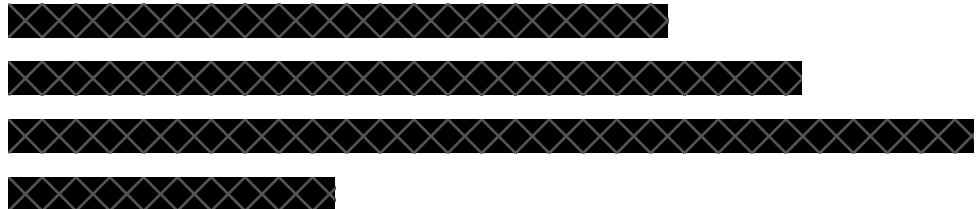


SYSTEMATISCHE BESCHREIBUNG VON
GESTALTUNGSPRINZIPIEN
FÜR VR-LEHRANWENDUNGEN

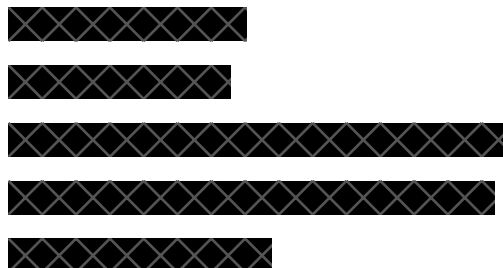
BACHELORARBEIT

vorgelegt bei:



von:

Omar Aboulazm



Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	V
1. Einleitung	1
1.1 Problemstellung und Motivation	1
1.2 Forschungsfragen und Zielsetzung der Arbeit	2
1.3 Aufbau der Arbeit	3
2. Theoretische Grundlagen	4
2.1 Gebrauchstauglichkeit	5
2.2 Virtual Reality	6
2.3 Gebrauchstauglichkeit von Virtual Reality Systemen	6
2.4 Cognitive Load Theory	7
2.5 Cognitive Theory of Multimedia Learning	9
2.6 Generative Learning Theory	11
2.7 Attention, Relevance, Confidence, Satisfaction - Model	12
2.8 The Cognitive Affective Model of Immersive Learning	13
3. Wissenschaftliche Vorgehensweise (Methodik)	16
3.1 Systematische Literaturanalyse zur Identifikation der Quellen	16
3.1.1 Einordnung nach der Cooper-Taxonomie	16
3.1.2 Suchstrategie und Erstellung des Review-Protokolls	17
3.2 Struktur eines Gestaltungsprinzips	20
4. Gestaltungsprinzipien von Virtual Reality in der Lehre	22
4.1 Signaling	23
4.2 Segmentierung und Sequenzierung	24
4.3 Embodiment	25
4.4 Realismus-Kohärenz-Abwägung	26
4.5 Modalitäts- und Redundanz-Effekte	27
4.6 Hands-on- und Pre-Training	28
4.7 Vertrautes Design	30
4.8 Scaffolding	31
4.9 Adaptives Feedback	32
4.10 Generative Lernaktivitäten	33
4.11 Personalisierung	34
4.12 Kollaboratives Lernen	35

5. Diskussion	37
5.1 Einordnung der Ergebnisse	37
5.2 Limitations	46
6. Fazit	47
7. Anhang	VI
Literatur	X

Abkürzungsverzeichnis

AR	Augmented Reality
ARCS-Model	Attention, Relevance, Confidence, Satisfaction - Model
CAMIL	Cognitive Affective Model of Immersive Learning
CLT	Cognitive Load Theory
CTML	Cognitive Theory of Multimedia Learning
ECL	Extrinsische kognitive Belastung
EVE	Educational virtual environment
GCL	Germane kognitive Belastung
GLT	Generative Learning Theory
HFF	Hauptforschungsfrage
HMD	Head-Mounted Display
ICL	Intrinsische kognitive Belastung
MR	Mixed Reality
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses
SLR	Systematische Literaturrecherche
SOI-Model	Selection, Organisation, Integration - Model
UFF	Unterforschungsfragen
UI	User Interface
UX	User Experience
VE	Virtual environment
VR	Virtual Reality

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Aufbau der Arbeit im Überblick.	3
Abbildung 2	Kognitive Belastungsarten nach der Cognitive Load Theory.	9
Abbildung 3	Kognitive Verarbeitungsprozesse nach der Cognitive Theory of Multimedia Learning.	10
Abbildung 4	Synthese der kognitiven und motivationalen Lerntheorien als Fun- dament für VR-Gestaltungsprinzipien.	15
Abbildung 5	Einordnung der systematischen Literaturanalyse	17
Abbildung 6	PRISMA-2020-Flussdiagramm der Studiensauswahl.	20
Abbildung 7	Konzeptmatrix der zwölf Gestaltungsprinzipien nach kognitivem Verarbeitungstyp und affektiv-motivationaler Ebene.	39
Abbildung 8	Funktionale Klassifikation der Gestaltungsprinzipien in einer Verar- beitungskette: Entlasten, Strukturieren, Aktivieren und Motivieren.	42
Abbildung 9	Zusammensetzung des allgemeinen Suchterms zur Identifikation der Literatur.	VI
Abbildung 10	Modifizierte Suchstrings für Datenbanken mit limitierten Such-Operatoren	VI

1. Einleitung

Die folgende Einleitung führt in den Gegenstand der Arbeit ein. Sie legt zunächst die Problemstellung und die daraus resultierende Forschungslücke dar, leitet hieraus die Forschungsfragen und die Zielsetzung ab und skizziert abschließend den Aufbau der Arbeit.

1.1 Problemstellung und Motivation

Virtual Reality (VR) eröffnet der Hochschullehre neue pädagogische Zugänge, da sie Lernenden ermöglicht, abstrakte oder in der Realität nicht sichtbare Konzepte zu visualisieren und mit ihnen zu interagieren sowie prozedurales Wissen in einer risikofreien Umgebung zu erwerben (Hsu & Lee, 2025, S. 270; Oje et al., 2025, S. 1). Diese immersiven Eigenschaften führen jedoch nicht automatisch zu besserem Lernen. Nach dem Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL) ist nicht das Medium selbst für den Lernerfolg ausschlaggebend, sondern die instruktionale Methode, die dessen spezifische Affordanzen nutzbar macht (Makransky & Petersen, 2021, S. 940). Bleibt diese Passung aus, kann die hohe sensorische Dichte immersiver Umgebungen die kognitive Belastung erhöhen und durch Ablenkung zu schlechteren Lernergebnissen führen als klassische Desktop-Anwendungen (Parong & Mayer, 2020, S. 1; Hsu & Lee, 2025, S. 273). Entscheidend ist daher, ob die Gestaltung der Anwendung die begrenzten kognitiven Ressourcen der Lernenden für den Lerninhalt freihält. Weisen VR-Lehranwendungen Mängel in ihrer Gebrauchstauglichkeit auf, so binden sie diese Ressourcen an die Bedienung des Systems und behindern so den eigentlichen Lernprozess (Fink et al., 2023, S. 2).

Die Gebrauchstauglichkeit immersiver Anwendungen lässt sich jedoch nicht ohne Weiteres mit etablierten Methoden sicherstellen. Ein prominentes Beispiel hierfür sind die grundlegenden Gebrauchstauglichkeitsheuristiken von Nielsen & Molich (1990). Diese wurden ursprünglich als allgemeine Richtlinien konzipiert, um Probleme der Gebrauchstauglichkeit in zweidimensionalen Software-Benutzeroberflächen effizient zu identifizieren.

Diese Heuristiken erweisen sich für die Evaluation von Benutzerschnittstellen in dreidimensionalen, räumlich-immersiven Umgebungen als unzureichend. Der Grund dafür ist, dass sie VR-spezifische Interaktionsformen sowie die damit verbundenen Anforderungen an die Steuerung kognitiver Belastung nicht erfassen. Den Entwickelnden

von VR-Lernumgebungen fehlt damit eine Orientierung, die sowohl die intuitive Bedienbarkeit des Systems als auch die didaktischen Anforderungen des Bildungskontextes berücksichtigt (Larmuseau et al., 2025, S. 2; Bernabei et al., 2024, S. 9).

Aus diesem methodischen Defizit ergibt sich eine Forschungslücke: Es fehlt an einer systematischen Aufbereitung spezifischer Gestaltungsprinzipien für VR-Lehranwendungen, die den Besonderheiten immersiver Lernumgebungen gerecht wird.

1.2 Forschungsfragen und Zielsetzung der Arbeit

Hier setzt die vorliegende Arbeit an. Ihr Hauptziel ist es, Gestaltungsprinzipien für VR-Lehranwendungen systematisch zu beschreiben und handlungsorientiert aufzubereiten, um eine wissenschaftlich fundierte Basis für deren nutzerzentrierte Entwicklung zu schaffen. Diese Prinzipien können zugleich eine Grundlage zukünftiger Evaluationskriterien bilden, um VR-Anwendungen in der Hochschullehre hinsichtlich ihrer Gebrauchstauglichkeit zu überprüfen.

Aus dieser Forschungslücke leitet sich die folgende Hauptforschungsfrage (HFF) ab:

HFF: Wie sollten VR-Lehranwendungen im Hochschulkontext hinsichtlich ihrer Gebrauchstauglichkeit gestaltet sein?

Diese Frage wird durch folgende Unterforschungsfragen (UFF) konkretisiert:

- **UFF 1:** Welche Gestaltungsprinzipien für gebrauchstaugliche VR-Lehranwendungen lassen sich aus der bestehenden Forschung ableiten?
- **UFF 2:** Wie lassen sich diese identifizierten Gestaltungsprinzipien systematisch beschreiben und strukturieren, um handlungsorientierte Empfehlungen für die Praxis bereitzustellen?

1.3 Aufbau der Arbeit

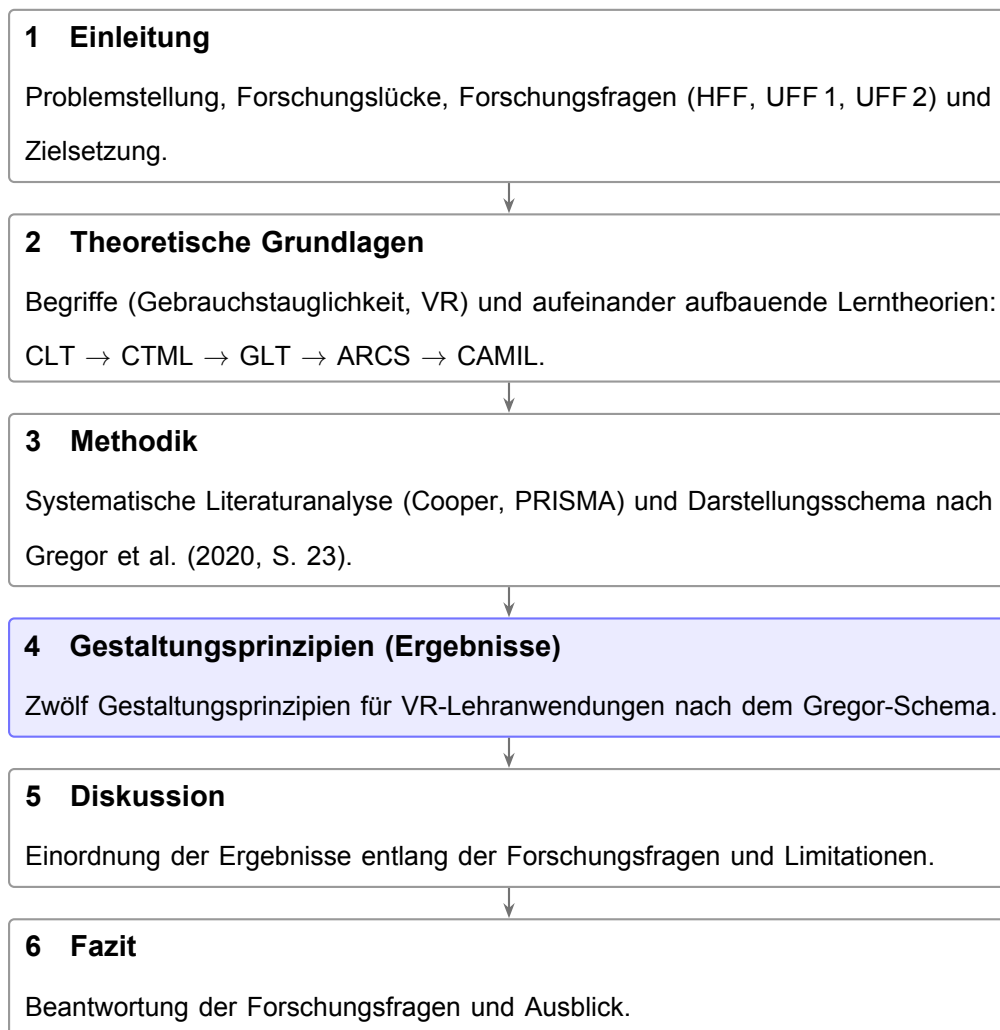


Abbildung 1: Aufbau der Arbeit im Überblick.

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in sechs Kapitel. Nach der Einleitung, in der die Problemstellung, die daraus abgeleitete Forschungslücke sowie die Forschungsfragen und die Zielsetzung dargelegt wurden, schafft Kapitel 2 die theoretischen Grundlagen. Zunächst werden die zentralen Begriffe definiert, allen voran die Gebrauchstauglichkeit gemäß DIN EN ISO 9241-11 sowie VR. Aufbauend darauf werden die für die Arbeit relevanten lerntheoretischen Modelle in ihrer wechselseitigen Bezugnahme erklärt. Dabei wird die Kette von der Cognitive Load Theory (CLT) über die Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML) und die Generative Learning Theory (GLT) bis zum Attention, Relevance, Confidence, Satisfaction - Model (ARCS-Model) nachgezeichnet. Diese vier Ansätze werden schließlich im CAMIL zu einer immersionsspezifischen Synthese zusammengeführt. Abschließend wird die Gebrauchstauglichkeit von VR-

Systemen im Unterschied zu klassischen Desktop-Oberflächen erörtert. Dieses Kapitel liefert ausschließlich das konzeptionelle Fundament und nimmt die späteren Ergebnisse nicht vorweg.

Kapitel 3 erläutert die wissenschaftliche Vorgehensweise. Es behandelt einerseits die Systematische Literaturrecherche (SLR), ihre Einordnung nach der Cooper-Taxonomie, die Such- und Datenbankstrategie sowie das nach dem Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA)-Leitfaden dokumentierte Auswahlverfahren. Andererseits wird ein methodisches Darstellungsschema zur formalen Strukturierung der identifizierten Prinzipien vorgestellt. Als Grundlage dient hierfür die ‚Anatomy of a Design Principle‘ nach Gregor et al. (2020, S. 23). Damit adressiert das Kapitel beide Unterforschungsfragen, indem es sowohl die Ableitung als auch die einheitliche Beschreibung der Gestaltungsprinzipien methodisch begründet.

Kapitel 4 bildet den Ergebnisteil der Arbeit. Hier werden die zwölf identifizierten Gestaltungsprinzipien für VR-Lehranwendungen systematisch aufbereitet und nach dem Schema von Gregor et al. (2020, S. 23) einheitlich dargestellt.

Kapitel 5 ordnet in Abschnitt 5.1 die Ergebnisse entlang der Unterforschungsfragen ein, bevor Abschnitt 5.2 die Grenzen des gewählten Vorgehens reflektiert.

Das Fazit in Kapitel 6 fasst die Erkenntnisse abschließend zusammen, beantwortet die Forschungsfragen und gibt einen Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf.

Abbildung 1 veranschaulicht den dargestellten Aufbau der Arbeit im Überblick.

2. Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel werden die zentralen Begriffe und lerntheoretischen Modelle für die Arbeit eingeführt. Diese bilden das konzeptionelle Fundament für die spätere Ableitung der Gestaltungsprinzipien. Die Darstellung folgt dabei einer aufbauenden Logik. Ausgehend vom Begriff der Gebrauchstauglichkeit und dessen Besonderheiten in immersiven VR-Umgebungen werden zunächst kognitions- und motivationspsychologische Theorien vorgestellt, die anschließend in einem immersionsspezifischen Modell zusammengeführt werden.

2.1 Gebrauchstauglichkeit

Der Begriff der Gebrauchstauglichkeit (engl. Usability) bildet das zentrale Bewertungskonstrukt dieser Arbeit. Die DIN EN ISO 9241-11 definiert sie als das Ausmaß, in dem ein System von bestimmten Nutzenden in einem spezifischen Nutzungskontext verwendet werden kann, um festgelegte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2018). Entscheidend an dieser Definition ist, dass Gebrauchstauglichkeit keine absolute Eigenschaft eines Systems beschreibt, sondern erst in Bezug auf konkrete Nutzende, Ziele und Nutzungskontexte bestimmt werden kann.

Für die vorliegende Arbeit werden diese Bezugsgrößen entsprechend festgelegt. Die Nutzergruppe sind Studierende, das Ziel ist der Erwerb fachlicher Lerninhalte und der Nutzungskontext ist eine immersive VR-Lehranwendung im Hochschulbereich. Aus dieser Festlegung ergibt sich ein spezifisches Verständnis von Gebrauchstauglichkeit, das dieser Arbeit zugrunde liegt. Sie bemisst sich hier nicht an der Bedienbarkeit eines Werkzeugs zum Selbstzweck, sondern daran, inwieweit die Anwendung es den Lernenden ermöglicht, ihre begrenzten kognitiven Ressourcen auf den eigentlichen Lerninhalt statt auf die Bedienung und Orientierung im System zu richten. Eine gebrauchstaugliche VR-Lehranwendung im Sinne dieser Arbeit ist demnach eine Anwendung, die der Interaktion möglichst wenig kognitive Kapazität entzieht und diese dem Lernprozess verfügbar hält (s. Abschnitt 2.4) (Fink et al., 2023, S. 2).

Gebrauchstauglichkeit ist in diesem Verständnis eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung instruktorischer Effektivität. Sie trägt zum Lernerfolg bei, indem sie kognitive Ressourcen für den eigentlichen Lernprozess freihält, kann diesen jedoch nicht aus sich heraus sicherstellen. Erst im Zusammenspiel mit einer wirksamen didaktischen Gestaltung entsteht erfolgreiches Lernen (Kopahs et al., 2025, S. 6; Makransky & Petersen, 2021, S. 939). Neben dieser kognitiven Dimension besitzt sie zudem eine affektiv-motivationale Ebene, da das Nutzungserleben die Emotionen und die Motivation der Lernenden beeinflusst und damit über deren Bereitschaft zur kontinuierlichen Auseinandersetzung mit der Technologie mitentscheidet. Diese motivationale Perspektive wird in den Abschnitten 2.7 und 2.8 anhand des ARCS-Models und des CAMILs vertieft.

2.2 Virtual Reality

VR ist eine Technologie, die dreidimensionale Umgebungen simuliert und es den Nutzenden ermöglicht, diese realitätsnah zu erkunden und mit ihnen zu interagieren (Fokides & Antonopoulos, 2023, S. 1). Immersion bezeichnet dabei eine objektive, technologische Eigenschaft eines VR-Systems, die sich im Ausmaß der dargebotenen sensorischen Informationen bemisst (Petersen et al., 2022, S. 2; Parong & Mayer, 2020, S. 227). Um vollständig in diese Erfahrung einzutauchen, nutzen Lernende sogenannte Head-Mounted Displays (HMDs). Diese blenden die physische Umgebung visuell aus und ermöglichen durch integrierte Bewegungsverfolgung (engl. Motion-Tracking), räumliches Audio sowie die Interaktion mit der virtuellen Welt mittels Controllern und haptischem Feedback eine natürliche Erkundung der virtuellen Umgebung (engl. Virtual environment (VE)) durch Kopfbewegungen und Handinteraktionen (Fokides & Antonopoulos, 2023, S. 1).

Für die Hochschullehre kann diese Technologie von besonderer Bedeutung sein, da sie neue pädagogische Zugänge eröffnet. Die hohe Immersion der HMDs kann dabei die physischen Grenzen der klassischen Wissensvermittlung überwinden. Studierende können dadurch abstrakte oder in der Realität nicht unmittelbar wahrnehmbare Konzepte visualisieren, mit diesen interagieren und sie tiefgreifend verstehen (Hsu & Lee, 2025, S. 1).

In Abgrenzung zu verwandten immersiven Technologien bezeichnet VR eine vollständig computergenerierte Umgebung, die die reale Welt ausblendet. Auf der anderen Seite erweitert Augmented Reality (AR) die Realität lediglich um digitale Objekte, sodass die reale und virtuelle Welt gleichzeitig bestehen (Buchner & Hofmann, 2022, S. 1). Mixed Reality (MR) verbindet beide Ansätze (anders als bei AR, wo beide Welten lediglich parallel bestehen), indem virtuelle und reale Objekte miteinander interagieren (Paulsen et al., 2024, S. 2).

Die vorliegende Arbeit beschränkt sich ausschließlich auf VR; AR und MR sind nicht Gegenstand der Untersuchung.

2.3 Gebrauchstauglichkeit von Virtual Reality Systemen

Die Gebrauchstauglichkeit von VR-Systemen stellt einen wichtigen Erfolgsfaktor für deren didaktischen Einsatz dar. Während das in Abschnitt 2.1 dargelegte Verständnis von Gebrauchstauglichkeit grundsätzlich auch für immersive Systeme gilt, gestaltet

sich ihre Evaluation hier deutlich komplexer als bei klassischen Desktop-Anwendungen (Bernabei et al., 2024, S. 9–12).

Die im Abschnitt 1.1 dargelegten Mängel klassischer Evaluationsmethoden lässt sich konkretisieren. VR-Benutzeroberflächen unterscheiden sich grundlegend von traditionellen grafischen Benutzeroberflächen, da sie einzigartige Eingabe- und Ausgabegeräte, neuartige visuelle Perspektiven und komplexe physiologische Interaktionen erfordern (Bernabei et al., 2024, S. 9).

Konkret zeigt sich dies am klassischen WIMP-Paradigma (Window, Icon, Menu, Pointing Device), das für dreidimensionale und immersive Umgebungen unzureichend ist (Biermann et al., 2022, S. 1, 5). Da in VR keine feste Platzierung von Benutzeroberflächen besteht, kann die direkte Übertragung von Desktop-Paradigmen das Benutzererlebnis (engl. User Experience (UX)) beeinträchtigen. (Mehmedova et al., 2026, S. 1). Herkömmliche *Point-and-Click*-Interaktionen können die multidimensionale Objektauswahl und -manipulation im 3D-Raum nicht adäquat abbilden. VR-Umgebungen bringen neuartige Interaktionsparadigmen mit sich. Laut Bernabei et al. (2024, S. 9) sowie sowie Makransky und Petersen (2021, S. 939) berücksichtigt die Evaluation der Gebrauchstauglichkeit daher sowohl System-Schnittstellen (wie räumliche Navigation, multimodale Ausgaben über visuelle, auditive Kanäle) als auch Nutzer-Schnittstellen (physiologische, psychologische und psychosoziale Aspekte).

Die psychologische Dimension dieser Nutzer-Schnittstelle rückt damit die kognitive Verarbeitung der Lernenden in den Fokus, die im Folgenden anhand der CLT genauer betrachtet wird.

2.4 Cognitive Load Theory

Die CLT geht davon aus, dass das menschliche Arbeitsgedächtnis bei der Verarbeitung neuartiger Informationen zwei fundamentale Einschränkungen aufweist: Es ist sowohl in seiner Kapazität als auch in der Dauer seiner Informationsspeicherung begrenzt (Sweller, 2020, S. 6). Aus diesem Grund betont die Theorie die Notwendigkeit, das instruktionale Design zu optimieren. Ziel ist es, eine kognitive Überlastung der Lernenden zu vermeiden (Oje et al., 2025, S. 2).

Um die Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis konzeptionell zu erfassen, differenziert die CLT zwischen drei Arten der kognitiven Belastung: der intrinsischen, der extrinsischen

und der germanen kognitiven Belastung (Albus et al., 2021, S. 4). Im spezifischen Kontext der VR ist die CLT von zentraler Bedeutung, da die hohe sensorische Dichte und der immersive Charakter dieser Technologie spezifische Anforderungen an die kognitive Verarbeitung stellen.

Die extrinsische kognitive Belastung (ECL) entsteht primär durch ineffiziente instruktionale Gestaltungsverfahren und verursacht unnötige mentale Verarbeitungsprozesse (Sweller, 2020, S. 9). In der VR entsteht das Risiko einer exzessiven ECL. Das vergrößerte visuelle Sichtfeld kann Lernende dazu veranlassen, aktiv nach den relevanten Inhalten zu suchen. Dadurch wird die ECL erhöht, wenn die Szenerie instruktional irrelevante, aber ablenkende Details enthält (Makransky & Petersen, 2021, S. 946). Die Lernenden müssen in visuell stark angereicherten VEs ihre Aufmerksamkeit zwischen verschiedenen visuellen Entitäten aufteilen (Albus et al., 2021, S. 4).

Die intrinsische kognitive Belastung (ICL) wird durch die inhärente Komplexität des Lernmaterials und der Aufgabenstellung determiniert. In VEs ergibt sich die hohe Komplexität durch hochgradig interaktive und sensorisch reiche Simulationen, die hohe Anforderungen an die kognitiven Ressourcen stellen (Oje et al., 2025, S. 2). Die Nutzung dieser interaktiven virtuellen Elemente erhöht die Anzahl der Informationselemente, die Lernende gleichzeitig im Arbeitsgedächtnis verarbeiten müssen, was die ICL deutlich erhöht (Albus et al., 2021, S. 4).

Die germane kognitive Belastung (GCL) ist der mentale Aufwand, der konstruktiv in den Aufbau von kognitiven Abläufen und die Integration neuer Informationen in das Langzeitgedächtnis gesteckt wird. In VEs bieten einzigartige Eigenschaften wie verkörperte Interaktionen (engl. Embodiment) und adaptives Feedback geeignete Möglichkeiten, um diesen Aufbau zu vertiefen. Wenn Lernende beispielsweise dreidimensionale Strukturen in der VR manipulieren, visualisieren sie abstrakte Konzepte nicht nur passiv, sondern bauen durch die aktive Auseinandersetzung dauerhafte mentale Repräsentationen auf (Oje et al., 2025, S. 2).

Diese grundlegende Begrenzung des Arbeitsgedächtnisses in Kapazität und Dauer bildet das Fundament. Weiterführende Theorien basieren auf dieser elementaren kognitiven Limitierung.

Zur besseren Übersicht sind diese drei Belastungsarten in Abbildung 2 dargestellt.

BEGRENZTE GESAMTKAPAZITÄT DES ARBEITSGEDÄCHTNISSES

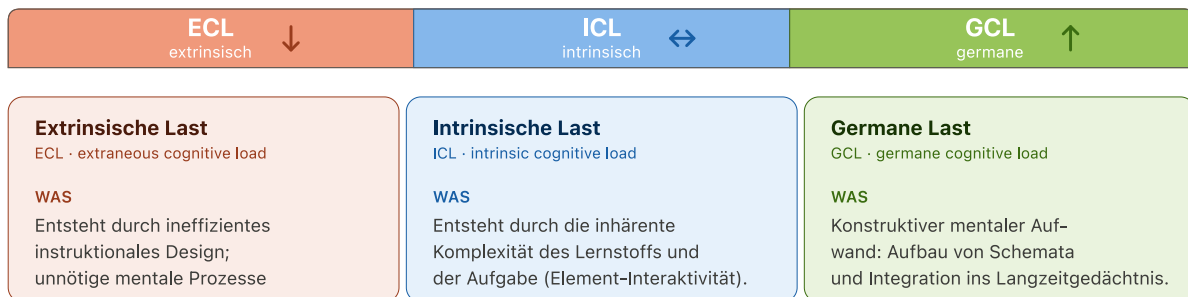


Abbildung 2: Kognitive Belastungsarten nach der Cognitive Load Theory.

2.5 Cognitive Theory of Multimedia Learning

Direkt im Anschluss folgt die CTML, da sie explizit auf der CLT aufbaut. Während die CLT die grundsätzliche Begrenzung der kognitiven Kapazität und die daraus resultierenden Belastungsarten fokussiert, erweitert die CTML dieses Wissen auf das multimediale Lernen (Bild und Ton) und formuliert den Anspruch, dass Lernen eine aktive Verarbeitung erfordert (Mayer, 2024, S. 2).

Drei zentrale Annahmen werden von der CTML hierzu aufgestellt. Erstens haben Menschen separate Informationsverarbeitungskanäle für visuelle und verbale Informationen (Dual-Channel). Zweitens ist die Verarbeitungskapazität dieser Kanäle begrenzt. Drittens ist es für sinnvolles Lernen unerlässlich, dass man aktiv und kognitiv verarbeitet. Dies beinhaltet das Aussuchen relevanter Informationen, das mentale Organisieren in kohärente Strukturen sowie das Zusammenführen mit vorhandenem Vorwissen (Mayer, 2024, S. 1).

Um die kognitiven Prozesse während des Lernens zu strukturieren, formuliert die CTML drei grundlegende Anforderungen an die begrenzte Verarbeitungskapazität, die sich direkt als die kognitiven Mechanismen der drei CLT-Belastungsarten (extrinsische, intrinsische und germane Belastung) verstehen lassen: die extrinsische, die essenzielle und die generative Verarbeitung. Die extrinsische Verarbeitung resultiert aus ineffizientem instruktionalem Design und unterstützt das Lernziel nicht. Die essenzielle Verarbeitung dient der mentalen Repräsentation des Materials und hängt von dessen inhärenter Komplexität ab. Drittens zielt die generative Verarbeitung darauf ab, durch Motivation und Engagement tiefgreifenden Sinn aus den Informationen zu stiften (Mayer, 2024, S. 18).

Im Kontext immersiver VR gewinnt die CTML an Relevanz, da die hohe Immersion die

visuellen und auditiven Reize erhöht. Da die Kanäle des Arbeitsgedächtnisses begrenzt sind, führt diese sensorische Reichhaltigkeit in der VR zu einer erhöhten extrinsischen Verarbeitung. Eine Ursache dafür ist, dass den Nutzern oft Stimuli präsentiert werden, die für das Lernziel irrelevant sind. Beispiele dafür sind Hintergrundmusik, übermäßige perzeptuelle Details oder verlockende, aber unnötige Interaktionsmöglichkeiten (Parong & Mayer, 2020, S. 227).

Die CTML formuliert aus dieser Reizüberflutung die sogenannte Ablenkungshypothese (engl. Distraction Hypothesis) für die VR. Sie besagt, dass immersive VR die Lernenden dazu verleitet, ihre streng begrenzten kognitiven Ressourcen für Verarbeitungen zu nutzen, die ein tiefgreifendes (generatives) Lernen des Materials nicht unterstützen. Durch die Immersion kann auch exzessive emotionale Erregung als zusätzliche Quelle extrinsischer Verarbeitung fungieren, da sie kognitive Ressourcen auf die Emotionen selbst umleitet (Parong & Mayer, 2020, S. 228).

Um dieser Ablenkungsgefahr entgegenzuwirken, liefert die CTML Gestaltungsziele für VR-Anwendungen: Die Entwickelnden müssen die extrinsische Verarbeitung minimieren, beispielsweise durch die konsequente Entfernung unnötiger grafischer Elemente. Gleichzeitig soll die Anwendung so gestaltet sein, dass sie die Lernenden strukturiert bei der Durchführung generativer Lernaktivitäten anleitet, um den aktiven Lernprozess in der VR zu sichern. Hier wird der Prozess des Selection, Organisation, Integration - Models (SOI-Models) bereits angelegt (Mayer, 2024, S. 19).

Abbildung 3 visualisiert diese drei kognitiven Verarbeitungsprozesse und stellt sie den zuvor erläuterten Belastungsarten gegenüber.

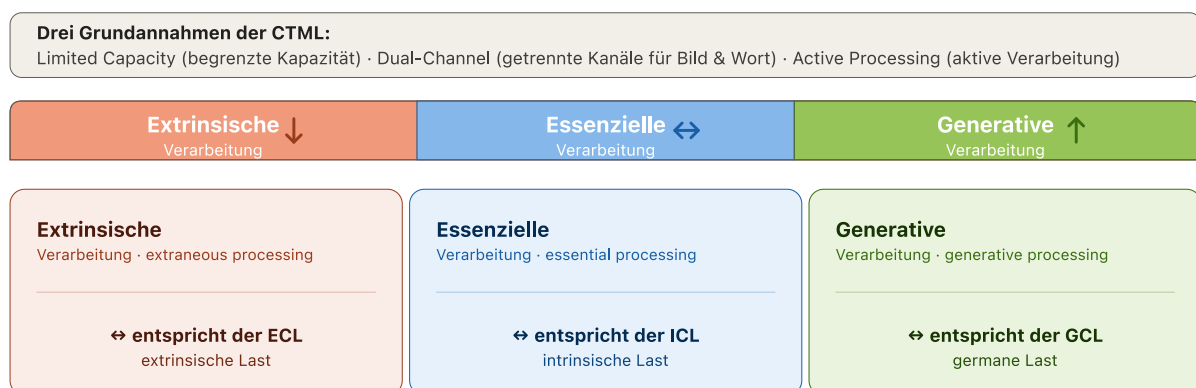


Abbildung 3: Kognitive Verarbeitungsprozesse nach der Cognitive Theory of Multimedia Learning.

2.6 Generative Learning Theory

Die GLT baut unmittelbar auf der CTML auf und vertieft, wie die dort eingeführte generative Verarbeitung konkret stattfindet. Dazu liefert die GLT mit dem SOI-Model einen eigenständigen Erklärungsansatz. Sie besagt, dass bedeutungsvolles Lernen eine generative Aktivität ist. Dabei müssen Lernende den Sinn des dargebotenen Materials erfassen, anstatt Informationen abzuspeichern. Gemäß dieser konstruktivistischen Sichtweise werden Informationen nicht passiv von außen übertragen, sondern müssen vom Lernenden durch angemessene kognitive Anstrengung selbst konstruiert werden (Fiorella & Mayer, 2015, S. 1; Mulders et al., 2024, S. 3).

Dieser aktive kognitive Verarbeitungsprozess wird durch das SOI-Model detailliert beschrieben. Er umfasst drei Phasen. Erstens die Selektion der relevanten Informationen aus dem sensorischen Input. Zweitens die Strukturierung (Organisation) dieses Materials zu einer kohärenten kognitiven Struktur im Arbeitsgedächtnis. Drittens die finale Integration dieser neuen Strukturen mit relevantem Vorwissen aus dem Langzeitgedächtnis (Fiorella & Mayer, 2015, S. 5; Oje et al., 2025, S. 3). Der Ansatz verdeutlicht, dass eine rein passive Rezeption von Lerninhalten unzureichend ist. Stattdessen müssen Lernende durch generative Aktivitäten, beispielsweise durch Zeichnen oder Selbsterklären, aktiv neue kognitive Strukturen aufbauen. Da die Ausführung dieser Aktivitäten eine Fokussierung auf die lernrelevanten Kerninformationen erfordert, wirken sie zugleich der extrinsischen kognitiven Belastung entgegen, indem ablenkende Umgebungsreize aus der Verarbeitung ausgeblendet werden (Mulders et al., 2024, S. 1, 3).

In Bezug auf immersive VR ist die GLT wichtig, weil sie eine pädagogische Antwort darauf bietet, wie Lernende trotz der Gefahr der Reizüberflutung zu aktiver, sinnstiftender Verarbeitung angeleitet werden können. Trotz der hohen Motivation, die das Lernen in der virtuellen Realität bieten kann, führt die hohe visuelle und auditive Dichte oft zu Ablenkung und kognitiver Überlastung. Dies hat zur Folge, dass sich die Lernenden nicht ausreichend mit dem eigentlichen Lernmaterial beschäftigen (Mulders et al., 2024, S. 1).

Um solche scheinbar passiven Lernsituationen in aktive Lernerfahrungen zu verwandeln, fordert die GLT die konsequente Einbettung spezifischer generativer Lernstrategien, die den Lernerfolg nachweislich verbessern. Beispielhaft hierfür sind das Selbsterklären sowie das physische Nachspielen von Lerninhalten (Fiorella & Mayer, 2015, S. 1, 4). Für

VR-Entwickelnde bedeutet dies konkret, dass sie die Lernenden in der Educational virtual environment (EVE) durch spezifische Handlungsaufforderungen gezielt zur Ausführung dieser kognitiven Aktivitäten anleiten müssen.

Für das Gestalten von VR-Lehranwendungen liefert die GLT somit die folgende Erkenntnis: Allein die Immersion in eine VE verbessert das Lernen nicht automatisch. Es ist notwendig, gezielte Handlungsaufforderungen einzuführen, um den kognitiven Fokus der Nutzenden zu steuern. Generative Aktivitäten steigern damit nicht nur den Lernerfolg, sondern wirken auch der extrinsischen kognitiven Überlastung entgegen (Oje et al., 2025, S. 19). Generatives Lernen setzt eine aktive kognitive Anstrengung voraus, die ohne hinreichende Motivation der Lernenden nicht initiiert wird. Welche Faktoren diese Motivation in VR-Lehranwendungen gezielt fördern, behandelt das im Folgenden vorgestellte ARCS-Model.

2.7 Attention, Relevance, Confidence, Satisfaction - Model

Das ARCS-Model liefert hierfür das theoretische Konstrukt. Während CLT, CTML und GLT die kognitive Verarbeitung des Lernprozesses beschreiben, rückt das ARCS-Model eine davon unterscheidbare, affektiv-motivationale Dimension in den Fokus. Nach Parong und Mayer (2020, S. 228) wirkt diese Dimension eigenständig neben kognitiven Prozessen und steht zugleich in Wechselwirkung mit ihnen. Wie in der GLT dargelegt, ist eine hohe Motivation die fundamentale Grundvoraussetzung dafür, dass Lernende einen aktiven und tiefgreifenden kognitiven Lernprozess in immersiven Umgebungen initiieren. Das ARCS-Model stellt ein anerkanntes theoretisches Fundament zur systematischen Strukturierung und Förderung dieser Motivation dar. Dieses Modell zielt darauf ab, wirkungsvolle Ansätze zu finden, die das Engagement und die Motivation der Studierenden nachhaltig verbessern. Das Modell von John Keller (2010, zitiert nach Serrano-Malebran et al., 2025, S.4) besagt, dass motivationale Konzepte in vier wesentliche Kategorien gegliedert werden können, die die Lernmotivation entscheidend beeinflussen: Aufmerksamkeit (Attention), Relevanz (Relevance), Erfolgszuversicht (Confidence) und Zufriedenheit (Satisfaction).

Die Aufmerksamkeit umfasst die Fähigkeit, das Interesse der Studierenden zu erfassen und kontinuierlich zu bewahren. Dies gelingt hauptsächlich durch den gezielten Einsatz von Stimuli, welche die Neugier der Lernenden wecken. Die Relevanz bezieht sich darauf, was die Lernenden als notwendig erachten, um ihre jeweiligen Bedürfnisse,

Wünsche oder zukünftigen Ziele zu erfüllen. Die Erfolgszuversicht zielt darauf ab, den Studierenden das Gefühl zu vermitteln, dass sie zu einem erfolgreichen Lernen fähig sind und Herausforderungen bewältigen können. Die Zufriedenheit schließlich beschreibt die Erfahrung von Befriedigung und Freude, die als natürliche Folge von Erfolg oder durch positive Rückmeldungen entsteht und zu einer dauerhaften Motivation führt (Serrano-Malebran et al., 2025, S. 3).

Im Kontext der VR stellt das ARCS-Model einen geeigneten theoretischen Rahmen zur Analyse motivationaler Prozesse dar. VR kann durch die Schaffung immersiver und anregender Lernumgebungen das Interesse sowie die Motivation von Studierenden steigern und somit zur Verbesserung akademischer Leistungen beitragen. Gleichzeitig ist bei der VR-Gestaltung zu berücksichtigen, dass dieses klassische Modell um moderne Ansätze des UX-Designs ergänzt werden sollte. Aktuelle UX-Praktiken betonen eine nutzerzentrierte Gestaltung sowie iterative Feedbackschleifen. Diese Ansätze decken sich insbesondere mit den ARCS-Model-Dimensionen Aufmerksamkeit und Relevanz, die dadurch in VEs kontinuierlich aufrechterhalten werden (Serrano-Malebran et al., 2025, S. 1–3).

Neben UX-Design tragen auch moderne pädagogische Strategien wie adaptives Lernen dazu bei, das ARCS-Framework zu stärken, indem sie das Engagement sowie die Erfolgszuversicht und Zufriedenheit der Lernenden in der digitalen Lernumgebung erhöhen. Durch die Integration von Motivationstheorie, UX-Design und immersiver Technologie schafft das ARCS-Model die Voraussetzungen für eine nachhaltige Lernmotivation. Das Modell systematisiert den Motivationsaufbau anhand der Faktoren Aufmerksamkeit, Relevanz, Erfolgszuversicht und Zufriedenheit. Erst diese motivationale Basis schafft bei den Studierenden die Bereitschaft, die von der GLT geforderte kognitive Anstrengung zu investieren (Serrano-Malebran et al., 2025, S. 4).

2.8 The Cognitive Affective Model of Immersive Learning

Die bisher erläuterten Theorien beleuchten das Lernen jeweils aus einer eigenen Perspektive: Die CLT und die CTML beschreiben die fundamentalen kognitiven Mechanismen der Informationsverarbeitung, die GLT vertieft die aktive, generative Verarbeitung und das ARCS-Model liefert die notwendige motivationale Grundlage. Diese Rahmenwerke wurden jedoch primär für klassische, zweidimensionale Lernmedien entwickelt. Das CAMIL von Makransky und Petersen (2021) führt diese kognitiven und affektiv-

motivationalen Stränge zusammen und überträgt sie spezifisch auf das Lernen in der immersiven VR.

Die zentrale theoretische Prämisse des CAMIL ist die Annahme, dass das Medium VR nicht per se zu besserem Lernen führt. Vielmehr interagiert das Medium mit der instruktionalen Methode („media interacts with method“). Das bedeutet konkret, dass der Lernerfolg weder rein auf die eingesetzte Technologie (das Medium) noch isoliert auf die pädagogische Strategie (die Methode) zurückzuführen ist, sondern dass sich beide Elemente gegenseitig bedingen und verstärken. Instruktionale Lehrmethoden sind in der VR demnach genau dann besonders effektiv, wenn sie die einzigartigen psychologischen Affordanzen (Handlungsangebote) dieses immersiven Mediums gezielt unterstützen und nutzbar machen (Makranksy & Petersen, 2021, S. 940–941).

Als die zwei primären psychologischen Affordanzen der immersiven VR identifiziert das Modell die empfundene Präsenz (Presence) und die Handlungsfähigkeit (Agency). Präsenz beschreibt das subjektive Gefühl, physisch in der virtuellen Welt anwesend zu sein. Sie wird durch technologische Faktoren wie den Grad der Immersion, die Darstellungsrealität (engl. Representational Fidelity) sowie die Interaktionsmöglichkeiten determiniert. Die Handlungsfähigkeit entsteht maßgeblich durch die Kontrollfaktoren. Dazu zählt die Freiheit des Nutzers, die virtuelle Umgebung und den eigenen virtuellen Körper interaktiv steuern zu können (Makranksy & Petersen, 2021, S. 942–943).

Laut dem CAMIL lösen diese beiden Kernaffordanzen im Lernenden sechs spezifische affektive und kognitive Faktoren aus (Makranksy & Petersen, 2021, S. 937), die den eigentlichen Lernprozess determinieren: situatives Interesse, intrinsische Motivation, Selbstwirksamkeit, verkörpertes Lernen (engl. Embodiment), kognitive Belastung und Selbstregulation. In diesen sechs Faktoren lassen sich zentrale Konstrukte der vorangegangenen Theorien wiedererkennen: Die kognitive Belastung knüpft an CLT und CTML an, die Selbstregulation an die GLT. Faktoren wie situatives Interesse und intrinsische Motivation greifen zudem die affektiv-motivationale Ebene auf, die bereits im ARCS-Modell im Mittelpunkt stand. Mit der Verknüpfung kognitiver und affektiver Prozesse zu einem VR-spezifischen Modell bildet das CAMIL dennoch die zentrale Synthese des Theoriekapitels (Makranksy & Petersen, 2021, S. 946–950).

Im Hinblick auf die kognitiven Konzepte der CLT und CTML weist das CAMIL zudem auf die inhärenten Gefahren immersiver Umgebungen hin. In der VR kann die extrinsi-

sche kognitive Belastung durch die hohe visuelle Dichte und das vergrößerte Sichtfeld erheblich steigen. Die Lernenden müssen inmitten dieser Reize erst die instruktional relevanten Informationen identifizieren. Zudem kann eine hochgradig präsente Umgebung die Selbstregulation der Studierenden schwächen, da sie in der immersiven Wahrnehmung vergessen, ihre eigenen kognitiven Lernziele aktiv zu überwachen (Makransky & Petersen, 2021, S. 946).

Wenn die Entwickelnden einer VR-Lehranwendung es schaffen, die kognitiven Belastungen durch ein effektives instruktionales Design auszugleichen, dann können das hohe situative Interesse, die gesteigerte Motivation und das verkörperte Lernen zu besseren Lernergebnissen führen. Diese zeigen sich im Aufbau von faktischem, konzeptionellem und prozeduralem Wissen sowie in dessen nachhaltigen Transfer (Makransky & Petersen, 2021, S. 937).

Für die Konzeption zukünftiger VR-Gestaltungsprinzipien liefert das CAMIL somit ein ganzheitliches Fundament. Im Sinne des eingangs dargelegten Prinzips *media interacts with method* muss die Gestaltung einerseits die immersiven Stärken der VR steigern und andererseits durch gezielte, filternde Gestaltungsentscheidungen das begrenzte Arbeitsgedächtnis vor multimedialer Reizüberflutung schützen (Makransky & Petersen, 2021, S. 950–952)

Die schrittweise Synthese der allgemeinen kognitiven und affektiv-motivationalen Ansätze zu einer immersionsspezifischen Grundlage wird in Abbildung 4 grafisch dargestellt.

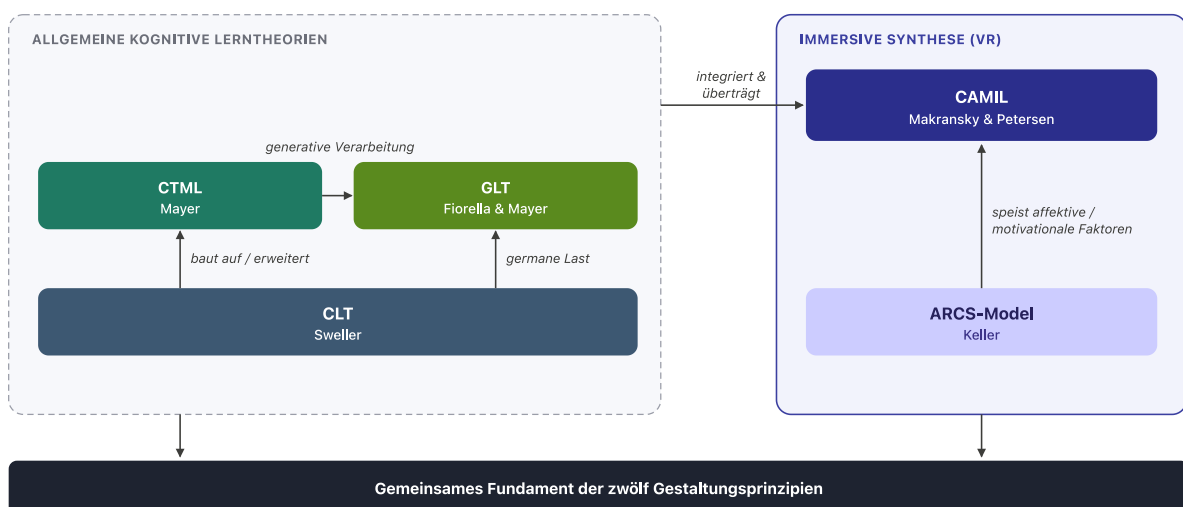


Abbildung 4: Synthese der kognitiven und motivationalen Lerntheorien als Fundament für VR-Gestaltungsprinzipien.

3. Wissenschaftliche Vorgehensweise (Methodik)

Das methodische Vorgehen dieser Arbeit folgt einem literaturbasierten Forschungsansatz. Eine SLR ist ein Mittel zur Bewertung und Interpretation aller verfügbaren Forschungsergebnisse, die für eine bestimmte Forschungsfrage, ein bestimmtes Themengebiet oder ein bestimmtes Phänomen von Interesse sind. Systematische Reviews zielen darauf ab, eine faire Bewertung eines Forschungsthemas durch die Verwendung einer vertrauenswürdigen und nachvollziehbaren Methodik darzustellen (Kitchenham, 2004, S. 1). Ziel ist es, den aktuellen Forschungsstand zu analysieren und relevante Konzepte zur Beantwortung der Forschungsfragen zu identifizieren.

Als Ausgangsbasis diente zunächst ein Quellenpool, den die Betreuerin Nadine Bisswang im Januar 2026 mit dem Ziel zusammengestellt hatte, VR-Lehranwendungen zu identifizieren. Jede der enthaltenen Studien beschreibt eine solche Anwendung. Die Quellen geben jedoch primär implizite oder explizite Hinweise zur Gestaltung und Gebrauchstauglichkeit (z. B. Formulierungen wie „designed to improve usability“), ohne fundierte Gestaltungsfragen vertieft zu behandeln, da ihr Fokus auf der Beschreibung der implementierten Anwendungen und deren Nutzerakzeptanz liegt.

Auf dieser Grundlage wurde daher eine eigenständige SLR durchgeführt, die sich an den Richtlinien nach Webster und Watson (2002) sowie Cooper (1988) orientiert und im Folgenden beschrieben wird.

3.1 Systematische Literaturanalyse zur Identifikation der Quellen

Die Identifikation der relevanten Quellen erfolgt in zwei Schritten. Zunächst steckt Abschnitt 3.1.1 den Untersuchungsrahmen ab, indem er das Review anhand der Cooper-Taxonomie einordnet und dessen Planung und Fokus festlegt. Darauf aufbauend beschreibt Abschnitt 3.1.2 die konkrete Suchstrategie, die Auswahl der Datenbanken sowie das nach dem PRISMA-Leitfaden dokumentierte Selektionsverfahren.

3.1.1 Einordnung nach der Cooper-Taxonomie

Die Planung des Reviews umfasst die Definition der Forschungsfragen sowie die Festlegung des Review-Umfangs. Zur präzisen Abgrenzung wird die Matrix nach Cooper herangezogen, die das Review anhand von sechs Dimensionen einordnet: Fokus, Ziel, Perspektive, Abdeckung (engl. Coverage), Organisation und Zielgruppe (engl. Audience). Der Fokus liegt auf Praktiken und Anwendungen (engl. „Practices or applications“), um

handlungsorientierte Gestaltungsprinzipien abzuleiten. Hinsichtlich des Ziels verfolgt diese Arbeit die Integration und Generalisierung von Erkenntnissen, anstatt lediglich widersprüchliche Befunde aufzulösen, um über Einzelstudien hinaus allgemeingültige Prinzipien für VR-Lehranwendungen zu formulieren. Hinsichtlich der Perspektive wird eine neutrale Darstellung angestrebt, bei der Prinzipien ohne normative Vorannahmen aus der Literatur extrahiert werden. Die Abdeckung ist als vollständige Abdeckung mit selektiver Zitation definiert. Im Rahmen dieser SLR wird die gesamte relevante Literatur berücksichtigt, von der jedoch nur ein Teil im Verlauf der Arbeit zitiert wird. Die Ergebnisse werden konzeptionell strukturiert, um die Entwicklung der Gestaltungsprinzipien thematisch zu ordnen. Die Zielgruppe hat Auswirkungen auf den Schreibstil der Literaturanalyse, insbesondere hinsichtlich der Verwendung von Fachbegriffen und des Detailgrads der Darstellung. Die Ergebnisse richten sich sowohl an die allgemeinen Wissenschaftler als auch an Praktiker und Entwickelnde von VR-Anwendungen in der Lehre. Die Positionierung der SLR innerhalb der Cooper-Taxonomie veranschaulicht Abbildung 5.

Merkmal	Ausprägungen			
Focus	Research outcomes	Research methods	Theories	Practices or applications
Goal	Integration - Generalization	Integration - Conflict resolution	Integration - linguistic bridge-building	Criticism
Perspective	Neutral representation		Espusal of position	
Coverage	Exhaustive	Exhaustive with selective citation	Representative	Central or privotal
Organization	Historical	Conceptual	Methodological	
Audience	Specialized scholars	General scholars	Practicioners or policymakers	General public

Abbildung 5: Einordnung der systematischen Literaturanalyse nach Cooper (1988).

3.1.2 Suchstrategie und Erstellung des Review-Protokolls

In diesem SLR werden die Datenbanksuche sowie eine ergänzende Vorwärts- und Rückwärtssuche als Suchverfahren kombiniert. Das Review-Protokoll zu diesem SLR setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen: Die Suchstrategie, bestehend aus den Suchtermen, den ausgewählten Datenbanken und dem Suchzeitraum, den Ergebnissen der Vorwärts- und Rückwärtssuche sowie den angewandten Inklusions- und Exklusionskriterien. Diese, ergänzend zum bereitgestellten Quellenpool durchgeführte Suche, fand im April 2026 statt. Der Suchterm wurde so konstruiert, dass er die Kompo-

nenten Technologie, Kontext, Zielsetzung und Lehr-Lern-Bezug verknüpft. Um einen *Publisher Bias* zu vermeiden, wurde eine Kombination aus verschiedenen Datenbanken gewählt:

- Verlageigen: ScienceDirect, IEEE Xplore und Springer wurden einbezogen, um technologische und interdisziplinäre Beiträge abzudecken.
- Disziplinen-eigen: AiSeL wurde explizit für die Perspektive der Wirtschaftsinformatik gewählt, um relevante Konferenzbeiträge zu berücksichtigen.

Das Jahr 2018 wurde bewusst als zeitlicher Ausgangspunkt für die vorliegende Literaturrecherche gewählt. Diese Entscheidung basiert methodisch auf dem in diesem Jahr von Becker et al. (2018) veröffentlichten NMC Horizon Report: 2018 Higher Education Edition. In diesem etablierten Bericht für Bildungstechnologien wurden VR explizit als zentrale, aufstrebende technologische Entwicklungen für die Hochschullehre identifiziert. Um die systematische Entwicklung und Etablierung der heutigen Gestaltungsprinzipien für VR-Lehranwendungen fundiert nachvollziehen zu können, ist es daher methodisch geboten, die wissenschaftliche Literatur exakt ab diesem identifizierten Startpunkt der breiten Akzeptanz zu betrachten.

Bei der Rückwärtssuche werden die Literaturverzeichnisse der ausgewählten Artikel analysiert, um zusätzliche relevante Quellen zu identifizieren. Die Vorwärtssuche hingegen konzentriert sich auf Publikationen, die die bereits ausgewählten Artikel zitieren. Diese zitierenden Arbeiten können in Scopus und Web of Science eingesehen werden (Webster & Watson, 2002, S. xvi).

Die Selektion der Quellen folgt einem strengen Protokoll gemäß dem PRISMA (Page et al., 2021, S. 5). Es werden nur Beiträge ab dem in Abschnitt 3.1.2 begründeten Jahr 2018 berücksichtigt. Außerdem werden ausschließlich englisch- oder deutschsprachige Paper einbezogen, die ein Peer-Review-Verfahren durchlaufen haben, um die wissenschaftliche Fundierung der Prinzipien sicherzustellen. Inkludiert werden Studien, die eine konkrete VR-Lernanwendung beschreiben und Details zur Gebrauchstauglichkeit oder zu Gestaltungsrichtlinien liefern. Exkludiert werden Beiträge ohne Volltextzugriff, reine Workshop-Paper sowie Studien, die sich ausschließlich auf AR oder MR beziehen. Ebenfalls ausgeschlossen werden Akzeptanzstudien, die keine Details zur Gestaltung der Anwendung enthalten.

Die Auswertung und Extraktion der Daten erfolgt mittels einer Konzeptmatrix nach Webster & Watson (2002, S. xvii). Hierbei wird vorab festgelegt, wie ein Gestaltungsprinzip beschrieben wird, um eine einheitliche Strukturierung zu gewährleisten. Die Matrix klassifiziert die Quellen nach Wissensarten, Repräsentationsgraden, Lernpfaden und dem Grad der Interaktivität. Dieses Vorgehen ermöglicht die systematische Beantwortung der Unterforschungsfragen (UFF 1 und UFF 2).

Die Inklusions- und Exklusionskriterien wurden mithilfe der Filterfunktionen der Datenbanken angewendet. Im Anschluss erfolgte die Literatursuche, bei der die identifizierten Artikel hinsichtlich ihrer Relevanz geprüft wurden. Dabei wurde zunächst der Titel betrachtet, anschließend bei Bedarf das Abstract sowie der vollständige Text gelesen. Nach jedem Schritt wurde entschieden, ob ein Artikel als relevant eingestuft wird. Für die als relevant bewerteten Beiträge wurde anschließend eine Vorwärts- und Rückwärtsuche durchgeführt. Die dabei zusätzlich identifizierten Artikel wurden ebenfalls anhand von Titel, Abstract und Volltext vollständig überprüft.

Insgesamt wurden 1.186 verschiedene Artikel durch die Literatursuche in den Datenbanken identifiziert. Vor dem eigentlichen Screening wurden 15 Artikel durch Automatisierungstools entfernt. Von den verbleibenden 1.171 Artikeln wurden durch die Überprüfung von Titel und Abstract 1.085 Artikel ausgeschlossen. Die verbliebenen 86 Berichte wurden zur Volltextprüfung herangezogen. Nach Betrachtung des Volltexts wurden 25 Artikel als nicht relevant eingestuft und ausgeschlossen. Durch die zusätzliche Vorwärts- und Rückwärtssuche (Citation Searching) konnten sechs weitere Artikel identifiziert werden, die nach vollständiger Überprüfung der Relevanz alle sechs ausgewählt wurden. Insgesamt umfasst das SLR somit 67 Artikel, davon stammen 61 aus der Literatursuche in den Datenbanken und sechs aus der Vorwärts- und Rückwärtssuche. Die Ergebnisse der Literatursuche und -auswahl sind schrittweise und ausführlich in Abbildung 6 dargestellt.

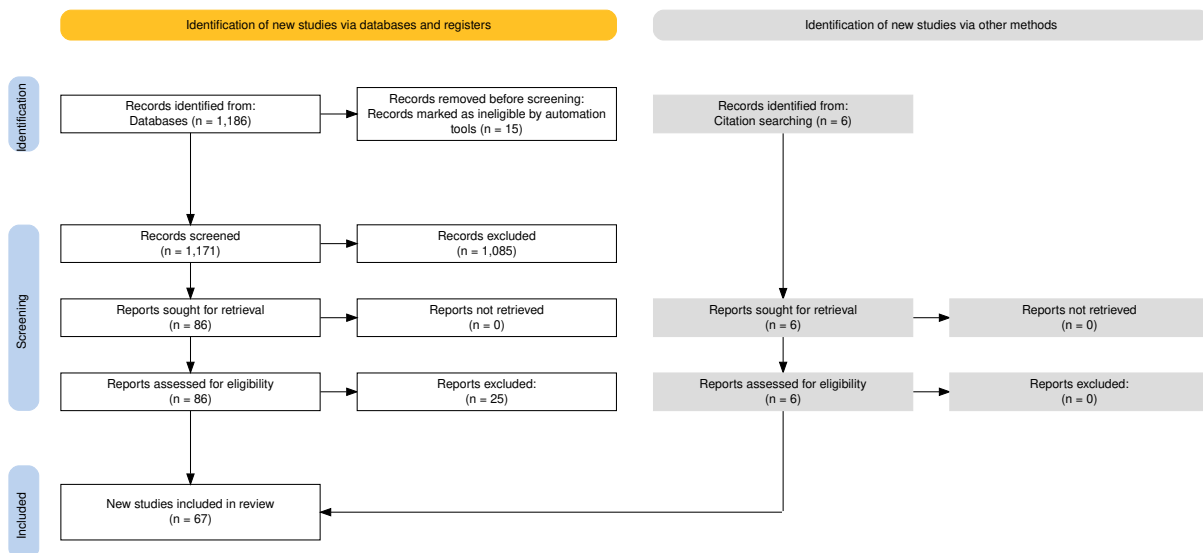


Abbildung 6: PRISMA-2020-Flussdiagramm der Studienauswahl. Eigene Darstellung nach Page et al. (2021, S. 5).

3.2 Struktur eines Gestaltungsprinzips

Die systematische Strukturierung und Beschreibung der Gestaltungsprinzipien in dieser Arbeit kann grundlegend auf dem Schema von Gregor et al. (2020, S. 23) aufbauen. Es ermöglicht die Komplexität soziotechnischer IT-Artefakte methodisch zu reduzieren, indem es das übergeordnete Ziel strikt von den angewandten Lösungsmechanismen trennt. Jedes Gestaltungsprinzip wird unter einem eindeutigen Titel (Title) geführt und gliedert sich darunter in die folgenden vier Kernkomponenten:

Ziel, Implementierende und Nutzende (Aim, Implementer, and User): Dieser Baustein definiert den angestrebten Zweck des Prinzips sowie die beteiligten Zielgruppen gemäß der logischen Struktur: „Für Implementierende I, um Ziel A für Nutzende U zu erreichen oder zu ermöglichen“. Das Schema unterscheidet dabei zwischen zwei menschlichen oder nicht-menschlichen Rollen: **Implementierende (Implementers):** Dies sind die Entwickelnde oder Gestalter, welche die abstrakten Spezifikationen in einem konkreten Designkontext instanziiieren. **Nutzende (Users):** Dies sind die Adressaten der Anwendung, deren übergeordnete Ziele durch den Einsatz des Systems erreicht werden sollen.

Kontext (Context): Hier wird der Geltungsbereich des Prinzips („in Kontext C“) definiert. Dieser Bereich spezifiziert die Randbedingungen, das Implementierungsumfeld sowie weitere spezifische Merkmale der Zielgruppe.

Mechanismen und Ausführende (Mechanisms and Enactors): Diese Komponente beschreibt die konkreten Mittel zur Zielerreichung. Sie gibt vor, welche Mechanismen (M) angewendet werden und welche Akteure als Ausführende (E) daran beteiligt sind:

Mechanismen (Mechanisms): Diese umfassen spezifische Handlungen, Aktivitäten, Prozesse, Form-/Architekturmerkmale sowie die Manipulation anderer Artefakte. Bei hoher Komplexität können hier auch untergeordnete Komponenten aufgeführt werden, die wiederum eigene Gestaltungsprinzipien besitzen, was eine systematische Dekomposition ermöglicht. **Ausführende (Enactors):** Dies sind die Akteure, die als integraler Bestandteil der Mechanismen Handlungen ausführen, um das formulierte Ziel zu verwirklichen.

Rationale (Rationale): Jedes Prinzip erfordert eine fundierte Begründung („aufgrund von Rationale R“). Diese muss eine theoretische oder empirische Rechtfertigung dafür liefern, warum das angewandte Designprinzip wirksam ist.

Die Entscheidung, die Gestaltungsprinzipien für VR-Lehranwendungen anhand des Schemas von Gregor et al. (2020, S. 23) zu beschreiben, ist sowohl forschungsfragenbezogen als auch gegenstandsbezogen motiviert. In forschungsfragenbezogener Hinsicht adressiert UFF 2 die Frage, wie die identifizierten Gestaltungsprinzipien systematisch beschrieben und strukturiert werden können, um handlungsorientierte Empfehlungen für die Praxis bereitzustellen. Das Schema befasst sich mit dieser Anforderung, indem es einerseits die Systematisierung wissenschaftlichen Wissens und andererseits dessen praktische Anwendbarkeit sicherstellt. Die Autoren formulieren ihre Forschungsfrage in nahezu identischer Stoßrichtung: *„How should design principles for technology-based artifacts in socio-technical systems be presented so that they are understandable and useful in real-world design contexts?“* (Gregor et al., 2020, S. 2). Das Schema ist darauf ausgelegt, normatives Wissen so zu formulieren, dass es von Implementierern aufgegriffen werden kann (Gregor et al., 2020, S. 31–32). Im vorliegenden Kontext entsprechen diese Implementierende den Entwickelnden von VR-Lehranwendungen.

In gegenstandsbezogener Hinsicht handelt es sich bei VR-Lehranwendungen im Hochschulkontext um sozio-technische Systeme, in denen menschliche Akteure (Studierende, Lehrende) und nicht-menschliche Akteure (Hard- und Software-Komponenten, Algorithmen) zusammenwirken.

Zusammenfassend wird das Schema von Gregor et al. (2020, S. 23) gewählt, weil es

die für die Beantwortung der Forschungsfrage geforderte Systematisierung und Handlungsorientierung explizit zur Zielsetzung erhebt. Die Struktur fasst die nachfolgende Tabelle 2 zusammen:

Tabelle 2: Komponenten des Gestaltungsprinzip-Schemas. Eigene Darstellung nach Gregor et al. (2020, S. 23).¹

Titel: Name des Gestaltungsprinzips		
Struktur	Komponenten*	
Für Implementierende I , um Ziel A für Nutzende U zu erreichen oder zu ermöglichen	Ziel, Implementierende und Nutzende	
in Kontext C	Kontext (Randbedingungen, Implementierungsumfeld, weitere Nutzermerkmale)	
Wende Mechanismen M1, M2, M3... an, unter Einbeziehung der Ausführenden E1, E2, E3,...	Mechanismen (Handlungen, Aktivitäten, Prozesse, Form-/Architekturmerkmale, Manipulation anderer Artefakte) Untergeordnete Komponenten/Artefakte, die eigene Gestaltungsprinzipien besitzen können	
aufgrund von Rationale R	Rationale Theoretische oder empirische Rechtfertigung für das Gestaltungsprinzip	

4. Gestaltungsprinzipien von Virtual Reality in der Lehre

Im Folgenden werden zwölf identifizierte Gestaltungsprinzipien für VR-Lehranwendungen systematisch anhand des Schemas von Gregor et al. (2020, S. 23) beschrieben. Da sich diese Prinzipien alle auf denselben soziotechnischen Rahmen beziehen, weisen sie identische Grundkomponenten auf, die zur Vermeidung von Redundanzen nachfolgend vorab definiert werden.

Als **Kontext (Context)** für alle nachfolgenden Gestaltungsprinzipien dienen EVE im Hochschulbereich. Die **Nutzenden (Users)** sind Studierende bzw. Lernende. Die Rolle der **Implementierenden (Implementers)**, die die abstrakten Spezifikationen konkret umsetzen, übernehmen durchgängig Softwareentwickelnde sowie didaktische und User Interface (UI)-Gestalter. Ebenso agieren dieselben Akteure bei der programmiertechni-

¹In vielen Ausführungen von Gestaltungsprinzipien werden einige Komponenten nicht explizit gemacht.

schen Umsetzung der Gestaltungsentscheidungen als **Ausführende (Enactors)** der Mechanismen. Das übergeordnete **Meta-Ziel (Aim)** aller Prinzipien ist es, die Gebrauchstauglichkeit der Anwendungen zu steigern und einer kognitiven Überlastung der Lernenden entgegenzuwirken.

Im Folgenden werden daher ausschließlich die prinzipispezifischen Ziele, die konkreten Mechanismen (Mechanisms) sowie die jeweiligen empirischen und theoretischen Begründungen (Rationale) beschrieben.

Ohne die prozessualen und strukturellen Mechanismen der folgenden Prinzipien sinkt die Gebrauchstauglichkeit der Anwendung. Lernende müssen dann einen größeren Anteil ihrer kognitiven Ressourcen für die Bedienung und Interaktion mit dem System aufwenden, was sie vom eigentlichen Lernprozess ablenkt (Fink et al., 2023, S. 2).

4.1 Signaling

Das Signaling-Prinzip, in der Literatur auch als Aufmerksamkeitslenkung bezeichnet, dient als Gestaltungselement für immersive Lernumgebungen. Im spezifischen Kontext von immersiven 3D-Umgebungen im Hochschulbereich erhöht die hohe Dichte räumlicher und visueller Informationen das Risiko einer kognitiven Überforderung. Das Prinzip zielt daher primär darauf ab, die drohende Reizüberflutung für die Lernenden zu reduzieren (Albus et al., 2021, S. 6).

Das übergeordnete Ziel für die Implementierenden besteht folglich darin, die visuelle und akustische Aufmerksamkeit der Nutzenden mithilfe spezifischer Gestaltungselemente gezielt auf die zentralen Lerninhalte zu lenken (Albus et al., 2021, S. 10). Eine solche zielgerichtete Aufmerksamkeitssteuerung stellt eine zentrale Voraussetzung für eine hohe systemische Gebrauchstauglichkeit dar (vgl. Abschnitt 2.1). Um dieses Lernziel zu erreichen, müssen die Entwickelnden als ausführenden Mechanismus das Signaling-Prinzip anwenden, indem sie Cues wie Pfeile, Annotationen oder schwebende Piktogramme fest in die Softwarearchitektur einprogrammieren (Oje et al., 2025, S. 8).

Die theoretische Rationale für die Implementierung dieser Cues liegt in der angenommenen Senkung der kognitiven Belastung, da Suchprozesse im dreidimensionalen Raum reduziert und externe kognitive Lasten abgebaut werden sollen (Albus et al., 2021, S. 6).

Darüber hinaus wird die Wirksamkeit dieses Gestaltungsansatzes dadurch gestützt, dass visuelle Hilfen Ablenkungen in EVEs reduzieren können, indem sie die Aufmerk-

samkeit des menschlichen Wahrnehmungsapparats gezielt lenken und so den kognitiven Suchprozess vereinfachen (Wen et al., 2024, S. 7).

Tabelle 3) fasst die Komponenten des Signaling-Prinzips nach dem Gregor-Schema zusammen. .

Tabelle 3: Anatomie des Prinzips „Signaling“

P1 Signaling	
Ziel (<i>Aim</i>)	Aufmerksamkeit der Lernenden visuell und akustisch auf die zentralen Lerninhalte lenken; Reizüberflutung in informationsdichten 3D-Umgebungen reduzieren.
Mechanismus & Ausführende (<i>Mechanisms, Enactors</i>)	Visuelle bzw. auditive Cues (Pfeile, Annotationen, schwebende Piktogramme) fest in die Softwarearchitektur einprogrammieren
Rationale (<i>Rationale</i>)	Senkt die kognitive Belastung: weniger Suchprozesse im 3D-Raum, weniger Ablenkung in EVEs

4.2 Segmentierung und Sequenzierung

Das Segmentierungs- und Sequenzierungs-Prinzip dient der Strukturierung kognitiver Verarbeitungsprozesse und hat sich in der aktuellen Forschung als zentral für die Taktung immersiver Lernumgebungen erwiesen (Oje et al., 2025, S. 6). Im spezifischen Kontext von VR-Lehranwendungen dient dieses Prinzip als Richtlinie für die Implementierenden, um ununterbrochene mediale Formate zu vermeiden. Das primäre Ziel der Implementierenden besteht darin, den Nutzenden die selbstständige Steuerung ihres Lerntempos sowie einen schrittweisen, auf vorhandenem Vorwissen aufbauenden Wissenserwerb zu ermöglichen. Um dieses Lernziel gebrauchstauglich zu erreichen, müssen die Entwickelnde als ausführenden Mechanismus die umfassenden VR-Erfahrungen in kürzere Lerneinheiten unterteilen, deren Lerngeschwindigkeit vom Nutzenden selbst gesteuert werden kann (Oje et al., 2025, S. 14). Neben der Segmentierung erfordert das Prinzip zusätzlich eine Sequenzierung der Inhalte. Die Informationspräsentation wird in einer logischen, aufeinander aufbauenden Reihenfolge strukturiert, welche die Verarbeitung und den Abruf der Lerninhalte gezielt lenkt. Dieser Mechanismus ordnet sich der CTML-Kategorie der essenziellen Verarbeitung zu und unterstützt den Aufbau auf vorhandenem Vorwissen (Oje et al., 2025, S. 14).

Die theoretische und empirische Rationale für die Implementierung dieser Gestaltungs-

mechanismen basiert primär auf der CTML. Oje et al. (2025, S. 14) zeigen, dass diese systematische Aufteilung den Lernenden bei der mentalen Verarbeitung hochkomplexer multimedialer Inhalte unterstützt und eine Überlastung des Arbeitsgedächtnisses entgegenwirkt. Die Komponenten des Prinzips Segmentierung und Sequenzierung nach dem Gregor-Schema sind zusammenfassend dargestellt (Tabelle 4).

Tabelle 4: Anatomie des Prinzips „Segmentierung und Sequenzierung“

P2 Segmentierung und Sequenzierung	
Ziel (<i>Aim</i>)	Selbststeuerung des Lerntempos und schrittweisen, auf Vorwissen aufbauenden Wissenserwerb ermöglichen
Mechanismus & Ausführende (<i>Mechanisms, Enactors</i>)	Lange VR-Erfahrungen in kürzere, nutzergesteuerte Lerneinheiten zerlegen (Segmentierung); Informationspräsentation in einer logischen, aufeinander aufbauenden Reihenfolge strukturieren (Sequenzierung).
Rationale (<i>Rationale</i>)	CTML: Die systematische Aufteilung erleichtert die Verarbeitung komplexer multimedialer Inhalte und verhindert eine Überlastung des Arbeitsgedächtnisses; die logische Anordnung unterstützt zudem den Aufbau auf vorhandenem Vorwissen.

4.3 Embodiment

Das Embodiment-Prinzip stellt im spezifischen Kontext immersiver Lernumgebungen eine zentrale Richtlinie für Entwickelnde und Gestaltende dar. Das übergeordnete Ziel der Implementierenden besteht darin, den Nutzenden eine aktive körperliche Interaktion mit den Lerninhalten durch direkte Objektmanipulation zu ermöglichen. Um dieses Ziel zu realisieren, müssen die Entwickelnden virtuelle Aufgabenstellungen so programmieren, dass deren Bearbeitung physische Gesten der Lernenden erfordert. Diese sollen logisch und kongruent auf den jeweiligen Lerninhalt abgestimmt sein, wie beispielsweise das physische Drehen einer Kurbel (Díaz & Ioannou, 2019, S. 84–89, 95).

Die theoretische Rationale für die Implementierung dieser physischen Interaktionsmechanismen beruht auf der Stärkung des Präsenzgefühls, dass durch das Embodiment-Prinzip gefördert wird (Makransky & Petersen, 2021, S. 952). Zudem wird die Wirksamkeit dieses Gestaltungsansatzes dadurch untermauert, dass die aktive Manipulation von Objekten in der VR die Lernenden dazu befähigt, kognitive Konzepte besser zu behalten und das Engagement der Lernenden erhöht (Díaz & Ioannou, 2019, S. 95). Dieser Mechanismus stärkt zudem die germane kognitive Belastung (vgl. Abschnitt 2.4): Die aktive körperliche Auseinandersetzung mit virtuellen Objekten unterstützt den

Aufbau dauerhafter mentaler Repräsentationen im Langzeitgedächtnis (Oje et al., 2025, S. 2).

Die Komponenten des Embodiment-Prinzips nach dem Gregor-Schema sind zusammenfassend dargestellt (Tabelle 5).

Tabelle 5: Anatomie des Prinzips „Embodiment“

P3 Embodiment	
Ziel (<i>Aim</i>)	Aktive, körperliche Aufgabenausführung durch direkte Objektmanipulation ermöglichen.
Mechanismus & Ausführende (<i>Mechanisms, Enactors</i>)	Virtuelle Aufgaben so programmieren, dass sie lerninhaltskongruente physische Gesten erfordern (z. B. das physische Drehen einer Kurbel).
Rationale (<i>Rationale</i>)	Stärkung des Präsenzgefühls; die aktive Manipulation verbessert das Behalten und das Engagement und unterstützt den Aufbau kognitiver Schemata im Langzeitgedächtnis

4.4 Realismus-Kohärenz-Abwägung

Das Gestaltungsprinzip „Realismus-Kohärenz-Abwägung“ (s. Tabelle 6) adressiert im Entwicklungskontext EVEs den den Spannungsbereich der Forschung hinsichtlich des optimalen Detailgrads. Es dient den Implementierenden als Orientierung bei der Gestaltung von EVEs. Ziel ist es, für Nutzende eine kognitiv angemessene Lernumgebung zu schaffen, durch die minimalistische Reduktion visuellen Überflusses (Larmuseau et al., 2025, S. 2; Peltzer et al., 2026, S. 14)

Um dieses Ziel umzusetzen, müssen die Entwickelnde als ausführenden Mechanismus die VEs gemäß dem Kohärenz-Prinzip minimalistisch gestalten, indem sie ablenkende, für die Lernaufgabe irrelevante Details entfernen und neutrale Farben bevorzugen (Miguel-Alonso et al., 2024, S. 4).

Die theoretische und empirische Rationale für die kritische Reflexion des Realismusgrades liegt in einem in der Literatur dokumentierten ZielKonflikt. Einerseits wird argumentiert, dass besonders realistische Darstellungen authentische Lernprozesse fördern und das Immersionserleben stärken. Andererseits warnt die CLT vor einer kognitiven Überlastung durch perzeptuell auffällige, jedoch instruktional irrelevante Details der Lernumgebung (Larmuseau et al., 2025, S. 2; Peltzer et al., 2026, S. 12).

Über die kognitive Wirkung hinaus besitzt der Realismus-Pol laut Larmuseau et al. (2025,

S. 2, 7) eine affektiv-motivationale Komponente. Gemäß dem CAMIL wirkt über wahrgenommene Präsenz auf Motivation, Engagement und das Lernerlebnis aus. Ein höher wahrgenommener Realismus steht in positivem Zusammenhang mit dem empfundenen Präsenzgefühl und der Motivation am Lernen.

Realismus und Kohärenz stellen folglich zwei gegenläufige Gestaltungslogiken dar. Ein hoher Realismusgrad kann das situative Interesse der Lernenden steigern, birgt jedoch zugleich das Risiko einer erhöhten extrinsischen kognitiven Belastung durch perzeptuell auffällige, aber instruktional irrelevante Details (Peltzer et al., 2026, S. 12). Eine generelle Überlegenheit eines der beiden Pole besteht daher nicht. Die Gestaltung erfordert vielmehr eine kontextabhängige Abwägung in Abhängigkeit von Lernzielen und Lerninhalt (Larmuseau et al., 2025, S. 2).

Tabelle 6: Anatomie des Prinzips „Realismus-Kohärenz-Abwägung“

P4 Realismus-Kohärenz-Abwägung	
Ziel (<i>Aim</i>)	Kognitiv angemessene Lernumgebung durch minimalistische Reduktion visuellen Überflusses.
Mechanismus & Ausführende (<i>Mechanisms, Enactors</i>)	VEs nach dem Kohärenz-Prinzip gestalten: lernirrelevante Details entfernen, neutrale Farben.
Rationale (<i>Rationale</i>)	CLT warnt vor kognitiver Überlastung; zugleich besitzt Realismus eine affektiv-motivationale Komponente. Eine generelle Überlegenheit eines der beiden Pole besteht nicht.

4.5 Modalitäts- und Redundanz-Effekte

Das fünfte Gestaltungsprinzip fokussiert die Modalitäts- und Redundanz-Effekte. Als Kontext dienen EVEs als Richtlinie, da die Übertragung klassischer Lerntheorien auf die virtuelle Realität nicht ohne Weiteres möglich ist. Dadurch entstehen Abweichungen von klassischen Multimedia-Annahmen (Albus et al., 2021, S. 2).

Das Ziel für die Implementierende besteht darin, die räumliche Orientierung der Nutzenden in der komplexen dreidimensionalen Welt zu verbessern und deren Fokus gezielt auf die relevanten Informationen zu lenken. Als ausführenden Mechanismus müssen die Entwickelnde bei der Programmierung die bewusste Verstärkung durch multimodale redundante Inputs umsetzen, indem sie beispielsweise auditive Anweisungen mit textuellen oder visuellen Hinweisen kombinieren (Oje et al., 2025, S. 2).

Die theoretische und empirische Rationale für diesen spezifischen Mechanismus liegt darin, dass redundante Informationen in der VR nicht als kognitive Belastung, sondern als stützendes kognitives Gerüst fungieren. Dadurch nutzen sie die immersive und multisensorische Umgebung auf vorteilhafte Weise. Dies steht im Kontrast zu klassischen 2D-Multimedia-Umgebungen in denen Redundanz häufig zu einer kognitiven Überlastung führt, da Lernende Schwierigkeiten haben, verschiedene Informationsquellen simultan zu verarbeiten (Oje et al., 2025, S. 8). Zusätzlich ermöglicht die Kombination auditiver und textueller Information eine duale Kodierung der Inhalte und lenkt die visuelle Aufmerksamkeit gezielt auf relevante Bereiche, wodurch unnötige visuelle Suchprozesse reduziert werden (Albus et al., 2021, S. 10)

Als eigenständige, von der Redundanz-Begründung unabhängige Besonderheit der VR wird zudem ein inverser Modalitätseffekt beschrieben. Die Kombination aus visueller und textueller Information führte zu einer geringeren kognitiven Belastung als die rein auditive Darbietung. Im Gegensatz zu visuellen Inhalten können auditive Inhalte nicht erneut aufgerufen oder visuell verankert werden (Hartmann et al., 2025, S. 17).

Die Komponenten des Prinzips Modalitäts- und Redundanz-Effekte nach dem Gregor-Schema sind zusammenfassend dargestellt (Tabelle 7).

Tabelle 7: Anatomie des Prinzips „Modalitäts- und Redundanz-Effekte“

P5 Modalitäts- und Redundanz-Effekte	
Ziel (<i>Aim</i>)	Räumliche Orientierung verbessern und den Fokus auf die relevanten Informationen lenken.
Mechanismus & Ausführende (<i>Mechanisms, Enactors</i>)	Multimodale, redundante Inputs gezielt einsetzen z. B. Kombination auditiver Anweisungen mit textuellen oder visuellen Hinweisen.
Rationale (<i>Rationale</i>)	In der VR wirkt Redundanz als kognitives Gerüst, nicht als Last (anders als in 2D-Multimedia): duale Kodierung und gelenkte visuelle Aufmerksamkeit reduzieren unnötige Suchprozesse. Als eigenständige Besonderheit der VR führt zudem die Kombination aus visueller und textueller Information zu geringerer kognitiver Belastung als rein auditive Darbietung (inverser Modalitätseffekt).

4.6 Hands-on- und Pre-Training

Das sechste Gestaltungsprinzip, das sogenannte Hands-on-Training und Pre-Training, adressiert in EVEs die kognitive Herausforderung, die mit der erstmaligen Nutzung neuer

Technologien einhergeht. Unerfahrene Nutzende verwenden ihre begrenzten kognitiven Ressourcen auf die Steuerung der Hand-Controller und die physische Erkundung der VE, anstatt sich auf die intendierten Lernaufgaben zu fokussieren (Miguel-Alonso et al., 2024, S. 1).

Das übergeordnete Ziel für die Implementierende besteht folglich darin, den Lernenden eine angemessene Handhabung der Hardware, die Einhaltung entsprechender Sicherheits- und Hygienevorkehrungen sowie die grundlegende Orientierung in der VE zu ermöglichen (Karcher et al., 2023, S. 1)

Um dieses Ziel zu verwirklichen, müssen Entwickelnde als ausführenden Mechanismus eine Hands-on- und Pre-Training-Phase vorschalten, die der eigentlichen Kernaufgabe oder dem Fachlabor vorausgeht (Schrader et al., 2024, S. 3). In dieser erlangen Studierenden durch geführte Interaktionen mit der Anwendung Vertrautheit mit den Hand-Controllern, erhalten explizite Anweisungen zu deren Nutzung und werden in die grundlegenden Mechaniken der Umgebung eingeführt (Miguel-Alonso et al., 2024, S. 2).

Die theoretische und empirische Rationale für die Implementierung dieser vorbereitenden Trainings liegt darin, dass die Ablenkung durch die ungewohnte Technologie selbst reduziert wird. Die reine Beschäftigung mit der Handhabung der Steuergeräte verursacht demnach theoretisch eine höhere extrinsische kognitive Belastung bei der Beherrschung der VE. Schrader et al. (2024, S. 6) bestätigen diesen Effekt empirisch durch einen signifikant niedrigeren Wert der extrinsischen kognitiven Belastung bei Lernenden mit vorherigem Pre-Training im Vergleich zu einer Kontrollgruppe ohne Training.

Neben dieser kognitiven Entlastung zeigt Oje et al. (2025, S. 18), dass das Pre-Training eine affektiv-motivationale Wirkung entfaltet. Es fördert die Selbstwirksamkeit und das Vertrauen der Lernenden in ihre Fähigkeiten zur Bewältigung visuell anspruchsvoller VR-Szenarien.

Die Komponenten des Prinzips Hands-on- und Pre-Training nach dem Gregor-Schema sind zusammenfassend dargestellt (Tabelle 8).

Tabelle 8: Anatomie des Prinzips „Hands-on- und Pre-Training“

P6 Hands-on- und Pre-Training	
Ziel (<i>Aim</i>)	Eine angemessene Handhabung der Hardware, die Einhaltung von Sicherheits- und Hygienevorkehrungen sowie die grundlegende Orientierung in der VE ermöglichen.
Mechanismus & Ausführende (<i>Mechanisms, Enactors</i>)	Geführte Hands-on- und Pre-Training-Phase vor der Kernaufgabe vorschalten.
Rationale (<i>Rationale</i>)	Senkt die extrinsische kognitive Belastung der Gerätesteuerung; fördert zudem die Selbstwirksamkeit und das Vertrauen der Lernenden gegenüber anspruchsvollen VR-Szenarien.

4.7 Vertrautes Design

Das Prinzip des vertrauten Designs adressiert den Entwicklungskontext immersiver Lernanwendungen und dient als Richtlinie für Implementierende, um für die Nutzenden eine intuitive und verständliche Bedienbarkeit zu erreichen.

Um dieses Ziel zu verwirklichen, müssen die Entwickelnde als Mechanismus die virtuellen Werkzeuge der Anwendung an reale Gegenstände anlehnen, sodass diese den Lernenden bereits vertraut sind und unmittelbar zugänglich werden (Aufenanger et al., 2025, S. 2).

Ergänzend dazu müssen die Gestalter darauf achten, klare UI und einfach bedienbare Interaktionsobjekte zu implementieren, um die wahrgenommene Gebrauchstauglichkeit (vgl. Abschnitt 2.1) sowie die langfristige Akzeptanz der immersiven Technologie zu sichern (Fokides & Antonopoulos, 2023, S. 3; Fink et al., 2023, S. 9).

Die theoretische und empirische Rationale für die gezielte Imitation bekannter physischer Bedienkonzepte liegt in der Vermeidung kognitiver Reibungsverluste. Ein konsistentes Verhalten der Werkzeuge minimiert mögliche Frustration und erlaubt es den Lernenden, sich auf den Lernprozess zu fokussieren (Aufenanger et al., 2025, S. 2).

Darüber hinaus wirkt die Anknüpfung an vertraute Bedienkonzepte auf der affektiv-motivationalen Ebene. Serrano-Malebran et al. (2025, S. 4) benennen Vertrautheit als zentralen Mechanismus der ARCS-Dimension *Relevance*, da Lernende ein höheres Interesse an Inhalten zeigen, die an ihre bisherigen Erfahrungen anschließen.

Die Komponenten des Prinzips Vertrautes Design nach dem Gregor-Schema sind

zusammenfassend dargestellt (Tabelle 9).

Tabelle 9: Anatomie des Prinzips „Vertrautes Design“

P7 Vertrautes Design	
Ziel (<i>Aim</i>)	Intuitive, unmittelbar verständliche Bedienbarkeit erreichen.
Mechanismus & Ausführende (<i>Mechanisms, Enactors</i>)	Virtuelle Werkzeuge realen Objekten nachbilden; klare UI und einfach bedienbare Interaktionsobjekte.
Rationale (<i>Rationale</i>)	Vermeidet kognitive Reibung; konsistentes Werkzeugverhalten senkt Frustration. Fördert zudem auf affektiv-motivationaler Ebene das Interesse, indem Vertrautheit an die Relevance-Dimension des ARCS-Modells anknüpft.

4.8 Scaffolding

Das Scaffolding, in der wissenschaftlichen Literatur auch als geführte Instruktion bezeichnet, adressiert die Notwendigkeit, kognitive Überlastungen in immersiven Lernumgebungen zu minimieren. Es dient als Richtlinie für Implementierende, um den Nutzenden zielgerichtete Unterstützung bereitzustellen (Oje et al., 2025, S. 13)

Um dieses Ziel zu realisieren, müssen Entwickelnde als ausführenden Mechanismus ein strukturiertes Scaffolding in die Anwendung implementieren, indem sie kognitive Schritte einzeln nacheinander einführen und die inhaltliche Komplexität für den Nutzenden sukzessive aufbauen. Konstruktiv bedeutet dies bei der Softwareentwicklung, dass die Lernenden jede einzelne Komponente einer komplexen Aufgabenstellung zunächst isoliert erkunden und beherrschen müssen, bevor sie zu einer finalen, übergreifenden Lektion geführt werden, die alle zuvor gelernten Inhalte integriert (Díaz & Ioannou, 2019, S. 96).

Die theoretische Rationale für die Implementierung dieser schrittweisen Führung liegt in der aktiven Verhinderung unstrukturierter Überforderung. Maßgeschneiderte Unterstützungsangebote reduzieren zudem die extrinsische kognitive Belastung und wirken auf motivationaler Ebene, indem sie die Lernenden zu vertiefter Auseinandersetzung mit explorativen VR-Erfahrungen motivieren und anhaltende Aufmerksamkeit fördern (Oje et al., 2025, S. 17).

Die Komponenten des Scaffolding-Prinzips nach dem Gregor-Schema sind zusammen-

fassend dargestellt (Tabelle 10).

Tabelle 10: Anatomie des Prinzips „Scaffolding“

P8 Scaffolding	
Ziel (<i>Aim</i>)	Gezielte Unterstützung gegen kognitive Überlastung bereitstellen.
Mechanismus & Ausführende (<i>Mechanisms, Enactors</i>)	Strukturiertes Scaffolding implementieren: Schritte einzeln einführen, Komplexität sukzessive aufbauen; Komponenten isoliert meistern, dann integrieren.
Rationale (<i>Rationale</i>)	Verhindert unstrukturierte Überforderung und senkt die extrinsische kognitive Belastung; fördert zudem auf motivationaler Ebene vertiefte Auseinandersetzung und anhaltende Aufmerksamkeit.

4.9 Adaptives Feedback

Das neunte Gestaltungsprinzip, das adaptive Feedback, adressiert die Notwendigkeit kontinuierlicher Unterstützung in EVEs. In diesen können Nutzende aufgrund hoher Autonomie und fehlender unmittelbarer Anleitung durch Lehrende oder Mitlernende schnell Desorientierung, Frustration und Lernangst erfahren. Das übergeordnete Ziel für die Implementierenden besteht darin, für die Nutzenden eine dynamische Anpassung des Feedbacks an ihren individuellen Lernstatus zu gewährleisten und dadurch die Aufrechterhaltung der aufgabenbezogenen Aufmerksamkeit zu unterstützen (Chen et al., 2026, S. 1).

Um dieses Ziel zu erreichen, müssen die Entwickelnde als ausführenden Mechanismus ein adaptives Feedback in die VR-Anwendung integrieren. Dieses liefert den Lernenden während der Aufgabenausführung sofortige Rückmeldungen und verknüpft den System-Input unmittelbar mit den daraus resultierenden Konsequenzen. Außerdem müssen diese korrigierenden Eingriffe präzise Erklärungen zu Ereignissen, Handlungen oder Verhaltensweisen bereitstellen, um die Fähigkeit der Lernenden zur akkuraten Entscheidungsfindung zu verbessern (Pears et al., 2025, S. 7).

Die theoretische und empirische Rationale für die Implementierung dieser adaptiven Mechanismen liegt darin begründet, dass ein rein statisches Feedback (welches bei allen Lernenden identische Fehler- oder Korrekturmeldungen ausgibt) die Aufmerksamkeit der Nutzenden oftmals negativ auf das eigene Selbst lenkt. Dadurch wird Angst oder Frustration ausgelöst (Chen et al., 2026, S. 1).

Ein adaptives Feedback hingegen lenkt die Aufmerksamkeit der Lernenden kontextbezogen auf die wesentlichen Aufgabendetails zurück. Dadurch wird der affektive Druck vermindert, was sowohl die Motivation als auch die finalen Lernergebnisse verbessert (Chen et al., 2026, S. 18).

Die Komponenten des Prinzips Adaptives Feedback nach dem Gregor-Schema sind zusammenfassend dargestellt (Tabelle 11).

Tabelle 11: Anatomie des Prinzips „Adaptives Feedback“

P9 Adaptives Feedback	
Ziel (<i>Aim</i>)	Feedback dynamisch an den individuellen Lernstatus anpassen und die aufgabenbezogene Aufmerksamkeit halten.
Mechanismus & Ausführende (<i>Mechanisms, Enactors</i>)	Adaptives Feedback integrieren, das sofortige Rückmeldungen liefert, System-Input mit Konsequenzen verknüpft und präzise Erklärungen zu Handlungen bereitstellt.
Rationale (<i>Rationale</i>)	Statisches Feedback lenkt aufs Selbst (Angst/Frustration); adaptives lenkt auf die Aufgabe und steigert Motivation und Leistung.

4.10 Generative Lernaktivitäten

Das zehnte Gestaltungsprinzip der generativen Lernaktivitäten adressiert die Notwendigkeit der aktiven kognitiven Auseinandersetzung in EVEs, da die rein passive Betrachtung virtueller Inhalte für ein tiefgreifendes Lernen oftmals unzureichend ist und Wissen aktiv aufgebaut werden muss (Mulders et al., 2024, S. 3).

Das Ziel für die Implementierende besteht darin, eine aktive Beschäftigung der Nutzenden mit dem Lernmaterial zu fördern, um tiefgreifendes Verstehen und das Behalten von Wissen zu gewährleisten. Um dieses Ziel umzusetzen, müssen die Entwickelnde als ausführenden Mechanismus spezifische generative Aufgaben in die VR-Anwendung einbetten. Diese fordern die Nutzenden dazu auf, den Lerninhalt aktiv zu verarbeiten, wie beispielsweise durch Zeichnen, Selbsterklären, Zusammenfassen oder fortlaufendes Testen (Oje et al., 2025, S. 15; Mulders et al., 2024, S. 3).

Die theoretische und empirische Rationale für die Implementierung dieser aktiven Lernaufgaben beruht auf der GLT. Ihr zufolge konstruieren Lernende neue Bedeutungen nur dann erfolgreich, wenn sie neue Informationen durch aktives Engagement mit ihrem Vorwissen verknüpfen (vgl. Abschnitt 2.6). Dieser Prozess erfordert konkrete kognitive Assoziationen, um das dargebotene Wissen langfristig im Langzeitgedächtnis zu sichern

(Mulders et al., 2024, S. 3).

Zudem deuten aktuelle Forschung darauf hin, dass die Einbindung solcher generativen Aktivitäten in EVEs nicht nur die Lernergebnisse verbessern kann, sondern zugleich auch kognitive Belastung der Lernenden reduziert. Durch diese zielgerichteten Aufgaben wird der kognitive Druck gelindert und ein effizienteres, nachhaltigeres Lernerlebnis in der VR geschaffen werden (Oje et al., 2025, S. 19).

Die Komponenten des Prinzips Generative Lernaktivitäten nach dem Gregor-Schema sind zusammenfassend dargestellt (Tabelle 12).

Tabelle 12: Anatomie des Prinzips „Generative Lernaktivitäten“

P10 Generative Lernaktivitäten	
Ziel (<i>Aim</i>)	Aktive Auseinandersetzung mit dem Material für tiefes Verstehen und Behalten anregen.
Mechanismus & Ausführende (<i>Mechanisms, Enactors</i>)	Generative Aufgaben einbetten, die zum aktiven Verarbeiten anregen, z. B. Zeichnen, Selbsterklären, Zusammenfassen oder fortlaufendes Testen.
Rationale (<i>Rationale</i>)	GLT: Bedeutung entsteht durch aktives Verknüpfen neuer Informationen mit dem Vorwissen; generative Aktivitäten können die Lernergebnisse verbessern und zugleich die kognitive Belastung reduzieren.

4.11 Personalisierung

Das elfte Gestaltungsprinzip der Personalisierung adressiert die Notwendigkeit, das Engagement der Lernenden in VEs aufrechtzuerhalten.

Das Ziel besteht darin, eine emotionale und kognitive Bindung zwischen den Nutzenden und dem Lernmaterial aufzubauen, um das Engagement zu erhöhen und lernhinderliche Ablenkungen durch die neuartige Technologie zu verringern (Miguel-Alonso et al., 2024, S. 4). Die Sicherstellung der Motivation und eines positiven Nutzungserlebnisses wirkt auf der affektiv-motivationalen Ebene, insbesondere auf die Zufriedenheit (Satisfaction) als Dimension des ARCS-Models (vgl. Abschnitt 2.7). Dabei entwickeln Nutzernde durch erlebten Lernerfolg eine anhaltende Motivation (Serrano-Malebran et al., 2025, S. 4).

Um dieses Ziel zu verwirklichen, müssen die Entwickelnde als ausführenden Mechanismus das Personalisierungs-Prinzip in die Softwarearchitektur integrieren. Hierbei wird beispielsweise die auditive oder textuelle Informationsvermittlung in einem informellen

Gesprächsstil an die Lernenden gerichtet, anstatt eine formelle Sprache zu verwenden (Miguel-Alonso et al., 2024, S. 4).

Darüber hinaus müssen die Gestaltende die Anwendung an etablierten Motivationsmodellen wie dem ARCS-Model ausrichten, um durch eine nutzerzentrierte Gestaltung und iterative Feedbackschleifen die Aufmerksamkeit für den Nutzenden kontinuierlich aufrechtzuerhalten (Serrano-Malebran et al., 2025, S. 3).

Die theoretische und empirische Rationale für die Implementierung dieser personalisierten Ansprache begründet sich darin, dass ein entspannter und nachvollziehbarer Erzählstil den Lernprozess verbessert (Miguel-Alonso et al., 2024, S. 4). Die aktuelle Forschung deutet darauf hin, dass die Verwendung einer konversationellen und individualisierten Sprache in EVEs das Behalten von Wissen sowie den Wissenstransfer steigern kann (Oje et al., 2025, S. 14). Die gezielte Ausrichtung auf derartige Motivationsstrategien führt zudem durch die Einbindung pädagogischer Ansätze wie Gamification und adaptives Lernen zu einer Erhöhung der studentischen Einbindung in der VE (Serrano-Malebran et al., 2025, S. 3).

Die Komponenten des Prinzips Personalisierung nach dem Gregor-Schema sind zusammenfassend dargestellt (Tabelle 13).

Tabelle 13: Anatomie des Prinzips „Personalisierung“

P11 Personalisierung	
Ziel (<i>Aim</i>)	Emotionale und kognitive Bindung ans Material aufbauen, Engagement erhöhen, Zufriedenheit sichern.
Mechanismus & Ausführende (<i>Mechanisms, Enactors</i>)	Auditive bzw. textuelle Informationsvermittlung in einem informellen Gesprächsstil gestalten; Ausrichtung am ARCS-Model (nutzerzentriert, iterative Feedbackschleifen).
Rationale (<i>Rationale</i>)	Konversationeller Stil steigert Behalten und Transfer; Gamification und adaptives Lernen erhöhen Einbindung und Zufriedenheit.

4.12 Kollaboratives Lernen

Das letzte Gestaltungsprinzip des kollaborativen Lernens adressiert die Notwendigkeit der sozialen Interaktion und des gemeinsamen Problemlösens in EVEs.

Das Ziel für die Implementierende besteht darin, eine Umgebung zu schaffen, die gezielt die Zusammenarbeit sowie die interprofessionelle Kommunikation der Nutzenden

stärkt. Um dieses Ziel zu verwirklichen, müssen die Entwickelnde als ausführenden Mechanismus Multi-User-Aufgaben in die EVE integrieren. Diese sollten ein gegenseitiges, gemeinsames Engagement der Lernenden zur Lösung eines Problems erfordern, anstatt lediglich eine fragmentierte Arbeitsteilung zu ermöglichen. Konstruktiv bedeutet dies für die Softwarearchitektur zudem, dass die EVE für soziale Präsenz optimiert werden müssen. Dabei sollten beispielsweise die Avatare der Lernenden erkennbar und anpassbar gestaltet werden und die Übertragung von physischer Körpersprache sowie nonverbalen Hinweisen technisch unterstützt werden (Paulsen et al., 2024, S. 9–13).

Die theoretische wie auch empirische Rationale für die Umsetzung dieses kollaborativen Gestaltung beruht darauf, dass Studierende ihr Wissen nicht isoliert aufbauen, sondern es durch den bedeutungsvollen Austausch mit ihren Mitlernenden konstruieren. Die aktuelle Forschung zeigt, dass eine solche gemeinschaftliche Wissenskonstruktion im VE zu einem höheren Engagement führt, interdisziplinäres Lernen ermöglicht und zentrale Kompetenzen stärkt (Wang & Sun, 2026, S. 5).

Werden die Avatare und Umgebungen jedoch nicht auf eine reibungslose soziale Interaktion ausgelegt, entstehen technologische Kommunikationsbarrieren und eine mangelhafte Gebrauchstauglichkeit. Konkrete Beispiele dafür umfassen Schwierigkeiten bei der Identifizierung der jeweiligen Teilnehmer, unpersönliche Avatare sowie das Fehlen wesentlicher visueller Hinweise für das Sprechen und die physische Körpersprache. Dies schränkt die Partizipation ein (Paulsen et al., 2024, S. 11) und verweist auf die eingangs beschriebene Grundproblematik: Lernende müssen kognitive Ressourcen auf die Überwindung von Systemhürden verwenden, anstatt sie für den eigentlichen Lernprozess einzusetzen (Fink et al., 2023, S. 2).

Die Komponenten des Prinzips Kollaboratives Lernen nach dem Gregor-Schema sind zusammenfassend dargestellt (Tabelle 14).

Tabelle 14: Anatomie des Prinzips „Kollaboratives Lernen“

P12 Kollaboratives Lernen	
Ziel (<i>Aim</i>)	Zusammenarbeit und interprofessionelle Kommunikation der Lernenden stärken.
Mechanismus & Ausführende (<i>Mechanisms, Enactors</i>)	Multi-User-Aufgaben mit echtem gemeinsamem Engagement; für soziale Präsenz optimieren; erkennbare, anpassbare Avatare, Übertragung von Körpersprache und nonverbalen Hinweisen.
Rationale (<i>Rationale</i>)	Wissen entsteht durch sozialen Austausch; erhöht Engagement und ermöglicht interdisziplinäres Lernen. Fehlende soziale Optimierung erzeugt Kommunikationsbarrieren und mangelhafte Gebrauchstauglichkeit.

5. Diskussion

Das folgende Kapitel ordnet die Ergebnisse ein vor dem Hintergrund der Forschungsfragen. Abschnitt 5.1 verdichtet die identifizierten Gestaltungsprinzipien zu übergreifenden Erkenntnissen, bevor Abschnitt 5.2 die Grenzen des gewählten Vorgehens darlegt.

5.1 Einordnung der Ergebnisse

Über die Beschreibung der einzelnen Prinzipien in Kapitel 4 hinaus lassen sich die Ergebnisse zu mehreren übergreifenden Erkenntnissen zusammenfassen. Diese werden im Folgenden vor dem Hintergrund der Forschungsfragen eingeordnet.

Ein erstes umfassendes Muster betrifft das gemeinsame Gestaltungsziel. Betrachtet man die zwölf Prinzipien in ihrer Gesamtheit, so ordnen sie sich demselben vorangestellten Zweck unter: die Regulierung der kognitiven Belastung der Lernenden. Dieses Ziel lässt sich aus der in Abschnitt 2.4 dargelegten Grundannahme der CLT ableiten, wonach das menschliche Arbeitsgedächtnis sowohl in seiner Kapazität als auch in der Dauer der Informationsspeicherung begrenzt ist (Sweller, 2020, S. 6). Die in Abschnitt 2.5 dargestellte CTML bestätigt und erweitert diese Annahme, indem sie die begrenzte Verarbeitungskapazität auf getrennte visuelle und verbale Kanäle bezieht (Mayer, 2024, S. 1) und das Lernen als aktiven Verarbeitungsprozess innerhalb dieser Grenzen beschreibt. Diese Begrenzung wird in immersiven VEs durch deren sensorische Dichte zusätzlich verschärft (Albus et al., 2021, S. 4). Daher besteht das Ziel gebrauchstauglicher Gestaltung von VR-Lehranwendungen darin, die verfügbaren kognitiven Ressourcen dem eigentlichen Lerninhalt und nicht der Bedienung und Orientierung im

System zu widmen. Dies entspricht dem in Abschnitt 2.1 entwickelten Verständnis von Gebrauchstauglichkeit, das sich nicht an der Bedienbarkeit zum Selbstzweck bemisst, sondern daran, inwieweit die Anwendung der Interaktion möglichst wenig kognitive Kapazität entzieht und diese für den Lernprozess verfügbar hält (Fink et al., 2023, S. 2).

Dieses gemeinsame Ziel zeigt sich darin, dass die Prinzipien unterschiedliche Aspekte desselben begrenzten Arbeitsgedächtnisses adressieren. Die in Abschnitt 2.5 dargestellte CTML operationalisiert diese Belastungsregulierung über drei Verarbeitungstypen, die den CLT-Belastungsarten entsprechen. Mehrere Prinzipien zielen darauf ab, die extrinsische Verarbeitung zu minimieren, die durch ineffiziente instruktionale Gestaltung entsteht und keinen Beitrag zum Lernziel leistet (Mayer, 2024, S. 18). So lenkt das Signaling-Prinzip die Aufmerksamkeit gezielt auf die zentralen Lerninhalte (Albus et al., 2021, S. 6). Das Prinzip der Realismus-Kohärenz-Abwägung entfernt ablenkende, instruktional irrelevante Details (Miguel-Alonso et al., 2024, S. 4). Das Prinzip der Segmentierung und Sequenzierung sowie das Scaffolding steuern die essenzielle Verarbeitung, indem sie komplexe Inhalte schrittweise erschließbar machen, ohne deren inhärente Komplexität zu verändern (Oje et al., 2025, S. 14, 17; Díaz & Ioannou, 2019, S. 96). Wieder andere Prinzipien fördern die generative Verarbeitung, indem sie über Embodiment und generative Aktivitäten den aktiven Aufbau mentaler Schemata anstoßen (Oje et al., 2025, S. 2; Mulders et al., 2024, S. 3).

Über alle drei Verarbeitungstypen hinweg gilt dabei die in Abschnitt 2.1 entwickelte Einordnung: Gebrauchstauglichkeit ist eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung instrukionaler Effektivität.

	essenziell	extrinsisch	generativ	affektiv-motivational
1 · Signaling		●		
2 · Segmentierung und Sequenzierung	●			
3 · Embodiment			●	●
4 · Realismus-Kohärenz-Abwägung		●		●
5 · Modalitäts- und Redundanz-Effekte	◐	●		
6 · Hands-on und Pre-Training		●		●
7 · Vertrautes Design		●		●
8 · Scaffolding	●	◐		●
9 · Adaptives Feedback		●		●
10 · Generative Lernaktivitäten		◐	●	
11 · Personalisierung			●	●
12 · Kollaboratives Lernen			●	●

● primär ◐ sekundär ● affektiv-motivational (erweiterte Ebene)

Abbildung 7: Konzeptmatrix der zwölf Gestaltungsprinzipien nach kognitivem Verarbeitungstyp und affektiv-motivationaler Ebene.²

Ein zweites Muster ergibt sich, wenn die Prinzipien nicht nach ihrem gemeinsamen Ziel betrachtet werden, sondern nach ihre primären Einwirkung auf die kognitive Belastung. Hierzu werden sie den drei eingeführten Verarbeitungstypen der CTML zugeordnet (s. Abschnitt 2.5): der essenziellen Verarbeitung, die aus der inhärenten Komplexität des Lernstoffes resultiert, der extrinsischen Verarbeitung, die durch die Gestaltung der Anwendung bedingt ist und der generativen Verarbeitung, die den aktiven Aufbau mentaler Schemata umfasst (Mayer, 2024, S. 18). Ausschlaggebend für die Zuordnung ist der Mechanismus, über den ein Prinzip seine Wirkung entfaltet, also ob es bestehende Last reduziert, die Verarbeitung komplexer Inhalte staffelt oder konstruktive Verarbeitungsprozesse anstößt. Diese Zuordnung wird in Abbildung 7 als Konzeptmatrix dargestellt

²Die affektiv-motivationale Ebene kennzeichnet jene Prinzipien, die neben ihrer kognitiven Wirkung eine eigenständige affektiv-motivationale Wirkung entfalten. Sie ist nicht Teil der CTML-Systematik und wird daher nicht als Verarbeitungstyp, sondern als ergänzende Ebene geführt; ihre vollständige Einordnung erfolgt über die funktionale Klassifikation (Abbildung 8).

und unterscheidet zwischen der primären und der sekundären Wirkung jedes Prinzips. Die Zuordnung zeigt, dass sich die Prinzipien ungleich auf die drei Verarbeitungstypen verteilen. Der extrinsischen Verarbeitung lässt sich die größte Gruppe von Prinzipien zuordnen. Das Signaling-Prinzip, die Realismus-Kohärenz-Abwägung, die Modalitäts- und Redundanz-Effekte, das Hands-on- und Pre-Training sowie das Prinzip des vertrauten Designs wirken jeweils primär darauf hin, instruktional irrelevante oder bedienungsbedingte Last zu reduzieren (Albus et al., 2021, S. 6; Miguel-Alonso et al., 2024, S. 2–3; Aufenanger et al., 2025, S. 2). Auch das adaptive Feedback wirkt primär auf dieser Ebene, indem es die Aufmerksamkeit der Lernenden von selbstbezogener Sorge auf die wesentlichen Aufgabendetails zurücklenkt und so extrinsische Verarbeitung reduziert (Chen et al., 2026, S. 18).

Dieses Übergewicht ist kein Zufall, sondern ein inhaltlicher Befund. Die Gestaltung gebrauchstauglicher VR-Lehranwendungen ist zuallererst ein Problem der Lastreduktion, da die immersive und sensorisch dichte Umgebung selbst die wesentliche Quelle vermeidbarer Belastung darstellt (Makransky & Petersen, 2021, S. 946). Der essenziellen Verarbeitung sind das Segmentierungs- und Sequenzierungs-Prinzip sowie das Scaffolding zuzuordnen, da beide die inhärente Komplexität des Lernstoffs schrittweise erschließbar machen, ohne sie zu verändern (Díaz & Ioannou, 2019, S. 96; Oje et al., 2025, S. 14). Die essenzielle Verarbeitung tritt als primärer Verarbeitungstyp nur bei zwei Prinzipien auf und kehrt darüber hinaus als sekundäre Wirkung der Modalitäts- und Redundanz-Effekte wieder (s. Abbildung 7). Dies unterstreicht, dass die inhärente Komplexität des Lernstoffes selten der direkte Ansatzpunkt der Gestaltung ist. Der generativen Verarbeitung lassen sich neben dem Embodiment-Prinzip, die generativen Lernaktivitäten, das kollaborative Lernen sowie die Personalisierung zuordnen. Sie stoßen jeweils den aktiven und konstruktiven Wissensaufbau an (Díaz & Ioannou, 2019, S. 95; Mulders et al., 2024, S. 3; Paulsen et al., 2024, S. 9–10; Oje et al., 2025, S. 14). Bei der Personalisierung verläuft dieser Anstoß indirekt über die Steigerung von Motivation und Engagement, die gemäß der CTML die generative Verarbeitung antreiben (Serrano-Malebran et al., 2025, S. 4) (vgl. Abschnitt 2.5).

Die Zuordnung nach dem primären Wirkungsmechanismus bildet die Tätigkeit der Prinzipien jedoch unvollständig ab, da einige von ihnen auf mehr als einen Verarbeitungstyp einwirken. So reduzieren die Modalitäts- und Redundanz-Effekte über den Redundanz-

anteil primär die extrinsische Verarbeitung, während der Modalitätsanteil zugleich die essenzielle Verarbeitung über getrennte Kanäle stützt (Oje et al., 2025, S. 8). Umgekehrt fördern die generativen Lernaktivitäten den Schemaaufbau und können gemäß empirischen Befunden gleichzeitig die allgemeine kognitive Belastung reduzieren (Zhao et al., 2020, zitiert nach Oje et al., 2025, S.19). Diese Mehrfachwirkungen sind in Abbildung 7 durch die sekundären Markierungen abgebildet und werden in der nachfolgenden funktionalen Betrachtung systematisch aufgegriffen.

Über die drei kognitiven Verarbeitungstypen hinaus weist die Mehrheit der Prinzipien eine Wirkung auf, die sich mit den Kategorien der CTML nicht erfassen lässt. Acht der zwölf Prinzipien entfalten neben ihrer kognitiven Wirkung eine eigenständige affektiv-motivationale Wirkung, indem sie situatives Interesse, Motivation, Selbstwirksamkeit, Engagement oder Zufriedenheit adressieren: das Embodiment-Prinzip, die Realismus-Kohärenz-Abwägung, das Hands-on- und Pre-Training, das Prinzip des vertrauten Designs, das Scaffolding, das adaptive Feedback, die Personalisierung sowie das kollaborative Lernen (Díaz & Ioannou, 2019, S. 95; Larmuseau et al., 2025; Oje et al., 2025; Serrano-Malebran et al., 2025, S. 3; Chen et al., 2026, S. 1; Wang & Sun, 2026, S. 5). Diese affektiv-motivationale Dimension ist kein Verarbeitungstyp und wird in Abbildung 7 daher als eine eigene Ebene geführt. Dass sie zwei Drittel der Prinzipien betrifft, zeigt, dass es sich nicht um eine vereinzelte Randerscheinung handelt. Sondern vielmehr um eine durchgängige Wirkungsebene, die sich der rein kognitiven Klassifikation systematisch entzieht. Sie verweist auf das in den Abschnitten 2.7 und 2.8 dargestellte ARCS-Model sowie das CAMIL und begründet, weshalb die kognitive Klassifikation um eine funktionale Perspektive zu ergänzen ist. Diese bildet ebenfalls die motivationale Wirkung der Prinzipien ab.

Die bisherige Einordnung verortet die Prinzipien danach, auf welchen kognitiven Mechanismus sie einwirken. Sie trifft jedoch keine Aussage darüber, welche Funktion ein Prinzip in der konkreten Gestaltung erfüllt und wie die unterschiedlichen Prinzipien dabei zusammenwirken. Hierfür wird die kognitive Perspektive um eine funktionale ergänzt, die die Prinzipien nicht nach Belastungsart, sondern nach ihrer Gestaltungsfunktion ordnet. Diese funktionale Klassifikation wird in Abbildung 8 dargestellt. Sie unterscheidet vier Funktionen. Das Entlasten, das Strukturieren und das Aktivieren bilden eine aufeinander aufbauende Verarbeitungskette, während das Motivieren die affektive Grundlage bildet.

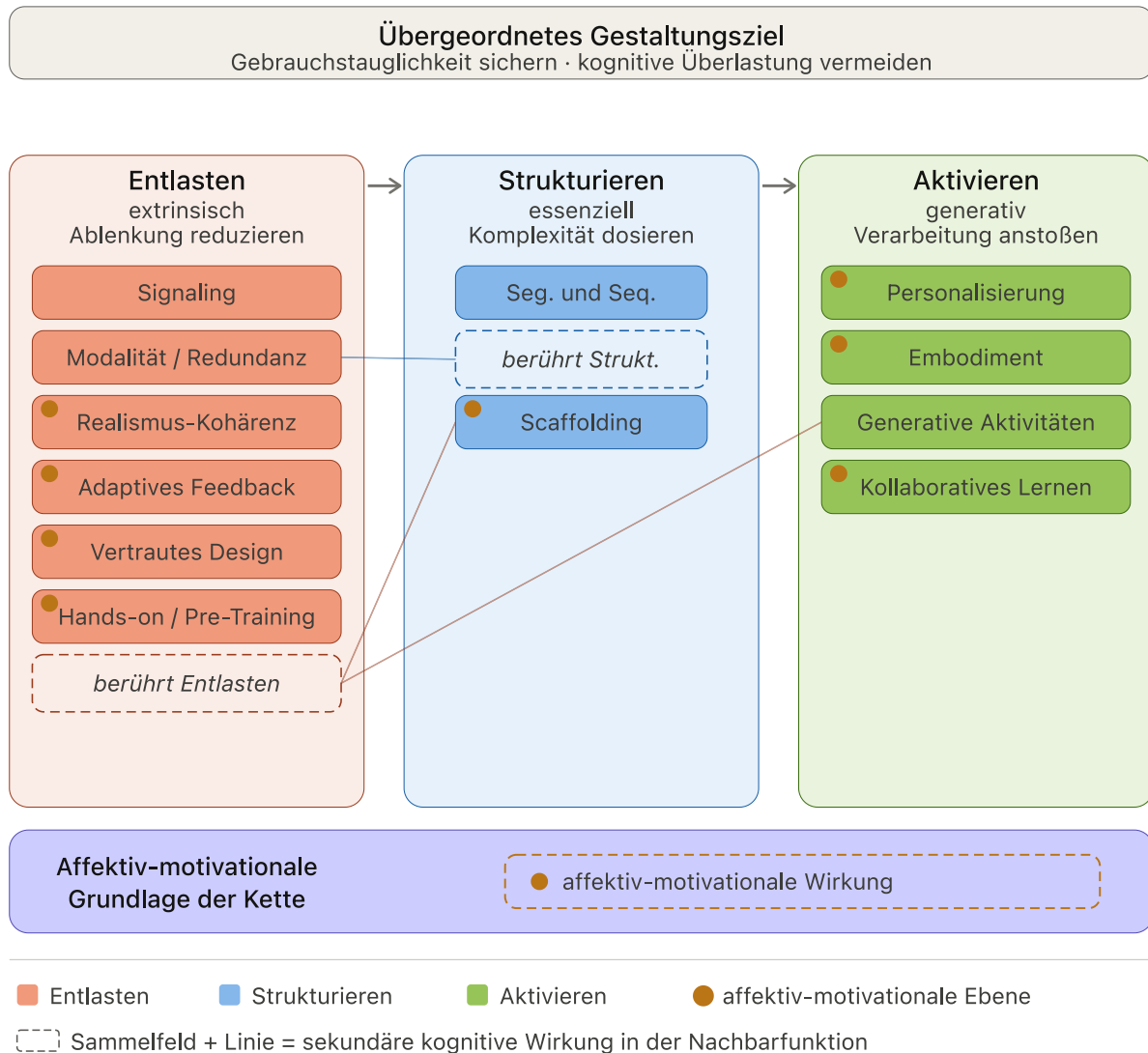


Abbildung 8: Funktionale Klassifikation der Gestaltungsprinzipien in einer Verarbeitungskette: Entlasten, Strukturieren, Aktivieren und Motivieren.

Die drei Funktionen der Verarbeitungskette stehen in einem locker sequenziellen Verhältnis zueinander, das sich aus der in Kapitel 2 entwickelten Theorienfolge ableitet. Das Entlasten bildet den Ausgangspunkt, da die Reduktion vermeidbarer Belastungen die kognitiven Ressourcen freisetzt, die für alle weiteren Verarbeitungsprozesse erforderlich sind (Sweller, 2020, S. 9). Auf diesen freigesetzten Ressourcen baut das Strukturieren auf, indem es die inhärente Komplexität des Lernstoffes dosiert und schrittweise zugänglich macht, ohne das Arbeitsgedächtnis zu überlasten (Oje et al., 2025, S. 14). Erst auf dieser Grundlage greift das Aktivieren. Dieses lenkt die verfügbaren Ressourcen in den konstruktiven Aufbau mentaler Schemata (Mulders et al., 2024, S. 3). Die Reihenfolge ist somit nicht beliebig, sondern aufeinander aufbauend. Eine Aktivierung ohne vorherige Entlastung und Strukturierung würde auf ein bereits ausgelastetes Arbeitsgedächtnis

treffen und ihre Wirkung nur eingeschränkt entfalten.

Die funktionale Betrachtung macht wiederum sichtbar, dass sich die Prinzipien ungleich auf die drei Funktionen verteilen. Die größte Gruppe erfüllt primär eine entlastende Funktion, während das Strukturieren als primäre Funktion vom Segmentierungs- und Sequenzierungs-Prinzip sowie dem Scaffolding besetzt wird und das Aktivieren von vier Prinzipien. Diese Verteilung bestätigt auf der funktionalen Ebene den bereits in der kognitiven Klassifikation gewonnenen Befund, dass die Gestaltung gebrauchstauglicher VR-Lehranwendungen zuallererst auf die Reduktion vermeidbarer Belastung ausgerichtet ist.

Der zentrale Mehrwert der funktionalen Perspektive liegt darin, dass sie die Mehrfachwirkungen der Prinzipien sichtbar macht. Ein Prinzip kann über seine Primärfunktion hinaus eine weitere Funktion berühren. In der Kombination beider Effekte können die Modalitäts- und Redundanz-Effekte die extrinsische kognitive Belastung minimieren oder eigenständig der Steuerung und Stützung der essenziellen Verarbeitung dienen (Oje et al., 2025, S. 6). Umgekehrt wirken die generativen Lernaktivitäten primär aktivierend und können zugleich die kognitive Belastung reduzieren, wodurch sie die entlastende Funktion berühren (Oje et al., 2025, S. 19). Abbildung 8 bildet diese sekundären Wirkungen über Verbindungslinien zu der jeweils berührten Nachbarfunktion ab. Damit werden die Prinzipien nicht als trennscharfe Kategorien behandelt, sondern als Träger teils mehrerer, ineinandergreifender Funktionen.

Das Motivieren nimmt in dieser Architektur eine Sonderstellung ein, da es nicht Teil der kognitiven Kette ist, sondern deren affektive Voraussetzung bildet. Wie in Abschnitt 2.6 dargelegt, setzt generatives Lernen eine aktive kognitive Anstrengung voraus, die ohne hinreichende Motivation gar nicht erst initiiert wird (Fiorella & Mayer, 2015, S. 4). Die betreffenden Prinzipien wirken daher nicht auf eine einzelne Stufe der Kette, sondern bilden diese motivationale Grundlage, auf der das Durchlaufen der gesamten Kette beruht. In Abbildung 8 ist diese Zugehörigkeit durch einen goldenen Marker auf den betreffenden Prinzipien gekennzeichnet. Acht der zwölf Prinzipien diese Funktion tragen mit. Das verdeutlicht, dass die motivationale Grundlage kein Randaspekt, sondern eine breit verankerte Wirkungsebene ist, über die das in den Abschnitten 2.7 und 2.8 dargestellte ARCS-Model und das CAMIL an die kognitive Architektur anschließen.

Die bisherige Einordnung hat die Prinzipien nach ihrem gemeinsamen Ziel, ihrem primä-

ren Belastungstyp und ihrer Gestaltungsfunktion geordnet. Sie behandelt die Prinzipien dabei implizit als nebeneinanderstehende Gestaltungsoptionen. Diese Betrachtung greift jedoch zu kurz, sobald mehrere Prinzipien innerhalb derselben Anwendung zusammenwirken. Zwar wurden die zwölf Prinzipien in Kapitel 4 gleichwertig aus der Literatur abgeleitet, ohne dass ihnen eine Rangordnung hinsichtlich ihrer Geltung zugewiesen wurde. In der konkreten Gestaltung sind sie jedoch nicht gleichrangig nebeneinander umsetzbar, da sie je nach Lernziel in ein Spannungsverhältnis zueinander treten und gegeneinander abgewogen werden müssen.

Eine erste Art dieser Spannung betrifft anwendungsinterne Zielkonflikte, bei denen zwei Prinzipien innerhalb derselben Gestaltungsentscheidung in entgegengesetzte Richtungen wirken. Ein erster solcher Konflikt besteht zwischen Realismus und Kohärenz. Ein hoher Realismusgrad stärkt das Präsenzgefühl und kann über die affektiv-motivationale Ebene das Engagement der Lernenden erhöhen (Larmuseau et al., 2025, S. 3, 7). Derselbe Detailreichtum läuft jedoch dem Kohärenz-Prinzip zuwider. Zur Vermeidung einer Überlastung des Arbeitsgedächtnisses erfordert dieses gemäß der CLT die Eliminierung lernirrelevanter Details (Larmuseau et al., 2025, S. 2; Makransky & Petersen, 2021, S. 946). Realismus und Kohärenz lassen sich daher nicht zugleich maximieren, sondern müssen je nach Lerninhalt abgestimmt werden. Ein zweiter Konflikt besteht zwischen Aktivierung und kognitiver Last. Prinzipien, die den konstruktiven Wissensaufbau anstoßen, können in ihrer Umsetzung selbst zusätzliche Last erzeugen. So verursacht schlecht gestaltetes kollaboratives Lernen durch Kommunikationsbarrieren und Systemhürden eine zusätzliche extrinsische Last (Paulsen et al., 2024, S. 11; Oje et al., 2025, S. 2). Aktivierende Prinzipien werden somit erst dann tragfähig, wenn die Anwendung zuvor entlastet und strukturiert wurde. Dies entspricht dem in Abbildung 8 dargestellten gerichteten Verhältnis der Verarbeitungskette, wonach das Aktivieren auf vorheriges Entlasten und Strukturieren angewiesen ist.

Von diesen anwendungsinternen Zielkonflikten ist eine andersartige Spannung zu unterscheiden. Diese ist nicht aus konkurrierenden Gestaltungszielen, sondern aus der Medienabhängigkeit der zugrunde liegenden Wirkmechanismen resultiert. Der Modalitäts- und Redundanzeffekt wirkt im immersiven Medium anders als im klassischen zweidimensionalen Multimedia-Lernen. Während Redundanz dort häufig zu einer kognitiven Überlastung führt, fungiert sie in der VR als stützendes kognitives Gerüst (Oje et al.,

2025, S. 8). Die Umkehrung wird durch den inversen Modalitätseffekt bestätigt, welcher besagt, dass das Lesen von Texten in immersiven Umgebungen zu besseren Lernergebnissen führt als das reine Zuhören (Albus et al., 2021, S. 5). Diese Spannung ist kein dritter Zielkonflikt zwischen zwei Prinzipien, sondern eine Wirkungsumkehr ein und desselben Mechanismus beim Übergang vom 2D in das immersive Medium. Sie zeigt, dass die Prinzipien nicht nur untereinander abzuwägen sind. Zudem ist ihre Gültigkeit stark an die Eigenschaften der immersiven Umgebung gebunden und lässt sich nicht unreflektiert aus der klassischen Multimedia-Forschung übertragen.

Beide Arten der Spannung führen zu demselben Schluss. Die anwendungsinternen Zielkonflikte zeigen, dass sich konkurrierende Prinzipien nicht gleichzeitig maximieren lassen. Zusätzlich zeigt die medienabhängige Wirkungsumkehr, dass die Geltung eines Mechanismus vom Medium abhängt. In beiden Fällen lässt sich die gebrauchstaugliche Gestaltung nicht durch die additive Erfüllung einer Prinzipienliste erreichen. Die zwölf Prinzipien sind daher nicht als Checkliste zu verstehen, die unabhängig voneinander abzuarbeiten wäre, sondern als kontextabhängig und in Abhängigkeit vom jeweiligen Lernziel gegeneinander abzuwägende Gestaltungsoptionen.

Zusammengenommen verdichten sich die Ergebnisse zu einem mehrschichtigen Bild. Die zwölf Prinzipien ordnen sich einem gemeinsamen Gestaltungsziel unter und zwar der Regulierung der kognitiven Belastung. Jedoch unterscheiden sie sich darin, an welchem Belastungstyp sie primär ansetzen und welche Gestaltungsfunktion sie innerhalb der Verarbeitungskette aus Entlasten, Strukturieren und Aktivieren erfüllen. Über diese kognitive Ordnung hinaus entfaltet die Mehrheit der Prinzipien eine eigenständige affektiv-motivationale Wirkung. Zudem treten sie in der konkreten Anwendung in ein kontextabhängiges Spannungsverhältnis, das ihre gleichzeitige Maximierung ausschließt. Diese vier Perspektiven beschreiben die identifizierten Prinzipien nicht mehr nur einzeln, sondern in ihrer wechselseitigen Ordnung und ihrem Zusammenwirken. Damit beantworten sie die zweite Unterforschungsfrage nach der systematischen Beschreibung und Strukturierung der Prinzipien. Sie bilden zugleich die Grundlage, auf der das folgende Kapitel die übergeordnete Frage nach der gebrauchstauglichen Gestaltung von VR-Lehranwendungen abschließend beantwortet.

5.2 Limitations

Die vorliegende Arbeit unterliegt mehreren Einschränkungen, die bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen sind.

Erstens gibt es keine eigene empirische Validierung der Synthese. Die zwölf Gestaltungsprinzipien stützen sich auf Befunde, die in den zugrunde liegenden Primärstudien vielfach empirisch belegt sind. Die vorliegende Arbeit liefert keine eigene empirische Prüfung. Weder wurde der synthetisierte Prinzipienkatalog als Ganzes noch dessen kombinierte Anwendung in einer konkreten VR-Lehranwendung erprobt. Hinzu kommt, dass die Evidenz aus heterogenen Domänen und Studiendesigns stammt und in ihrer Belastbarkeit variiert, weshalb die Übertragbarkeit auf den hier festgelegten Hochschulkontext eine begründete Annahme bleibt und nicht empirisch abgesichert ist.

Zweitens liegt der Fokus auf didaktisch-pädagogische statt technischer Gestaltung. Die identifizierten Prinzipien konzentrieren sich auf lern- und wahrnehmungspsychologische Aspekte, während technische Gestaltungsfragen weitgehend im Hintergrund bleiben. Insbesondere finden Cybersickness und Nutzungskomfort, etwa hinsichtlich Locomotion-Design oder Bildwiederholrate, keine Berücksichtigung, obwohl sie zu den zentralsten VR-spezifischen Gebrauchstauglichkeitsfaktoren zählen. Auch Hardware-Heterogenität, Latenz und Barrierefreiheit werden allenfalls am Rande adressiert.

Drittens die Restriktionen der Datenbanksuche und Reproduzierbarkeit. Datenbanken wie ScienceDirect erlauben nur eine begrenzte Anzahl an Such-Operatoren und Wildcards, sodass der Suchterm je Datenbank angepasst werden musste. Dies beeinträchtigt die exakte Nachvollziehbarkeit der Suche sowie die Konsistenz der Treffer über die verschiedenen Datenbanken hinweg. Die verwendeten Suchstrings sind zur Nachvollziehbarkeit im Anhang in Abbildungen 9 und 10 dokumentiert.

Letztlich entsteht Subjektivität durch Einzelkodierung und selektive Zitation. Identifikation, Extraktion und Klassifikation der Prinzipien erfolgten durch eine einzelne Person ohne Prüfung der Inter-coder-Reliabilität. In Verbindung mit der in Kapitel 3.1.1 nach Cooper gewählten Abdeckung („exhaustive with selective citation“) erhöht dies die Gefahr einer subjektiven Auswahl und Gewichtung der berücksichtigten Quellen und Prinzipien.

6. Fazit

Der Ausgangspunkt dieser Arbeit war die Feststellung, dass etablierte Gebrauchstauglichkeitsheuristiken wie die von Nielsen & Molich (1990) für zweidimensionale Desktop-Oberflächen entwickelt wurden und den Anforderungen dreidimensionaler, räumlich immersiver Lernumgebungen nicht hinreichend gerecht werden. Aus dieser Lücke leitete sich das Ziel ab, Gestaltungsprinzipien für VR-Lehranwendungen im Hochschulkontext systematisch zu beschreiben. Methodisch stützte sich die Arbeit dabei auf eine SLR zur Identifikation der relevanten Prinzipien sowie auf das Schema von Gregor et al. (2020, S. 23) zu deren einheitlicher Strukturierung. Auf dieser Grundlage lassen sich die Forschungsfragen abschließend beantworten.

Die erste Unterforschungsfrage nach den aus der Forschung ableitbaren Gestaltungsprinzipien wird durch Kapitel 4 beantwortet. Dort wurden zwölf Prinzipien identifiziert. Die Gestaltungsprinzipien reichen von der Aufmerksamkeitslenkung über die kognitive Entlastung und die schrittweise Strukturierung des Lernstoffs bis hin zur Aktivierung und Motivation der Lernenden. Die zweite Unterforschungsfrage nach ihrer systematischen Beschreibung und Strukturierung wird auf zwei Ebenen beantwortet. Auf der Ebene der Einzelbeschreibung wurde jedes Prinzip einheitlich nach dem Schema von Gregor et al. (2020, S. 23) aufbereitet und mit den zugehörigen Quellen belegt, wie die Gesamtübersicht in Tabellen 15, 16 und 17 zusammenfassend dokumentiert. Auf der Ebene der übergreifenden Strukturierung wurden die Prinzipien in Abschnitt 5.2 nach ihrem gemeinsamen Gestaltungsziel, ihrem primären Belastungstyp, ihrer Gestaltungsfunktion sowie ihrem Zusammenwirken geordnet.

Auf dieser Grundlage lässt sich die Hauptforschungsfrage beantworten, wie VR-Lehranwendungen im Hochschulkontext hinsichtlich ihrer Gebrauchstauglichkeit gestaltet sein sollten. Wie im Abschnitt 2.1 definiert, bemisst sich Gebrauchstauglichkeit daran, inwieweit die Anwendung die begrenzten kognitiven Ressourcen der Lernenden dem Lerninhalt statt der Bedienung des Systems verfügbar hält. VR-Lehranwendungen müssen zunächst vermeidbare Belastungen reduzieren, die inhaltliche Komplexität strukturieren und erst darauf aufbauend die aktive Schemakonstruktion anstoßen. Eine solide motivationale Basis bildet hierbei die Voraussetzung, um diese kognitive Verarbeitungskette überhaupt zu durchlaufen. Dem Reduzieren vermeidbarer Belastung kommt dabei besonderes Gewicht zu, da die immersive und sensorisch dichte Umgebung

selbst die wesentliche Quelle vermeidbarer Belastung darstellt.

Entscheidend ist jedoch, dass sich diese Gestaltung nicht in der additiven Erfüllung einer Prinzipienliste erschöpft. Wie die Diskussion gezeigt hat, stehen die Prinzipien in der konkreten Anwendung in einem Spannungsverhältnis und können nicht gleichzeitig maximiert werden. Außerdem wirken einzelne Mechanismen im immersiven Medium anders als im klassischen zweidimensionalen Multimedia-Lernen. Eine gebrauchstaugliche Gestaltung erfordert daher, die Prinzipien nicht als Checkliste abzuarbeiten, sondern sie kontextabhängig und in Abhängigkeit vom jeweiligen Lernziel gegeneinander abzuwägen. Dabei bleibt Gebrauchstauglichkeit eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung instruktionaler Effektivität. Sie hält die kognitiven Ressourcen für den Lernprozess frei, kann erfolgreiches Lernen jedoch nicht aus sich heraus sicherstellen (Kopahs et al., 2025, S. 6).

Die vorgelegte Antwort ist eine theoretisch fundierte Synthese, deren empirische Bewährung noch aussteht. Künftige Forschung sollte den Prinzipienkatalog daher als Ganzes in einer realen VR-Lehranwendung erproben, die hier ausgeklammerten technischen Gebrauchstauglichkeitsfaktoren wie Cybersickness, Locomotion-Design und Latenz einbeziehen und die Klassifikation durch eine mehrfach kodierte Auswertung absichern. Über die Beschreibung hinaus können die Prinzipien so zur Grundlage künftiger Evaluationskriterien werden, anhand derer sich VR-Lehranwendungen im Hochschulkontext hinsichtlich ihrer Gebrauchstauglichkeit überprüfen lassen.

7. Anhang

Suchterm	"Virtual Reality" OR "VR" OR "Virtual Environments" OR "VE" AND "higher education" OR "university" OR "education" OR "pedagog" AND "usability" OR "design principle" OR "implementation" OR "best practice" AND "learning" OR "teaching" OR "instruction"
-----------------	---

Abbildung 9: Zusammensetzung des allgemeinen Suchterms zur Identifikation der Literatur.

1A (Fokus Virtual Reality): ("Virtual Reality" OR "VR") AND ("higher education" OR "university" OR "education") AND ("usability" OR "design principle" OR "best practice") AND ("learning" OR "teaching")
1B (Fokus Virtual Environments): ("Virtual Environments" OR "VE") AND ("higher education" OR "university" OR "education") AND ("usability" OR "design principle" OR "best practice") AND ("learning" OR "teaching")
2A (Fokus Usability): ("Virtual Reality" OR "Virtual Environments" OR "VR") AND ("higher education" OR "university") AND ("usability" OR "implementation") AND ("learning" OR "instruction")
2B (Fokus Design & Best Practice): ("Virtual Reality" OR "Virtual Environments" OR "VR") AND ("higher education" OR "university") AND ("design principle" OR "best practice") AND ("learning" OR "instruction")
Minimal-Suchstring: ("Virtual Reality" OR "VR") AND ("higher education" OR "university") AND ("design principle" OR "usability") AND "learning"

Abbildung 10: Modifizierte Suchstrings für Datenbanken mit limitierten Such-Operatoren

Tabelle 15: Gesamtübersicht der Gestaltungsprinzipien P1–P4 nach dem Schema von Gregor et al. (2020)

Komponente ↓ / Prinzip →	P1 Signaling	P2 Segmentierung und Sequenzierung	P3 Embodiment	P4 Realismus-Kohärenz- Abwägung
Übergeordnetes Ziel <i>Meta-Aim</i>	Die Gebrauchstauglichkeit der Anwendung maximieren und einer kognitiven Überlastung entgegenwirken.			
Prinzip-Ziel <i>Aim</i>	Aufmerksamkeit visuell/akustisch auf zentrale Lerninhalte lenken; Reizüberflutung reduzieren.	Lerntempo-Selbststeuerung; schrittweiser, auf Vorwissen aufbauender Wissenserwerb.	Körperliche Aufgabenausführung durch direkte Objektmanipulation.	Kognitiv angemessene Umgebung durch Reduktion visuellen Überflusses.
Nutzende <i>User</i>	Studentische Nutzende bzw. Lernende.			
Implementierende <i>Implementer</i>	Softwareentwickelnde sowie didaktische und User-Interface-Gestaltende.			
Kontext <i>Context</i>	Educational Virtual Environments (EVEs) im Hochschulbereich.			
Mechanismus <i>Mechanisms</i>	Visuelle/auditive Cues (Pfeile, Annotationen) fest einprogrammieren.	VR-Erfahrung in nutzergesteuerte Einheiten zerlegen (Segmentierung); logisch und aufbauend strukturieren (Sequenzierung).	Aufgaben erfordern inhaltstongruente physische Gesten (z. B. Kurbel drehen).	Kohärenz-Prinzip: lernirrelevante Details entfernen, neutrale Farben nutzen.
Ausführende <i>Enactors</i>	Dieselben Entwickelnde bei der programmiertechnischen Verankerung der Designentscheidungen.			
Rationale <i>Rationale</i>	Senkt kognitive Last: weniger Suchprozesse und Ablenkung.	CTML: Verhindert Überlastung bei komplexen Inhalten; unterstützt gezielten Vorwissensaufbau.	Stärkt Präsenzgefühl; verbessert Behalten/Engagement; unterstützt Schemaaufbau.	CLT warnt vor Überlastung durch irrelevante Details; CAMIL zeigt jedoch Motivationssteigerung durch Realismus/Präsenz. Abwägung nötig.
Quellen <i>Sources</i>	Albus et al. 2021; Oje et al. 2025; Wen et al. 2024	Oje et al. 2025	Díaz & Ioannou 2019; Makransky & Petersen 2021; Oje et al. 2025	Larmuseau et al. 2025; Peltzer et al. 2026; Miguel-Alonso et al. 2024

Tabelle 16: Gesamtübersicht der Gestaltungsprinzipien P5–P8 nach dem Schema von Gregor et al. (2020)

Komponente ↓ / Prinzip →	P5 Modalitäts- und Redundanz-Effekte	P6 Hands-on- und Pre-Training	P7 Vertrautes Design	P8 Scaffolding
Übergeordnetes Ziel <i>Meta-Aim</i>	Die Gebrauchstauglichkeit der Anwendung maximieren und einer kognitiven Überlastung entgegenwirken.			
Prinzip-Ziel <i>Aim</i>	Orientierung verbessern und Fokus auf relevante Infos lenken.	Hardware-Handhabung, Sicherheit/Hygiene und VE-Orientierung sicherstellen.	Intuitive und verständliche Bedienbarkeit.	Gezielte Unterstützung gegen kognitive Überlastung.
Nutzende <i>User</i>	Studentische Nutzende bzw. Lernende.			
Implementierende <i>Implementer</i>	Softwareentwickelnde sowie didaktische und User-Interface-Gestaltende.			
Kontext <i>Context</i>	Educational Virtual Environments (EVEs) im Hochschulbereich.			
Mechanismus <i>Mechanisms</i>	Multimodale, redundante Inputs einsetzen (z. B. Audio + Text/Visualisierung).	Geführte Pre-Training-Phase vor der Kernaufgabe vorschalten.	Werkzeuge realen Objekten nachbilden; klare UI, einfache Interaktionsobjekte.	Schritte einzeln einführen, Komplexität sukzessive aufbauen; isoliert meistern, dann integrieren.
Ausführende <i>Enactors</i>	Dieselben Entwickelnde bei der programmiertechnischen Verankerung der Designentscheidungen.			
Rationale <i>Rationale</i>	Redundanz wirkt in VR als kognitives Gerüst (duale Kodierung). Inverser Modalitätseffekt: Visuell+Text erzeugt weniger Last als nur Audio.	Senkt extrinsische Last der Gerätesteuerung; fördert Selbstwirksamkeit und Vertrauen.	Vermeidet kognitive Reibung/Frustration. Fördert Interesse (Relevance-Dimension nach ARCS).	Verhindert unstrukturierte Überforderung; senkt extrinsische Last; fördert Motivation/Aufmerksamkeit.
Quellen <i>Sources</i>	Albus et al. 2021; Oje et al. 2025; Hartmann et al. 2025	Miguel-Alonso et al. 2024; Schrader et al. 2024; Karcher et al. 2023; Oje et al. 2025	Aufenanger et al. 2025; Fokides & Antonopoulos 2023; Fink et al. 2023; Serrano-Malebran et al. 2025	Díaz & Ioannou 2019; Oje et al. 2025

Tabelle 17: Gesamtübersicht der Gestaltungsprinzipien P9–P12 nach dem Schema von Gregor et al. (2020)

Komponente ↓ / Prinzip →	P9 Adaptives Feedback	P10 Generative Lernaktivitäten	P11 Personalisierung	P12 Kollaboratives Lernen
Übergeordnetes Ziel <i>Meta-Aim</i>	Die Gebrauchstauglichkeit der Anwendung maximieren und einer kognitiven Überlastung entgegenwirken.			
Prinzip-Ziel <i>Aim</i>	Feedback dynamisch anpassen; aufgabenbezogene Aufmerksamkeit halten.	Aktive Auseinandersetzung für tiefes Verstehen/Behalten.	Emotionale/kognitive Bindung aufbauen; Engagement und Zufriedenstellung sichern.	Zusammenarbeit und Kommunikation stärken.
Nutzende <i>User</i>	Studentische Nutzende bzw. Lernende.			
Implementierende <i>Implementer</i>	Softwareentwickelnde sowie didaktische und User-Interface-Gestaltende.			
Kontext <i>Context</i>	Educational Virtual Environments (EVEs) im Hochschulbereich.			
Mechanismus <i>Mechanisms</i>	Sofortige, adaptive Rückmeldungen; Input mit Konsequenz verknüpfen; Erklärungen bereitstellen.	Generative Aufgaben einbetten (z. B. Zeichnen, Selbsterklären, Zusammenfassen, Testen).	Informeller Gesprächsstil; Ausrichtung am ARCS-Model (nutzerzentriert, iteratives Feedback).	Multi-User-Aufgaben (gemeinsames Engagement); auf soziale Präsenz optimieren (Avatare, Körpersprache).
Ausführende <i>Enactors</i>	Dieselben Entwickelnde bei der programmiertechnischen Verankerung der Designentscheidungen.			
Rationale <i>Rationale</i>	Statisches Feedback lenkt aufs Selbst (Frustration); adaptives lenkt auf die Aufgabe, steigert Motivation.	GLT: Verknüpfung neuer Infos mit Vorwissen. Verbessert Ergebnisse und senkt kognitive Belastung.	Konversationeller Stil steigert Behalten/Transfer; Gamification erhöht Einbindung/Zufriedenheit.	Wissen durch sozialen Austausch (Konstruktivismus). Verhindert Kommunikationsbarrieren und mangelhafte Usability.
Quellen <i>Sources</i>	Chen et al. 2026; Pears et al. 2025	Mulders et al. 2024; Oje et al. 2025	Miguel-Alonso et al. 2024; Serrano-Malebran et al. 2025; Oje et al. 2025	Paulsen et al. 2024; Wang & Sun 2026; Fink et al. 2023

Literatur

- Albus, Patrick & Andrea Vogt & Tina Seufert (2021). „Signaling in virtual reality influences learning outcome and cognitive load“. In: *Computers Education* 166, S. 104154. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104154>.
- Aufenanger, Stefan et al. (Juli 2025). „Immersive virtual reality learning environments for higher education: A student acceptance study“. In: *Computers Education X Reality* 7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2025.100105>.
- Becker, Samantha Adams et al. (2018). *NMC Horizon Report: 2018 Higher Education Edition*. Louisville, CO: EDUCAUSE.
- Bernabei, Margherita et al. (Okt. 2024). „Enhancing Occupational Safety and Health Training: A Guideline for Virtual Reality Integration“. In: *IEEE Access* PP, S. 1–1. DOI: [10.1109/ACCESS.2024.3481668](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3481668).
- Biermann, Oloff C. & Daniel Ajisafe & Dongwook Yoon (2022). „Interaction Design for VR Applications: Understanding Needs for University Curricula“. In: *Extended Abstracts of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI EA '22. Association for Computing Machinery.
- Buchner, Josef & Martin Hofmann (Mai 2022). „The more the better? Comparing two SQD-based learning designs in a teacher training on augmented and virtual reality“. In: *International Journal of Educational Technology in Higher Education* 19. DOI: [10.1186/s41239-022-00329-7](https://doi.org/10.1186/s41239-022-00329-7).
- Chen, Chang-Zhi & Wei-Sheng Wang & Yueh-Min Huang (März 2026). „Designing adaptive feedback for hands-on learning in VR: Feedback intervention theory“. In: *Education and Information Technologies*, S. 1–25. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10639-026-13968-4>.
- Cooper, Harris M. (1988). „Organizing Knowledge Syntheses: A Taxonomy of Literature Reviews“. In: *Knowledge, Technology & Policy* 1.1, S. 104–126. DOI: [10.1007/bf03177550](https://doi.org/10.1007/bf03177550).
- Díaz, Paloma & Andri Ioannou (Juni 2019). „Learning in a Digital World: An Introduction“. In: S. 1–339. DOI: [10.1007/978-981-13-8265-9_1](https://doi.org/10.1007/978-981-13-8265-9_1).
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2018). *DIN EN ISO 9241-11:2018-11, Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 11: Gebrauchstauglichkeit: Begriffe*

- und Konzepte (ISO 9241-11:2018); Deutsche Fassung EN ISO 9241-11:2018*. Norm. Beuth Verlag GmbH.
- Fink, Maximilian & Volker Eisenlauer & Bernhard Ertl (2023). „What variables are connected with system usability and satisfaction? Results from an educational virtual reality field trip“. In: *Computers Education X Reality* 3, S. 100043. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2023.100043>.
- Fiorella, Logan & Richard Mayer (Jan. 2015). *Learning as a Generative Activity: Eight Learning Strategies that Promote Understanding*. DOI: 10.1017/CB09781107707085.
- Fokides, Emmanuel & Panagiotis Antonopoulos (Dez. 2023). „Development and testing of a model for explaining learning and learning-related factors in immersive virtual reality“. In: *Computers Education X Reality* 4, S. 100048. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2023.100048>.
- Gregor, Shirley & Leona Chandra Kruse & Stefan Seidel (Nov. 2020). „The Anatomy of a Design Principle“. In: *Journal of the Association for Information Systems* 21, S. 1622–1652. DOI: 10.17705/1jais.00649.
- Hartmann, Christian et al. (Mai 2025). *Seeing the Whole Picture? An Experiment on Environmental Detail and Coherence Formation in Immersive Virtual Reality*. DOI: 10.31234/osf.io/bhsxf_v2.
- Hsu, Ying-Tai & Silvia Wen-Yu Lee (Okt. 2025). „Support for self-regulated learning in immersive virtual reality – An experimental design for science learning“. In: *Education and Information Technologies* 31, S. 269–300. DOI: 10.1007/s10639-025-13807-y.
- Karcher, Amelie & Dominik Arnold & Bernd Kuhlenkötter (Dez. 2023). „Development of a Guideline Under Didactical Aspects for the Use of Immersive Virtual Learning Environments“. In: *Journal of Formative Design in Learning* 7. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41686-023-00085-5>.
- Kitchenham, Barbara (Aug. 2004). „Procedures for Performing Systematic Reviews“. In: *Keele, UK, Keele Univ.* 33.
- Kopahs, Leonie et al. (2025). „Beyond Immersive Experiences: A Statistical Study on VR-Based Education of IS Students“. In: *Proceedings of the Australasian Conference on Information Systems (ACIS 2025)*. Association for Information Systems (AIS).
- Larmuseau, Charlotte et al. (2025). „Beyond realism: Rethinking VR design for optimal learning in technical and vocational secondary education“. In: *Computers Education: X Reality* 6, S. 100098. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2025.100098>.

- Makransky, Guido & Gustav B. Petersen (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, S. 937–958. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2>.
- Mayer, Richard (Jan. 2024). „The Past, Present, and Future of the Cognitive Theory of Multimedia Learning“. In: *Educational Psychology Review* 36. DOI: 10.1007/s10648-023-09842-1.
- Mehmedova, Esin & Santiago Berrezueta-Guzman & Stefan Wagner (2026). „Virtual reality user interface design: Best practices and implementation“. In: *Displays*, S. 103452. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.displa.2026.103452>.
- Miguel-Alonso, Ines et al. (Jan. 2024). „Evaluation of the novelty effect in immersive Virtual Reality learning experiences“. In: *Virtual Reality* 28. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10055-023-00926-5>.
- Mulders, Miriam et al. (2024). „Gestaltung immersiver Lernszenarien: Generative Aktivitäten beim Lernen mit dem Anne Frank VR House“. In: *Workshops der 22. Fachtagung Bildungstechnologien (DELFI)*. Gesellschaft für Informatik. Fulda: Gesellschaft für Informatik, S. 13–20. DOI: 10.18420/delfi2024-ws-02.
- Nielsen, Jakob & Rolf Molich (1990). „Heuristic evaluation of user interfaces“. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '90. Seattle, Washington, USA: Association for Computing Machinery, S. 249–256. DOI: 10.1145/97243.97281.
- Oje, Adurangba Victor & Nathaniel J. Hunsu & Logan Fiorella (2025). „A systematic review of evidence-based design and pedagogical principles in educational virtual reality environments“. In: *Educational Research Review* 47.100676. DOI: 10.1016/j.edurev.2025.100676.
- Page, Matthew et al. (März 2021). „The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews“. In: *BMJ* 372, n71. DOI: 10.1136/bmj.n71.
- Parong, Jocelyn & Richard Mayer (Aug. 2020). „Cognitive and affective processes for learning science in immersive virtual reality“. In: *Journal of Computer Assisted Learning* 37, S. 226–241. DOI: 10.1111/jcal.12482.
- Paulsen, Lucas & Susanne Dau & Jacob Davidsen (März 2024). „Designing for collaborative learning in immersive virtual reality: a systematic literature review“. In: *Virtual Reality* 28. DOI: 10.1007/s10055-024-00975-4.

- Pears, Matt et al. (Feb. 2025). „Enhancing Creativity and Cognitive Skills in Healthcare Curricula: Recommendations from a Modified Delphi Study on Virtual Reality Integration“. In: *Thinking Skills and Creativity* 57, S. 101810. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2025.101810>.
- Peltzer, Nina R. et al. (2026). „The Interplay of Self-regulation, Cognitive Load and Learner Resources: Implications for Learning Outcomes in Virtual Reality“. In: *Computers Education* 249, S. 105612. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2026.105612>.
- Petersen, Gustav Bøg & Giorgos Petkakis & Guido Makransky (2022). „A study of how immersion and interactivity drive VR learning“. In: *Computers Education* 179, S. 104429. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104429>.
- Schrader, Claudia et al. (Sep. 2024). „Hands-on training: Effects on virtual presence, learning-centered emotions, cognitive load and learning outcome when learning with virtual reality“. In: *Computers in Human Behavior Reports* 16, S. 100487. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2024.100487>.
- Serrano-Malebran, Jorge et al. (Jan. 2025). „Assessment of Virtual Reality as a Pedagogical Tool using ARCS and TAM in a Latin American context“. In: *IEEE Access* PP, S. 1–1. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3560478>.
- Sweller, John (2020). „Cognitive load theory and educational technology“. In: *Educational Technology Research and Development* 68.1, S. 1–16. DOI: 10.1007/s11423-019-09701-3.
- Wang, Hsin-Yun & Jerry Sun (März 2026). „Performance prediction in VR co-creation learning environments: Dual-phase vs. single-phase feature extraction and predictor evaluation in student engagement“. In: *Education and Information Technologies*, S. 1–37. DOI: 10.1007/s10639-026-13894-5.
- Webster, Jane & Richard T. Watson (2002). „Analyzing the past to prepare for the future: Writing a literature review“. In: *MIS Quarterly* 26.2, S. xiii–xxiii. DOI: <https://doi.org/10.2307/4132319>.
- Wen, Pingping & Fei Lu & Ahmad Zamzuri Mohamad Ali (2024). „Using attentional guidance methods in virtual reality laboratories reduces students’ cognitive load and improves their academic performance“. In: 28.2. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10055-024-01012-0>.

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich,

- dass die Arbeit selbstständig verfasst wurde,
- dass keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt und alle wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken übernommenen Aussagen als solche gekennzeichnet wurden,
- dass keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet wurden,
- dass die eingereichte Arbeit weder vollständig noch in wesentlichen Teilen Gegenstand eines anderen Prüfungsverfahrens war und
- dass die Arbeit weder vollständig noch in Teilen bereits veröffentlicht wurde und
- dass das elektronische Exemplar mit den anderen Exemplaren übereinstimmt.

Stuttgart, den

Unterschrift

Erklärung zur Verwendung von Künstlicher Intelligenz

Im Rahmen der Erstellung des Exposés wurden die folgenden KI-Werkzeuge wie folgt genutzt:

Tooltyp	Toolbezeichnung	Einsatzzweck	Prompt Bsp.
LLM	Gemini und ChatGPT	Wort- bzw. Satz-übersetzung, Grammatikkorrektur, etc.	I will give you a word in english give me the german equivalent and three other synonyms. For an academic paper. Bitte überprüfe den folgenden Absatz auf Grammatik und Rechtschreibung.
LLM	Notebook LM und Claude	Strukturierungshilfe	Hier ist der aktuelle Entwurf der Gliederung für mein Kapitel. Fehlt aus deiner Sicht ein wichtiger logischer Schritt zwischen den Unterkapiteln 2.1 und 2.2?
LLM	Notebook LM	Zusammenfassung von Artikeln	Fasse mir die Ergebnisse folgender Experimente in Bullet-Points zusammen. Fasse zusammen, welche theoretischen Modelle in diesem Artikel als Grundlage herangezogen werden.