenden Elemente werden laut dem Signalisierungsprinzip hervorgehoben. Die Abbildung 4.35 zeigt einen Schritt, bei dem die Lernenden die inneren Mechanismen der Entrappmaschine während des Betriebs beobachten. Zudem besteht die Möglichkeit, einen Schritt zurückzugehen, um den Lernschritt zu wiederholen.



Abbildung 4.35: Lernschritte zum Entrappen in Unity

Ein weiteres Beispiel für den Einsatz des Segmentierungsprinzips ist der letzte Lernschritt: Ab-

füllung und Verpackung der Weinflaschen. Im Gegensatz zum Lernschritt zum Entrappen, bei dem die Aktionen hauptsächlich mit der Entrappmaschine durchgeführt werden, wechseln die Handlungen hier von Gerät zu Gerät. Daher erfolgte in Unity die Segmentierung nach Objekten, wie in Abbildung 4.36 dargestellt.

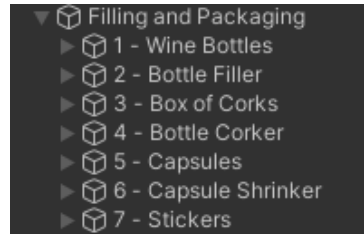


Abbildung 4.36: Lernschritte zur Abfüllung und Verpackung in Unity

Die Anleitungen werden dabei Schritt für Schritt gezeigt – zum Beispiel wird der Kapselschrumpf-Versiegler und die entsprechende Anleitung erst angezeigt, nachdem die Weinflasche verkorkt wurde, wie in Abbildung 4.37 dargestellt. Nachdem die lernende Person eine Flasche verpackt hat, werden die Hinweise nicht mehr angezeigt – es wird davon ausgegangen, dass der Lernende den Prozess verstanden hat und ihn bei den verbleibenden drei Flaschen eigenständig wiederholen kann.



Abbildung 4.37: Beispiel für das Segmentierungsprinzip: Schritt zum Beobachten der inneren Mechanismen der Entrappmaschine

4.5.5 Pre-Training-Prinzip

Laut dem Pre-Training-Prinzip empfehlen Mayer & Pilegard (2014), vor Beginn der eigentlichen Lerneinheit ein vorbereitendes Training zu den Grundlagen durchzuführen, indem beispielsweise Begriffe oder Eigenschaften erläutert werden. In einer Studie von Meyer et al. (2019) wurde festgestellt, dass ein solches Pre-Training in der VR-Lernumgebung das Wissen, den Lerntransfer und die Selbstwirksamkeit positiv beeinflusst.

Die Abbildungen 4.38 und 4.39 zeigen den Einsatz des Pre-Training-Prinzips in der VR-Lernanwendung:

Vor dem Lernschritt zum Entrappen wurde erklärt, was „Entrappen“ bedeutet.



Abbildung 4.38: Pre-Training-Prinzip in VR



Abbildung 4.39: Pre-Training-Prinzip in VR

Vor Beginn der Schwefelung, bei der die Lernenden Schwefelpulver in die Maische geben, wurde kurz erläutert, was Schwefelpulver ist. Dabei muss das Vorwissen der Lernenden als Zielgruppe identifiziert werden, was Teil der didaktischen Analyse ist. Im genannten Beispiel wird vorausgesetzt, dass die Studierende der Studiengänge für Biotechnologie zum Zeitpunkt des Trainings in der VR-Anwendung zur Weinherstellung die Begriffe Schwefeldioxid, Antioxidans und Hefe kennen, jedoch noch nicht wissen, wie genau diese in der Weinherstellung angewendet werden.

4.5.6 Modalitätsprinzip

Das Modalitätsprinzip besagt, dass bei multimedialen Präsentationen Texte auditiv statt visuell präsentiert werden sollten. Die Grundannahme dieses Prinzips ist, dass eine multimodale Präsentation, die sowohl visuelle als auch auditive Sinnesmodalitäten anspricht anstatt nur einer einzigen Modalität (beispielsweise nur visuell), die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses erweitern kann (Low & Sweller 2014). Die Anwendung des Modalitätsprinzips in VR-Lernumgebungen kann besonders bedeutend sein, weil die Lesbarkeit in VR eingeschränkt ist (Wölfel 2023, S. 333). Baceviciute et al. (2020) führte eine Studie durch, die mit EEG empirisch gestützt wurde, um Medizintraining unter drei verschiedenen Versuchsbedingungen zu vergleichen: Overlay-Text, virtuelles Buch und Ton. In allen Bedingungen wurden identische VR-Lernumgebungen und Lehrinhalte präsentiert, wobei nur die Form der Inhaltsdarstellung variiert wurde. Die Ergebnisse zeigten, dass textbasierte Präsentationen der Lerninhalte bessere Lernergebnisse erzielten als die auditive (gesprochene Texte) Darbietung. Für das Verständnis der Anwendung des Modalitätsprinzips in VR sind weitere Forschungen erforderlich. Es könnte auch notwendig sein, die Menge der präsentierten Informationen in Bezug auf die Darstellungsform zu untersuchen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Lerninhalte ausschließlich visuell vermittelt, wodurch das Modalitätsprinzip nicht eingehalten wurde.

4.5.7 Personalisierungsprinzip

Das Personalisierungsprinzip besagt, dass es förderlich für den Lernprozess ist, Texte im persönlichen Unterhaltungsstil anstelle eines formellen Stils den Lernenden zu präsentieren (Mayer 2014b, S. 348). Die im Rahmen dieses Prinzips gegebenen Empfehlungen zur Textformulierung wurden in

dieser Arbeit weitgehend umgesetzt. Tabelle 4.8 zeigt ein Beispiel für den Einsatz des Personalisierungsprinzips in der VR-Lernanwendung zur Weinherstellung.

Tabelle 4.8: Einsatz des Personalisierungsprinzips in der VR-Lernanwendung

Lernschritt	Formeller Stil der Textanweisungen	persönlicher Unterhaltungsstil nach Mayer (2014b)
Entrappen	Der erste Schritt ist abgeschlossen. Als nächstes folgt das Drücken der Starttaste an der Weinpresse.	Perfekt! Du hast den ersten Schritt abgeschlossen. Gehe jetzt zur Weinpresse und drücke auf „Start“.
Schwefelung	Im nächsten Schritt wird mit dem Messlöffel das auf dem Tisch bereitgestellte Schwefelpulver entnommen.	Greife mit dem Messlöffel das Schwefelpulver, das auf dem Tisch steht.
Filtrierung	Die Filtration ist abgeschlossen. Als nächster Schritt erfolgt das Abfüllen des Weins in Flaschen.	Die Filtration ist abgeschlossen. Jetzt kannst du das Wein in Flaschen abfüllen!

4.5.8 Verkörperungsprinzip

Laut dem Verkörperungsprinzip unterstützt es den Lernprozess, wenn verkörperte Agenten in Animationen menschenähnliche Gestik, Bewegungen, Augenkontakt und Gesichtsausdrücke aufweisen (Mayer 2014b, S. 365). Bei der Verwendung möglichst realistischer 3D-Modelle des Menschen ist es wichtig, den „Uncanny Valley“-Effekt zu berücksichtigen. Dieser beschreibt das Phänomen, dass menschenähnliche Darstellungen, die sehr realistisch wirken, jedoch subtile Unterschiede aufweisen, ein Gefühl der Abneigung oder Unbehaglichkeit beim Betrachter hervorrufen können (Mori 1970).

Mulders et al. (2020), Makransky & Petersen (2021) und Wölfel (2023) betrachten das Verkörperungsprinzip als relevant für VR-Lernumgebungen. In dieser Arbeit wurde jedoch kein menschlicher Charakter in die virtuelle Lernumgebung integriert; die Lernenden befinden sich allein in einem simulierten Weinraum und Weinkeller. Daher ist dieses Prinzip für die vorliegende Arbeit nicht relevant.

4.5.9 Stimmprinzip

Laut dem Stimmprinzip lernen Menschen besser, wenn gesprochene Texte eine natürliche Betonung aufweisen und nicht künstlich erzeugt klingen (Mayer 2014b). Im Rahmen dieser Arbeit wird kein gesprochener Text verwendet, daher ist dieses Prinzip nicht relevant.

Kapitel 5

Forschungsdesign der Expertenevaluation

In diesem Kapitel wird ein Forschungsdesign konzipiert, das die Grundlage für die Evaluation der VR-Lernanwendung durch Expertinnen und Experten aus verschiedenen Fachbereichen bildet. Abschnitt 5.1 erklärt einleitend das Konzept der Expertenevaluation. Abschnitt 5.2 beschreibt das Forschungsdesign, einschließlich des gewählten Modells, Methoden und Fragestellungen. Um das Forschungsdesign zu überprüfen und zu verbessern, wird eine Vorstudie durchgeführt. Dazu werden Interviews mit drei Expertinnen und Experten geführt. Die Ergebnisse werden in Abschnitt 5.3.3 ausführlich vorgestellt. In Abschnitt 5.3.4 wird beschrieben, wie diese Ergebnisse zur Aktualisierung und Optimierung des Forschungsdesigns beigetragen haben.

5.1 Expertenevaluation

Eine Expertenevaluation ist ein Verfahren, bei dem Expertinnen und Experten aus verschiedenen Bereichen systematisch und methodisch eine Anwendung, ein Projekt oder ein Konzept bewerten, um dessen Qualität, Wirksamkeit und Verbesserungsmöglichkeiten zu ermitteln. Ein Experte ist eine Person, die über umfassendes Fachwissen und fachliche Kompetenz verfügt (Brockhoff 1977). Das Ziel der Evaluation ist es, Zugang zu diesem Wissen zu erlangen. Um die Methodik und das Forschungsdesign festzulegen, muss bestimmt werden, welche Arten von Wissen durch die Expertenbefragung erfasst werden sollen. Bogner et al. (2002) identifiziert drei zentrale Dimensionen des Expertenwissens, die auch mit den verschiedenen methodischen und theoretischen Anforderungen an das Experteninterview übereinstimmen. Erstens das *technische Wissen*, welches Fakten, Daten und fachspezifische Informationen umfasst. Die Befragten haben exklusiven Zugang zu fachspezifischen Informationen, wie beispielsweise zur Funktionsweise der Entrappmaschine, nutzerbezogenen Aspekten der Interfaces oder spezifischen didaktischen Methoden. Obwohl Experteninterviews viele Stärken aufweisen, empfiehlt Bogner et al. (2014) für die Erhebung von technischem Wissen alternative Datenerhebungsmethoden, wie die Analyse von Materialien, Statistiken, Dokumenten oder Fachbüchern, da diese oft zielführender sind. Das *Prozesswissen* beinhaltet Einblicke in Handlungsabläufe, organisatorische Zusammenhänge und Ereignisse, an denen die Befragten beteiligt sind oder waren. Ein Beispiel hierfür wäre der Gewinn von Informationen über den Entwicklungsprozess einer VR-Lernanwendung oder lernorganisatorische Aspekte wie Räumlichkeiten und zeitliche Abläufe beim VR-gestützten Lernen. Drittens beinhaltet das *Deutungswissen* subjektive

Einschätzungen, persönliche Perspektiven und Interpretationen der Experten, was im Kontext der Expertenevaluation besonders interessant ist. Hierbei ist nicht nur die systematische und reflektierte Form des Expertenwissens von Bedeutung, sondern auch dessen praxis- und sozialrelevante Anwendung, die es zu einer orientierungs- und handlungsleitenden Ressource für andere Beteiligte macht (Bogner et al. 2002, S. 45). Bei Expertenbefragungen, bei denen der Gewinn von Deutungswissen im Mittelpunkt steht, sind die Expertinnen und Experten selbst der Forschungsgegenstand der Studie. Dennoch können sie wertvolle Informationen liefern, um Einblicke in die eigentliche Zielgruppe der VR-Lernanwendung, nämlich die Studierenden, zu erhalten.

5.2 Forschungsdesign

Das Forschungsdesign dieser Arbeit basiert auf dem Einsatz kombinierter Forschungsmethoden, welches als Mixed-Methods-Design bezeichnet wird. Das Mixed-Methods-Design ist eine Forschungsstrategie, die den Einsatz sowohl quantitativer als auch qualitativer Methoden in einer einzelnen Studie oder in einer Serie von Studien umfasst, welche dasselbe Untersuchungsthema erforschen (Leech & Onwuegbuzie 2009, S. 267). Die Mixed-Methods-Evaluierungsstudie kann entweder als Zwei-Studien-Designs oder als integrierte Designs durchgeführt werden (Auer-Srnka 2009, S. 463). Bei Zwei-Studien-Designs in der Mixed-Methods-Forschung erfolgt die Erhebung und Analyse von qualitativen und quantitativen Daten entweder sequenziell oder parallel. Bei integrierten Designs in der Mixed-Methods-Forschung stellen entweder qualitative oder quantitative Daten den Ausgangspunkt der Analyse dar, auf dessen Basis die weitere Forschung durchgeführt wird. Im Rahmen dieser Arbeit wird ein paralleles Modell des Zwei-Studien-Forschungsdesigns angewendet, bei dem qualitative und quantitative Methoden gleichzeitig eingesetzt und anschließend in der Auswertungsphase zusammengeführt werden. Greene et al. (1989) weisen darauf hin, dass wenn die Ergebnisse dieser Methoden übereinstimmen oder sich gegenseitig bestätigen, dann verbessert sich die Validität der Forschungsergebnisse. Die Abbildung 5.1 zeigt das Ablaufschema eines parallelen Designs im Überblick.

In der Konzeptionsphase des parallelen Mixed-Methods-Designs bildet die Definition der Fragestellungen den Ausgangspunkt, die als Meta-Fragestellung bezeichnet wird und einen übergeordneten Teilprozess darstellt (Foscht et al. 2009). Hierbei werden die Ziele und Fragestellungen definiert. Um ein ganzheitliches Ergebnis der Evaluationsstudie zu gewährleisten, müssen übergeordnete Kategorien definiert werden, anhand derer die gewonnenen Daten aus beiden Methoden zusammengeführt werden (Auer-Srnka 2009, S. 479).

Nach Abschluss der Konzeptionsphase startet die empirische Phase der Studie mit der Datenerhebung und der Datenanalyse. Die Datenerhebung gliedert sich in zwei Abschnitte: Im quantitativen Teil der Studie werden Daten über strukturierte Aussagen, die mittels einer Likert-Skala bewertet werden, erhoben. Der qualitative Teil besteht aus der Sammlung von Daten durch Experteninterviews. Die gesammelten Daten bilden die Basis für die nachfolgende Phase der Datenanalyse. In der quantitativen Untersuchungsstudie resultiert am Ende dieser Phase eine Datenmatrix, die hauptsächlich aus Zahlen besteht. In der qualitativen Studie werden die überwiegend verbalen Daten durch Verschriftlichung für eine optimale Analyse aufbereitet (Kuckartz 2014, S. 63). Nach Abschluss der Datenerhebung findet die Analyse der gesammelten Daten statt.

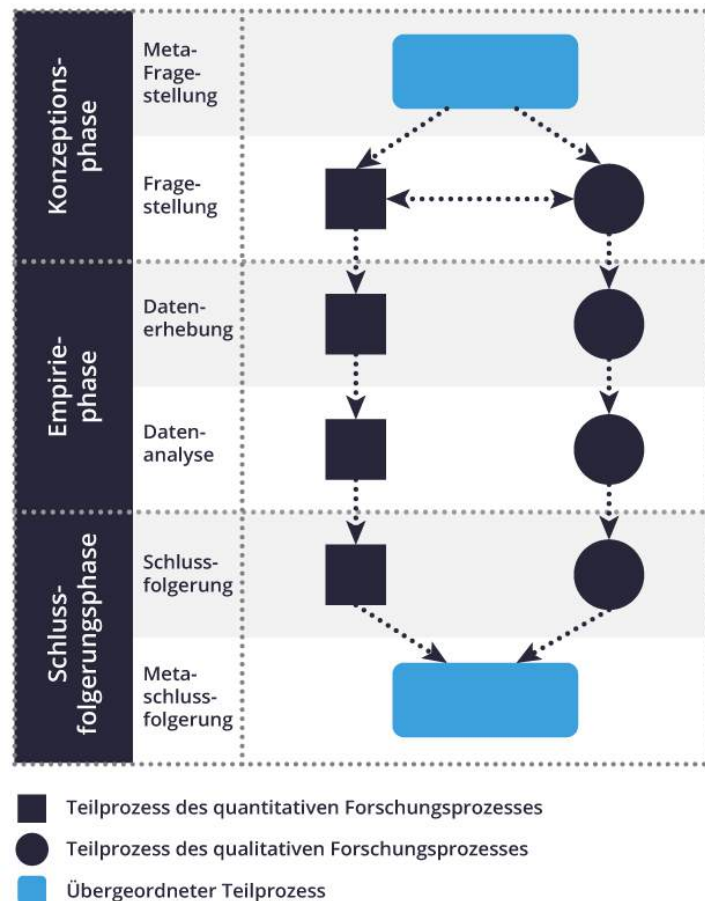


Abbildung 5.1: Ablaufschema eines parallelen Designs.
Quelle: Eigene Darstellung nach Foscht et al. (2009, S. 254)

In der Schlussfolgerungsphase werden finale Beurteilungen vorgenommen und weitergehende Interpretationen der Ergebnisse durchgeführt. Die Meta-Schlussfolgerung umfasst sowohl quantitative als auch qualitative Methoden. Durch die Kombination dieser Untersuchungsdesigns in einem Mixed-Methods-Forschungsansatz wird die zentrale Meta-Fragestellung beantwortet.

5.2.1 Teilnehmende

Als Kriterium für die Auswahl der Experten gilt die Befragung von Personen, die über spezifisches Expertenwissen zu einzelnen Aspekten des Untersuchungsthemas verfügen (Dimitrova 2009, S. 120). Im Kontext der VR-Lernanwendung, die im Rahmen dieser Arbeit entwickelt wurde, können Expertinnen und Experten aus den Bereichen Virtual Reality, Didaktik, Mensch-Maschine-Interaktion, Biotechnologie sowie Weinherstellung herangezogen werden.

5.2.2 Zielsetzung und Fragestellungen

Für die Evaluation der VR-Lernanwendung wird die Meta-Fragestellung wie folgt festgelegt: *Inwieweit hat die VR-Lernanwendung die festgelegten Ziele erreicht?* Für diese Bewertung wird das Analyseschema herangezogen, das in der Konzeptionsphase vor der Entwicklung erstellt wurde und eine Beschreibung des Projekts sowie seiner Ziele enthält. Dieses Schema ist in Tabelle 4.1 dargestellt.

Darüber hinaus muss beurteilt werden, in welchem Maße die VR-Lernanwendung die gesteckten Ziele hinsichtlich der didaktischen Methode, der Lernergebnisse und der Ziele des Instruktionsdesigns erreicht hat. Hierbei werden die folgenden Aspekte detailliert analysiert:

1. Didaktische Methode: Es wird geprüft, inwieweit die entwickelte VR-Lernanwendung dem gewählten didaktischen Ansatz entspricht, der sich als expositorischer Instruktionsansatz charakterisiert, bei dem das Lernen entlang eines festgelegten Lernpfades erfolgt.
2. Lernergebnisse: Es wird beurteilt, inwiefern die VR-Lernanwendung zum Erwerb von Faktenwissen, konzeptuellem Wissen und prozeduralem Wissen beiträgt.
3. Ziele des Instruktionsdesigns: Es wird analysiert, inwiefern die VR-Lernanwendung die Ziele des Instruktionsdesigns durch den Einsatz von Gestaltungsprinzipien erreicht hat.

5.2.3 Methoden

Quantitative Teilstudie

In der quantitativen Teilstudie werden die Expertinnen und Experten gebeten, ihre Zustimmung zu verschiedenen Aussagen auf einer Likert-Skala anzugeben. Die Fragen wurden nach Kategorien sortiert. Tabelle 5.1 zeigt Aussagen zur Bewertung der VR-Lernanwendung bezüglich der didaktischen Methode. Diese Methode wurde bereits in der Konzeptionsphase festgelegt und in Tabelle 4.1 vor Beginn der Entwicklung wie folgt definiert: „linear organisierte Sequenz sowie einen expositorischen Instruktionsansatz, bei dem das Lernen entlang eines vorgegebenen Lernpfades stattfindet.“

Kategorie 1: Didaktische Methode	
ID	Aussage
1	Die VR-Anwendung ist darauf ausgelegt, Lernende schrittweise durch den Lernprozess zu führen.
2	Die Lerninhalte wurden in einer klaren und linearen Sequenz präsentiert.
3	Die VR-Anwendung zeigt deutlich an, ob eine Aufgabe erfolgreich abgeschlossen wurde oder nicht.
4	Die VR-Anwendung macht stets klar, welche Schritte die Lernende als Nächstes ausführen sollen.

Tabelle 5.1: Aussagen zur Bewertung der VR-Lernanwendung auf einer Likert-Skala bezüglich der ausgewählten didaktischen Methode

In Tabelle 5.2 sind Aussagen aufgeführt, mit deren Hilfe Expertinnen und Experten bewerten, in welchem Ausmaß die entwickelten Lernaufgaben zum Lernergebnis beitragen. Diese Aussagen basieren auf einer Strukturierung des Wissens nach Art, die bereits in der Konzeptionsphase festgelegt und in Tabelle 4.2 dargestellt wurde.

Tabelle 5.3 präsentiert die Aussagen, mit denen auf einer Likert-Skala bewertet wird, ob die entwickelte VR-Lernanwendung die gesteckten Ziele hinsichtlich der Ziele des Instruktionsdesigns erreicht hat. Geprüft werden die Merkmale der Anwendung, die auf Grundlage von Gestaltungsprinzipien eingesetzt wurden, in Abschnitt 4.5 detailliert beschrieben sind.

Kategorie 2: Lernergebnisse		
ID	Aussage	Wissenstyp
6	Die VR-Anwendung präsentiert fachspezifische Begriffe wie „Entrappmaschine“ oder „Maische“ so klar und verständlich, dass sie leicht zu merken und anzuwenden sind.	Faktenwissen
7	Die VR-Anwendung präsentiert Daten wie Anzahl der Umdrehungen der Welle in der Entrappmaschine und Zuckergehalt klar, sodass die Fakten leicht zu merken und wiederzugeben sind.	Faktenwissen
8	Die VR-Anwendung zeigt den Aufbau und die Funktion der Entrappmaschine klar und verständlich.	konzeptuelles Wissen.
9	Die VR-Anwendung erklärt, welche Rolle der Schwefelprozess oder die Fermentation im Weinherstellungsprozess spielen, auf eingehende und verständliche Weise.	konzeptuelles Wissen
10	Die VR-Anwendung stellt den gesamten Weinproduktionsprozess, von der Traubenladung bis zum Etikettieren, klar und verständlich dar.	prozedurales Wissen
11	Die VR-Anwendung erläutert die Kriterien, die zur Bestimmung des geeigneten Programms der Weinpresse verwendet werden, eingehend und klar.	prozedurales Wissen

Tabelle 5.2: Aussagen zur Bewertung der VR-Lernanwendung auf einer Likert-Skala hinsichtlich der Lernergebnisse

Kategorie 3: Ziele des Instruktionsdesigns		
ID	Aussage	Prinzip
14	In der VR-Anwendung wird Redundanz vermieden, das heißt, lernirrelevante Informationen werden nicht präsentiert.	Kohärenzprinzip
15	Lernrelevante Informationen und Objekte werden in der VR-Lernanwendung effektiv hervorgehoben, um auf mögliche Interaktionen hinzuweisen oder die Aufmerksamkeit zu lenken.	Signalisierungsprinzip
16	Die VR-Anwendung bietet klare Rückmeldungen auf Nutzeraktionen.	Feedback-Prinzip
17	In der VR-Lernanwendung werden vor komplexen Lernschritten vorbereitende Erklärungen gegeben, um ein besseres Verständnis der Lernenden zu gewährleisten.	Pre-Training-Prinzip
18	Die Texte für Instruktionen werden im persönlichen Unterhaltungsstil formuliert.	Personalisierungsprinzip

Tabelle 5.3: Aussagen zur Bewertung auf einer Likert-Skala hinsichtlich der Ziele des Instruktionsdesigns

Qualitative Teilstudie

Die qualitative Teilstudie basiert auf explorativ-informatorischen Experteninterviews. Ziel dieser Interviews ist es, mögliche Deutungen der befragten Expertinnen und Experten zu erlangen und Informationen zu gewinnen. Allerdings sollen dabei nicht gezielt spezifische Wissenslücken geschlossen werden, sondern vielmehr ein breites Spektrum an Informationen und Fachwissen gesammelt werden (Bogner et al. 2014, S. 24). Dies ermöglicht eine umfassende Bewertung der VR-Lernanwendung gemäß den festgelegten Zielen und bietet Einblicke in die Stärken und Schwächen der Anwendung, nicht nur in Bezug auf konkrete Gestaltungsaspekte oder spezifische Lernergebnisse, sondern auch im allgemeinen Bildungskontext.

Zur Vorbereitung und Durchführung dieser Interviews wird ein teilstandardisierter Leitfaden erstellt, der bereits konkrete Frageformulierungen enthält. Dieser Leitfaden strukturiert das Themenfeld der Untersuchung und dient gleichzeitig als praktisches Hilfsmittel während der Datener-

hebung (Bogner et al. 2014, S. 27). Durch die vorab festgelegten Fragen wird eine gewisse Vergleichbarkeit der Interviews gewährleistet, während dennoch Raum für individuelle Antworten und weitere Erkundungen bleibt. Dabei werden persönliche Meinungen und Perspektiven zum Einsatz von VR in der Lehre für Biotechnologie erfasst, einschließlich allgemeiner Einschätzungen, individueller Erfahrungen und möglicher Unterstützungsmaßnahmen sowie Empfehlungen für die weitere Entwicklung der VR-Lernanwendung.

Im Folgenden wird der Leitfaden detailliert beschrieben, der als Grundlage für die Experteninterviews dient. Die Anfangsphase des Interviews beginnt mit der Einführungs- bzw. Vorstellungsphase, in der die interviewende Person vorgestellt und das Thema der Untersuchung erklärt wird (Bogner et al. 2014, S. 59). Einen Überblick bietet das Analyseschema, das in der Konzeptionsphase des Projektes ausgearbeitet und in Tabelle 4.1 dargestellt wurde. Zudem wird um Erlaubnis zur Audioaufzeichnung gebeten, gegebenenfalls mit Zusicherung der Anonymität. Danach folgen die Hauptfragen, die in die Themenbereiche Allgemeine Bewertung, persönliche Erfahrungen, Didaktische Methode, Inhalte und Gestaltung sowie Verbesserungsvorschläge unterteilt sind und in Tabelle 5.4 aufgeführt sind. Am Ende des Interviews empfiehlt Bogner et al. (2014, S. 61), den Leitfaden selbst zum Thema zu machen, wobei folgende Fragen gestellt werden: *„Alles in allem – haben Sie den Eindruck, dass wir noch Punkte, die aus Ihrer Sicht relevant sind, für unsere Untersuchung vergessen haben? Hätten Sie noch etwas zu ergänzen?“*.

ID	Frage
Allgemeine Bewertung	
1	Wie bewerten Sie generell den Einsatz von VR-Technologie in der biotechnologischen Lehre?
2	Welche Aspekte der VR-Lernanwendung haben Ihnen besonders gut gefallen und warum?
3	Welche Aspekte der VR-Lernanwendung haben Ihnen nicht gefallen und warum?
4	Wie bewerten Sie die Interaktivität der VR-Lernanwendung im Vergleich zu traditionellen Lernmethoden?
Konkrete Beispiele und Erfahrungen	
5	Welche persönlichen Erfahrungen haben Sie mit VR-Lernanwendungen gemacht, und wie haben diese Ihre Lehrtätigkeit beeinflusst?
6	Haben Sie Beispiele dafür, wie die VR-Lernanwendung das Lernen und Verstehen der Studierenden im Vergleich zu herkömmlichen Lernmethoden verbessert hat? Wenn ja, welche?
7	Welche Herausforderungen sehen Sie bei der Integration von VR-Lernanwendungen in den bestehenden Lehrplan?
8	Welche Herausforderungen oder Nachteile haben Sie beim Einsatz von VR in der Lehre erlebt?
Didaktische Methode	
9	In welchem Maße hat die VR-Lernanwendung Ihre Erwartungen hinsichtlich der didaktischen Methode erfüllt oder nicht erfüllt?
10	Wie finden Sie die Struktur und Sequenzierung der Lerninhalte in der VR-Anwendung?
11	Was sind Ihrer Meinung nach die Vor- und Nachteile der VR-Anwendung, bei der der Lernweg von einem System gesteuert wird, wobei die Lernenden einem klar definierten Lernpfad folgen?
12	Wie viel Spielraum halten Sie für angemessen, um in einer Lernumgebung die biotechnologischen Prozesse zu erkunden?
Inhalte und Gestaltung	
13	Gibt es Elemente oder Funktionen in der VR-Lernanwendung, die Sie als hinderlich empfunden haben? Wenn ja, welche und warum?
14	Welche spezifischen biotechnologischen Themen oder Prozesse eignen sich Ihrer Meinung nach besonders gut für die Vermittlung mittels VR?
15	Bei welchen Inhalten ist das Lernen mit VR weniger effektiv?
16	Wie hat sich die VR-Lernanwendung auf Ihr Verständnis und Ihre Wahrnehmung der biotechnologischen Prozesse der Weinherstellung ausgewirkt?
17	In welchem Maße sollte eine VR-Lernumgebung realistische Simulationen bieten, und warum ist dies Ihrer Meinung nach wichtig?
18	Wie wichtig ist Ihnen die grafische und visuelle Gestaltung einer VR-Lernanwendung für deren Effektivität?
Verbesserungsvorschläge und Potenziale	
24	Welche weiteren Inhalte oder Themen würden Sie gerne in zukünftigen VR-Lernanwendungen sehen?
23	Welche technischen oder inhaltlichen Verbesserungen würden Sie für zukünftige Versionen der VR-Lernanwendung vorschlagen?
25	In welchen Bereichen sehen Sie das größte Potenzial für VR-Anwendungen in der biotechnologischen Ausbildung?
26	Wie könnte die VR-Lernanwendung besser auf individuelle Lernbedürfnisse und -geschwindigkeiten eingehen?

Tabelle 5.4: Hauptfragen für Experteninterview

5.3 Vorstudie

Das entwickelte Forschungsdesign zur Evaluation der VR-Lernanwendung für Biotechnologie wird in dieser Arbeit von Expertinnen und Experten bewertet. Diese Vorstudie wird in Form von Expertengesprächen durchgeführt. Ziel ist es, Feedback und Anregungen zu erhalten, um das Forschungsdesign weiter zu optimieren und sicherzustellen, dass es den Anforderungen der wissenschaftlichen und praktischen Evaluation entspricht. Im Folgenden werden die Expertenauswahl, die Interviewdurchführung sowie die Ergebnisse der Vorstudie dargestellt.

5.3.1 Teilnehmende

An der Vorstudie nehmen Expertinnen und Experten aus den Bereichen Biotechnologie, Virtuelle Realität und Didaktik teil. Sie stammen aus verschiedenen Fachrichtungen, haben jedoch gemeinsam, dass ihr Wissen und ihre Erfahrung im Bildungskontext und in der Hochschullehre angesiedelt sind.

Tabelle 5.5: Übersicht der befragten Expertinnen und Experten

Name	Institution	Datum	Bereich
Prof. Dr. Jana Rödiger	Hochschule Anhalt	16.05.2024	Biotechnologie
Prof. Dr. Johannes Tümler	Hochschule Anhalt	22.05.2024	Extended Reality (xR)
Dr. Beata Walter	Hochschule Anhalt	22.05.2024	Didaktik

5.3.2 Interviewführung

Die Experteninterviews werden möglichst offen geführt. Mit Hilfe einer vorbereiteten Liste offener (Leit-)Fragen als Gesprächsgrundlage wird bewertet, ob das Forschungsdesign die gesteckten Ziele erreicht und die VR-Lernanwendung angemessen evaluiert. Die Interviews werden auf der Grundlage forschungsleitender Annahmen geführt. Diese Annahmen geben die Struktur des Interviewleitfadens vor, welcher die Durchführung der Interviews unterstützt (Dimitrova 2009). Im Folgenden sind die Grundannahmen für die Leitfadeninterviews aufgeführt:

- Das gewählte Forschungsmodell ist geeignet, um das konkrete Ziel des Forschungsprojekts zu erreichen.
- Die Auswahlkriterien der Expertinnen und Experten sind angemessen für die Durchführung der Expertenevaluation.
- Die Fragebögen und offenen Fragen sind so gestaltet, dass sie eine fundierte Bewertung ermöglichen, ob die VR-Lernanwendung die gesetzten Ziele erreicht hat.

Die Interviews werden entweder online oder in persönlichen Treffen durchgeführt. Die Teilnehmenden erhalten vorab eine Beschreibung des Forschungsdesigns und eine Liste der Fragen für die Teilstudien. Zudem wird um Erlaubnis zur Audioaufzeichnung gebeten.

Während der Interviews werden folgende Fragen gestellt:

1. Wie gut passt Ihrer Meinung nach das gewählte Forschungsmodell zum konkreten Ziel des Forschungsprojekts?
2. Inwiefern sind die Auswahlkriterien für die Expertinnen und Experten Ihrer Meinung nach geeignet für die Durchführung der Expertenevaluation?
3. Wie beurteilen Sie die Fragebögen und offenen Fragen in Bezug darauf, ob sie eine fundierte Bewertung ermöglichen, ob die VR-Lernanwendung die gesetzten Ziele erreicht hat?
4. Welche Vorschläge haben Sie zur Korrektur der Fragen oder zur Verbesserung der Forschungsansätze?

5.3.3 Transkriptions- und Auswertungsverfahren

Die Expertengespräche wurden mit Genehmigung mit einem Smartphone aufgenommen und anschließend transkribiert. Die Transkripte wurden durch das schlichte Abtippen des Aufgenommenen von Hand erstellt. Dabei wurde auf eine vollständige Transkription, einschließlich Füllwörtern und Gesprächspausen, verzichtet. Der Schwerpunkt lag dabei auf dem inhaltlichen Gehalt der Aussagen. Diese Methode der Transkription folgt den Empfehlungen, nur so viel und so detailliert zu transkribieren, wie es für die jeweilige Fragestellung erforderlich ist (Dimitrova 2009, S. 112).

Für die Auswertung von Experteninterviews existiert bislang kein standardisiertes Verfahren, da sich noch keine spezifische Methode für diese Art von Interviews durchgesetzt hat (Bogner et al. 2014, S. 71). In dieser Arbeit wurde so nah wie möglich am Material gearbeitet, während es gleichzeitig strukturiert und in Kategorien eingeteilt wurde.

5.3.4 Auswertung

Im Folgenden werden die Hauptaussagen aus den Experteninterviews, entsprechend den zugeordneten Kategorien, dargestellt.

Das Forschungsdesign

Alle Befragten waren sich einig, dass das Mixed-Methods-Design in Form einer parallelen Vorgehensweise für das Ziel des Forschungsdesigns geeignet ist. Dabei werden unterschiedliche Fragestellungen und Aspekte parallel und unabhängig voneinander beantwortet und können zum Schluss zusammengeführt werden. [Didaktik] bemerkte zudem:

„Durch Experteninterviews (qualitative Studien) erhält man wesentlich mehr Informationen, die jedoch schwieriger zu strukturieren, zu clustern und zusammenzufassen sind. Quantitative Daten eignen sich hervorragend für die visuelle Darstellung, während qualitative Inhalte inhaltlich tiefergehend sind.“

Obwohl die Mixed-Methods-Technik für viele Arten von Forschungsproblemen geeignet ist, erfordert sie eine umfassende Auseinandersetzung mit der entsprechenden Methodenliteratur, fundierte Kenntnisse, detaillierte Vergleiche und sorgfältige Evaluationen. [Biotechnologie] betonte:

„Um das Konzept wirklich bewerten zu können, wäre es notwendig, einen fundierten Vergleich durchzuführen. Ob es tatsächlich das geeignetste ist, muss separat untersucht und mit anderen Modellen verglichen werden. Dabei sollten Evaluierungen durchgeführt und die Ergebnisse sorgfältig verglichen werden. Allerdings kann dies die Aufgabe einer anderen Masterarbeit sein und in einen anderen Schwerpunktbereich fallen.“

Auswahlkriterien für die Teilnehmende

Insgesamt fanden alle Befragten die Auswahl der Expertinnen und Experten aus den Bereichen Virtual Reality, Didaktik, Mensch-Maschine-Interaktion, Biotechnologie sowie Weinherstellung für die Evaluation der VR-Lernanwendung optimal. Allerdings wurden Anmerkungen gemacht und Verbesserungen sowie Ergänzungen vorgeschlagen. Es wurde festgestellt, dass im Forschungsdesign lediglich Bereiche aufgezählt wurden, jedoch keine Kriterien festgelegt, die bestimmen, ob jemand als Experte für das ausgewählte Untersuchungsthema angesehen werden kann. [xR] bemerkte:

„Es stellt sich die Frage, ab wann man als Experte oder Expertin gilt und was dies genau bedeutet. Beispielsweise könnte festgelegt werden, dass eine Person mindestens fünf Jahre in diesem Feld gearbeitet haben muss, um im Rahmen dieses Experteninterviews als geeignet zu gelten. Welches Kriterium bestimmt, unter welchen Bedingungen jemand als Experte angesehen wird? Reicht es, beispielsweise, einen Studenten aus dem fünften Fachsemester der Lebensmitteltechnologie als Experten zu betrachten, oder genügt dies nicht?“

Zur Auswahl der Expertenbereiche wurden einige Ergänzungsvorschläge gemacht. [Didaktik] wies darauf hin, dass aufgrund der Ähnlichkeiten von VR-Anwendungen mit Computerspielen auch Interviews mit Expertinnen und Experten aus dem Bereich Spieleentwicklung relevant sein könnten. Sie bemerkte:

„Je nachdem, welchen Fokus die Untersuchung hat, könnte das Ziel unter anderem darin bestehen, eine unterhaltsame Lernanwendung zu entwickeln. Experten aus dem Bereich der Spieleentwicklung könnten dann Rückmeldung geben, ob bestimmte Aspekte und Elemente gut umgesetzt wurden. Wenn der Unterhaltungswert ebenfalls im Fokus liegt, wäre die Rubrik Spieleentwicklung möglicherweise besonders interessant.“

Ein wichtiger Aspekt bei Experteninterviews aus verschiedenen Bereichen, den alle Befragten betonten, ist der unterschiedliche Hintergrund der Teilnehmenden. Dieser kann die Ergebnisse entsprechend beeinflussen und muss im Forschungsdesign und in der Auswertungsphase berücksichtigt werden. [Biotechnologie] sagte:

„Unterschiedliche Hintergründe, beispielsweise in Biotechnologie oder VR, können die Ergebnisse stark beeinflussen. Experten aus den Bereichen VR oder Mensch-Maschine-Interaktion hinterfragen oder kritisieren die Lerninhalte der VR-Anwendung möglicherweise nicht so sehr, da sie diese als gegeben hinnehmen, weil ihnen das spezifische Fachwissen im Bereich Weinherstellung fehlt. Ein Weinexperte hingegen, der sich intensiv mit dem Weinprozess auskennt, vermisst möglicherweise mehr faktisches Wissen als die anderen Experten. Dadurch wird deutlich, dass unterschiedliche Experten eine unterschiedliche Detailebene und Verständlichkeit anstreben.“

Dieser Aspekt steht in Zusammenhang mit der Anzahl der befragten Personen. [xR] betont die Wichtigkeit der Anzahl der Befragten in Bezug auf ihre Hintergründe, insbesondere im quantitativen Teil der Studie:

„Wenn beispielsweise untersucht werden soll, ob es Unterschiede in den Antworten von Expertinnen und Experten aus der Biotechnologie im Vergleich zu denen aus der Informatik gibt, ist eine ausreichende Anzahl von Befragten pro Gruppe erforderlich, um statistisch signifikante Unterschiede erkennen zu können. Jede Gruppe sollte eine angemessene Anzahl von Personen umfassen, um verlässliche Ergebnisse zu gewährleisten.“

Auch [Biotechnologie] bemerkte, dass man die Frage weiterführend stellen kann, indem man die Antworten hinsichtlich des Hintergrundes der Experten auswertet:

„Da natürlich jeder Experte seine eigene spezifische Zielgruppe und auch seinen eigenen Hintergrund hat, wäre es sicherlich auch interessant zu untersuchen, welche Punkte beispielsweise von Weinherstellern kritisch gesehen werden, die von Experten aus dem Bereich VR sehr positiv bewertet werden und umgekehrt. Letztendlich wäre eine statistische Auswertung erforderlich, um zu ermitteln, inwieweit der Hintergrund des Experten die Antworten beeinflusst. Dies lässt sich jedoch nur durchführen, wenn eine ausreichende Anzahl an befragten Experten vorhanden ist. Bei einer sehr geringen Anzahl von befragten Experten wäre eine solche statistische Auswertung möglicherweise nicht sinnvoll.“

Durch eine solche Auswertung können Verbesserungspotenziale herausgefunden werden, wobei die Expertinnen und Experten aus jedem Bereich übereinstimmende Meinungen haben. [Biotechnologie] sagte dazu:

„Wenn Experten für Mensch-Maschine-Interaktion und Experten aus der Biotechnologie gleichermaßen angeben, dass das Feedback nicht gut war, deutet dies darauf hin, dass die Auswertung oder Einschätzung unabhängig vom Expertenhintergrund ist.“

Fragebögen und offene Fragen

Alle Befragten fanden die Fragebögen und offenen Fragen geeignet, um zu bewerten, ob die VR-Lernanwendung die gesetzten Ziele erreicht hat. [Biotechnologie] vermutete, dass offene Fragen aus der Kategorie „Konkrete Beispiele und Erfahrungen“ für Experteninterviews möglicherweise nicht zwingend erforderlich sind, da sie nicht relevant für die Beurteilung der Ziele der VR-Lernanwendung sein könnten. [xR] hielt die Kategorien der Fragen für angemessen, betonte jedoch die Wichtigkeit der korrekten Formulierung der Fragen:

„Die Fragen selbst sollten das Ergebnis bzw. die Antworten nicht beeinflussen, um Verzerrungen (Bias) zu vermeiden. Auf der anderen Seite müssen die Fragen konkret und klar formuliert sein. Dies ist eine anspruchsvolle Aufgabe, da die Formulierung solcher Fragen nicht trivial ist.“

Verbesserungsvorschläge und Korrekturen

Alle Befragten bemerkten, dass die Anzahl der Teilnehmenden eine wichtige Rolle in diesem Forschungsdesign spielt. Besonders im quantitativen Teil der Studie sollte die Stichprobe für eine statistische Auswertung möglichst groß sein. Insbesondere bei Expertenbefragungen könnte es eine Herausforderung sein, geeignete Personen zu finden, da es nur eine begrenzte Anzahl von Experten geben kann, deren themenrelevante Deutungen erhoben werden sollen. [Didaktik] schlug einen Ansatz für die Durchführung der Studien vor, um diese Zugangsprobleme zu überwinden. Dabei könnten einige Befragte sowohl an quantitativen als auch an qualitativen Studien teilnehmen. Allerdings bemerkte sie, dass dies Überlegungen zur Planung unter Berücksichtigung des Zeitaufwands und anderer Aspekte erfordert:

„Die Experten aus dem qualitativen Interview können auch quantitative Fragen beantworten, jedoch hängt dies davon ab, wie dies umgesetzt wird. Dies könnte die Ergebnisse beeinflussen, insbesondere wenn die Befragten zuerst den Fragebogen ausfüllen und anschließend sofort offene Fragen beantworten. Ein Zeitabstand von beispielsweise einer Woche dazwischen könnte sinnvoll sein. Auch der Zeitaufwand ist von Bedeutung, weshalb überlegt werden sollte, ob die Umfrage im Vorfeld per E-Mail verschickt und nicht parallel zum Experteninterview durchgeführt wird.“

[xR] schlug vor, für die Vorbereitungsphase des Forschungsdesigns genauer anzugeben, wie die Daten erhoben werden, beispielsweise vor Ort oder online. Er empfahl zudem, ein Ablaufschema hinzuzufügen, um den Prozess der Expertenevaluation in Form eines Flowcharts grafisch darzustellen, um die Abläufe klar und verständlich zu machen.

[Biotechnologie] betonte den Aspekt des Aufwands und der Machbarkeit bei der Expertenevaluation:

„Es muss berücksichtigt werden, wie viele Menschen befragt werden und welcher Aufwand für die Auswertung entsteht. Ebenso ist zu beachten, wie viel Zeit die Befragten maximal investieren können und wollen und ob der Zeitaufwand angemessen ist. Es könnte sinnvoll sein, die Dauer der Befragung zu verkürzen, da beispielsweise 26 offene Fragen aus den Experteninterviews zu viel sein könnten.“

Für die quantitative Teilstudie schlug [Didaktik] einige Änderungen am Fragebogen vor. Zum einen könnte die Auswahl der Bereiche mehrfach möglich sein:

„Ich würde die Personen selbst beurteilen lassen, ob sie in den quantitativen Fragebögen mehrere Bereiche angeben können, da jemand sowohl Experte für Weinherstellung als auch für Didaktik sein kann.“

Zum anderen wäre die Erhebung soziodemographischer Daten sinnvoll:

„Neben dem starken Fokus auf die Anwendung können auch Personenvariablen wie Alter, Geschlecht und Technikaffinität erfasst werden. Diese Faktoren können die Bewertung beeinflussen.“

[Didaktik] bemerkte, dass es auch sinnvoll wäre, die Fragebögen aus dem quantitativen Teil zu anonymisieren. Zudem empfahl sie, Rückmeldungen darüber zu erhalten, wie viel Interesse und Engagement die Probanden gezeigt haben:

„Es könnte eine allgemeine Frage zum Unterhaltungswert gestellt werden, um zu erfahren, ob die Anwendung Freude, Spaß oder Vergnügen bereitet hat. In der Pädagogik werden bestimmte Dinge eingesetzt, um Abwechslung in die Lehre zu bringen. Eine Einstiegsfrage könnte sein, wie wohl sich eine Person in der VR-Lernumgebung gefühlt hat.“

Neben Verbesserungsvorschlägen wurden auch Korrekturen zu den Fragen vorgeschlagen. In einer Diskussion mit [Didaktik] wurde festgelegt, dass die folgende offene Frage 12 aus der qualitativen Teilstudie nicht dem Ziel der Frage entspricht und überarbeitet werden sollte: „Wie viel Spielraum halten Sie für angemessen, um in einer Lernumgebung die biotechnologischen Prozesse zu erkunden?“.

Bei der qualitativen Frage 1: „Wie bewerten Sie generell den Einsatz von VR-Technologie in der biotechnologischen Lehre?“ bemerkte [Didaktik], dass einige Experten aus anderen Bereichen möglicherweise keine Kenntnisse über die Lehre in der Biotechnologie haben. Daher sollte diese Frage allgemeiner formuliert oder in zwei Teile aufgeteilt werden.

Bei der qualitativen Frage 17 „In welchem Maße sollte eine VR-Lernumgebung realistische Simulationen bieten, und warum ist dies Ihrer Meinung nach wichtig?“ wurde festgestellt, dass die Frage bereits die Annahme enthält, dass realistische Simulationen wichtig sind, was die Antwort beeinflussen kann. [Didaktik] schlug vor, sie folgendermaßen umzuformulieren: „In welchem Maße sollte eine VR-Lernumgebung realistische Simulationen bieten und warum? Begründen Sie bitte Ihre Antwort.“ [xR] erwähnte ebenfalls, dass Fragen korrekt formuliert werden müssen, um Verzerrungen zu vermeiden.

Anschließend wies [Didaktik] auf einen wichtigen Punkt in Bezug auf die Interviewfragen hin. Sie stellte fest, dass alle Fragen sich sehr stark auf den Inhalt konzentrieren, während beim Einsatz von VR in der Lehre auch organisatorische und didaktische Überlegungen berücksichtigt werden sollten:

„Didaktisch geht es beim Lernen häufig darum, wie das Lernen eingebettet wird: welche Vorbereitungen notwendig sind und was zur Nachbereitung erfolgen sollte. Wichtig ist auch, ob VR substitutiv, also als Ersatz, oder komplementär, also ergänzend, zur bestehenden Lehre eingesetzt wird. Es stellt sich die Frage, wie das VR-Lernangebot in ein didaktisches Design eingebettet werden kann. Die Experten aus dem Didaktikbereich können sich diese Fragen stellen.“

[Didaktik] hat dafür folgende Frage für die qualitative Teilstudie vorgeschlagen: „Wie würden Sie VR in Ihre Lehre einbetten?“ Sie bemerkte auch, dass dies möglicherweise ein anderes Forschungsdesign erfordern könnte. Daher schlug [Didaktik] vor, im Forschungsdesign explizit anzugeben und zu begründen, warum diese Fragen weggelassen werden:

„Im Forschungsdesign sollte eine klare Abgrenzung thematisiert werden: Es ist klar, dass die Aspekte der Lernorganisation und des didaktischen Einsatzes allgemein von großer

Bedeutung sind. Allerdings liegt der Fokus dieser Untersuchung auf der Bewertung der VR-Anwendung im Hinblick auf definierte Ziele, die Konzipierung, Gestaltung und Lernprozesse betreffen. Fragen zur didaktischen Einbettung und Lernorganisation sind komplexe Themen, die in einem separaten Untersuchungsdesign eingehend behandelt werden müssen.“

5.3.5 Diskussion

Während der Durchführung des Experteninterviews im Rahmen einer Vorstudie wurden Korrektur- und Verbesserungsvorschläge gesammelt und umgesetzt, wodurch das Forschungsdesign optimiert wird. Dies wird im Folgenden beschrieben.

Auswahlkriterien für Probanden

Für das vorliegende Forschungsdesign werden die Kriterien für die Auswahl der Probanden konkretisiert, wie [xR] vorgeschlagen hat. Dabei geht es um den Expertenstatus, der vom spezifischen Forschungsbereich und den jeweiligen Interessen abhängt (Bogner et al. 2014, S. 35). Meuser & Nagel (1991) definieren Expertinnen bzw. Experten als „FunktionsträgerInnen innerhalb eines organisatorischen oder institutionellen Kontextes“, die „Problemlösungen und Entscheidungsstrukturen (re)präsentieren“. Es geht dabei nicht um soziodemographische Merkmale, sondern vielmehr um die Fähigkeit, Entscheidungen zu treffen und diese durchzusetzen, in einem klar abgrenzbaren Problemkreis. Expertinnen und Experten, die über spezifisches Praxis- oder Erfahrungswissen verfügen, sind in der Lage, mit ihren Deutungen das konkrete Handlungsfeld sinnvoll für andere zu strukturieren (Bogner et al. 2014, S. 13). In diesem Sinne könnte ein Student aus dem fünften Fachsemester der Lebensmitteltechnologie, wie [xR] im Interview fragte, möglicherweise nicht über ausreichende praktische Erfahrungen und Durchsetzungskompetenz im Bereich der Weinherstellung verfügen, um zu beurteilen, ob das Fachwissen über den Weinherstellungsprozess in der VR-Lernanwendung korrekt dargestellt ist. Daher können laut Meuser & Nagel (1991) die folgenden Kriterien für den Expertenstatus gelten:

1. Verantwortung für den Entwurf, die Implementierung oder die Kontrolle einer Problemlösung tragen
2. Privilegierter Zugang zu Informationen über Personengruppen oder Entscheidungsprozesse

Hintergrund der Befragten

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Auswahl der zu befragenden Personen, der im Rahmen der Vorstudie hervorgehoben wurde, ist der Einfluss des professionellen Hintergrunds der Befragten auf die Ergebnisse.

Die Auswahl der Probanden für die Expertenevaluation der VR-Lernanwendung umfasst Fachleute aus den Bereichen Biotechnologie, Virtual Reality, Didaktik, Mensch-Maschine-Interaktion und Weinherstellung. Jede dieser Gruppen besteht aus mehreren Expertinnen und Experten, deren professioneller Hintergrund die Ergebnisse der Evaluation unterschiedlich beeinflussen kann.

Diese Heterogenität der Stichprobe ist bewusst gewählt, um ein breites Spektrum an Perspektiven und Fachwissen abzudecken. Es ist zu erwarten, dass die Einschätzungen der VR-Lernanwendung variieren, je nachdem, aus welcher Fachrichtung die Expertinnen kommen. Wie [Biotechnologie] anmerkte, könnten beispielsweise Expertinnen und Experten aus den Bereichen Virtuelle Realität oder Mensch-Maschine-Interaktion die technische Umsetzung anders bewerten als die Personen mit Expertise in der Weinherstellung, die möglicherweise mehr Wert auf die fachliche Genauigkeit und Anwendung in ihrem speziellen Bereich legen.

Angesichts der beschriebenen Heterogenität erscheint die Verwendung einer geschichteten Zufallsstichprobe („Stratified Sample“) besonders geeignet (Meyer & Reutterer 2009, S. 237). Bei diesem Verfahren wird die Grundgesamtheit der Expertinnen in verschiedene Schichten („Strata“) unterteilt, die jeweils eine spezifische Fachrichtung repräsentieren. Aus jeder Schicht wird dann eine Zufallsauswahl von Expertinnen getroffen. Dies ermöglicht eine repräsentative Erfassung der Meinungen und Bewertungen innerhalb jeder Fachrichtung und trägt zur Reduktion von Verzerrungen bei. Innerhalb jeder Schicht kann man eine möglichst homogene Auswahl zusammenstellen, um bestimmte Phänomene ganz genau analysieren zu können. Dies hat den Vorteil, dass man möglichst wenig durch die Vielfalt der Merkmale abgelenkt wird und somit nicht nur die groben, sondern auch die subtilen Unterschiede entdecken kann (Meyer & Reutterer 2009, S. 240).

Wie [Biotechnologie] anmerkte, wäre eine statistische Auswertung hinsichtlich des Experten-hintergrunds sinnvoll, daher sollte ein besonderes Augenmerk auf die Auswertung gelegt werden, wobei eine quantitative Untersuchung mittels multivariater Methoden durchgeführt werden könnte (Heimerl 2009, S. 394).

Stichprobengröße

Mit Blick auf die zuvor genannten Aspekte bezüglich der Experten-hintergründe, wie von [Biotechnologie] angemerkt, ist eine ausreichende Anzahl von Probanden erforderlich, um eine statistische Auswertung zu ermöglichen. [xR] hob ebenfalls hervor, dass innerhalb jeder Gruppe oder Schicht eine angemessene Anzahl von Personen umfasst sein sollte, um verlässliche Ergebnisse zu gewährleisten.

Hier gilt zunächst die allgemeine Regel, dass heterogene Zielgruppen größere Stichproben erfordern als homogene Zielgruppen (Bortz & Döring 2006, S. 130). Da die Gruppe der Probanden innerhalb jeder Schicht hinsichtlich der Fachrichtung homogen sind, kann die erforderliche Stichprobengröße im Vergleich zu heterogenen Zielgruppen, die durch vielfältige Merkmale gekennzeichnet sind, geringer ausfallen.

Besonders herausfordernd ist, dass die Evaluation der VR-Lernanwendung auch organisatorische Aspekte umfasst. Dazu gehört das Testen der VR-Lernanwendung mit einer VR-Brille, was zusätzlichen Organisations- und Zeitaufwand bedeutet. Aufgrund dieser Schwierigkeiten schlug [Didaktik] vor, dass die Expert*innen aus den qualitativen Interviews auch die quantitativen Fragen beantworten können.

Ausgehend von den oben genannten Aspekten können die Mindeststichprobengrößen für die quantitative Teilstudie 4 bis 5 Personen pro Fachrichtung betragen, was insgesamt 25 bis 30 Probanden umfasst. Aus dieser Stichprobe für die qualitative Teilstudie könnten dann 1 bis 2 Personen für jede Fachrichtung ausgewählt werden.

Jedoch merkte Riege (2009) an, dass die Mindestzahl der Befragten durch die Stabilität der konvergierenden Daten bestimmt wird, was bedeutet, dass diese Stabilität in einigen Fällen bereits nach wenigen Interviews erreicht werden kann, während in anderen Projekten eine größere Anzahl von Interviews erforderlich ist, um die wesentlichen Forschungsschwerpunkte herauszufiltern und deutliche Konvergenzen zu erkennen. Daher muss der Umfang der Stichprobe auf den Daten basieren und kann nicht im Voraus festgelegt werden (Riege 2009, S. 444).

Fragebogen und offene Fragen

Basierend auf dem Feedback von [Didaktik] wurden einige Änderungen am Fragebogen vorgenommen. Zum einen wurde die Möglichkeit hinzugefügt, mehrere Fachbereiche auszuwählen, um den unterschiedlichen Expertisen der Befragten gerecht zu werden. Zum anderen wurden soziodemografische Daten wie Alter, Geschlecht und Technikaffinität in den Fragebogen aufgenommen. Zusätzlich wurde der Fachbereich „Gameentwicklung“ hinzugefügt, da VR-Anwendungen sich in der Entwicklung und Interaktion mit Computerspielen ähneln. Schließlich wurde der Fragebogen anonymisiert, um die Vertraulichkeit der Antworten zu gewährleisten. Abbildung 5.2 zeigt einen Teil des überarbeiteten Fragebogens, der gesamte Fragebogen ist in Anhang A zu finden.

Fachbereich Bitte wählen Sie Ihren Fachbereich aus (Mehrfachnennungen möglich) ☐ Virtual Reality ☐ Biotechnologie ☐ Weinherstellung ☐ Mensch-Maschine Interaktion ☐ Didaktik ☐ Gameentwicklung ☐ Andere (bitte angeben):	Alter Geschlecht ☐ Weiblich ☐ Männlich ☐ keine Angabe										
Technikaffinität Wie würden Sie Ihre Technikaffinität einschätzen? <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>Sehr hoch</td> <td>Hoch</td> <td>Mittel</td> <td>Niedrig</td> <td>Sehr niedrig</td> </tr> <tr> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> </table>		Sehr hoch	Hoch	Mittel	Niedrig	Sehr niedrig	☐	☐	☐	☐	☐
Sehr hoch	Hoch	Mittel	Niedrig	Sehr niedrig							
☐	☐	☐	☐	☐							

**Hinweis: Alle Daten werden anonym erhoben.*

Abbildung 5.2: Fragebogen-Daten

Aufwand

[Biotechnologie] betonte, dass die Expertenevaluation mit erheblichem Aufwand verbunden sein kann, sowohl seitens der Interviewer als auch seitens der Probanden. Baumgartner (1999) merkt an, dass viele traditionelle Evaluationsmethoden für die Bewertung interaktiver Lernsoftware aufgrund der Kosten und des Zeitaufwands nicht praktikabel sein können. Dies ist insbesondere auf die Notwendigkeit zurückzuführen, die VR-Lernanwendung mit einer VR-Brille zu testen. Dies kann bedeuten, dass die benötigte Technik den Probanden zur Verfügung gestellt werden muss, was für die Interviewer zusätzlichen Zeitaufwand und Fahrtkosten bedeutet.

Für die befragten Personen sollte auch die Zeit für die Erprobung der VR-Lernanwendung in die Gesamtzeit des Interviews einberechnet werden. [Biotechnologie] bemerkte ebenfalls, dass 26 offene Fragen zu viel sein könnten. Wenn das Interview beispielsweise 45 Minuten dauert, beträgt die durchschnittliche Zeit für die Beantwortung einer Frage etwa 1,5 Minuten, was möglicherweise zu wenig ist. Daher wurden die offenen Fragen optimiert. Für jede Kategorie wurden nur noch ein bis zwei Fragen beibehalten. Die restlichen Fragen wurden in einen optionalen Abschnitt verschoben und dienen als unterstützende Fragen.

Lernorganisation und didaktische Überlegungen

[Didaktik] betonte, dass organisatorische und didaktische Überlegungen beim Einsatz von VR von großer Bedeutung sind, insbesondere wie das VR-Lernangebot in den gesamten Lehrplan eingebettet wird. Beispielsweise, ob VR als Ersatz oder als Ergänzung zur bestehenden Lehre eingesetzt wird und wie das erfolgen soll. Außerdem umfasst dies, welche Vorbereitungen erforderlich sind und welche Maßnahmen zur Nachbereitung getroffen werden sollten. Diese Aspekte gehören zum Bereich der mediendidaktischen Planung. Wie in Abschnitt 2.2.1 beschrieben wurde, ist die Lernorganisation ein eigenständiges Entscheidungsfeld, das alle Aspekte der zeitlichen, räumlichen und sozialen Gestaltung des Lernangebotes umfasst (Kerres 2024g, S. 250). Besonders bei der Anwendung von VR kann dies besonders relevant sein, weil der Technikeinsatz, beispielsweise VR-Brillen, andere Formen der Lernorganisation erforderlich macht. In der Konzeptionsphase der VR-Lernanwendung in dieser Arbeit wurde im Analyseschema festgelegt, dass das Lernangebot mittels kabelloser, akkubetriebener Standalone-VR-Headsets in Präsenzlehrveranstaltungen vor Ort umgesetzt wird, unterstützt durch kontinuierliche technische Betreuung, wie in Tabelle 4.1 dargestellt. Dies kann sowohl Zeitaufwand für Vor- und Nachbereitung als auch organisatorische und räumliche Anforderungen mit sich bringen.

[Didaktik] wies ebenfalls darauf hin, dass die Forschungsziele sich sehr stark auf den Inhalt der VR-Lernanwendung konzentrieren. Dies entspricht dem Konzept von Mulders et al. (2022), das das Lernen innerhalb der VR beschreibt und als Lernen „in VR“ bezeichnet. Dies ist Teil des M-iVRL-Modells, das in Abschnitt 2.3.4 beschrieben wurde. Dabei liegt der Fokus auf Lernprozessen, die während des Lernens in der virtuellen Umgebung stattfinden, und auf gestalterischen Aspekten der VR-Lernumgebung, um diese Lernprozesse an den zugrunde liegenden Lehr- und Lernzielen zu orientieren. Mulders et al. (2022) erweitern in ihrem Modell die Erfahrung innerhalb der virtuellen Umgebung um die Komponente der Lerninstruktion (Briefing) und die Auswertung (De-Briefing), die außerhalb der VR stattfinden und als das Lernen „über VR“ bezeichnet werden. Zu den Aktivitäten außerhalb der VR gehören auch die Vorbereitung je nach individuellem Vorwissen der Lernenden (Mulders et al. 2020) sowie konstruktive Lernaktivitäten, um den Transfer in praktische

Anwendungskontexte zu unterstützen (Mulders et al. 2022).

Ein weiterer Aspekt, den [Didaktik] erwähnte, ist die didaktisch sinnvolle Einbettung von VR in der Lehre. In der Konzeptionsphase gehören diese Überlegungen zu den Methoden- und Medienentscheidungen. Die Entscheidung zugunsten eines Mediums, in diesem Fall VR, sollte auf Bildungsbedürfnissen basieren, bei denen die Affordanzen der VR das Lernen besonders unterstützen können. Daher bezieht sich die Frage der Einbettung von VR in der Lehre auf die didaktische Konzeption, wobei VR einen Mehrwert gegenüber herkömmlichen Methoden bieten soll und damit eine nachhaltige Veränderung von Lehr- und Lernpraktiken bewirkt.

Ablaufschema und Daten-Erhebungsmethoden

Nach den Empfehlungen von [Didaktik] und [xR] wurden die Erhebungsmethoden überarbeitet und Ablaufschemata erstellt. Die Expertenbefragungen können sowohl vor Ort als auch online erfolgen. Probanden, die eine VR-Brille besitzen, können auf Wunsch eine APK-Datei per E-Mail erhalten, die sie auf ihrer VR-Brille installieren können. Probanden vor Ort wird eine VR-Brille zur Verfügung gestellt. Der allgemeine Ablauf der quantitativen Teilstudie ist in Abbildung 5.3 dargestellt. Zunächst wird das Thema erläutert und die Projektziele vorgestellt. Danach folgt eine kurze Einführung und ein Training, die sowohl Instruktionen in der Realität als auch in der VR-Umgebung umfassen. Zunächst wird den Probanden bei Bedarf gezeigt, wie die Controller bedient und die VR-Brille angepasst werden. In der VR-Umgebung lernen die Probanden, wie sie Objekte greifen und sich bewegen können. Danach erfolgt das eigentliche Testen der VR-Lernanwendung. Anschließend werden Fragebögen ausgefüllt.



Abbildung 5.3: Ablaufschema für quantitative Teilstudie. Icons von Slidicon (2024) auf Flaticon.com

Das Ablaufschema für die quantitative Teilstudie ist in Abbildung 5.4 dargestellt. Der Leitfaden für die Interviewführung wurde in Abschnitt 5.2.3 beschrieben. Nach der Vorstellungsphase erfolgt das Testen der VR-Lernanwendung, danach wird das Interview durchgeführt. Wie mit [Didaktik] besprochen, nehmen einige Probanden, die an der quantitativen Teilstudie teilnehmen, auch an der qualitativen Teilstudie teil, mit einem Abstand von einer Woche.



Abbildung 5.4: Ablaufschema für qualitative Teilstudie. Icons von Slidicon (2024) auf Flaticon.com

Es wurde eine Checkliste erstellt, die alle zentralen Elemente des Interviews enthält, basierend auf dem Ablaufschema und einschließlich offener Fragen. Diese Checkliste kann während des Interviews verwendet werden. Einige Punkte in der Checkliste für die Einleitungsphase und die abschließende Phase des Interviews basieren auf Bogner et al. (2014, S. 59). Auf Abbildung 5.5 ist ein Teil der Checkliste dargestellt, die vollständige Checkliste ist in Anhang B zu finden.

Checkliste für Experteninterview und offene Fragen

Einleitungs- bzw. Vorstellungsphase 10 Min.

- ☐ Dank für die Gesprächsbereitschaft
- ☐ Vorstellung der Interviewerin
- ☐ institutioneller Kontext (z.B. Hochschule, Institut)
- ☐ Erläuterung des Themas der Untersuchung und Vorstellung der Projektziele (siehe Analyseschema)
- ☐ Klärung des zeitlichen Interviewrahmens
- ☐ Erläuterung des Interviewablauf
- ☐ Bitte um die Erlaubnis zur Tonbandaufzeichnung, ggfs. Anonymitätzusicherung

Testen der VR-Lernanwendung 30 Min.

- ☐ Einführung und Training
- ☐ Testen der VR-Lernanwendung

Interview 45 Min.

Einstiegsfrage

- ☐ Wie haben Sie sich in der VR-Umgebung gefühlt?

Abbildung 5.5: Checkliste für Experteninterview. Einige Punkte basieren auf Bogner et al. (2014, S. 59)

Kapitel 6

Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine interaktive Lernumgebung in Virtual Reality für die Biotechnologie entwickelt. Dabei wurde der Einsatz von VR in der Lehre diskutiert, wobei die Planungsprozesse und didaktischen Überlegungen aufgezeigt wurden, die entscheidend für die Integration von VR sind. Um diese Prozesse zu veranschaulichen, wurde auf das Rahmenmodell der Didaktik nach Paul Heimann (Kerres 2024g) zurückgegriffen. Es hat sich gezeigt, dass sich die Planung von VR-Lernumgebungen im allgemeinen Bildungskontext nicht wesentlich von der Planung anderer digitaler Lernmedien unterscheidet. Dabei zeichnen sich VR-Technologien jedoch durch besondere Eigenschaften aus, die sie von anderen Mensch-Maschine-Schnittstellen abheben. Entscheidungsprozesse für den Einsatz von VR folgen den gleichen Prinzipien wie bei anderen digitalen Medien, wobei die spezifischen Chancen und Herausforderungen der VR-Technologie besonders berücksichtigt werden müssen. Aufgrund der Entwicklungsaufwände und Herausforderungen muss der Einsatz von VR einen Mehrwert gegenüber anderen Lernformen bieten.

Diese Arbeit orientiert sich an der gestaltungsorientierten Mediendidaktik, die darauf abzielt, digitale Lernangebote zu entwickeln, bei denen Medien und Technik zur Lösung von Bildungsproblemen eingesetzt werden (Kerres 2024a). In Diskussionen mit beteiligten Lehrpersonen wurden Herausforderungen in der Lehre für Biotechnologie identifiziert und analysiert, die darauf hinweisen, dass in einigen Lernszenarien – insbesondere bei der Weinherstellung – ein reales Praktikum aufgrund der Zugangsbeschränkungen und der Dauer biotechnologischer Prozesse nicht möglich ist. Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine VR-Lernumgebung konzipiert und entwickelt, die eine realitätsnahe Simulation ermöglicht, in der praktische Fähigkeiten zur Weinherstellung erlernt und prozedurales Wissen erworben werden können. Besonderes Augenmerk wurde auf die Vorbereitung der Lerninhalte gelegt, die in Zusammenarbeit mit Lehrpersonen und Weinexperten vorbereitet, strukturiert und didaktisch aufbereitet wurden, wobei die Potenziale und Herausforderungen der VR-Technologie sowie technische Umsetzungsmöglichkeiten berücksichtigt wurden. Ein Schritt-für-Schritt-Skript wurde erstellt, und auf dieser Grundlage wurde die Anwendung entwickelt. Die vorgestellte Vorgehensweise kann auf ähnliche Szenarien mit linear organisierter Sequenz der Lerninhalte angewendet werden. Sollte jedoch ein anderer didaktischer Ansatz gewählt werden, wie beispielsweise der konstruktivistische Ansatz, der nach Schwan & Buder (2002) als Konstruktionswelten bezeichnet wird, kann es erforderlich sein, die Lernenden aktiv in den Konzeptions- und Entwicklungsprozess einzubeziehen, was ein iteratives Vorgehen nahelegt.

In Bezug auf die Gestaltung des Lernangebots können auch Aktivitäten außerhalb der VR berücksichtigt werden. Mulders et al. (2022) schlagen in ihrem M-iVR-L-Modell vor, das Lernen *in* und *über* VR zu betrachten, wie in Abschnitt 2.3.4 beschrieben. Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Fokus auf das Lernen *in* VR gelegt. Es können jedoch auch Aktivitäten außerhalb der VR-Lernumgebung vorgeschlagen werden, wie zum Beispiel Briefings (Lerninstruktionen) und De-Briefings (Auswertungen).

Eine weitere Schlussfolgerung ist, dass VR-Lernanwendungen eine Form des multimedialen Lernens darstellen, wobei die Prinzipien der Gestaltung multimedialer Lernanwendungen angewendet werden können. In der Entwicklungsphase wurden die Gestaltungsprinzipien nach Mayer (2014a), die Mulders et al. (2020) und Makransky & Petersen (2021) als relevant für VR betrachtet haben, umgesetzt. Diese dienen dazu, unnötige kognitive Belastung zu reduzieren und den Lernprozess zu unterstützen. Allerdings sind weitere Forschungen bezüglich der Anwendbarkeit der Gestaltungsprinzipien nach Mayer (2014b) in VR-Lernumgebungen wünschenswert. Besonders interessant sind hierbei das Kohärenzprinzip und das Modalitätsprinzip. Laut Kohärenzprinzip sollten lernirrelevante Elemente vermieden werden. In VR-Simulationen gibt es jedoch viele Objekte und Interaktionen, die zur realistischen Umgebung beitragen und somit das Präsenzerleben verstärken. Daher wären in diesem Zusammenhang weitere Untersuchungen zur Gestaltung der VR-Lernumgebung interessant. Das Modalitätsprinzip besagt, dass Texte auditiv statt visuell präsentiert werden sollen. Eine Studie von Baceviciute et al. (2020) zeigt jedoch, dass textbasierte Präsentationen der Lerninhalte zu besseren Lernergebnissen führten. Daher ist empfehlenswert, die optimale Menge an Text für das Lernen in VR zu bestimmen. Außerdem ist eine Evaluation mit Studierenden hinsichtlich der kognitiven Belastung wünschenswert. Hierbei könnte die MCLSVE-Skala von Andersen & Makransky (2020) verwendet werden.

Um eine Evaluation durch Expertinnen und Experten durchzuführen, wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit ein Forschungsdesign ausgearbeitet. Es wurde eine Vorstudie mit Expertinnen und Experten aus den Bereichen Biotechnologie, xR und Didaktik durchgeführt, um dieses Forschungsdesign zu evaluieren. Nach der Auswertung der Interviews wurde das Forschungsdesign optimiert. VR-Lernanwendungen stellen ein interdisziplinäres Projekt dar, bei dem die Expertenevaluation aus mehreren Bereichen erforderlich ist, um unterschiedliche Perspektiven zu berücksichtigen. Durch die Vorstudie und Diskussionen mit den Befragten wurde jedoch klar, dass der Hintergrund der Expertinnen und Experten die Ergebnisse beeinflussen kann. Basierend auf diesem Forschungsdesign kann eine Expertenbefragung sowie Interviews durchgeführt werden, um Feedback zu VR-Lernanwendungen zu erhalten. Dabei sollte der Aufwand sowohl für die Befragten als auch für die Interviewer berücksichtigt werden.

Literatur

- Adobe (2024a). *Start your 3D journey with Substance. Free Substance 3D for Students and Teachers License*. Abgerufen am 1. Februar 2024 von <https://substance3d.adobe.com/education/>.
- (2024b). *Substance 3D Painter - Paint 3D textures in real time*. Abgerufen am 1. Februar 2024 von <https://www.adobe.com/products/substance3d/apps/painter.html>.
- Albus, P., Vogt, A., & Seufert, T. (2021). „Signaling in virtual reality influences learning outcome and cognitive load“. In: *Computers Education* 166, S. 104154. issn: 0360-1315. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104154>. url: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131521000312>.
- Alfalah, S.F. (2018). „Perceptions toward adopting virtual reality as a teaching aid in information technology“. In: *Education and Information Technologies* 23.6, S. 2633–2653. doi: [10.1007/s10639-018-9734-2](https://doi.org/10.1007/s10639-018-9734-2). url: <https://doi.org/10.1007/s10639-018-9734-2>.
- Andersen, M., & Makransky, G. (Sep. 2020). „The Validation and Further Development of a Multi-dimensional Cognitive Load Scale for Virtual Environments“. In: *Journal of Computer Assisted Learning* 37. doi: [10.1111/jcal.12478](https://doi.org/10.1111/jcal.12478).
- Anderson, L.W., & Krathwohl, D.R. (2001). *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. Longman. isbn: 9780321084057. url: <https://books.google.de/books?id=JPKXAQAAMAAJ>.
- Apple Inc (2024). *Wenn du Rosetta auf deinem Mac installieren musst*. Abgerufen am 24. Mai 2024 von <https://support.apple.com/de-de/102527>.
- Arnold, P. (Jan. 2005). „Einsatz digitaler Medien in der Hochschullehre aus lerntheoretischer Sicht“. In: *e-teaching.org*.
- Atkinson, R.C., & Shiffrin, R.M. (1968). „Human Memory: A Proposed System and its Control Processes“. In: Hrsg. von K.W. Spence, & J. T. Spence. Bd. 2. *Psychology of Learning and Motivation*. Academic Press, S. 89–195. doi: [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60422-3](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60422-3). url: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079742108604223>.

- Auer-Srnka, K. J. (2009). „Mixed Methods“. In: *Empirische Mastertechniken: Eine anwendungsorientierte Einführung für die Marketing- und Managementforschung*. Hrsg. von Carsten Baumgarth, Martin Eisend, & Heiner Evanschitzky. Wiesbaden: Gabler Verlag, S. 457–490. isbn: 978-3-8349-8278-0. doi: 10.1007/978-3-8349-8278-0_15. url: https://doi.org/10.1007/978-3-8349-8278-0_15.
- Autodesk Inc. (2024a). *Autodesk Maya: Erschaffen Sie weitläufige Welten, komplexe Figuren und atemberaubende Effekte*. Abgerufen am 1. Januar 2024 von <https://www.autodesk.de/products/maya/overview>.
- (2024b). *Change the pivot point*. Abgerufen am 10. Februar 2024 von <https://help.autodesk.com/view/MAYAUL/2022/ENU/>.
- (2024c). *FBX - Adaptable file format for 3D animation software*. Abgerufen am 1. April 2024 von <https://www.autodesk.com/products/fbx/overview>.
- Baceviciute, S. et al. (2020). „Investigating Representation of Text and Audio in Educational VR using Learning Outcomes and EEG“. In: *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '20. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, S. 1–13. isbn: 9781450367080. doi: 10.1145/3313831.3376872. url: <https://doi.org/10.1145/3313831.3376872>.
- Baumgartner, P. (1999). „Evaluation mediengestützten Lernens. Theorie - Logik - Modelle“. In: *Projektevaluation in der Lehre - Multimedia an Hochschulen zeigt Profil(e)*. Hrsg. von Michael Kindt. Medien in der Wissenschaft 7. Münster: Waxmann, S. 61–97. url: http://peter.baumgartner.name/wp-content/uploads/2013/08/Baumgartner_1999_Evaluation-mediengest%C3%BCtzten-Lernens.pdf (besucht am 19. 08. 2013).
- Berg, L.P., & Vance, J.M. (2017). „Industry use of virtual reality in product design and manufacturing: a survey“. In: *Virtual Reality 21.1*, S. 1–17. issn: 1434-9957. doi: 10.1007/s10055-016-0293-9. url: <https://doi.org/10.1007/s10055-016-0293-9>.
- Biocca, F., Kim, T., & Levy, M.R. (1995). „The vision of virtual reality“. In: *Communication in the age of virtual reality*. LEA's communication series. ISBN for Paperback: 0-8058-1550-3. Hillsdale, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates, Inc, S. 3–14. isbn: 0-8058-1549-X.
- blendFX, & hug Films (2022). *AstoriaVR*. Abgerufen am 01. April 2024 von Steam Store: <https://store.steampowered.com/app/1868220/AstoriaVR/>.
- Blosch, M., & Fenn, J. (2018). *Understanding Gartner's Hype Cycles*. Abgerufen am 18. Mai 2024 von <https://www.gartner.com/en/documents/3887767>. Gartner Inc.
- Bogner, A., Littig, B., & Menz, W. (Jan. 2002). *Das Experteninterview. Theorie, Methode, Anwendung*.

- Bogner, A., Littig, B., & Menz, W. (Aug. 2014). *Interviews mit Experten: Eine praxisorientierte Einführung*. 1. Aufl. Qualitative Sozialforschung. 1 illustration in colour. Springer VS Wiesbaden, S. VI, 105. isbn: 978-3-531-19415-8. doi: 10.1007/978-3-531-19416-5. url: <https://doi.org/10.1007/978-3-531-19416-5>.
- Bogusevski, D., Muntean, C.H., & Muntean, G.M. (2020). „Teaching and Learning Physics using 3D Virtual Learning Environment: A Case Study of Combined Virtual Reality and Virtual Laboratory in Secondary School“. In: *The Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching* 39, S. 5–18. url: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:216471981>.
- Bormann, S. (1994). *Virtuelle Realität : Genese und Evaluation*. 1. Aufl. Addison-Wesley. isbn: 9783893197071.
- Bortz, J., & Döring, N. (2006). „Besonderheiten der Evaluationsforschung“. In: *Forschungsmethoden und Evaluation: für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 95–136. doi: 10.1007/978-3-540-33306-7_3. url: https://doi.org/10.1007/978-3-540-33306-7_3.
- Brockhoff, K. (1977). „Die Beurteilung von Prognoseverfahren“. In: *Prognoseverfahren für die Unternehmensplanung*. Wiesbaden: Gabler Verlag, S. 51–62. isbn: 978-3-322-86156-6. doi: 10.1007/978-3-322-86156-6_4. url: https://doi.org/10.1007/978-3-322-86156-6_4.
- Bryson, S. (2013). „Virtual Reality: A Definition History – A Personal Essay“. In: CoRR abs/1312.4322. arXiv: 1312.4322. url: <http://arxiv.org/abs/1312.4322>.
- Buchner, J. et al., Hrsg. (2022). *Immersives Lehren und Lernen mit Augmented und Virtual Reality – Teil 1. Heft 47*. doi: 10.21240/mpaed/47.X. url: <https://doi.org/10.21240/mpaed/47.X>.
- Buttussi, F., & Chittaro, L. (2018). „Effects of Different Types of Virtual Reality Display on Presence and Learning in a Safety Training Scenario“. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 24.2, S. 1063–1076. doi: 10.1109/TVCG.2017.2653117.
- Chandler, P. (2009). „Dynamic visualisations and hypermedia: Beyond the “Wow” factor“. In: *Computers in Human Behavior* 25.2. Including the Special Issue: State of the Art Research into Cognitive Load Theory, S. 389–392. issn: 0747-5632. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2008.12.018>. url: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S074756320800229X>.
- Cock, J.R. (2022). *Wine Barrel 01*. Abgerufen am 1. Februar 2024 von Poly Haven – The Public 3D Asset Library: https://polyhaven.com/a/wine_barrel_01.
- Cruz, D. dela, & Mendoza, D. (Aug. 2018). „Design and Development of Virtual Laboratory: A Solution to the Problem of Laboratory Setup and Management of Pneumatic Courses in Bulacan State University College of Engineering“. In: S. 1–23. doi: 10.1109/GEM.2018.8516467.

- Cyranek, A., & Schuster, F. (2021). Astoria VR. <https://hotel-astoria.org/vr/>. Accessed: [18.04.2024].
- Dalgarno, B., & Lee, M. (Jan. 2010). „What are the learning affordances of 3-D Virtual environments?“ In: *British Journal of Educational Technology* 41, S. 10–32. doi: 10.1111/j.1467-8535.2009.01038.x.
- Dam, A. van (Feb. 1997). „Post-WIMP user interfaces“. In: *Commun. ACM* 40.2, S. 63–67. issn: 0001-0782. doi: 10.1145/253671.253708. url: <https://doi.org/10.1145/253671.253708>.
- Detlefsen, J. (2014). „The cosmic perspective: Teaching middle-school children astronomy using ego-centric virtual reality“. In: *Unpublished master's thesis. Aalborg University, Medialogy, Aalborg*.
- Diemer, J. et al. (30. Jan. 2015). „The impact of perception and presence on emotional reactions: a review of research in virtual reality“. In: *Frontiers in Psychology* 6, S. 26. doi: 10.3389/fpsyg.2015.00026.
- Dimitrova, D. (März 2009). *Das Konzept der Metakompetenz: Theoretische und empirische Untersuchung am Beispiel der Automobilindustrie*. 1. Aufl. Business and Economics. Gabler Verlag Wiesbaden, S. XIX, 239. isbn: 978-3-8350-0925-7. doi: 10.1007/978-3-8349-9977-1. url: <https://doi.org/10.1007/978-3-8349-9977-1>.
- Dörner, R. et al., Hrsg. (2019). *Virtual und Augmented Reality (VR/AR): Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität*. 2. Aufl. Springer Vieweg Berlin, Heidelberg. isbn: 978-3-662-58860-4. doi: 10.1007/978-3-662-58861-1. url: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-58861-1>.
- Dorothea-Erxleben-Lernzentrum Halle (2023). *Dorothea Erxleben Lernzentrum Halle*. Abgerufen am 22. Mai 2024 von <https://www.umh.de/lehre/dorothea-erxleben-lernzentrum-halle-delh>. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- Draper, M.H. et al. (1996). „Exploring the Influence of a Virtual Body on Spatial Awareness“. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. Bd. 40. 22, S. 1146–1150. doi: 10.1177/154193129604002208. url: <https://doi.org/10.1177/154193129604002208>.
- Evgrashin, A., Wully, & Kryga, D. (2020). *Unity Simple Liquid*. Abgerufen am 01. Dezember 2023 von GitHub: <https://github.com/Macoron/Unity-Simple-Liquid>.
- Foscht, T., Angerer, T., & Swoboda, B. (2009). „Mixed Methods“. In: *Qualitative Marktforschung: Konzepte – Methoden – Analysen*. Hrsg. von Renate Buber, & Hartmut H. Holzmüller. Wiesbaden: Gabler, S. 247–259. doi: 10.1007/978-3-8349-9441-7_16. url: https://doi.org/10.1007/978-3-8349-9441-7_16.

- Fowler, C. (2015). „Virtual reality and learning: Where is the pedagogy?“ In: *British Journal of Educational Technology* 46.2, S. 412–422. doi: <https://doi.org/10.1111/bjet.12135>. eprint: <https://bera-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/bjet.12135>. url: <https://bera-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/bjet.12135>.
- Gartner, Inc (2024). *Gartner Hype Cycle*. Abgerufen am 18. Mai 2024 von <https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle>.
- Getto, B., & Kerres, M. (Jan. 2018). „Digitalisierung von Studium und Lehre: Wer, warum und wie“. In: S. 17–34. isbn: 978-3-8309-3652-7.
- Geugis, M., & Fell, T. (2020). *Lernen in immersiven Welten*. PDF. Available online at <https://www.bitkom.org/>. Albrechtstraße 10, 10117 Berlin.
- Google (2023). *Google Cardboard Manufacturers*. Abgerufen am 10. Mai 2024 von <https://developers.google.com/cardboard/manufacturers>.
- Greene, J.C., Caracelli, V.C., & Graham, W.F. (1989). „Toward a Conceptual Framework for Mixed-Method Evaluation Designs“. In: *Educational Evaluation and Policy Analysis* 11.3, S. 255–274. doi: 10.3102/01623737011003255. eprint: <https://doi.org/10.3102/01623737011003255>. url: <https://doi.org/10.3102/01623737011003255>.
- Guy, M. et al. (5. Dez. 2023). „The sense of embodiment in Virtual Reality and its assessment methods“. In: *Frontiers in Virtual Reality* 4. doi: 10.3389/frvir.2023.1141683. url: <https://doi.org/10.3389/frvir.2023.1141683>.
- Guze, P.A. (2015). „Using Technology to Meet the Challenges of Medical Education“. eng. In: *Transactions of the American Clinical and Climatological Association* 126, S. 260–270. issn: 0065-7778.
- GVR Training Computer Software (2023). *Underground Roof Fall Hazard Assessment VR Training*. Abgerufen am 14. April 2024 von Steam Store: https://store.steampowered.com/app/2323150/Underground_roof_fall_hazard_assessment_VR_Training/.
- Hanham, J., Castro-Alonso, J.C., & Chen, O. (Aug. 2023). „Integrating cognitive load theory with other theories, within and beyond educational psychology“. In: *British Journal of Educational Psychology* 93.S2. Special Issue: Cognitive Load Theory, S. 239–250. doi: 10.1111/bjep.12612. url: <https://doi.org/10.1111/bjep.12612>.
- Heimann, P., & Reich, K. (1976). *Didaktik als Unterrichtswissenschaft*. <https://ixtheo.de/Record/027417468>. Online available.
- Heimerl, P. (2009). „Fallstudien als forschungsstrategische Entscheidung“. In: *Qualitative Marktforschung: Konzepte – Methoden – Analysen*. Hrsg. von Renate Buber, & Hartmut H. Holzmüller.

- Wiesbaden: Gabler, S. 381–400. isbn: 978-3-8349-9441-7. doi: 10.1007/978-3-8349-9441-7_24. url: https://doi.org/10.1007/978-3-8349-9441-7_24.
- Hellriegel, J., & Čubela, D. (Dez. 2018). „Das Potenzial von Virtual Reality für den schulischen Unterricht - Eine konstruktivistische Sicht“. In: *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung* 2018.Occasional Papers, S. 58–80. doi: 10.21240/mpaed/00/2018.12.11.X. url: <https://www.medienpaed.com/article/view/659>.
- Hochschule Anhalt (2022). *Biotechnologie (B.Eng.)*. Abgerufen am 15. November 2023 von <https://www.hs-anhalt.de/studieren/orientierung/studienangebot/detail/biotechnologie-bachelor-of-science.html>.
- (2023). *Modulhandbuch für alle Bachelorstudiengänge im Direktstudium (BT, LT, PT, VT)*. Abgerufen am 15. Februar 2024 von https://www.hs-anhalt.de/fileadmin/Dateien/FB7/Downloads/Modulhandbuecher/2023-Modulhandbuch_fuer_alle_Bachelorstudiengaenge_im_Direktstudium__BT_LT_PT_VT.pdf.
- Hochschulforum Digitalisierung (Jan. 2023). *Welche Maßnahmen im Hinblick auf die Digitalisierung in Studium und Lehre wurden an Ihrer Hochschule bereits angestoßen?* [Graph]. In Statista. Abgerufen am 25. März 2024 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1383910/umfrage/massnahmen-digitalisierung-studium-lehre-hochschule/>.
- Hofmann, J. (2002). *Raumwahrnehmung in virtuellen Umgebungen: Der Einfluss des Präsenzepfindens in Virtual Reality-Anwendungen für den industriellen Einsatz*. 1. Aufl. Kognitionswissenschaft. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag Wiesbaden, S. XVI, 227. isbn: 978-3-322-81284-1. doi: 10.1007/978-3-322-81284-1. url: <https://doi.org/10.1007/978-3-322-81284-1>.
- HP Development Company, L.P. (2024). *HP Reverb G2*. Abgerufen am 11. Mai 2024 von <https://www.hp.com/us-en/shop/pdp/hp-reverb-g2-virtual-reality-headset>.
- HTC Corporation (2024a). *VIVE Focus 3*. Abgerufen am 11. Mai 2024 von <https://business.vive.com/de/product/vive-focus3/overview/>.
- (2024b). *VIVE Focus 3 Lieferumfang*. Abgerufen am 2. Mai 2024 von <https://www.vive.com/de/product/vive-focus3/specs/>.
- (2024c). *Viveport Application: Nanome*. Abgerufen am 14. April 2024 von <https://www.viveport.com/apps/0a467f78-2ed2-43eb-ada8-9d677d5acf54?hl=de-DE>.
- Huang, R. (2021). „Konzept eines Biotech-Hauses in Virtual Reality am Beispiel der Joghurt-Herstellung“. Abgerufen am 1. März 2024 von <https://opendata.uni-halle.de/bitstream/1981185920/47176/1/Masterarbeit%20Rong%20Huang.pdf>. Masterarbeit. Hochschule Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

- Huang, R. et al. (2022). „Ein Virtuelles Biotech-Haus für das Lehren in der Biotechnologie“. In: *Proceedings of DELFI Workshops 2022*. Hrsg. von Martin Mandausch, & Peter A. Henning. Karlsruhe, 12. September 2022. Karlsruhe: Gesellschaft für Informatik e.V. doi: 10.18420/delfi2022-ws-00.
- International Society for Presence Research (2020). *International Society for Presence Research*. Abgerufen am 1. März 2024 von <https://ispr.info/>.
- Jerald, Jason (2015). *The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality*. Association for Computing Machinery und Morgan & Claypool. isbn: 9781970001129.
- Johnson, C.I., & Priest, H.A. (2014). „The Feedback Principle in Multimedia Learning“. In: *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Hrsg. von Richard E. Editor Mayer. Cambridge Handbooks in Psychology. Cambridge University Press, S. 449–463.
- Jong, T., & Joolingen, W. van (Juni 1998). „Scientific Discovery Learning With Computer Simulations of Conceptual Domains“. In: *Review of Educational Research* 68. doi: 10.3102/00346543068002179.
- Kalyuga, S., & Sweller, J. (Juli 2014). „The Redundancy Principle in Multimedia Learning“. In: S. 247–262. isbn: 9781107610316. doi: 10.1017/CB09781139547369.013.
- Kerres, M. (2001). *Multimediale und telemediale Lernumgebungen: Konzeption und Entwicklung*. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag. isbn: 9783486593815. doi: 10.1524/9783486593815. url: <https://doi.org/10.1524/9783486593815>.
- (2002). „Online- und Präsenzelemente in hybriden Lernarrangements kombinieren“. In: *Handbuch E-Learning*. Hrsg. von A. Hohenstein, & K. Wilbers. Köln: Fachverlag Deutscher Wirtschaftsdienst.
- (2018). *Konzeption und Entwicklung digitaler Lernangebote*. Berlin, Boston: De Gruyter Oldenbourg. isbn: 9783110456837. doi: 10.1515/9783110456837. url: <https://doi.org/10.1515/9783110456837>.
- (2024a). „1 Digitale Technik und Lernen“. In: *Lernen in der digitalen Welt*. Berlin, Boston: De Gruyter Oldenbourg, S. 1–42. isbn: 9783111201078. doi: 10.1515/9783111201078-001. url: <https://doi.org/10.1515/9783111201078-001>.
- (2024b). „10 Exposition und Exploration“. In: *Lernen in der digitalen Welt*. Berlin, Boston: De Gruyter Oldenbourg, S. 333–372. isbn: 9783111201078. doi: 10.1515/9783111201078-010. url: <https://doi.org/10.1515/9783111201078-010>.
- (2024c). „11 Problemorientierung“. In: *Lernen in der digitalen Welt*. Berlin, Boston: De Gruyter Oldenbourg, S. 373–422. isbn: 9783111201078. doi: 10.1515/9783111201078-011. url: <https://doi.org/10.1515/9783111201078-011>.

- Kerres, M. (2024d). „3 Positionierung der Mediendidaktik“. In: *Lernen in der digitalen Welt*. Berlin, Boston: De Gruyter Oldenbourg, S. 79–108. isbn: 9783111201078. doi: doi : 10 . 1515 / 9783111201078-003. url: <https://doi.org/10.1515/9783111201078-003>.
- (2024e). „5 Lerntheorien“. In: *Lernen in der digitalen Welt*. Berlin, Boston: De Gruyter Oldenbourg, S. 151–184. isbn: 9783111201078. doi: doi : 10 . 1515 / 9783111201078-005. url: <https://doi.org/10.1515/9783111201078-005>.
- (2024f). „6 Lernen mit Text, Bild und Ton“. In: *Lernen in der digitalen Welt*. Berlin, Boston: De Gruyter Oldenbourg, S. 185–216. isbn: 9783111201078. doi: doi : 10 . 1515 / 9783111201078-006. url: <https://doi.org/10.1515/9783111201078-006>.
- (2024g). „8 Didaktische Konzeption“. In: *Lernen in der digitalen Welt*. Berlin, Boston: De Gruyter Oldenbourg, S. 247–284. isbn: 9783111201078. doi: doi : 10 . 1515 / 9783111201078-008. url: <https://doi.org/10.1515/9783111201078-008>.
- (2024h). „9 Didaktische Analysen“. In: *Lernen in der digitalen Welt*. Berlin, Boston: De Gruyter Oldenbourg, S. 285–332. isbn: 9783111201078. doi: doi : 10 . 1515 / 9783111201078-009. url: <https://doi.org/10.1515/9783111201078-009>.
- Kimani, S. (2009). „WIMP Interfaces“. In: *Encyclopedia of Database Systems*. Hrsg. von LING LIU, & M. TAMER ÖZSU. Boston, MA: Springer US, S. 3529–3533. isbn: 978-0-387-39940-9. doi: 10 . 1007 / 978-0-387-39940-9_467. url: https://doi.org/10.1007/978-0-387-39940-9_467.
- Klatzky, R.L. (1998). „Allocentric and Egocentric Spatial Representations: Definitions, Distinctions, and Interconnections“. In: *Spatial Cognition: An Interdisciplinary Approach to Representing and Processing Spatial Knowledge*. Hrsg. von C. Freksa, C. Habel, & K.F. Wender. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 1–17. isbn: 978-3-540-69342-0. doi: 10 . 1007 / 3-540-69342-4_1. url: https://doi.org/10.1007/3-540-69342-4_1.
- Kozhevnikov, M. (2023). *Allocentric vs. Egocentric Spatial Processing*. Imagery Lab - Mental Imagery and Human-Computer Interaction Lab, Harvard Medical School Department of Radiology, Martinos Center for Biomedical Imaging; and National University of Singapore, Department of Psychology, Faculty of Arts Social Sciences. Abgerufen am 06. März 2024 von https://www.nmr.mgh.harvard.edu/mkozhevnlab/?page_id=308.
- Krueger, M.W. (1991). *Artificial Reality II*. First Edition, First Printing. Condition: Almost Like New, Dust Jacket Condition: Very Good +. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts. isbn: 9780201522600.
- Kuckartz, U. (2014). *Mixed Methods: Methodologie, Forschungsdesigns und Analyseverfahren*. 1. Aufl. Humanities, Social Science (German Language). Springer VS Wiesbaden, S. XII, 162. isbn: 978-3-531-17628-4. doi: 10 . 1007 / 978-3-531-93267-5. url: <https://doi.org/10.1007/978-3-531-93267-5>.

- Labster ApS (2024a). *Aseptic Technique: Culture your sample without contamination* | Virtual Lab. Abgerufen am 19. Mai 2024 von <https://www.labster.com/simulations/aseptic-technique-culture-your-sample-without-contamination>.
- (2024b). *Labster | Virtual Labs for Universities and High Schools*. Abgerufen am 06. April 2024 von <https://www.labster.com/>.
- Lanier, J., & Biocca, F. (1992). „An insider’s view of the future of virtual reality“. In: *Journal of Communication* 42.4, S. 150–172. doi: 10.1111/j.1460-2466.1992.tb00816.x. url: <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.1992.tb00816.x>.
- Leech, N.L., & Onwuegbuzie, A.J. (2009). „A typology of mixed methods research designs“. In: *Quality Quantity* 43.2, S. 265–275. issn: 1573-7845. doi: 10.1007/s11135-007-9105-3. url: <https://doi.org/10.1007/s11135-007-9105-3>.
- Leonhardt, T., Baberowski, D., & Bergner, N. (2022). „Inside the Router: An interactive VR learning application to practice routing and network address translation“. In: 20. *Fachtagung Bildungstechnologien (DELFI)*. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V., S. 87–98. isbn: 978-3-88579-716-6. doi: 10.18420/delfi2022-018.
- Leutner, D., & Schmeck, A. (2014). „The Generative Drawing Principle in Multimedia Learning“. In: *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Hrsg. von R.E. Mayer. Cambridge Handbooks in Psychology. Cambridge University Press, S. 433–448.
- Liu, Y. et al. (9. Mai 2023). „Soft, miniaturized, wireless olfactory interface for virtual reality“. In: *Nature Communications* 14.1, S. 2297. doi: 10.1038/s41467-023-37678-4. url: <https://doi.org/10.1038/s41467-023-37678-4>.
- Lombard, Matthew, & Ditton, Theresa (Sep. 1997). „At the Heart of It All: The Concept of Presence“. In: *Journal of Computer-Mediated Communication* 3.2, JCMC321. issn: 1083-6101. doi: 10.1111/j.1083-6101.1997.tb00072.x. url: <https://doi.org/10.1111/j.1083-6101.1997.tb00072.x>.
- Low, R., & Sweller, J. (2014). „The Modality Principle in Multimedia Learning“. In: *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Hrsg. von Richard E. Editor Mayer. Cambridge Handbooks in Psychology. Cambridge University Press, S. 227–246.
- Makransky, G., Borre-Gude, S., & Mayer, R.E. (Juli 2019a). „Motivational and Cognitive Benefits of Training in Immersive Virtual Reality Based on Multiple Assessments“. In: *Journal of Computer Assisted Learning*. doi: 10.1111/jcal.12375.
- Makransky, G., & Petersen, G.B. (2021). „The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): a Theoretical Research-Based Model of Learning in Immersive Virtual Reality“. In: *Educational Psychology Review* 33.3, S. 937–958. issn: 1573-336X. doi: 10.1007/s10648-020-09586-2. url: <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2>.

- Makransky, G., Terkildsen, T.S., & Mayer, R.E. (2019b). „Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning“. In: *Learning and Instruction* 60, S. 225–236. issn: 0959-4752. doi: <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.12.007>. url: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959475217303274>.
- Mantovani, F. et al. (2003). „Virtual reality training for health-care professionals“. In: *Cyberpsychology & Behavior: The Impact of the Internet, Multimedia and Virtual Reality on Behavior and Society* 6.4, S. 389–395. doi: 10.1089/109493103322278772. url: <https://doi.org/10.1089/109493103322278772>.
- Mautone, P., & Mayer, R.E. (Juni 2001). „Signaling as a Cognitive Guide in Multimedia Learning“. In: *Journal of Educational Psychology* 93, S. 377–389. doi: 10.1037/0022-0663.93.2.377.
- May, M. (2022). *Raumrepräsentation*. Hrsg. von Markus Antonius Wirtz. Abgerufen am 06. März 2024 von Im Dorsch – Lexikon der Psychologie: <https://dorsch.hogrefe.com/stichwort/raumrepraesentation>.
- Mayer, R.E. (Nov. 2002). „Rote Versus Meaningful Learning“. In: *Theory Into Practice - THEORY PRACT* 41, S. 226–232. doi: 10.1207/s15430421tip4104_4.
- (2005a). „Cognitive theory of multimedia learning“. In: *The Cambridge handbook of multimedia learning* 41, S. 31–48.
 - (2005b). „Introduction to Multimedia Learning“. In: *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Hrsg. von R.E. Mayer. Cambridge Handbooks in Psychology. Cambridge University Press, S. 1–16.
 - (2014a). „Cognitive Theory of Multimedia Learning“. In: *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Hrsg. von R.E. Mayer. Cambridge Handbooks in Psychology. Cambridge University Press, S. 43–71.
 - (2014b). „Principles Based on Social Cues in Multimedia Learning: Personalization, Voice, Image, and Embodiment Principles“. In: *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Hrsg. von Richard E. Editor Mayer. Cambridge Handbooks in Psychology. Cambridge University Press, S. 345–368.
- Mayer, R.E., & Fiorella, L. (2014). „Principles for Reducing Extraneous Processing in Multimedia Learning: Coherence, Signaling, Redundancy, Spatial Contiguity, and Temporal Contiguity Principles“. In: *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Hrsg. von Richard E. Editor Mayer. Cambridge Handbooks in Psychology. Cambridge University Press, S. 279–315.
- Mayer, R.E., & Pilegard, C. (2014). „Principles for Managing Essential Processing in Multimedia Learning: Segmenting, Pre-training, and Modality Principles“. In: *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Hrsg. von Richard E. Editor Mayer. Cambridge Handbooks in Psychology. Cambridge University Press, S. 316–344.

- Mercado, J., & Picardal, J.P. (2023). „Virtual Laboratory Simulations in Biotechnology: A Systematic Review“. In: *Science Education International* 34.1, S. 52–57. doi: 10.33828/sei.v34.i1.6. url: <https://doi.org/10.33828/sei.v34.i1.6>.
- Merriënboer, J. J. G. van (2020). „Das Vier-Komponenten Instructional Design (4C/ID) Modell“. In: *Handbuch Bildungstechnologie: Konzeption und Einsatz digitaler Lernumgebungen*. Hrsg. von Helmut Niegemann, & Armin Weinberger. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 153–170. doi: 10.1007/978-3-662-54368-9_8. url: https://doi.org/10.1007/978-3-662-54368-9_8.
- Merriënboer, J. J. G. van, & Kester, L. (2014). „The Four-Component Instructional Design Model: Multimedia Principles in Environments for Complex Learning“. In: *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Hrsg. von Richard E. Editor Mayer. Cambridge Handbooks in Psychology. Cambridge University Press, S. 104–148.
- Meuser, M., & Nagel, U. (1991). „ExpertInneninterviews – vielfach erprobt, wenig bedacht“. In: *Qualitative empirische Sozialforschung: Konzepte, Methoden, Analysen*. Hrsg. von Detlef Garz, & Klaus Kraimer. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 441–471. isbn: 978-3-322-97024-4. doi: 10.1007/978-3-322-97024-4_14. url: https://doi.org/10.1007/978-3-322-97024-4_14.
- Meyer, M., & Reutterer, T. (2009). „Sampling-Methoden in der Marktforschung“. In: *Qualitative Marktforschung: Konzepte – Methoden – Analysen*. Hrsg. von Renate Buber, & Hartmut H. Holzmüller. Wiesbaden: Gabler, S. 229–246. doi: 10.1007/978-3-8349-9441-7_15. url: https://doi.org/10.1007/978-3-8349-9441-7_15.
- Meyer, O.A., Omdahl, M.K., & Makransky, G. (2019). „Investigating the effect of pre-training when learning through immersive virtual reality and video: A media and methods experiment“. In: *Computers Education* 140, S. 103603. issn: 0360-1315. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103603>. url: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131519301563>.
- Milgram, P., & Kishino, F. (Dez. 1994). „A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays“. In: *IEICE Trans. Information Systems* vol. E77-D, no. 12, S. 1321–1329.
- Moore, J.W., & Fletcher, P.C. (2012). „Sense of agency in health and disease: A review of cue integration approaches“. In: *Consciousness and Cognition* 21.1. Beyond the Comparator Model, S. 59–68. issn: 1053-8100. doi: <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.08.010>. url: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053810011002005>.
- Mori, M. (1970). „The Uncanny Valley“. Übers. von Karl F. MacDorman, & Takashi Minato. In: *Energy* 7.4, S. 33–35.

- Mulders, M., Buchner, J., & Kerres, M. (Dez. 2020). „A Framework for the Use of Immersive Virtual Reality in Learning Environments“. In: *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)* 15, S. 208–224. doi: 10.3991/ijet.v15i24.16615.
- (2022). „Gestaltungsprinzipien für immersive Lernszenarien mit und über Virtual Reality“. In: *Virtuelle Realität und Transzendenz. Theologische und pädagogische Erkundungen*. Hrsg. von Viera Pirker, & Klara Pišonić. Freiburg: Herder, S. 132–149. url: <https://www.herder.de/theologie-pastoral/shop/p2/74655-virtuelle-realitaet-und-transzendenz-gebundene-ausgabe/>.
- Mulders, M. et al. (Sep. 2021). „Evaluierung einer VR-Lackierwerkstatt im agilen Projektvorgehen“. In.
- Mulders, M. et al. (2023). „Handwerkliches Lackieren mit Virtual Reality (HandleVR): VR-basierter Kompetenzerwerb in der beruflichen Ausbildung“. In: *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung* 51.AR/VR - Part 2, S. 214–245. doi: 10.21240/mpaed/51/2023.01.19.X. url: <https://www.medienpaed.com/article/view/1588>.
- Nanome Inc. (2024). *Nanome*. Abgerufen am 14. April 2024 von <https://nanome.ai/>.
- Ott, M., & Freina, L. (2015). „A LITERATURE REVIEW ON IMMERSIVE VIRTUAL REALITY IN EDUCATION: STATE OF THE ART AND PERSPECTIVES.“ In: *11th International Conference eLearning and Software for Education*. url: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:17385833>.
- Oxford English Dictionary (Juli 2023). *Virtual Reality*, n. Abgerufen am 03. Februar 2024 von https://www.oed.com/dictionary/virtual-reality_n.
- Paas, F., & Sweller, J. (2014). „Implications of cognitive load theory for multimedia learning“. In: *The Cambridge handbook of multimedia learning, 2nd ed.* Cambridge handbooks in psychology. New York, NY, US: Cambridge University Press, S. 27–42. isbn: 978-1-107-61031-6 (Paperback); 978-1-107-03520-1 (Hardcover); 978-1-139-99016-5 (Digital (undefined format)). doi: 10.1017/CB09781139547369.004.
- Parong, J., & Mayer, R.E. (Jan. 2018). „Learning Science in Immersive Virtual Reality“. In: *Journal of Educational Psychology* 110. doi: 10.1037/edu0000241.
- (2021). „Cognitive and affective processes for learning science in immersive virtual reality“. In: *Journal of Computer Assisted Learning* 37.1, S. 226–241. doi: <https://doi.org/10.1111/jcal.12482>. eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/jcal.12482>. url: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jcal.12482>.
- Petersen, G.B., Petkakis, G., & Makransky, G. (2022). „A study of how immersion and interactivity drive VR learning“. In: *Computers and Education* 179, S. 104429. doi: 10.1016/j.compedu.2021.104429. url: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104429>.

- Polyarc (2018). *Moss™: An Action-Adventure Puzzle Game*. Abgerufen am 31. März 2024 von Steam Store: <https://store.steampowered.com/app/846470/Moss/>.
- Prisms of Reality (2024). *Prisms*. Abgerufen am 19. April 2024 von <https://www.prismsvr.com/>.
- Radianti, J. et al. (2020). „A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda“. In: *Computers Education* 147, S. 103778. issn: 0360-1315. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>. url: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131519303276>.
- Reeves, W. T. (Apr. 1983). „Particle Systems—a Technique for Modeling a Class of Fuzzy Objects“. In: *ACM Trans. Graph.* 2.2, S. 91–108. issn: 0730-0301. doi: [10.1145/357318.357320](https://doi.org/10.1145/357318.357320). url: <https://doi.org/10.1145/357318.357320>.
- Renkl, A., Atkinson, R.K., & Große, C.S. (2004). „How Fading Worked Solution Steps Works – A Cognitive Load Perspective“. In: *Instructional Science* 32.1, S. 59–82. issn: 1573-1952. doi: [10.1023/B:TRUC.0000021815.74806.f6](https://doi.org/10.1023/B:TRUC.0000021815.74806.f6). url: <https://doi.org/10.1023/B:TRUC.0000021815.74806.f6>.
- RexVet Project (2024). *Contextualized Tasting Experiences with Augmented Virtuality*. Abgerufen am 14. April 2024 von <https://rexvetproject.com/contextualized-tasting-experiences-with-augmented-virtuality/>.
- Rey, G.D. (2009). *E-Learning. Theorien, Gestaltungsempfehlungen und Forschung*. deutsch. 1. Aufl. Psychologie Lehrbuch. Bern: Huber, S. 237. isbn: 978-3-456-84743-6. url: <https://link-to-the-resource-if-available>.
- Riege, A. (2009). „Convergent Interviewing“. In: *Qualitative Marktforschung: Konzepte – Methoden – Analysen*. Hrsg. von Renate Buber, & Hartmut H. Holzmüller. Wiesbaden: Gabler, S. 437–447. isbn: 978-3-8349-9441-7. doi: [10.1007/978-3-8349-9441-7_27](https://doi.org/10.1007/978-3-8349-9441-7_27). url: https://doi.org/10.1007/978-3-8349-9441-7_27.
- Roettl, J., & Terlutter, R. (2018). „The same video game in 2D, 3D or virtual reality - How does technology impact game evaluation and brand placements?“ In: *PloS one* 13.7, e0200724. doi: [10.1371/journal.pone.0200724](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200724). url: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200724>.
- Sacks, R., Perlman, A., & Barak, R. (2013). „Construction safety training using immersive virtual reality“. In: *Construction Management and Economics* 31.9, S. 1005–1017. doi: [10.1080/01446193.2013.828844](https://doi.org/10.1080/01446193.2013.828844). eprint: <https://doi.org/10.1080/01446193.2013.828844>. url: <https://doi.org/10.1080/01446193.2013.828844>.
- Sánchez-López, A.L. et al. (2024). „Evaluating effectiveness of immersive virtual reality in promoting students' learning and engagement: a case study of analytical biotechnology engineering course“. In: *Frontiers in Education*. url: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:267673152>.

- Sankaranarayanan, G. et al. (2018). „Immersive virtual reality-based training improves response in a simulated operating room fire scenario“. In: *Surgical Endoscopy* 32.8, S. 3439–3449. issn: 1432-2218. doi: 10.1007/s00464-018-6063-x. url: <https://doi.org/10.1007/s00464-018-6063-x>.
- Scerbo, M.W. (2004). „Medical Virtual Reality Simulation: Enhancing Safety Through Practicing Medicine Without Patients“. In: *Biomedical Instrumentation Technology* 38.3, S. 225–228. doi: 10.2345/0899-8205(2004)38[225:MVRSES]2.0.CO;2. eprint: <https://array.aami.org/doi/pdf/10.2345/0899-8205%282004%2938%5B225%3AMVRSES%5D2.0.CO%3B2>. url: <https://array.aami.org/doi/abs/10.2345/0899-8205%282004%2938%5B225%3AMVRSES%5D2.0.CO%3B2>.
- Schmid, R.D. (2002). *Taschenatlas der Biotechnologie und Gentechnik*. Wiley-VCH, S. 342. isbn: 9783527308651.
- Schuir, J., Behne, A., & Teuteberg, F. (2019). „Chancen und Herausforderungen von Virtual Reality in der Aus- und Weiterbildung im Gesundheitswesen“. In: *INFORMATIK 2019: 50 Jahre Gesellschaft für Informatik – Informatik für Gesellschaft*. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V., S. 671–684. isbn: 978-3-88579-688-6. doi: 10.18420/inf2019_81.
- Schwan, S., & Buder, J. (2002). „Lernen und Wissenserwerb in virtuellen Realitäten“. In: *Virtuelle Realitäten*. Hrsg. von G. Bente, N.C. Krämer, & A. Peterson. Hogrefe Verlag, S. 109–133.
- Seifan, M., Robertson, N., & Berenjian, A. (2020). „Use of virtual learning to increase key laboratory skills and essential non-cognitive characteristics“. In: *Education for Chemical Engineers* 33, S. 66–75. issn: 1749-7728. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ece.2020.07.006>. url: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1749772820300440>.
- Sherman, W., & Craig, Alan B. (1995). „Literacy in virtual reality: a new medium“. In: 29, S. 37–42. doi: 10.1145/216876.216887.
- Shneiderman, B. (1992). *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing Company.
- Slater, Mel (2003). „A note on presence terminology“. In: url: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:60395352>.
- (12. Dez. 2009). „Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments“. eng. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 364 (1535), S. 3549–57. doi: 10.1098/rstb.2009.0138.
- Slater, Mel, & Wilbur, Sylvia (Dez. 1997). „A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments“. In: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6.6, S. 603–616. doi: 10.1162/pres.1997.6.6.603. eprint: <https://direct.mit.edu/pvar/article-pdf/6/6/603/1623151/pres.1997.6.6.603.pdf>. url: <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.6.603>.

- Slidicon (2024). *Icons by Slidicon from Flaticon*. Abgerufen am 25. Mai 2024 von Freepik: <https://www.flaticon.com/authors/slidicon>.
- Stepan, K. et al. (2017). „Immersive virtual reality as a teaching tool for neuroanatomy“. In: *International forum of allergy & rhinology* 7.10, S. 1006–1013. doi: 10.1002/alr.21986. url: <https://doi.org/10.1002/alr.21986>.
- Steuer, Jonathan (Dez. 1992). „Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence“. In: *Journal of Communication* 42.4, S. 73–93. doi: 10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x. url: <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x>.
- (Feb. 2006). „Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence“. In: *Journal of Communication* 42.4, S. 73–93. issn: 0021-9916. doi: 10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x. eprint: <https://academic.oup.com/joc/article-pdf/42/4/73/22465982/jjnlcom0073.pdf>. url: <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x>.
- Surer, E. et al. (Dez. 2019). „Developing a Scenario-Based Video Game Generation Framework: Preliminary Results“. In: S. 19–25. url: https://www.researchgate.net/publication/338556150_Developing_a_Scenario-Based_Video_Game_Generation_Framework_Preliminary_Results.
- Sweller, J. (1988). „Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning“. In: *Cognitive Science* 12.2, S. 257–285. doi: https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4. eprint: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1207/s15516709cog1202_4. url: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1207/s15516709cog1202_4.
- (2010). „Element Interactivity and Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load“. In: *Educational Psychology Review* 22.2, S. 123–138. issn: 1573-336X. doi: 10.1007/s10648-010-9128-5. url: <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9128-5>.
- Sweller, J., Merriënboer, J.J.G. van, & Paas, F. (2019). „Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later“. In: *Educational Psychology Review* 31.2, S. 261–292. issn: 1573-336X. doi: 10.1007/s10648-019-09465-5. url: <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>.
- Sypsas, A., & Kalles, D. (Nov. 2018). „Virtual laboratories in biology, biotechnology and chemistry education: a literature review“. In: S. 70–75. doi: 10.1145/3291533.3291560.
- Tennyson, R.D. (1994). „Knowledge Base for Automated Instructional System Development“. In: *Automating Instructional Design, Development, and Delivery*. Hrsg. von R.D. Tennyson. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 29–59. isbn: 978-3-642-78389-0.
- Unity Technologies (2024a). 3.1 - Comfort and Accessibility. Abgerufen am 19. Mai 2024 von <https://learn.unity.com/tutorial/3-1-comfort-and-accessibility>.

Unity Technologies (2024b). *Best practices for organizing your Unity project*. Abgerufen am 1. Februar 2024 von <https://unity.com/how-to/organizing-your-project>.

- (2024c). *Built-in Particle System*. Abgerufen am 24. Mai 2024 von <https://docs.unity3d.com/Manual/Built-inParticleSystem.html>.
- (2024d). *Lightmapping*. Abgerufen am 1. Februar 2024 von <https://docs.unity3d.com/2021.3/Documentation/Manual/Lightmappers.html>.
- (2024e). *ProBuilder - Design, prototype, and play-test levels rapidly in the Unity Editor*. Abgerufen am 24. Mai 2024 von <https://unity.com/features/probuilder>.
- (2024f). *System requirements for Unity 2021 LTS*. Abgerufen am 1. Februar 2024 von <https://docs.unity3d.com/2021.3/Documentation/Manual/system-requirements.html>.
- (2024g). *Unity Hub*. Abgerufen am 1. Februar 2024 von <https://unity.com/unity-hub>.
- (2024h). *Unity Hub release notes*. Abgerufen am 1. Februar 2024 von <https://unity.com/unity-hub/release-notes#300>.
- (2024i). *Unity VR Solutions*. Abgerufen am 19. Mai 2024 von <https://unity.com/solutions/vr>.
- (2024j). *Unity XR Interaction Toolkit Documentation*. Abgerufen am 19. Mai 2024 von <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.interaction.toolkit@3.0/manual/index.html>.
- (2024k). *Unity XR OpenXR Package Documentation*. Abgerufen am 19. Mai 2024 von <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.openxr@1.11/manual/index.html>.
- (2024l). *Use the Unity Integration tool in Maya*. Abgerufen am 24. Mai 2024 von <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.formats.fbx@5.1/manual/integration-maya-roundtrip.html>.
- (2024m). *Using Shader Graph*. Abgerufen am 24. Mai 2024 von <https://docs.unity3d.com/Manual/shader-graph.html>.

Urey, H. et al. (2011). „State of the Art in Stereoscopic and Autostereoscopic Displays“. In: *Proceedings of the IEEE* 99.4, S. 540–555. doi: 10.1109/JPROC.2010.2098351.

Valente, T.W., & Bardini, T. (1995). „Virtual diffusion or an uncertain reality: networks, policy, and models for the diffusion of VR technology“. In: *Communication in the Age of Virtual Reality*. USA: L. Erlbaum Associates Inc., S. 303–322. isbn: 0805815503.

- Vinitskiy, D. et al. (2024). „Role of Adaptation Phase in Educational Results of Virtual Reality Communication Training for Managers“. In: *Immersive Learning Research Network*. Hrsg. von Marie-Luce Bourguet et al. Cham: Springer Nature Switzerland, S. 453–465.
- Vora, J. et al. (2002). „Using virtual reality technology for aircraft visual inspection training: presence and comparison studies.“ In: *Applied ergonomics* 33 6, S. 559–70. url: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:2612213>.
- Weech, S., Kenny, S., & Barnett-Cowan, M. (2019). „Presence and Cybersickness in Virtual Reality Are Negatively Related: A Review“. In: *Frontiers in Psychology* 10, S. 158. doi: 10.3389/fpsyg.2019.00158. url: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00158>.
- Wiepke, A. et al. (Jan. 2022). „Das VR-Labor-Klassenzimmer zur Professionalisierung von Lehramtsstudierenden der Chemie“. In: doi: 10.18420/delfi2022-030.
- Winn, W. (1993). *A conceptual basis for educational applications of virtual reality*. Technical Publication R-93-9. Seattle: University of Washington, Human Interface Technology Laboratory of the Washington Technology Center.
- Witmer, B.G., & Singer, M.J. (1998). „Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire“. In: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 7.3. Contact: Bob G. Witmer, Army Research Institute, 12350 Research Parkway, Orlando, FL, US, 32826-3276, Bob_Witmer@stri-com.army.mil, S. 225–240. issn: 1531-3263, 1054-7460. doi: 10.1162/105474698565686.
- Witt, C. de, & Czerwionka, T. (2013). *Mediendidaktik*. 2., aktualisierte und überarbeitete Auflage. E-Book ISBN: 978-3-7639-5316-5. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag GmbH & Co. KG. isbn: 978-3-7639-5315-8.
- Wölfel, M. (2023). *Immersive Virtuelle Realität: Grundlagen, Technologien, Anwendungen*. 1. Aufl. Computer Science and Engineering (German Language) eBook Packages. XVIII, 389 pages, 17 b/w illustrations, 132 illustrations in colour. Springer Vieweg Berlin, Heidelberg. isbn: 978-3-662-66907-5. doi: 10.1007/978-3-662-66908-2. url: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-66908-2>.
- Wyk, E.V. et al. (2019). „An evaluation framework for virtual reality safety training systems in the South African mining industry“. In: *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. url: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:113579124>.
- Wylie, R., & Chi, M.T.H. (2014). „The Self-Explanation Principle in Multimedia Learning“. In: *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Hrsg. von R.E. Mayer. Cambridge Handbooks in Psychology. Cambridge University Press, S. 413–432.
- Xin, B. et al. (2019). „The Efficacy of Immersive Virtual Reality Surgical Simulator Training for Pedicle Screw Placement: A Randomized Double-Blind Controlled Trial“. In: *World Neurosurgery* 124,

e324–e330. issn: 1878-8750. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.12.090>. url: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878875018329139>.

Xu, Z. et al. (2014). „A virtual reality based fire training simulator with smoke hazard assessment capacity“. In: *Advances in Engineering Software* 68, S. 1–8. issn: 0965-9978. doi: <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.10.004>. url: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096599781300166X>.

Youngblut, C. (1998). „Educational Uses of Virtual Reality Technology.“ In: url: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:108656073>.

Zender, R. et al. (Sep. 2018). „Lehren und Lernen mit VR und AR-Was wird erwartet? Was funktioniert?“ In: *Proceedings der Pre-Conference-Workshops der 16. E-Learning Fachtagung Informatik (DeLFI 2018)*. September 10, 2018, Frankfurt/Main. Frankfurt, Germany.

Anhang A

Fragebogen für die quantitative Teilstudie

Fragebogen* zur Bewertung einer VR-Lernanwendung für Biotechnologie „Weinherstellung“

**Hinweis: Alle Daten werden anonym erhoben.*

Fachbereich

Bitte wählen Sie Ihren Fachbereich aus
(Mehrfachnennungen möglich)

- ☐ Virtual Reality
- ☐ Biotechnologie
- ☐ Weinherstellung
- ☐ Mensch-Maschine Interaktion
- ☐ Didaktik
- ☐ Gameentwicklung
- ☐ Andere (bitte angeben):

Alter

Geschlecht

- ☐ Weiblich
- ☐ Männlich
- ☐ keine Angabe

Technikaffinität

Wie würden Sie Ihre Technikaffinität einschätzen?

Sehr hoch	Hoch	Mittel	Niedrig	Sehr niedrig
☐	☐	☐	☐	☐

Abbildung A.1: Überarbeiteter Fragebogen für die quantitative Teilstudie, Teil 1

Aussage	Trifft zu	Trifft eher zu	Teils, teils	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu
<i>Didaktische Methode</i>					
Die VR-Anwendung ist darauf ausgelegt, Lernende schrittweise durch den Lernprozess zu führen.	☐	☐	☐	☐	☐
Die Lerninhalte wurden in einer klaren und linearen Sequenz präsentiert.	☐	☐	☐	☐	☐
Die VR-Anwendung zeigt deutlich an, ob eine Aufgabe erfolgreich abgeschlossen wurde oder nicht.	☐	☐	☐	☐	☐
Die VR-Anwendung macht stets klar, welche Schritte die Lernende als Nächstes ausführen sollen.	☐	☐	☐	☐	☐
<i>Lernergebnisse</i>					
Die VR-Anwendung präsentiert fachspezifische Begriffe wie „Entrappmaschine“ oder „Maische“ so klar und verständlich, dass sie leicht zu merken und wiederzugeben sind.	☐	☐	☐	☐	☐
Die VR-Anwendung präsentiert Daten wie Anzahl der Umdrehungen der Welle in der Entrappmaschine und Zuckergehalt klar, sodass die Fakten leicht zu merken und wiederzugeben sind.	☐	☐	☐	☐	☐
Die VR-Anwendung zeigt den Aufbau und die Funktion der Entrappmaschine klar und verständlich.	☐	☐	☐	☐	☐
Die VR-Anwendung erklärt, welche Rolle der Schwefelprozess oder die Fermentation im Weinherstellungsprozess spielen, auf eingehende und verständliche Weise.	☐	☐	☐	☐	☐
Die VR-Anwendung stellt den gesamten Weinproduktionsprozess, von der Traubenladung bis zum Etikettieren, klar und verständlich dar.	☐	☐	☐	☐	☐
Die VR-Anwendung erläutert die Kriterien, die zur Bestimmung des geeigneten Programms der Weinpresse verwendet werden, eingehend und klar.	☐	☐	☐	☐	☐

Abbildung A.2: Überarbeiteter Fragebogen für die quantitative Teilstudie, Teil 2

Ziele des Instruktionsdesigns					
In der VR-Anwendung wird Redundanz vermieden, das heißt, lernirrelevante Informationen werden nicht präsentiert.	☐	☐	☐	☐	☐
Lernrelevante Informationen und Objekte werden in der VR-Lernanwendung effektiv hervorgehoben, um auf mögliche Interaktionen hinzuweisen oder die Aufmerksamkeit zu lenken.	☐	☐	☐	☐	☐
Die VR-Anwendung bietet klare Rückmeldungen auf Nutzeraktionen.	☐	☐	☐	☐	☐
In der VR-Lernanwendung werden vor komplexen Lernschritten vorbereitende Erklärungen gegeben, um ein besseres Verständnis der Lernenden zu gewährleisten.	☐	☐	☐	☐	☐
Die Texte für Instruktionen werden im persönlichen Unterhaltungsstil formuliert.	☐	☐	☐	☐	☐

Abbildung A.3: Überarbeiteter Fragebogen für die quantitative Teilstudie, Teil 3

Anhang B

Checkliste für Experteninterview

Checkliste für Experteninterview und offene Fragen

Einleitungs- bzw. Vorstellungsphase 10 Min.

- ☐ Dank für die Gesprächsbereitschaft
- ☐ Vorstellung der Interviewerin
- ☐ institutioneller Kontext (z.B. Hochschule, Institut)
- ☐ Erläuterung des Themas der Untersuchung und Vorstellung der Projektziele (siehe Analyseschema)
- ☐ Klärung des zeitlichen Interviewrahmens
- ☐ Erläuterung des Interviewablauf
- ☐ Bitte um die Erlaubnis zur Tonbandaufzeichnung, ggfs. Anonymitätszusicherung

Testen der VR-Lernanwendung 30 Min.

- ☐ Einführung und Training
- ☐ Testen der VR-Lernanwendung

Interview 45 Min.

Einstiegsfrage

- ☐ Wie haben Sie sich in der VR-Umgebung gefühlt?

Allgemeine Bewertung der VR

- ☐ Wie bewerten Sie generell den Einsatz von VR-Technologie in der Lehre?
Optional / Ergänzend
- ☐ Welche Aspekte der VR-Lernanwendung haben Ihnen besonders gut gefallen und warum?
- ☐ Welche Aspekte der VR-Lernanwendung haben Ihnen nicht gefallen und warum?
- ☐ Wie bewerten Sie die Interaktivität der VR-Lernanwendung im Vergleich zu traditionellen Lernmethoden?

Abbildung B.1: Überarbeiteter Fragebogen für die qualitative Teilstudie, Teil 1

Didaktische Methode

- ☐ In welchem Maße hat die VR-Lernanwendung Ihre Erwartungen hinsichtlich der didaktischen Methode erfüllt oder nicht erfüllt?

Optional / Ergänzend

- ☐ Wie finden Sie die Struktur und Sequenzierung der Lerninhalte in der VR-Anwendung?
- ☐ Was sind Ihrer Meinung nach die Vor- und Nachteile der VR-Anwendung, bei der der Lernweg von einem System gesteuert wird, wobei die Lernenden einem klar definierten Lernpfad folgen?
- ☐ Wie viel Spielraum halten Sie für angemessen, um in einer Lernumgebung die biotechnologischen Prozesse zu erkunden?

Inhalte und Gestaltung

- ☐ Wie hat sich die VR-Lernanwendung auf Ihr Verständnis und Ihre Wahrnehmung der biotechnologischen Prozesse der Weinherstellung ausgewirkt?
- ☐ In welchem Maße sollte eine VR-Lernumgebung realistische Simulationen bieten und warum? Begründen Sie bitte Ihre Antwort.

Optional / Ergänzend

- ☐ Gibt es Elemente oder Funktionen in der VR-Lernanwendung, die Sie als hinderlich empfunden haben? Wenn ja, welche und warum?
- ☐ Welche spezifischen Themen oder Prozesse eignen sich Ihrer Meinung nach besonders gut für die Vermittlung mittels VR?
- ☐ Bei welchen Inhalten ist das Lernen mit VR weniger effektiv?
- ☐ Wie wichtig ist Ihnen die grafische und visuelle Gestaltung einer VR-Lernanwendung für deren Effektivität?

Verbesserungsvorschläge und Potenziale

- ☐ Welche technischen oder inhaltlichen Verbesserungen würden Sie für zukünftige Versionen der VR-Lernanwendung vorschlagen?

Optional / Ergänzend

- ☐ Welche weiteren Inhalte oder Themen würden Sie gerne in zukünftigen VR-Lernanwendungen sehen?
- ☐ In welchen Bereichen sehen Sie das größte Potenzial für VR-Anwendungen in der biotechnologischen Ausbildung?
- ☐ Wie könnte die VR-Lernanwendung besser auf individuelle Lernbedürfnisse und -geschwindigkeiten eingehen?

Ende des Interviews

- ☐ Alles in allem – haben Sie den Eindruck, dass wir noch Punkte, die aus Ihrer Sicht relevant sind, für unsere Untersuchung vergessen haben? Hätten Sie noch etwas zu ergänzen?

Abbildung B.2: Überarbeiteter Fragebogen für die qualitative Teilstudie, Teil 2

Anhang C

Quellcode-Listings

In diesem Anhang wird eine Auswahl an Quellcode-Listings präsentiert, die im Rahmen der Entwicklung der Applikation für diese Masterarbeit erstellt wurden. Es werden einige relevante Ausschnitte der verschiedenen Skripte gezeigt, um die wichtigsten Implementierungsaspekte zu veranschaulichen. Der vollständige Quellcode der Programme ist im xR-Labor der Hochschule Anhalt zugänglich.

Im Quellcode-Listing C.1 ist das Skript `DestemmerInteraction.cs` zur Steuerung der Ent-rappmaschine und der Visualisierung der Mechanismen dargestellt.

Code C.1: DestemmerInteraction.cs

```
1 using System.Collections;
2 using UnityEngine;
3
4 public class DestemmerInteraction : MonoBehaviour
5 {
6     private AudioSource _audioSource;
7
8     [Header("Destemmer parts")] [SerializeField]
9     private GameObject destBody = null;
10    [SerializeField]
11    private GameObject destDrum = null;
12    [SerializeField]
13    private GameObject[] destStand = null;
14    [SerializeField]
15    private GameObject destParts = null;
16
17    [Header("Pump parts")] [SerializeField]
18    private GameObject[] pumpHoses = null;
19    [SerializeField]
20    private GameObject[] pumpFluids = null;
21
22    [Header("Original materials")]
23    [SerializeField]
24    private Material destBodyOriginalMaterial = null;
25    [SerializeField]
26    private Material destDrumOriginalMaterial = null;
27    [SerializeField]
28    private Material destStandOriginalMaterial = null;
29    [SerializeField]
30    private Material pumpHoseOriginalMaterial = null;
31
32    [Header("Transparent materials")]
33    [SerializeField]
34    private Material destBodyTransparentMaterial = null;
35    [SerializeField]
36    private Material destDrumTransparentMaterial = null;
```

```

37 [SerializeField]
38 private Material destStandTransparentMaterial = null;
39 [SerializeField]
40 private Material pumpHoseTransparentMaterial = null;
41
42 [Header("Destemmer residues")]
43 [SerializeField] private GameObject grapeStems = null;
44 [SerializeField] private GameObject must = null;
45
46 [Header("Particle effects")]
47 [SerializeField] private ParticleSystem mustParticleEffect = null;
48 [SerializeField] private ParticleSystem grapeStemParticleEffect = null;
49
50 [Header("Pump")]
51 [SerializeField] private AudioSource pumpSound = null;
52 private void Awake() {
53     _audioSource = GetComponent<AudioSource>();
54 }
55
56 void Start()
57 {
58     if(_audioSource != null)
59         _audioSource.Stop();
60     if(mustParticleEffect != null)
61         mustParticleEffect.Stop();
62     if(grapeStemParticleEffect != null)
63         grapeStemParticleEffect.Stop();
64     if(grapeStems != null)
65         grapeStems.SetActive(false);
66     if(must != null)
67         must.SetActive(false);
68     if(pumpSound != null)
69         pumpSound.Stop();
70 }
71
72 public void StartDestemmer() {
73     AppStateManager.currentDestemmerStatus = AppStateManager.DestemmerStatus.InOperation;
74     if (!_audioSource.isPlaying)
75         _audioSource.Play();
76     if (!mustParticleEffect.isPlaying)
77         mustParticleEffect.Play();
78     if (!grapeStemParticleEffect.isPlaying)
79         grapeStemParticleEffect.Play();
80     StartCoroutine(ShowMustTimer());
81 }
82
83 public void StopDestemmer()
84 {
85     AppStateManager.currentDestemmerStatus = AppStateManager.DestemmerStatus.Inactive;
86
87     RestoreDestOriginalMaterial();
88     RestorePumpOriginalMaterial();
89
90     if (mustParticleEffect.isPlaying)
91         mustParticleEffect.Stop();
92     if (grapeStemParticleEffect.isPlaying)
93         grapeStemParticleEffect.Stop();

```

```

94     if (_audioSource.isPlaying)
95         _audioSource.Stop();
96     if (pumpSound.isPlaying)
97         pumpSound.Stop();
98 }
99
100 public void StartPumping()
101 {
102     RestoreDestOriginalMaterial();
103
104     if (!pumpSound.isPlaying)
105         pumpSound.Play();
106
107     foreach (var pumpFluid in pumpFluids)
108     {
109         pumpFluid.SetActive(true);
110     }
111     foreach (var pumpHose in pumpHoses)
112     {
113         pumpHose.GetComponent<MeshRenderer>().material = pumpHoseTransparentMaterial;
114     }
115 }
116
117 // Originalmaterialien der Entrappmaschine wiederherstellen
118 public void RestoreDestOriginalMaterial()
119 {
120     destBody.GetComponent<MeshRenderer>().material = destBodyOriginalMaterial;
121     destDrum.GetComponent<MeshRenderer>().material = destDrumOriginalMaterial;
122     foreach (var part in destStand)
123     {
124         part.GetComponent<MeshRenderer>().material = destStandOriginalMaterial;
125     }
126     if(destParts != null)
127         destParts.SetActive(true);
128 }
129
130 public void RestoreDestStandOriginalMaterial()
131 {
132     foreach (var part in destStand)
133     {
134         part.GetComponent<MeshRenderer>().material = destStandOriginalMaterial;
135     }
136 }
137
138 public void RestoreDestDrumOriginalMaterial()
139 {
140     destDrum.GetComponent<MeshRenderer>().material = destDrumOriginalMaterial;
141 }
142
143 public void RestorePumpOriginalMaterial()
144 {
145     foreach (var pumpFluid in pumpFluids)
146     {
147         pumpFluid.SetActive(false);
148     }
149
150     foreach (var pumpHose in pumpHoses)

```

```

151     {
152         pumpHose.GetComponent<MeshRenderer>().material = pumpHoseOriginalMaterial;
153     }
154 }
155
156 public void SetDestBodyTransparent()
157 {
158     destBody.GetComponent<MeshRenderer>().material = destBodyTransparentMaterial;
159     if(destParts != null)
160         destParts.SetActive(false);
161 }
162
163 public void SetDestDrumTransparent()
164 {
165     destDrum.GetComponent<MeshRenderer>().material = destDrumTransparentMaterial;
166 }
167
168 public void SetDestStandTransparent()
169 {
170     foreach (var part in destStand)
171     {
172         part.GetComponent<MeshRenderer>().material = destStandTransparentMaterial;
173     }
174 }
175
176 // Coroutine um nach 3 Sekunden nach dem Start
177 // der Entrappmaschine die Maische anzuzeigen
178 IEnumerator ShowMustTimer() {
179     yield return new WaitForSeconds(3f);
180     grapeStems.SetActive(true);
181     grapeStems.SetActive(true);
182     must.SetActive(true);
183 }
184
185 public void CompleteDestemming()
186 {
187     AppStateManager.isDestemmingComplete = true;
188     AppStateManager.currentDestemmerStatus =
189         AppStateManager.DestemmerStatus.ReadyForPumping;
190 }
191
192 public void ResetDestemming()
193 {
194     AppStateManager.isDestemmingComplete = false;
195     AppStateManager.currentDestemmerStatus = AppStateManager.DestemmerStatus.InOperation;
196 }
197
198 public void CompletePumpToWinepress()
199 {
200     AppStateManager.isPumpToWeinpressComplete = true;
201     AppStateManager.currentWinepressStatus =
202         AppStateManager.WinepressStatus.ReadyForSelection;
203 }

```

Quelcode-Listing C.2 zeigt das Skript `BtnRefractometerRead.cs`, das die Funktionsweise des Refraktometers demonstriert. Beim Drücken der Taste wird diese in eine andere Position verschoben, was die Illusion der Aktivierung des Refraktometers erzeugt. In Zeile 11 wird überprüft, ob Most in das Loch eingefüllt wurde. Wenn dies der Fall ist, wird der Zuckergehalt in Oechsle angezeigt und weitere Lernschritte werden aktiviert. Es ist eine einfache Logik implementiert, wobei der Wert auf 90 eingestellt wird. Bei der Weiterentwicklung der Anwendung, bei der der Zuckergehalt vom ausgewählten Traubentyp oder der Schwefelung abhängen wird, werden komplexere Bedingungen implementiert.

Code C.2: BtnRefractometerRead.cs

```

1  private void OnTriggerEnter(Collider other)
2  {
3      if (!_isPressed)
4      {
5          _presser = other.gameObject;
6          press.transform.localPosition = new Vector3(0f, -0.084f, 0f);
7          clickSound.Play();
8          displayBackground.GetComponent<Image>().color = newColor;
9          displayText.SetActive(true);
10         alcoholContent.text = "0";
11         if (_isRefrSampleActive)
12         {
13             onPress.Invoke();
14             clickSound.Play();
15             alcoholContent.text = "90";
16             step3.SetActive(false);
17             step4.SetActive(true);
18         }
19         _isPressed = true;
20     }
21 }
22
23 private void OnTriggerExit(Collider other)
24 {
25     if (other.gameObject == _presser)
26     {
27         press.transform.localPosition = new Vector3(0f, 0f, 0f);
28         _isPressed = false;
29     }
30 }

```

Im Quellcode-Listing C.3 ist das Skript `AttachBottle.cs` dargestellt, das zur Steuerung der Abfüllmaschine verwendet wird. In Zeile 26 wird überprüft, ob das mit der Abfüllmaschine in Kontakt stehende Objekt eine Weinflasche ist. Wenn das der Fall ist, wird die Flasche in die Halterung eingehängt und eine Animation aktiviert, die die Bewegung der Halterung simuliert, wie es in der Realität geschieht. Außerdem wird mit Hilfe des Komponenten `<XRGrabInteractable>` ein haptisches Feedback im Controller erzeugt, was das Präsenzgefühl verstärkt. In Zeile 60 wird eine Coroutine verwendet, um die Flasche innerhalb von 5 Sekunden von 0 auf 85 Prozent mit Wein zu füllen.

Code C.3: AttachBottle.cs

```

1 using System.Collections;
2 using UnityEngine;
3 using UnitySimpleLiquid;
4 using UnityEngine.XR.Interaction.Toolkit;
5
6 public class AttachBottle : MonoBehaviour
7 {
8     private GameObject attachedObject = null;
9
10    [SerializeField] private Animator holdBottle;
11    [SerializeField] private string animationName;
12    [SerializeField] private GameObject fluid;
13
14    [Header("Haptic feedback")]
15    private XRGrabInteractable grabInteractable;
16    [SerializeField] private XRBaseController leftHandController;
17    [SerializeField] private XRBaseController rightHandController;
18    private void Start()
19    {
20        holdBottle.enabled = false;
21        holdBottle.speed = 0;
22    }
23
24    private void OnTriggerEnter(Collider other)
25    {
26        if (other.CompareTag("WineBottle"))
27        {
28            attachedObject = other.gameObject;
29            holdBottle.enabled = true;
30            holdBottle.speed = 1;
31            holdBottle.Play(animationName, -1, 0f);
32            fluid.SetActive(true);
33            StartCoroutine(FillLiquidContainer(other.
34                GetComponent<LiquidContainer>(), 5f));
35
36            grabInteractable = other.GetComponent<XRGrabInteractable>();
37            if (grabInteractable != null)
38            {
39                SendHapticFeedback(grabInteractable.selectingInteractor.
40                    GetComponent<XRBaseController>(), 0.2f, 0.1f);
41            }
42        }
43    }
44
45    private void OnTriggerExit(Collider other)
46    {
47        if (other.gameObject == attachedObject)
48        {
49            attachedObject = null;
50            holdBottle.speed = -1;
51            fluid.SetActive(false);
52        }
53    }
54
55    public bool IsObjectAttached()

```

```
56 {
57     return attachedObject != null;
58 }
59
60 IEnumerator FillLiquidContainer(LiquidContainer container, float duration)
61 {
62     float startTime = Time.time;
63     float endTime = startTime + duration;
64     float startValue = container.fillAmountPercent;
65     float endValue = 0.85f;
66
67     while (Time.time < endTime)
68     {
69         float elapsed = (Time.time - startTime) / duration;
70         container.fillAmountPercent = Mathf.Lerp(startValue, endValue, elapsed);
71         yield return null;
72     }
73
74     container.fillAmountPercent = endValue;
75 }
76 private void SendHapticFeedback(XRBaseController controller, float intensity, float
77     duration)
78 {
79     if (controller != null)
80     {
81         controller.SendHapticImpulse(intensity, duration);
82     }
83 }
```


Shader Graphs

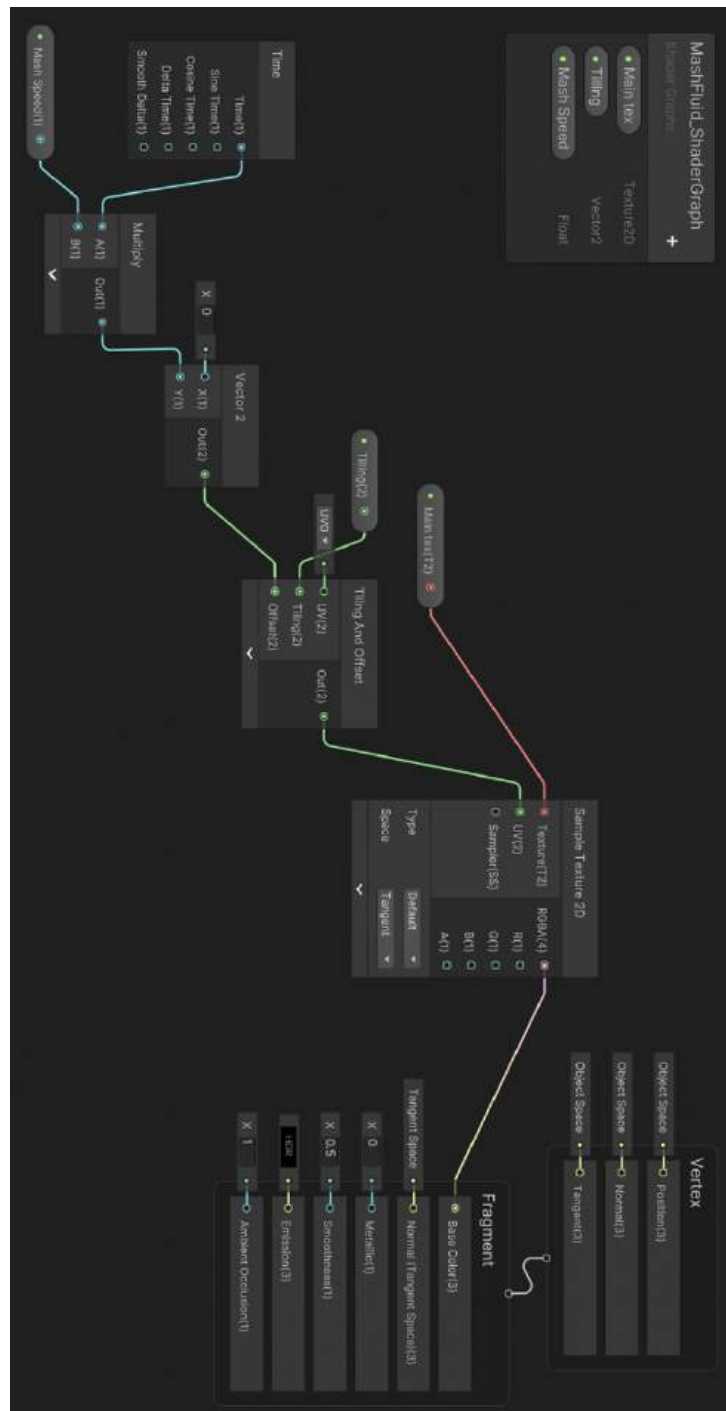


Abbildung D.1: Shader Graph: Simulation der fließenden Maische durch den Schlauch

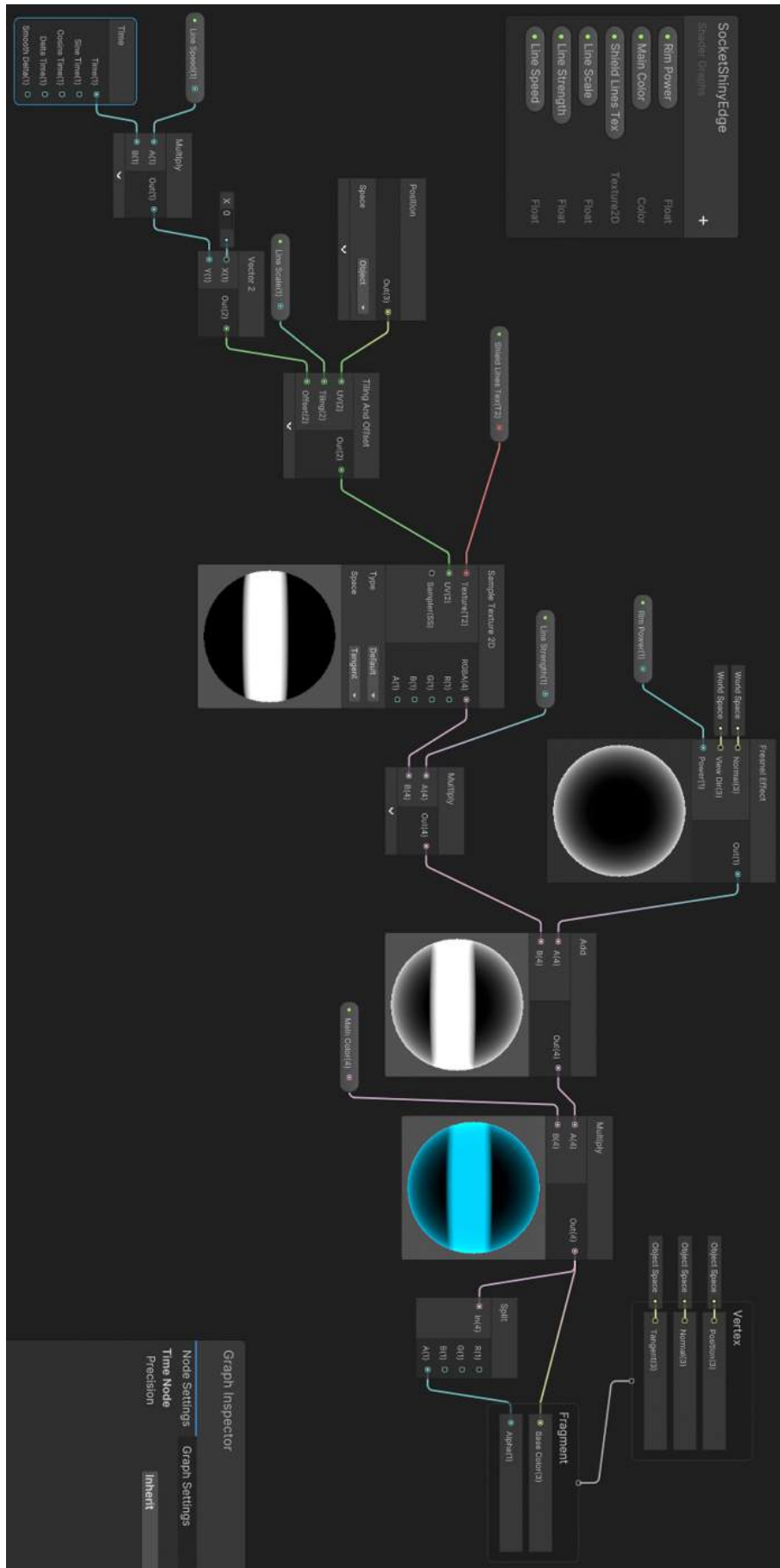


Abbildung D.2: Shader Graph: Visueller Effekt für den Weinflaschen-Socket

Anhang E

Verwendete Software und Hilfsmittel

Tabelle E.1: In dieser Arbeit und für die Entwicklung der Anwendung verwendete Software und Hilfsmittel

Name	Version	Verwendung	URL
Entwicklung			
Unity Hub	3.8.0	Verwaltung von Unity-Projekten und Editor-Installationen	https://unity.com/unity-hub
Unity Editor	2021.3.4f1	Anwendungsentwicklung	https://unity.com/products/unity-engine
JetBrains Rider	2023.3.3	Skripterstellung	https://www.jetbrains.com/rider/
3D-Modelle			
Unity ProBuilder	5.0.7	Erstellung von 3D-Modellen für Weinraum und Weinkeller	https://unity.com/features/probuilder
Autodesk Maya	2024.2	Erstellung von 3D-Modellen	https://www.autodesk.com/products/-maya/
Texturen und Illustrationen			
Adobe Substance 3D Painter	10.0.0	Texturerstellung	https://www.adobe.com/products/substance3d/
Adobe Photoshop	25.9.0	Erstellung von Texturen und Illustrationen	https://www.adobe.com/de/products/-photoshop/
Adobe Illustrator	28.5	Erstellung von Illustrationen, Grafiken und Fragebögen	https://www.adobe.com/de/products/illustrator/
Adobe Lightroom	7.3	Fotobearbeitung, Texturen und Bildbearbeitung	https://www.adobe.com/de/products/photoshop-lightroom/
Texterfassung und Korrektur			
Quillbot	2023/2024	Grammatikprüfung und Paraphrasierung für Texte und Hinweise in der Anwendung	https://quillbot.com/
Google Übersetzer	2023/2024	Übersetzung	https://translate.google.com/
Evernote	v178.2.0	Notizen	https://evernote.com/
Overleaf	2023/2024	Texterstellung	https://www.overleaf.com/
Flowcharts			
Miro Board	0.86.1	Erstellung von Flowcharts und Mindmaps	https://miro.com/
Literaturrecherche			
Google Scholar	2023/2024	Recherche in wissenschaftlichen Arbeiten und Büchern	https://scholar.google.com/
Scopus	2023/2024	Recherche in wissenschaftlichen Arbeiten und Büchern	https://www.scopus.com/

Anhang F

Verwendete Ressourcen

Tabelle F.1: In dieser Arbeit und für die Entwicklung der Anwendung verwendete externe Ressourcen, Teil 1

Name	Autor / Autorin	Verwendung	Quelle und URL
Sounds			
Paper Flutter	Pixabay	Sound des Etikettierens einer Flasche	Pixabay https://pixabay.com/sound-effects/paper-flutter-5933/
Click Button	UNIVERSFIELD	Klang des Tastendrucks	Pixabay https://pixabay.com/sound-effects/click-button-140881/
UI Audio	Kenney	Töne von UI-Elementen und Interaktionen	Kenney https://kenney.nl/assets/ui-audio
Töne von Maschinen und Geräusche des Weinguts	Hochschule Anhalt	Töne von Maschinen und Geräusche des Weinguts	Hochschule Anhalt Aufgenommen in Weingütern
3D-Modelle			
Wine Barrel 01	James Ray Cock	Weinfässer im Weinkeller	Poly Heaven https://polyhaven.com/a/wine_barrel_01
Fancy Picture Frame 01	Rico Cilliers, Rob Tuytel	Dekorativer Bilderrahmen	Poly Heaven https://polyhaven.com/a/fancy_picture_frame_01
VR Hands	Biotech-Haus	VR Hands	Biotech-Haus
Illustrationen und Icons			
Grapes realistic composition with red rose and white grapes isolated	@macrovector	Illustrationen von Trauben im UI-Programm zur Auswahl der Weinpresse	Freepik https://www.freepik.com/free-vector/grapes-realistic-composition-with-red-rose-white-grapes-isolated_6802328.htm
Sync Arrows Outline Glyph Flat	@juicy_fish	Wiederholungs-Icon für Weintanks	Freepik https://www.freepik.com/free-vector/sync-arrows-outline-glyph-flat_154658615.htm
Recycling and rotation arrow icon set	@hannazasimova	Wiederholungs-Icon für die Grafik 4.1	Freepik https://www.freepik.com/free-vector/recycling-rotation-arrow-icon-set_149410204.htm
Checked free icon	@Roundicons	Icon für den erfolgreichen Abschluss der Aufgabe	Flaticon https://www.flaticon.com/free-icon/checked_190411
Biotech-Haus Logo	Biotech-Haus / Hochschule Anhalt	Welcome-UI und Stickers	Biotech-Haus / Hochschule Anhalt

Tabelle F.2: In dieser Arbeit und für die Entwicklung der Anwendung verwendete externe Ressourcen, Teil 2

Name	Autor / Autorin	Verwendung	Quelle und URL
Code			
Unity Simple Liquid	Alex Evgrashin (@Macoron), Wully (@Wully616), Denis Kryga (@CaptainKryga)	Flüssigkeitssimulation für Most und Wein	GitHub https://github.com/Macoron/Unity-Simple-Liquid
Texturen			
Patio Tiles	Dario Barresi	Bodentextur	Poly Haven https://polyhaven.com/a/patio_tiles
Concrete Layers 02	Rob Tuytel	Texturen der Wände im Weinkeller	Poly Haven https://polyhaven.com/a/medieval_blocks_03
Medieval Blocks 03	Rob Tuytel	Deckentextur	Poly Haven https://polyhaven.com/a/concrete_layers_02
Machine Shop 01	Sergej Majboroda	HDRI für den Weinkeller	Poly Haven https://polyhaven.com/a/machine_shop_01
Simple metal panels background	@freepik	Texturen der Wände im Weinraum	Freepik https://www.freepik.com/free-photo/simple-metal-panels-background_5281092.htm
Printed Cork Leaf	Adobe	Korkentextur	Adobe Substance 3D Assets https://substance3d.adobe.com/assets/allassets/67ea22e57e235da9264f125781c9ce3c989929d5
Plastic Stripes Regular	Adobe	Schlauchtextur	Adobe Substance 3D Assets https://substance3d.adobe.com/assets/allassets/f15fe8482756d4dc365f54d862369f0e63fa169a
Square Metal Air Ventilation Grill	Adobe	Gitter für Maschinen	Adobe Substance 3D Assets https://substance3d.adobe.com/assets/allassets/b5295baf95286bc44b35f7279baf4aafb7cd00df
Embossed Glass Phoenix Pattern	Adobe	Glastextur	Adobe Substance 3D Assets https://substance3d.adobe.com/assets/allassets/a9bf4910be98f3545a527e2dc42e02580f8667c7
Schriftarten			
Open Sans	Steve Matteson	Texthinweise in der Anwendung	Google Fonts https://fonts.google.com/specimen/Open+Sans
Monomaniac One	Maniackers Design	Schriftart für den Bildschirm des Refraktometers	Google Fonts https://fonts.google.com/specimen/Monomaniac+One
Barlow	Jeremy Tribby	Überschriften des Textes	Google Fonts https://fonts.google.com/specimen/Barlow
Lora	Cyreal	Text	Google Fonts https://fonts.google.com/specimen/Lora