TECHNISCHE UNIVERSITÄT
ILMENAU

Interaktive 3D-Modelle für die ingenieurwissenschaftliche Lehre

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
Doktoringenieurin (Dr.-Ing.)

vorgelegt der
Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

von Nadja Huntemann, M. Sc.

1. Gutachterin: Prof. Dr. phil. Heidi Krömker
2. Gutachter: Jun.-Prof. Dr. Jan Ehlers
3. Gutachter: Dr.-Ing. Helge Drumm

Tag der Einreichung: 24.08.2020
Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 04.06.2021

DOI: 10.22032/dbt.49397
URN: urn:nbn:de:gbv:ilm1-2021000220

Für

Jochen, Brigitte und Otto

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die durch ihre fachliche und persönliche Unterstützung zum Gelingen dieser Dissertation beigetragen haben.

Mein Dank gilt zunächst Frau Prof. Dr. phil. Heidi Krömker, meiner Doktormutter, für die Betreuung dieser Arbeit. Ihre freundliche Hilfe und die mannigfache Ideengebung eröffneten mir einen kritischen Zugang zu dieser Thematik. Die zahlreichen Gespräche und der konstruktive Austausch habe ich stets als Motivation empfunden.

Ich danke Herrn Dr.-Ing. Helge Drumm für das Gutachten und die langjährige, hilfsbereite Unterstützung, auch bei der Bachelor- und Masterarbeit. Zudem danke ich Herrn Jun.-Prof. Dr. Jan Ehlers für die Begutachtung meiner Dissertation und die inspirierenden Gespräche.

Mein außerordentlicher Dank gilt allen ehemaligen Kollegen und Kolleginnen für die Auseinandersetzung mit meinem Themenkomplex sowie die Unterstützung und Motivation bei der Durchführung der Studien und dem Fertigstellen der Arbeit.

Schließlich möchte ich mich besonders bei allen Probanden und Probandinnen bedanken, die sich für meine Studien bereiterklärt haben und ohne diese keine Ergebnisse vorliegen würden.

Kurzfassung

Hochschulen setzen zunehmend auf die Verwendung von interaktiven 3D-Modellen. Die dreidimensionalen Visualisierungen vermitteln Kenntnisse aus verschiedenen Wissensbereichen, sind vielseitig einsetzbar und können einer Vielzahl an Lernenden zur Verfügung gestellt werden. Die Dreidimensionalität unterliegt in diesem Kontext keiner einheitlichen Definition und wird in verschiedenen gestalterischen Variationen verstanden. Zahlreiche Modellierungs- und Animationsprogramme bieten dazu vielfältige Möglichkeiten 3D-Modelle zu erstellen und interaktiv zu gestalten. Der Erstellungsprozess erfolgt jedoch meist unsystematisiert und die 3D-Modelle stehen in verschiedenen Detaillierungs- und Interaktionsgraden zur Verfügung. Weiterhin unterliegt dabei die didaktische Aufbereitung keiner einheitlichen Systematik.

Die Aufgabe dieser Arbeit ist es daher, den sinnvollen Einsatz von interaktiven 3D-Modellen in der ingenieurwissenschaftlichen Lehre zu untersuchen sowie einen systematischen und nutzerzentrierten Weg für die 3D-Modellerstellung zu erarbeiten. Das Ergebnis ist die Bereitstellung eines Vorgehensmodells, das eine effektive und effiziente Entwicklung von 3D-Modellen beschreibt. Die in diesem Rahmen entwickelten 3D-Patterns bieten dabei Musterlösungen für die nutzerzentrierte Aufbereitung der interaktiven 3D-Modelle. Eine Entscheidungshilfe wurde zur Bestimmung einer sinnhaften 3D-Modellerstellung für die ingenieurwissenschaftliche Lehre entwickelt. Erst durch das Zusammenspiel der Disziplinen Content, Didaktik, Technik und Usability bei den Studien und Entwicklungen wird ein systematisches und nutzerzentriertes Vorgehensmodell realisierbar.

Abstract

Universities increasingly rely on the use of interactive 3D models. Three-dimensional visualizations convey knowledge from various fields of knowledge, are versatile and can be made available to many learners. In this context, three-dimensionality is not subject to a uniform definition and is understood in different creative variations. Numerous modelling and animation programs offer various possibilities to create and interactively design 3D models. However, the creation process is usually unsystematized and the 3D models are available in various levels of detail and interaction. The didactic preparation is still not subject to a uniform system.

The main objective of this thesis is to investigate the meaningful use of interactive 3D models for education in the field of engineering and to develop a systematic and user-centered way for 3D model creation. The result is the provision of a process model describing an effective and efficient approach. The 3D patterns developed in this context offer sample solutions for the user-centered preparation of interactive 3D models. A decision support was developed to determine a meaningful 3D model generation for education in the field of engineering. A systematic and user-centered process model can only be realized by the interaction of the disciplines content, didactics, technology and usability in studies and development.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 1
1.1 Motivation und Ausgangssituation ... 1
1.2 Forschungsgegenstand und Ziel ... 2
1.3 Methodisches Vorgehen und Aufbau der Arbeit ... 4
2 State of the Art ... 7
2.1 3D-Grundlagen ... 7
2.1.1 3D-Wahrnehmung ... 7
2.1.2 Einsatz von 3D ... 11
2.1.3 Definition von 3D-Begriffen ... 15
2.2 3D-Werkzeuge ... 18
2.3 3D in der Didaktik ... 29
2.4 Definition der Forschungslücke ... 34
3 Studien zum Einsatz von 3D-Modellen in der Lehre ... 38
3.1 Analytische Studien ... 38
3.1.1 Analyse von Lernplattformen mit 3D-Modellen ... 39
3.1.2 Eigenschaften der 3D-Lerngegenstände im praktischen Einsatz ... 50
3.1.3 Analyse von Inhaltstypen und Screen-Layout ... 53
3.2 Empirische Studien ... 57
3.2.1 Fallstudie ... 58
3.2.2 Anforderungen der Lehrenden sowie Entwickler und Entwicklerinnen ... 59
3.2.3 Anforderungen der Lernenden ... 63
3.2.4 Studie zur Ergonomie von 3D-Modellen ... 69
3.2.5 Studie zur Behaltensleistung ... 74
3.3 Zusammenfassung ... 80
4 Ableitung von Patterns für die Gestaltung der 3D-Modelle ... 84
4.1 Pattern-Beschreibung ... 85
4.1.1 Pattern-Ansatz ... 85
4.1.2 Anforderungen an Patterns ... 88
4.2 Evaluation von Gestaltungsvarianten ... 90
4.2.1 Vorgehensweise ... 91
4.2.2 Extraktion von Problemklassen ... 92
4.2.3 Extraktion von Gestaltungsvarianten ... 93
4.2.4 Experimentelle komparative Analyse ... 102
4.2.5 Extraktion von Gestaltungsempfehlungen ... 111
4.3 Definition der Patterns ... 116
4.3.1 Vorgehensweise ... 116
4.3.2 Entwicklung ... 117

4.3.3 Pattern-Kollektion ... 121
5 Entwicklung einer Entscheidungshilfe ... 144
5.1 Klassifikation von 3D-Lerngegenständen ... 144
5.1.1 Ziel. ... 144
5.1.2 Methode ... 145
5.1.3 Ergebnis ... 151
5.2 Ableitung einer Interaktionstaxonomie auf die Klassifikation der 3D-Lerngegenstände ... 152
5.2.1 Vergleich von Interaktionstaxonomien ... 152
5.2.2 Entwicklung einer Interaktionstaxonomie für 3D-Modelle ... 155
5.2.3 Zuordnung der Lerngegenstände ... 158
5.3 Umsetzung der Entscheidungshilfe ... 161
6 Vorgehensmodell für die Entwicklung von interaktiven 3D-Modellen ... 166
6.1 Analyse von Vorgehensmodellen ... 166
6.2 Entwicklung des Vorgehensmodells ... 171
6.3 Evaluation des Vorgehensmodells ... 180
6.4 Ergebnis ... 191
7 Zusammenfassung ... 203
7.1 Diskussion und Fazit ... 203
7.2 Ausblick ... 208
Glossar ... I
Literaturverzeichnis ... II
Abkürzungsverzeichnis ... XVI
Abbildungsverzeichnis ... XVII
Tabellenverzeichnis ... XIX
Eigenständigkeitserklärung ... XXI

1 Einleitung

In diesem einführenden Kapitel wird mit der Beschreibung der Motivation und der Ausgangssituation die Thematik dieser Dissertation eröffnet. Das Kapitel zum Forschungsgegenstand beschreibt den Sachverhalt, an dem sich diese Arbeit ausrichtet. Anschließend werden das methodische Vorgehen und der Aufbau der Arbeit dargelegt.

1.1 Motivation und Ausgangssituation

Durch die Entwicklungen in den letzten Jahren verbreitet sich das Thema 3D als innovativer Medieneinsatz zunehmend in der ingenieurwissenschaftlichen Hochschullehre [Potkonjak et al. 2015], [Dalgarno et al. 2011], [Silén et al. 2008]. Dabei werden die Vorteile von interaktiven 3D-Modellen genutzt, um den Lernenden komplexe Sachverhalte zu vermitteln. Durch die dreidimensionale Darstellung der Lerngegenstände wird das räumliche Verständnis grundlegend geschult. Ein weiterer Vorteil, der durch das digitale Medium entsteht, ist das Verfügbarmachen der Lerngegenstände für eine Vielzahl von Lernenden. Diese können die Lerngegenstände im Lehrbetrieb oder zu Hause an ihren Computern verinnerlichen und „erleben“. Vor allem spielt die Interaktion eine wesentliche Rolle. Nicht nur das Drehen oder Zoomen der 3D-Modelle ermöglicht das aktive Lernen, auch die Selektion verschiedener Modellteile und deren Informationsdarstellung motivieren und fördern die Behaltensleistung (Kapitel 3.2.5).

Den vielen Vorteilen der interaktiven 3D-Modelle steht die aufwendige Erstellung gegenüber. Die Entwicklung der 3D-Modelle erfordert eine genaue Analyse der Wissensvermittlung, eine enorme Entwicklungsdauer sowie technisches Know-How. Damit das 3D-Modell interaktiv erlebbar ist, müssen alle Interaktionsmöglichkeiten derzeit noch entsprechend programmiertechnisch erstellt werden. Dabei ist die Programmierung ergänzend zur Modellierung des 3D-Modells sehr anspruchsvoll. Um das 3D-Modell letztendlich einer Vielzahl an Lernenden zur Verfügung zu stellen und damit in der Lehre einsetzen zu können, sollte es idealerweise auch webbasiert entwickelt werden.

Die Landschaft der derzeitigen interaktiven 3D-Modelle gestaltet sich sehr diffizil und schwerpunktzentriert. Die didaktische Aufbereitung, die Modelldetaillierung sowie der Interaktionsgrad sind derart inhomogen, dass sich kaum Richtlinien oder Regeln erkennen lassen. Zudem existieren nur wenige interaktive 3D-Modelle für die Ingenieurwis-

senschaften, die die Lernenden bei der Wissensvermittlung unterstützen. Werden 3D-Modelle in der Lehre eingesetzt, dienen sie häufig eher als Anschauungsmaterial, um z. B. den Aufbau komplexer Konstruktionen zu demonstrieren. Hierfür existieren sehr viele Plattformen und Bibliotheken, die 3D-Modelle zum Download bereitstellen. Jedoch sind diese auf ein Minimum an Interaktivität reduziert, d. h. es wird meist lediglich die Rotation ermöglicht. Dadurch erweisen sie nicht das volle didaktische und technische Potenzial, das 3D-Modelle grundlegend leisten könnten.

Obwohl bei interaktiven 3D-Modellen das Zusammenspiel von Didaktik und Content essenziell ist, wurde dieses bisher noch nicht hinreichend untersucht. Zudem spielen die Technik und die Usability eine wesentliche Rolle, um interaktive 3D-Modelle für die Lernenden zugänglich und leicht bedienbar zu gestalten. Die vier Disziplinen Content, Didaktik, Technik und Usability (CDTU) können bei geeigneter Verzahnung eine optimale Entwicklung von interaktiven 3D-Modellen für die Lehre garantieren. Hierfür bieten bestehende Richtlinien einen ersten Ansatzpunkt. Einerseits existieren Richtlinien für einzelne Medien zur optimalen didaktischen Erstellung, die sich allerdings nur auf die klassischen Medienformen, wie z. B. Texte, Bilder, Animationen, Simulationen oder Videos beziehen. Richtlinien oder Regeln zur Aufbereitung von 3D-Modellen und Integration in Lehrkontexte sind bisher nur kaum etabliert. Andererseits hat bspw. [Bowman 2005, S. 77ff] Richtlinien für Virtual Reality (VR) aufgestellt, die Entwickler und Entwicklerinnen bei der technischen Erstellung von VR-Anwendungen unterstützen. Richtlinien im Kontext der interaktiven 3D-Modelle weisen demzufolge eine relevante Lücke auf.

1.2 Forschungsgegenstand und Ziel

Der zu untersuchende Forschungsgegenstand dieser Arbeit sind interaktive 3D-Modelle. Damit sind computergenerierte, geometrische Visualisierungen gemeint, die eine Ausbreitung in die drei Dimensionen Höhe, Breite und Tiefe aufweisen. Sie bilden Gegenstände aus der Realität ab und können interaktiv gesteuert werden. Dazu gehören u. a. das Rotieren, das Zoomen, das Verschieben oder das Verändern der Modellteile.

Der Forschungsbereich beschränkt sich auf die Ingenieurwissenschaften, da hier sehr komplexe Sachverhalte, wie z. B. technische Systeme oder Wechselwirkungen von Parametern vermittelt werden. Die interaktiven 3D-Modelle, die in dieser Arbeit zu untersuchen sind, werden auf gewöhnlichen Computerbildschirmen bzw. mobilen Endgeräten präsentiert und mit Standard-Eingabegeräten, wie der Computermaus, der Tastatur oder

per Touch, gesteuert. Trotz des Aufkommens von VR-Systemen muss der einfache Zugang der 3D-Modelle garantiert werden. Da nicht alle Lernenden über solche Systeme verfügen und beim Einsatz von Virtual Reality physische Beschwerden (Cybersickness) immer noch ein schwerwiegendes Problem sind, wird der Fokus dieser Arbeit auf 3D-Modelle für Computerbildschirme oder mobile Endgeräte gesetzt. Ein Ableiten der Erkenntnisse dieser Arbeit auf Virtual Reality wird dennoch im Ausblick (Kapitel 7.2) diskutiert. Des Weiteren werden virtuelle Welten in Online-3D-Anwendungen, wie z. B. Second Life [Linden Lab 2020] oder virtuelle Klassenräume, nicht in die Untersuchungen einbezogen. Das Entscheidende hierbei ist die Übertragung der eigenen Person in die virtuelle Welt in Form eines Avatars, der durch die 3D-Welt navigiert wird. Solche virtuellen Lernräume dienen vorrangig der Realisierung der sozialen Interaktion von räumlich getrennten Studierenden und dem Schaffen von besonderen Erlebnisräumen [Walber et al. 2010, S. 214]. Ausschlaggebend für diese Arbeit ist jedoch die Darstellung von realen Objekten aus den Ingenieurwissenschaften. Auch auf sogenannte Learning Games, die vor allem (Labor)-Experimente für den Bildschirm bereitstellen, wird nur bedingt eingegangen.

Die didaktische, ergonomische und gestalterische Aufbereitung der interaktiven 3D-Modelle wird in einem Vorgehensmodell verankert. Dieses soll eine effektive und effiziente Vorgehensweise im Entwicklungsprozess unterstützen. Um dem bereits beschriebenen Entwicklungsaufwand entgegenzuwirken, wird ein gerechtfertigtes Aufwand-Nutzen-Verhältnis der Entwicklung von 3D-Modellen mit dieser Arbeit angestrebt. Hierfür wird eine Entscheidungshilfe erarbeitet, die signifikante Merkmale zur Verwendung von 3D-Modellen im Lehrkonzept beinhaltet. Die Entscheidungshilfe dient als Orientierung, wann ein 3D-Modell einen Mehrwert gegenüber anderen Medienformen, wie z. B. einem Video oder einer Grafik hat. Entwickelte 3D-Patterns fließen weiterhin in das Vorgehensmodell ein. Sie bieten Musterlösungen für das didaktische Aufbereiten der 3D-Modelle sowie deren technische und nutzerzentrierte Umsetzung.

Die Ziele dieser Arbeit sind daher im Einzelnen:

- 3D-Patterns zu erarbeiten, die die didaktische, technische und ergonomische Aufbereitung der interaktiven 3D-Modelle unterstützen,
- eine Entscheidungshilfe als Orientierung für den Aufwand bei der Entwicklung von 3D-Modellen zu erstellen und
- ein effektives und effizientes Vorgehensmodell zur Realisierung der interaktiven 3D-Modelle zu entwickeln.

1.3 Methodisches Vorgehen und Aufbau der Arbeit

Das methodische Vorgehen dieser Arbeit beinhaltet zunächst die Recherche zum State of the Art. Dazu gehören die Ermittlung von 3D-Grundlagen, die Beschreibung von 3D in der Didaktik sowie die Analyse von Werkzeugen zum Erstellen und Präsentieren von 3D-Modellen. Hierzu erfolgt die Festlegung der Arbeitsdefinition des Begriffs „3D“. Aus den Analysen zum State of the Art wird die Forschungslücke definiert und die daraus entstehende Forschungsfrage abgeleitet.

Analytische und empirische Studien zeigen, wie bestehende 3D-Modelle in der Lehre eingesetzt werden, was sie leisten müssen und welchem Zweck sie dienen. Mit leitfadengestützten Interviews werden Anforderungen an 3D-Modelle für den Einsatz in der ingenieurwissenschaftlichen Lehre von Lehrenden sowie Entwicklern und Entwicklerinnen empirisch erhoben. Demgegenüber stehen die Anforderungen der Lernenden, die hierfür durch Interviews und Fokusgruppen befragt werden. Ein Usability-Test der 3D-Modelle mit Lernenden verdeutlicht weiterhin die Anforderungen an die Ergonomie. Abschließend wird ein Test zur Behaltensleistung der Lernenden mit interaktiven 3D-Modellen im Vergleich zu statischen 3D-Modellen durchgeführt. Die Analyse bestehender 3D-Modelle und deren Inhaltstypen zeigt die Diversität der Aufbereitung. Die Gestaltungsvarianten sind in komparativen Tests zu bewerten und anschließend in 3D-Patterns abzuleiten. Die 3D-Patterns werden dabei entwickelt, um Musterlösungen für spezifische Gestaltungsprobleme zu bieten. Durch die Ableitung werden 34 3D-Patterns für die drei analysierten Problemklassen Visualisierung, Information und Interaktion erstellt.

Eine Klassifikation von Lerngegenständen wird aus der Analyse innerhalb der Ingenieurwissenschaften erarbeitet. Sie zeigt typische Lerngegenstände, die den Studierenden vermittelt werden. Die Klassifikation wird auf eine ausgewählte und angepasste Taxonomie von Interaktionsstufen abgeleitet. Dieses erarbeitete Framework dient als Grundlage der Entscheidungshilfe, die verdeutlicht, ob der Aufwand des 3D-Modells den Nutzen rechtfertigt.

Schließlich werden alle gewonnenen Ergebnisse und Informationen in das angestrebte Vorgehensmodell überführt. Dazu ist die Analyse von bestehenden Vorgehensmodellen nötig, die entscheidende Phasen und Merkmale für die Entwicklung aufzeigen. Im letzten Schritt wird das Vorgehensmodell in einer Fokusgruppe und durch Interviews evaluiert. Abbildung 1-1 veranschaulicht das methodische Vorgehen.

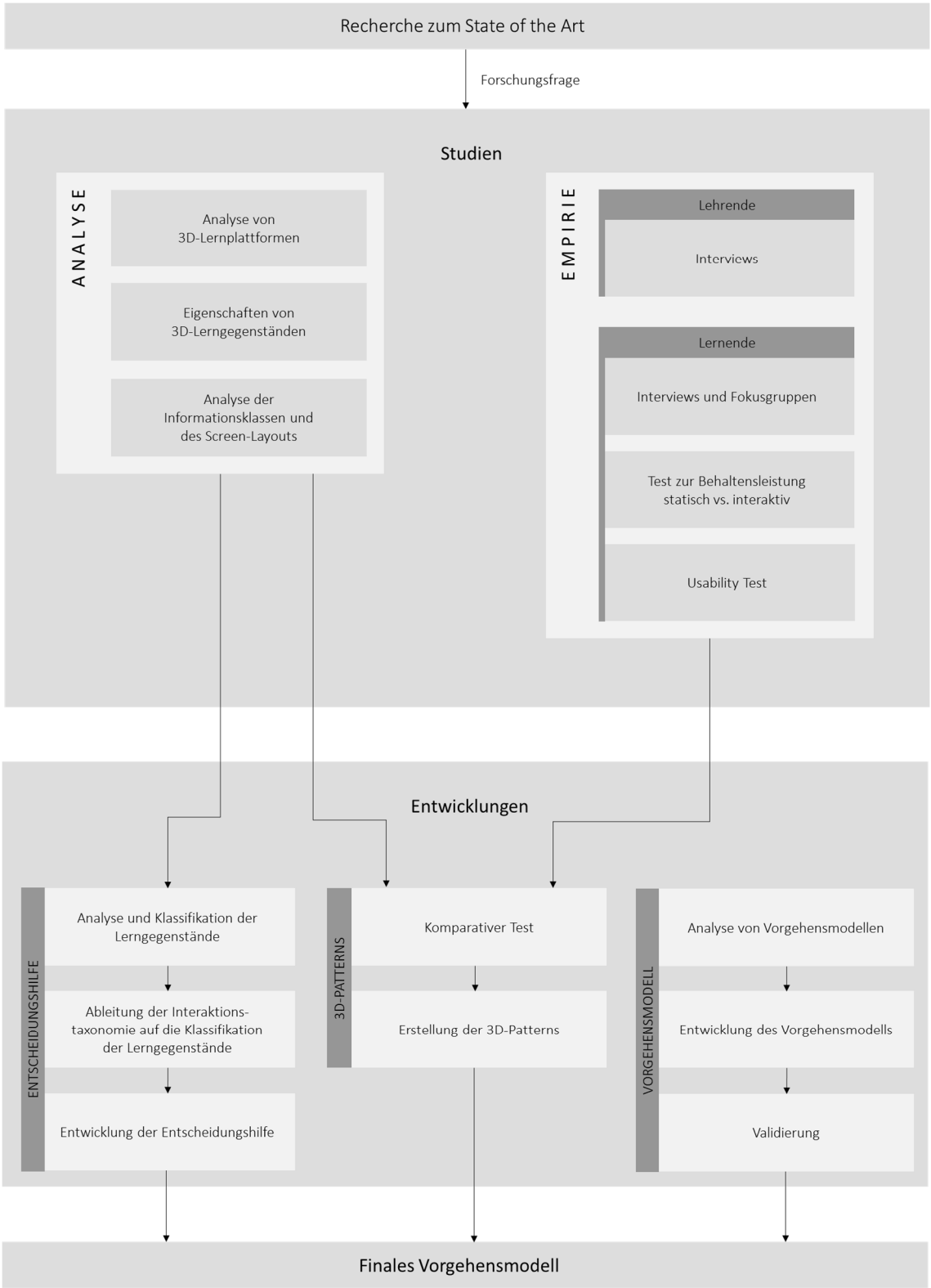


Abbildung 1-1: Methodisches Vorgehen

Die vorliegende Arbeit ist zur Realisierung des Vorhabens in fünf inhaltliche Kapitel gegliedert. Ergänzt werden diese durch eine Einleitung und eine Zusammenfassung. Abbildung 1-2 fasst den Aufbau der Arbeit noch einmal zusammen.

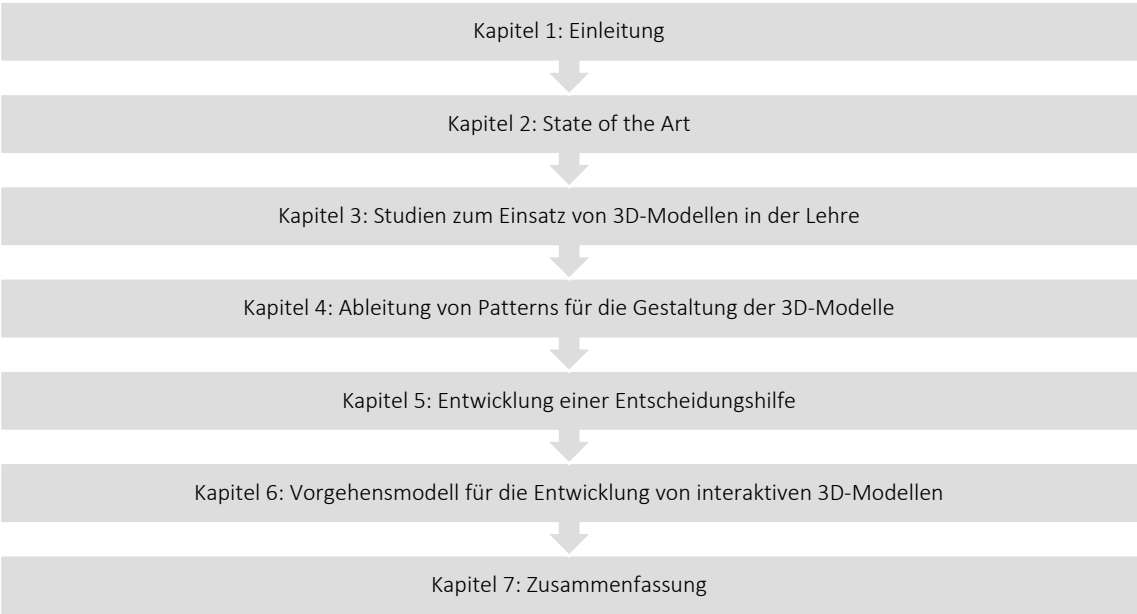


Abbildung 1-2: Aufbau der Arbeit

2 State of the Art

In diesem Kapitel bilden die theoretischen Grundlagen das Fundament für das weitere Vorgehen. Es werden zunächst die 3D-Grundlagen beschrieben und eine Definition des Begriffs 3D für diese Arbeit festgelegt. Diesen schließen sich Analysen von 3D-Werkzeugen und der 3D-Didaktik an. Der State of the Art endet mit der Definition der Forschungslücke.

2.1 3D-Grundlagen

3D - zwei Zeichen so simpel wie diffizil, wenn es um die Definition und Abgrenzung geht. Dieses Kapitel untersucht die wesentlichen Merkmale zum Verständnis von 3D. Zunächst wird die 3D-Wahrnehmung beschrieben. Die Darstellung zur Verwendung von 3D zeigt anschließend die Einsatzvielfalt. Es erfolgt das Ableiten einer Definition, die als Grundlage für diese Arbeit dienen wird.

2.1.1 3D-Wahrnehmung

Seit jeher ist es dem Menschen ein Wunsch seine Umwelt so nachzubilden wie er diese wahrnimmt. Das zeigt sich u. a. in der Malerei, die das visuell Gesehene festhalten soll. In der frühen Renaissance suchten Maler und Malerinnen nach Regeln für realistische Raumeffekte, um Gegenstände dreidimensional wirken zu lassen [Wildbur et al. 1998, S. 128]. Die Herausforderung liegt in der Abbildung von dreidimensionalen, also tiefenwahrgenommenen, Objekten auf einem zweidimensionalen Untergrund, wie z. B. Leinwand oder Papier. Daher wurden zahlreiche Studien zur Perspektive sowie zur Licht- und Schattenwirkung durchgeführt (Abbildung 2-1) und systematisiert (Tabelle 2-1).

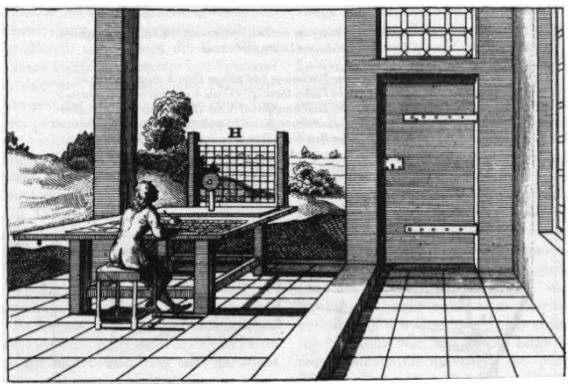


Abbildung 2-1: Perspektive [Steinberg 2017]

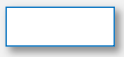
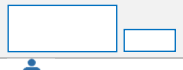
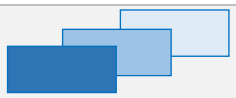
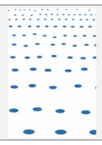
Diese sogenannten Hinweisreize erzeugen in der Grafik eine dreidimensionale, räumliche Wirkung. Es existiert eine Vielzahl an Hinweisreizen, die die Dreidimensionalität auf einem zweidimensionalen Untergrund hervorrufen. Um das Erzeugen von dreidimensionalen Wirkungen zu verstehen, werden die Hinweisreize des Tiefensehens aufgelistet.

Es sind zwei Arten von Indikatoren zu unterscheiden:

- Monokulare Indikatoren, die mit einem Auge auswertbar sind und
- Binokulare Indikatoren, die mit beiden Augen verarbeitet werden.

Nach [Goldstein et al. 2002, S. 128ff] gibt es monokulare Indikatoren, die Informationen für die räumliche Tiefe in unbewegten (statischen) Bildern zeigen, wie sie in Tabelle 2-1 zusammengefasst sind.

Tabelle 2-1: Monokulare Indikatoren nach [Goldstein et al. 2002, S. 128ff] und [Tauer 2010, S. 44ff]

Indikator	**Beschreibung**	**Beispiel**
Linearperspektive	Darstellung mit Fluchtpunkt	
Verdeckung	Verdecktes Objekt liegt hinter dem verdeckenden Objekt	
Schatten	Objekte mit Eigenschatten und Schlagschatten	
Relative Höhe	Objekte, die weiter entfernt sind, liegen näher an der Horizontlinie	
Relative Größe	größere Objekte wirken näher	
Gewohnte Größe	alltägliche Gegenstände dienen als Referenz (z. B. Mensch)	
Atmosphärische Perspektive	abnehmende Kontraste in der Tiefe	
Farbperspektive	warme Farben wirken näher als kalte	
Texturgradient	Muster und Strukturen werden in der Tiefe kleiner und verringern ihre Abstände	

Bewegungsinduzierte Indikatoren liefern weitere räumliche Informationen. Diese entstehen durch die Bewegung des Objekts oder der Beobachtenden selbst. Kriterien hierfür sind die Bewegungsparallaxe und die Verdeckungsbewegung, Die Bewegungsparallaxe ist der Bewegungsunterschied, der zu erkennen ist, wenn sich vordere Objekte schneller bewegen als weiter entfernte. Die Verdeckungsbewegung ist das Zu- bzw. Aufdecken von Objekten durch die Bewegung.

Die binokularen Indikatoren vereinen die Merkmale des stereoskopischen Sehens (Stereopsis). Sie sind abhängig von der Augenbewegung, auch Okulomotorik genannt. Diese bedingt die Konvergenzstellung (Schielen, Schielwinkel) und die Akkommodation. Letztere dient der Fokussierung im Nahbereich (< 1 m) durch die Linsenänderung und -verdickung.

Da die Augen durchschnittlich 6,5 cm [Frings et al. 2014, S. 301] horizontal auseinanderliegen (Parallaxe), entstehen bei der Wahrnehmung zwei Netzhautbilder mit geringfügig unterschiedlichen Perspektiven. Dies wird binokulare Disparität oder Querdisparation genannt. Verschmelzen die zwei Teilbilder im Gehirn, entsteht ein virtuelles Bild, das etwa mittig zwischen beiden reellen Teilbildern liegt. Dieses Verschmelzen ist die Fusion, die in Abbildung 2-2 dargestellt ist.

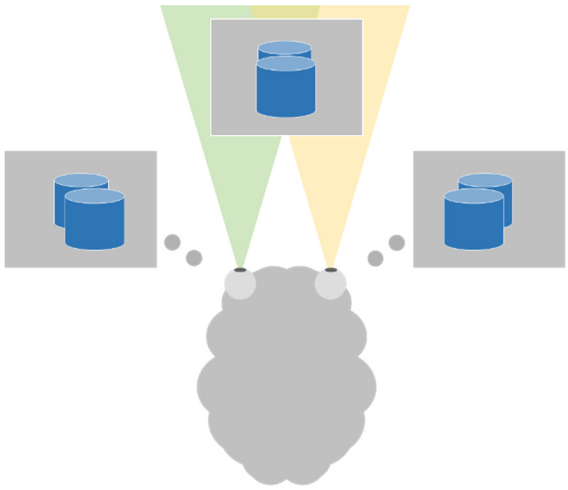


Abbildung 2-2: Fusion und Stereopsis nach [Tauer 2010, S. 59]

Aus den Unterschieden zwischen den beiden Netzhautbildern leitet das Gehirn Tiefeninformationen ab und ermittelt somit die Entfernung von verschiedenen Gegenständen. Vor allem im Nahbereich erfolgt ein besonders plastischer Raumeindruck. Der Vorgang des binokularen Sehens ist in Abbildung 2-3 dargestellt.

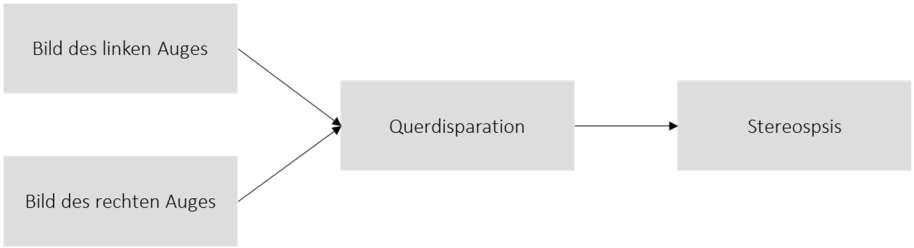


Abbildung 2-3: Entstehung der Stereopsis nach [Goldstein et al. 2002, S. 226]

Die monokularen und binokularen Indikatoren sind in Abbildung 2-4 zusammengefasst.

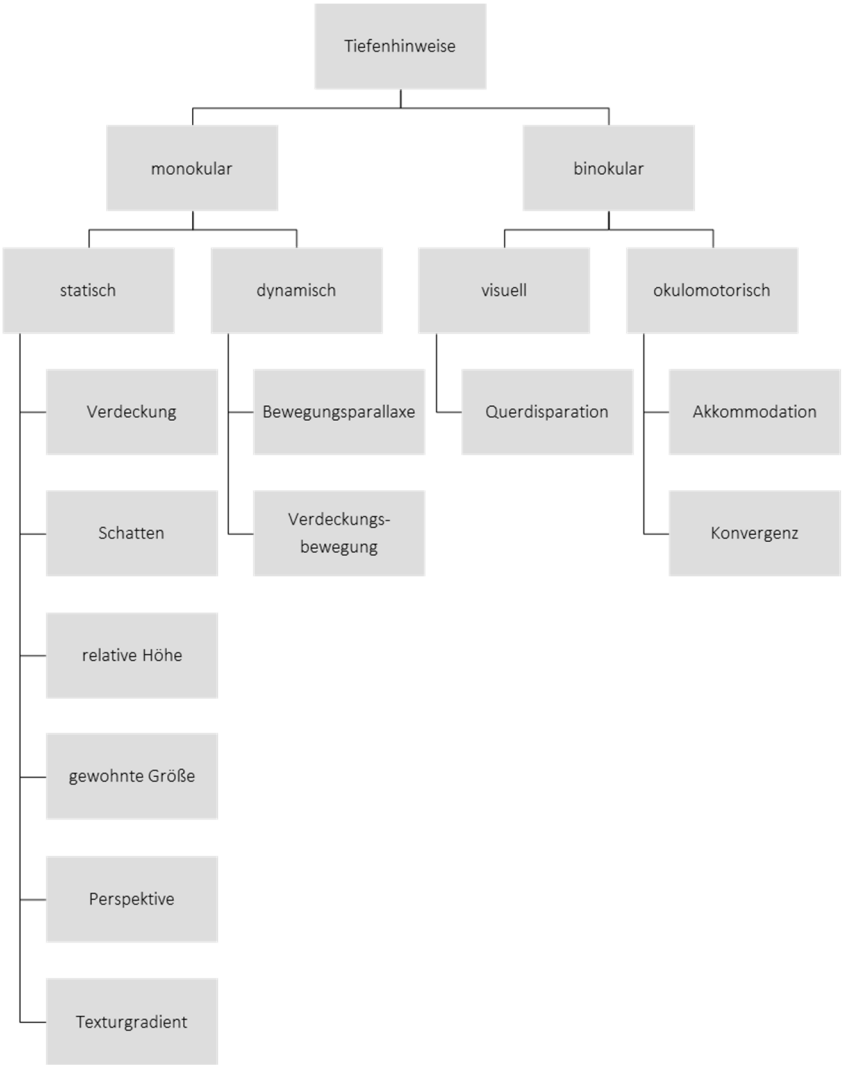


Abbildung 2-4: Systematisierung der Hinweisreize des Tiefensehens nach [Tauer 2010, S. 44–53] und [Goldstein et al. 2002, S. 228–235]

Das räumliche Sehen wird durch das komplexe Zusammenspiel von binokularen und monokularen Hinweisreizen ermöglicht. Das Gehirn nutzt eine Vielzahl von Tiefeninformationen für das korrekte Einordnen der zu betrachtenden Räumlichkeit. Es ist ein Zusammenwirken der physiologischen Reize, des Gelerntem und dem unbewussten Verhalten [Ubbens 2020].

Unter Berücksichtigung der Hinweisreize können optische Täuschungen hinsichtlich der Tiefenwirkung erzeugt werden. Der Betrachtungswinkel für die Erkennung von optischen Tiefentäuschungen ist dabei wesentlich. Die Betrachtung aus mehreren Winkeln, indem z. B. Objekte gedreht werden oder der Betrachter bzw. die Betrachterin um ein Objekt läuft, erzeugt Bewegung. Aus der Bewegung heraus lässt sich dann die dreidimensionale Form erkennen. Der sogenannte kinetische Tiefeneffekt [Goldstein et al. 2002, S. 316] zeigt sogar, dass die dreidimensionale Form eines Objekts aus den Bewegungen seiner zweidimensionalen Abbildung, z. B. auf einem Bildschirm, wahrgenommen werden

kann. Dies ist der Fall der hier zu untersuchenden interaktiven 3D-Modelle auf dem zweidimensionalen Bildschirmmonitor. Daher werden die monokularen dynamischen Hinweisreize eine wesentliche Rolle bei den Entwicklungen spielen. Die monokularen statischen Hinweisreize verstärken weiterhin die dreidimensionale Wirkung der 3D-Modelle und müssen bei der Gestaltung beachtet werden. Die monokularen dynamischen Hinweisreize sind schließlich die Kriterien, durch die die Dreidimensionalität differenziert werden kann. Es ist zu schlussfolgern, dass 3D vor allem durch Bewegung entsteht. Vorrangig wird diese bei 3D-Modellen durch die Rotation hervorgerufen. Zusammenfassend ist der dynamische Faktor bei den Untersuchungen der interaktiven 3D-Modelle ein wichtiges Merkmal (Kapitel 3.1.2).

2.1.2 Einsatz von 3D

Verschiedene konkrete Beispiele von 3D-Visualisierungen werden im Folgenden analysiert, um Einsatzgebiete und Gründe für den Einsatz zu systematisieren.

Der Einsatz von 3D findet in fast allen Wissenschafts- und Lebensbereichen statt. Mit der Entwicklung leistungsstarker Computer in den 1980er Jahren [Laing 2004, S. 3] wurden zunehmend 3D-Visualisierungen generiert und eingesetzt. Der Maschinenbau konnte davon profitieren, da es nun möglich war CAD-Modelle für die Konstruktion und Produktentwicklung zu erstellen. Gleichzeitig erleichterten 3D-Modelle den Architekten und Architektinnen die Arbeit beim Entwurf von Gebäuden oder Städten. Der massentauglichste 3D-Einsatz ist in der 3D-Filmindustrie und im Gaming-Bereich zu finden. PC-Spiele, wie Quake (1996) [Steam 2020] oder Tomb Raider (1996) [MobyGames 2020], boten damals erstmalig die Möglichkeit die Spielfigur frei im Raum zu bewegen [Wolf et al. 2003, S. 160]. Dabei sind Spiele nicht ausschließlich ein Entertainment-Instrument, sondern können beispielsweise auch ein Lernziel verfolgen und so im Lehrbetrieb Anwendung finden.

Heute setzen immer mehr Anbieter auf 3D-Visualisierungen ihrer Produkte. In einer 360°-Ansicht können z. B. Produkte im Onlineshop betrachtet werden. Somit haben die Kunden und Kundinnen eine konkrete räumliche Vorstellung davon, was sie erwerben können.

Abbildung 2-5 zeigt 3D-Visualisierungen der hier aufgeführten Beispiele für den Einsatz von 3D. Diese sind üblicherweise auf dem Computermonitor oder dem Smartphone-Display zu betrachten.

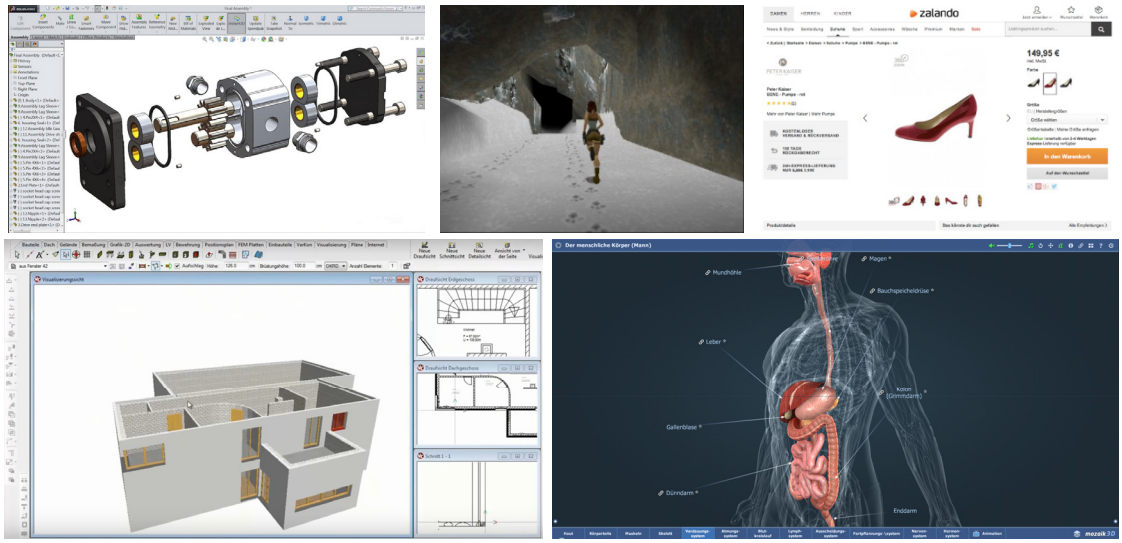


Abbildung 2-5: Beispiele der verschiedenen 3D-Einsatzbereiche (v. l. n. r.): Konstruktion [Dassault Systèmes 2020], Gaming [Xproger 2020], Produktpräsentation [Zalando 2015], Entwurfsplanung [YouTube 2013], Bildung [Mozaik 2020]

Bei diesen Beispielen zeigen sich verschiedene Gründe für den Einsatz. Die visualisierten Objekte müssen die originalen realen Objekte wiedergeben. Diese Auswahl demonstriert den Wunsch nach Räumlichkeit und das Bestreben, die visualisierten Szenarien dem gewohnten Sehen nachzuempfinden. Dabei ist zu erkennen, dass diese Anwendungen eine Perspektive aufweisen. Die Nutzer und Nutzerinnen erkennen durch die monokularen Tiefenhinweise, dass ein 3D-Objekt vorliegt. Die gegebenen Interaktionsmöglichkeiten, wie z. B. das Rotieren, verstärken durch die Bewegung den 3D-Eindruck.

Die längste Geschichte zeigt 3D im Bereich der Filmindustrie auf. Studien und Entwicklungen wurden hier bereits Mitte des 19. Jahrhunderts durchgeführt [Jockenhövel 2014, S. 48f]. Das Ziel des 3D-Films ist es, dem gewohnten Sehen nachzuempfinden. Für diesen Zweck werden 3D-Brillen eingesetzt, um die Stereopsis (Kapitel 2.1.1) für die stereoskopische Darstellung auszunutzen und Filme damit erlebbar zu machen. Sie zeigen durch die Projektion real wirkende Objekte im Raum.

Abbildung 2-6: 3D-Stereo-Kino [Freepik 2020a]

Für Simulationen oder Trainings, bei denen die Testsituation sehr realistisch nachgebildet werden muss, wird wie beim 3D-Film die Stereoskopie eingesetzt. Fahrzeugsimulatoren oder virtuelle Trainings im Militär- und Medizinbereich können eine realitätsnahe Situation als virtuelle Welt abbilden sowie die Nutzer und Nutzerinnen in der virtuellen Umgebung vielfältig interagieren lassen. Sie tragen dabei eine 3D-Brille, die die Tiefe räumlich genau abbildet, und verüben ihre Interaktion durch spezifische Eingabegeräte, wie z. B. Flystick, 3D-Maus oder durch Gestensteuerung. Die virtuellen Ereignisse werden in Echtzeit dargestellt. Die Eigenschaften der Stereoskopie, die Echtzeit-3D-Darstellungen und die verstärkte Interaktion werden unter dem Begriff Virtual Reality (VR) zusammengefasst [Preim et al. 2015, S. 246].

Abbildung 2-7: 3D-Simulationen und Trainings [Freepik 2020b], [3D Systems 2017]

Die daraus resultierenden Branchen, in denen 3D vielfältig zum Einsatz kommt, sind nachfolgend mit entsprechender Anwendung aufgelistet.

Tabelle 2-2: 3D-Einsatz nach Branchen [E-Teaching.org 2015a] und [Preim et al. 2015, S. 233–237]

Branche	**Anwendung**
Maschinenbau	Konstruktion, Produktentwicklung, Produktdesign, Prototypenentwicklung
Entertainment	Gaming, Film, Lichtplanung bei Theaterproduktionen
Automotive	User Interfaces, Infotainment, Services
Architektur	Entwurf und Design von Gebäuden und Innenräumen, Rekonstruktion, Stadt- und Terrainmodellen
Medizin	Trainieren von chirurgischen Handlungsabläufen bei Operationen, Aufnahmen bei Computertomographie
Marketing	Visuelle und funktionale Produktpräsentation, Websites
Bildung	Veranschaulichung von Lerngegenständen, virtuelle Lernumgebungen, Museums- und Stadtrundgänge, Trainings von Handlungsabläufen

Der Anwendungsvielfalt entsprechend lassen sich folgende Gründe für den Einsatz der 3D-Visualisierungen ableiten.

Visualisieren: 3D-Visualisierungen dienen zum Sichtbarmachen von darzustellenden Objekten, die dem Betrachter und der Betrachterin bereitgestellt und zugänglich gemacht

werden. Die Objekte können verschiedene Darstellungsgründe besitzen. Sie sind schwer vorstellbar, sehr komplex oder beinhalten wichtige dynamische Elemente.

Realismus: Die 3D-Visualisierungen bilden Sehgewohnheiten nach. Dafür werden die monokularen und binokularen Tiefenhinweise (Kapitel 2.1.1) genutzt, um die Visualisierung räumlich wirken zu lassen. Die Erweiterung durch die Stereoskopie erhöht weiterhin den Grad an Realismus.

Steuern (ausgenommen der 3D-Stereo-Film): Durch die Interaktion, die viele 3D-Visualisierungen beinhalten, können die Objekte durch den Betrachter und die Betrachterin gesteuert werden. Die Interaktion ermöglicht damit eine Erweiterung, um den dynamischen bzw. zeitlichen Faktor einzubringen. Ein typisches Beispiel ist die Rotation zur Betrachtung eines Objekts von allen Seiten. Die Interaktion kann dabei variable Ausbaustufen besitzen. Einige Objekte lassen sich lediglich auswählen, während z. B. in Trainingssimulationen ein hoher Grad an Interaktivität vorhanden sein muss, um die zu trainierenden Handlungsabläufe realistisch nachzustellen und den Erlebnisgrad zu erhöhen.

Trainieren: Das Steuern ist Voraussetzung für die Trainingsmöglichkeiten, die 3D-Visualisierungen bieten. Im Fokus steht die Ausbildung von Spezialisten und Spezialistinnen durch Trainings. Insbesondere werden dabei Handlungsabläufe und spezifisches Verhalten trainiert. Dies wird durch das Zusammenspiel von Visualisierung und der Steuerung bzw. Interaktion realisiert. Um einen realistischen Eindruck bei den Trainings zu erhalten, werden oftmals VR-Systeme eingesetzt.

Für den hier zu untersuchenden Einsatz in der ingenieurwissenschaftlichen Lehre bedeutet dies, dass diese vier Merkmale Bestandteile der 3D-Modelle werden. Neben den Lerngegenständen, die hierbei realistisch visualisiert werden, müssen die Lernenden die Möglichkeit erhalten Interaktionen durchzuführen. Das Trainieren, welches sich z. B. in den Ingenieurwissenschaften auf Handlungsabläufe an Geräten oder in Experimenten bzw. in virtuellen Laboren bezieht, beruht dabei auf der Bereitstellung vielfältiger Interaktionsmöglichkeiten. Das Trainieren wird jedoch in dieser Arbeit nicht den primären Einsatz der 3D-Modelle in der Lehre einnehmen. Die Lernenden werden in diesen Untersuchungen Lerngegenstände erhalten, die vorrangig realistisch visualisiert sind und interaktiv gesteuert werden können.

2.1.3 Definition von 3D-Begriffen

Nach der Auseinandersetzung mit der 3D-Wahrnehmung und den Einsatzgebieten von 3D-Visualisierungen erfolgen in diesem Kapitel die Definitionen zu den wichtigsten Begriffen, die im Kontext von 3D stehen. Das ist hierbei das für die Arbeit wichtige 3D-Modell in Abgrenzung zur 3D-Szene und 3D-Lernanwendung. Zudem werden die Ausgabearten zur Präsentation von 3D-Modellen für die Lernenden definiert.

3D

Die Definition von „3D“ ist für jeden Menschen zunächst grundlegend einfach und eindeutig, denn jeder hat eine bestimmte Vorstellung von 3D. Bis vor dem Einzug von Virtual Reality wurde der Begriff 3D dabei überwiegend mit dem 3D-Kino in Verbindung gebracht. Geht es jedoch darum eine detaillierte Erklärung zu geben, zeigt sich die Spannweite der 3D-Ausprägungen. Weitere Vorstellungen reichen von räumlich wirkenden Grafiken über Animationen bis hin zum stereoskopischen, interaktiven Modell in der Virtual Reality. Bei der Erklärung wird häufig die Abkürzung 3D in ihre zwei Bestandteile aufgegliedert. Es ist die Abkürzung für „drei Dimensionen“ bzw. „dreidimensional“. Anschließend werden oftmals die mathematischen Koordinatensysteme hinzugezogen. 2D-Visualisierungen weisen eine Ausbreitung in die x- und y-Ebene auf, während 3D-Visualisierungn eine zusätzliche Ausprägung auf der z-Achse (Tiefe) besitzen. Beispiele aus Computerspielen zeigen die Unterschiede deutlich. Während Super Mario als klassisches Jump’n’Run-Spiel lediglich auf der x- und y-Achse bewegbar ist, kann der Avatar in Super Mario 3D frei in alle Richtungen bewegt werden (Abbildung 2-8). Die Freiheitsgrade des Avatars erhöhen sich somit.

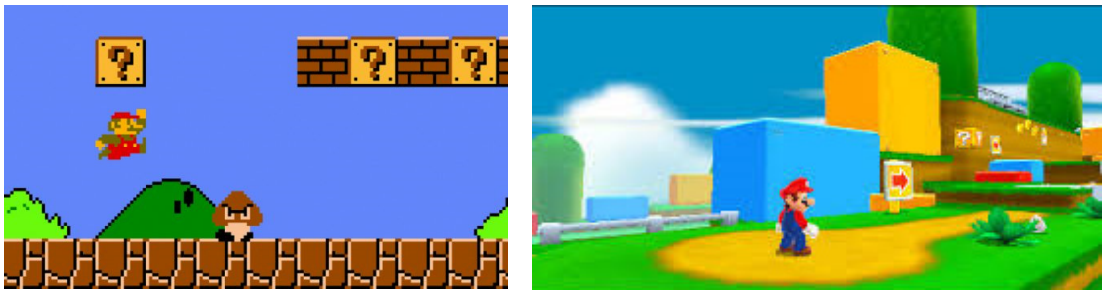


Abbildung 2-8: 2D- vs. 3D-Darstellung (2D [Nintendo 2020b], 3D [Nintendo 2020a])

Für die Definition des Begriffs 3D ist damit die Tiefe ein wichtiges Merkmal zur Unterscheidung. Allgemein bedeutet daher 3D, dass computergenerierte Visualisierungen mit Tiefeninformationen vorliegen und somit eine räumliche Darstellung erzielt wird, wie z. B. mit einem 3D-Modell [Tauer 2010, S. 3, Vorwort].

3D-Modell

Das 3D-Modell beschreibt computergestützt beliebige Objekte mit Hilfe einer mathematischen Darstellung in den drei Dimensionen, um diese räumlich abzubilden. Damit ergeben sich Geometrien, die durch Eckpunkte (engl. Vertices) und Kanten (engl. Edges) im 3D-Raum festgelegt werden. Aus diesen werden Polygone (Vielecke) bzw. Polygonnetze errechnet, die das Grundgerüst zur Darstellung der 3D-Modelle liefern [Jung et al. 2019, S. 87]. Der Prozess zur Erstellung von 3D-Modellen erfolgt mit einer 3D-Software (Kapitel 2.2) und wird als Modellierung bezeichnet. Zur Erstellung der 3D-Modelle werden vorrangig drei Arten der Modellierung beschrieben. Das sind nach [Mach 2000, S. 42f] und [Schiele 2012, S. 41f] die

- Drahtmodellierung, eine skelettartige Beschreibung von 3D-Objekten, die aus Punkten und Linien bestehen,
- Flächenmodellierung, die 3D-Objekte über die Oberfläche definiert und hierfür polygonale Netze verwendet und
- Volumenmodellierung, die Objekte als Körper beschreibt, indem sie das Volumen durch dreidimensionale geometrische Primitive wie Quader, Zylinder, Kugel etc. modelliert oder durch Boole'sche Operationen definiert.

Nach [Mach 2000, S. 17] sollte stets bedacht werden, dass dreidimensionale Modellierung mehr Zeit in Anspruch nehmen wird als die Erstellung zweidimensionaler Darstellungen. Dafür liegt der Nutzen der 3D-Modelle als Visualisierung darin, dass

- das Modell von verschiedenen Seiten betrachtet werden kann,
- die Interaktion mit den dreidimensionalen Daten ermöglicht wird,
- Problemstellen komplexer Konstrukte dreidimensional besser dargestellt werden können und
- eine ingenieursgemäße Analyse ermöglicht wird.

Die Interaktion mit dem 3D-Modell für die Nutzer und Nutzerinnen nimmt dabei einen besonderen Stellenwert ein. Nach [Niegemann et al. 2004, S. 109] ist sie das wechselseitige Handeln von Kommunikationspartnern, in diesem Fall von Lernenden und Computer in Echtzeit. Jede Interaktion zwischen Nutzern bzw. Nutzerinnen und Computer erfolgt über eine Benutzerschnittstelle. Für die 3D-Modelle sind z. B. das Anklicken, Zoomen, Verschieben, Rotieren oder die Dateneingabe typische Interaktionen.

3D-Szene

In einer 3D-Szene werden nach [Jung et al. 2019, S. 83] alle Informationen beschrieben, die die innere Struktur und die äußere Erscheinung einer virtuellen Welt bestimmen. Die virtuelle Welt beinhaltet z. B. Modelle von Objekten, deren Verhaltensbeschreibung und Anordnung im Raum [Dörner et al. 2019a, S. 7]. Die 3D-Szene enthält neben den Geometrie- und Materialbeschreibungen (z. B. Farbe oder Texturen) für alle 3D-Objekte Kamerapositionen und -einstellungen sowie Licht- und Audioquellen. Diese Daten werden in strukturierter Form in einem Szenengraph festgelegt und verdeutlichen den hierarchischen Aufbau der Szene und deren Objekte [Jung et al. 2019, S. 83].

Ausgabearten

Für den Einsatz der 3D-Modelle und -Szenen bestehen unterschiedliche Möglichkeiten der Ausgabe und der Bereitstellung. Tabelle 2-3 definiert hierfür typische Ausgabearten, die durch die Ausgabegeräte (Kapitel 2.2) präsentiert werden und die Vielseitigkeit der 3D-Modelle verdeutlichen.

Tabelle 2-3: Ausgabearten

Ausgabeart	Definition
Bild, Grafik	Präsentieren einer statischen Ansicht des 3D-Modells auf Monitoren oder durch einen Beamer bzw. Ausdruck der Ansicht durch einen Desktop-Drucker auf Papier
Druckmodell	Herstellen eines Objekts aus Kunststoff, Metall oder Keramik auf Grundlage eines Volumenmodells [Fastermann 2012, S. 1]
Animation	Abspielen einer Folge von unbewegten Bildern, damit der Eindruck von Bewegung entsteht (Video) [Rada 2002, S. 58], dazu können z. B. Position, Form und Farbe von Objekten animiert werden [Niegemann et al. 2004, S. 135]
Stereoskopie	Erweiterung der 3D-Visualisierung um eine realitätsnähere Tiefenwirkung durch Zweiteilung des Bildes und Verschiebung um einen Winkelversatz in Anlehnung an das menschliche Sehen, meist ist ein Hilfsmittel, z. B. eine VR-Brille erforderlich [Butz 2008, S. 2] und [Tauer 2010, S. 526]
Hologramm	Präsentieren des 3D-Modells durch einen Laserreferenzstrahl, der Überlagerungsmuster mit dem Licht der aufgenommen Objekte erzeugt [Tauer 2010, S. 142]
Simulation	Zusammenspiel von interaktiver Eingabe bzw. Manipulation und nachfolgender Animation des 3D-Modells, Variation von Parametern durch den Nutzer oder die Nutzerin, um Zusammenhänge zu erkunden (exploratives Lernen) [Niegemann et al. 2004, S. 136]

3D-Lernanwendung

Im Verlauf dieser Arbeit wird sich zeigen, dass die zu untersuchenden 3D-Modelle im Lehrkontext selten allein präsentiert werden. Sie erhalten ihre didaktische Aufbereitung, indem z. B. Beschriftungen, Aufgaben oder Texte hinzugefügt werden. An diesem Punkt

wird das Konstrukt aus der 3D-Szene und den didaktischen Elementen als 3D-Lernanwendung bezeichnet.

Nachfolgend wird in dieser Arbeit weiterhin der Begriff des 3D-Modells verwendet, da es sprachlich häufiger verwendet wird, das ursprüngliche Ausgangsmaterial bildet und alle ergänzenden didaktischen, inhaltlichen oder technischen Elemente frei gewählt und damit optional bzw. vom Lernziel abhängig sind. Zudem muss nicht in jedem Anwendungsfall (z. B. Druckmodell) eine vollständige Szene erstellt werden.

2.2 3D-Werkzeuge

Für die Erzeugung und Aufbereitung der 3D-Modelle können verschiedene Werkzeuge genutzt werden. Es bestehen hierbei unterschiedliche Methoden bei der Erstellung, Verarbeitung und der Ausgabe. Dieses Kapitel zeigt zum einen eine Klassifikation der Software zur Erstellung von 3D-Modellen. Damit können Entwickler und Entwicklerinnen das passende Programm auswählen, um das 3D-Modell der Aufgabe entsprechend zu modellieren. Zum anderen soll die Hardware zur Ein- und Ausgabe der 3D-Modelle überblicksartig gezeigt werden. Das Ziel ist es, eine Systematik der 3D-Werkzeuge zu entwickeln, die ein aufgabenzentriertes Vorgehen ermöglicht.

Software

Für die Entwicklung von 3D-Modellen steht eine riesige Palette an Software zur Verfügung, die das Modellieren am Computerbildschirm realisieren. Diese Programme wurden für verschiedene Bereiche, wie z. B. die Architektur, die Konstruktionstechnik oder Gaming entwickelt. Daraus ergibt sich eine Vielzahl an unterschiedlichen Aufgaben und Möglichkeiten der Modellierung. Die Softwareprogramme werden hinsichtlich des Einsatzes in der Hochschullehre und für E-Learning untersucht. E-Learning wird als Oberbegriff für alle Möglichkeiten der digitalen Lehre gesehen. Dabei wird das Wissen über Datenträger oder über das Internet vermittelt [Kerres 2018, S. 6].

Um einen Überblick über aktuell angebotene Software zu erhalten, eignen sich für die Recherche Plattformen, wie z. B. [Chip Digital 2020] oder [3Dnatives 2019], die zusammen über 30 3D-Programme präsentieren. Die Softwareprogramme werden bereits auf den Plattformen nach bestimmten Unterscheidungsmerkmalen aufgelistet. Neben dem Aspekt der kommerziellen oder nicht-kommerziellen Nutzung werden sie nach den ge-

forderten Erfahrungen und Kenntnissen der Nutzer und Nutzerinnen klassifiziert. Dementsprechend ist die Komplexität der Softwares zu erkennen. Die Klassen der Nutzergruppen werden nachfolgend durch typische Vertreter präsentiert.

3D-Software für Anfänger und Anfängerinnen

Diese einfachen Programme dienen meist dem schnellen Visualisieren von Objekten. Daher sind wenige Funktionen gegeben, um das Modellieren einfach zu halten.

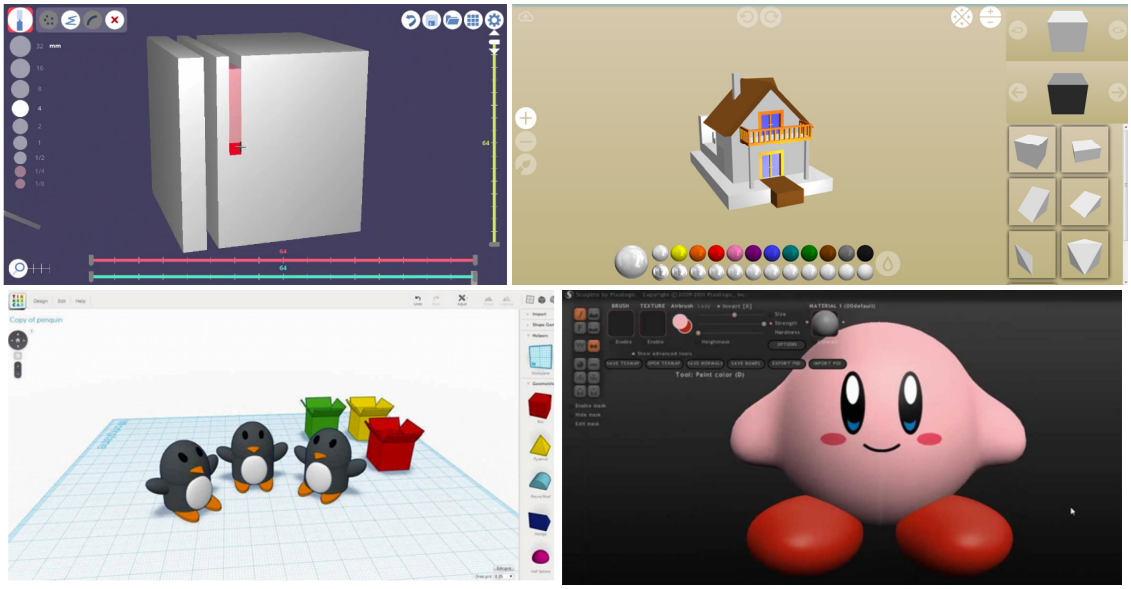


Abbildung 2-9: Beispiele für 3D-Anfänger-Software (v. l. n. r.): 3DSlash [3D Slash 2020], Leopoly [Leopoly 2019], Tinkercad [Autodesk 2020c], Sculptris [Pixologic 2020]

Auffällig sind die verschiedenen Methoden der 3D-Modell-Erstellung. So können die 3D-Modelle durch Abtragen oder Hinzufügen von Würfeln (siehe 3DSlash [3D Slash 2020] und Leopoly [Leopoly 2019]) erstellt werden. Tinkercad [Autodesk 2020c] bietet Primitive, die zusammengesetzt werden. Mit Sculptris [Pixologic 2020] formen die Nutzer und Nutzerinnen das gewünschte Objekt mit verschiedenen Modellierungstools aus einer Kugel heraus. Die Art der Modellierung gleicht dem Fertigen von Objekten aus Ton.

3D-Software für Fortgeschrittene

Die Softwareprogramme für fortgeschrittene Nutzer und Nutzerinnen befähigen durch den Funktionsumfang zur detaillierteren Bearbeitung der 3D-Modelle und die Möglichkeit zur Animation.

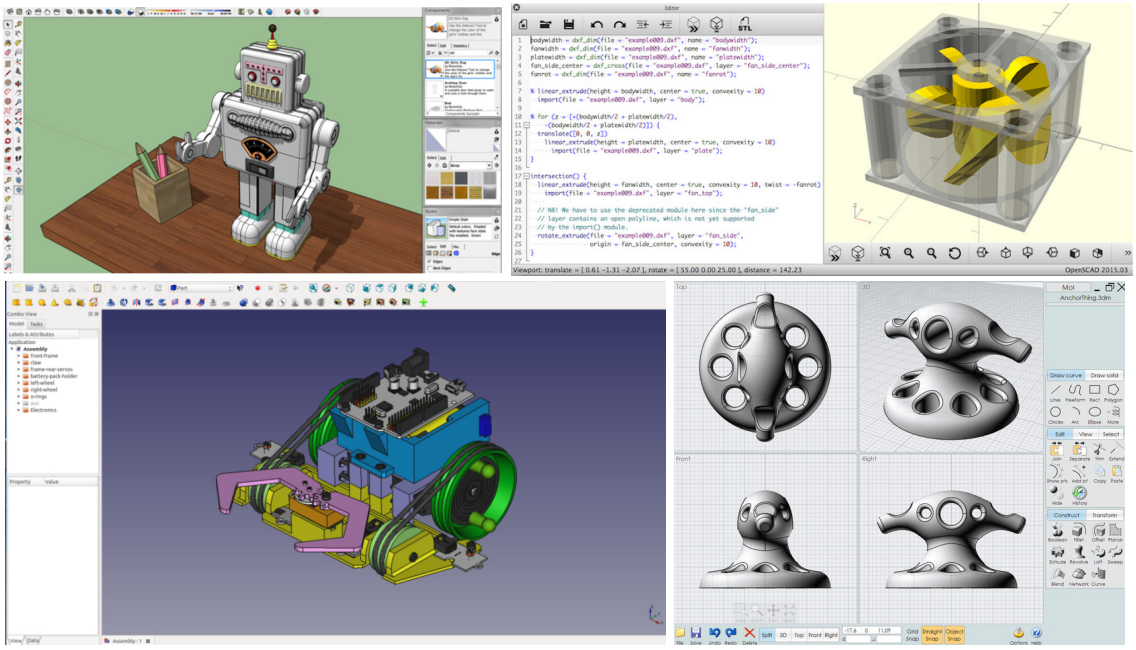


Abbildung 2-10: Beispiele für 3D-Fortgeschrittene-Software (v. l. n. r.): SketchUp [SketchUp 2020], OpenSCAD [OpenSCAD 2019], FreeCAD [FreeCAD 2020], MoI [Moment of Inspiration 2014]

Es zeigen sich innerhalb dieser Klasse die vielen Funktionen und der erhöhte Detaillierungsgrad. SketchUp [SketchUp 2020] wurde ursprünglich für den Architekturbereich entwickelt. Später stellte es sich als ideales Werkzeug zur Erstellung der Gebäude für Google Maps heraus. Bei OpenSCAD [OpenSCAD 2019] werden die 3D-Modelle mit einer textbasierten Programmiersprache erzeugt.

3D-Software für Experten und Expertinnen

Die Software für Experten und Expertinnen weist typischerweise einen hohen Detaillierungsgrad sowie Animations- und Funktionsmöglichkeiten auf. Dementsprechend hoch ist die Komplexität der Software, was gleichzeitig zu einem erhöhten Aufwand zum Erlernen der Software auf Seiten der Nutzer und Nutzerinnen führt.

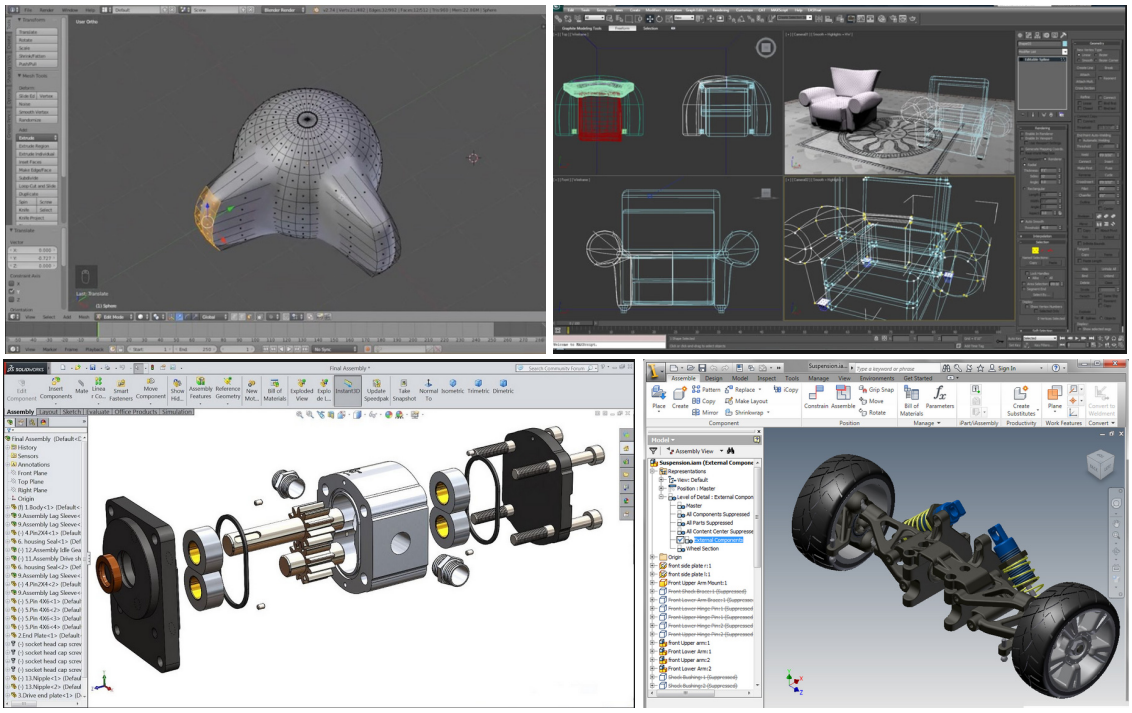


Abbildung 2-11: Beispiele für 3D-Experten-Software (v. l. n. r.): Blender [Blender Foundation 2020], 3ds Max [Autodesk 2020a], SolidWorks [Dassault Systèmes 2020], Inventor [Autodesk 2020b]

Typische Vertreter dieser Klasse sind CAD-Programme (Computer-Aided Design), die eine Vielfalt an Möglichkeiten bieten 3D-Modelle zu erstellen und funktional zu gestalten. Während SolidWorks [Dassault Systèmes 2020] und Inventor [Autodesk 2020b]im Maschinenbau-Bereich und 3ds Max [Autodesk 2020a] als Branchenallrounder im kommerziellen Sektor zu den populärsten Vertretern gehören, hat sich Blender [Blender Foundation 2020] als freie Software mit einer umfassenden Toolpalette in vielen Arbeitsbereichen etabliert.

Tabelle 2-4 zeigt zusammenfassend die typischen Merkmale der Klassifikation nach den beschriebenen Nutzergruppen.

Tabelle 2-4: 3D-Software nach Nutzergruppen

	3D-Software für Anfänger und Anfängerinnen	**3D-Software für Fortgeschrittene**	**3D-Software für Experten und Expertinnen**
Modelle	einfache Modelle	mäßig komplexe Modelle	anspruchsvolle Modelle
Funktion	wenige Parameter und Funktionen	viele Parameter und Funktionen, teilweise programmierbar	komplexe Funktionen, programmierbar
Animation	keine Animation	einfache Animationen	komplexe Animationen
Einarbeitung	geringe Einarbeitungszeit, meist intuitiv	mittlere Einarbeitungszeit	hohe Einarbeitungszeit, kaum intuitiv

Mit komplexer 3D-Software lassen sich auch einfache 3D-Modelle erstellen. Die Einarbeitungszeit steht jedoch dabei in keinem guten Aufwand-Nutzen-Verhältnis. Bezüglich der Komplexität benötigen die Programme eine entsprechende Einarbeitungszeit. Während die 3D-Anfänger-Software meist intuitiv und damit einfach zu erlernen ist, kann es bei der 3D-Experten-Software Wochen oder Monate dauern bis alle Grundfunktionen beherrscht werden. Aus dieser Einteilung zeichnet sich eine weitere Klassifikation ab. Es existieren 3D-Programme, die sich auf den Aufbau des 3D-Modells konzentrieren, während andere ein funktionales technisches 3D-Modell anstreben. Damit steht entweder das Design oder die Funktion im Mittelpunkt [May et al. 2018].

3D-Design-Software

Mit diesen Programmen lassen sich alle denkbaren 3D-Formen modellieren. Der Fokus ist dabei stets auf die detaillierte Darstellungsform gerichtet, d. h. auf den Aufbau des Modells und die visuelle Erscheinung. Typische Vertreter sind z. B. Paint 3D [Microsoft 2020a] oder SketchUp [SketchUp 2020]. Animationen werden hierbei selten eingesetzt, sodass das 3D-Modell oftmals statisch bleibt. Die 3D-Design Software wird überwiegend für die 3D-Modell-Ausgabe in einem 3D-Drucker genutzt, da die baulichen Maße im Fokus stehen und keine Funktionen verlangt werden.

3D-Funktions-Software

Neben dem Design kann die Software die Funktionalität des 3D-Modells erzielen. Dies bietet sich an, wenn die Nutzer und Nutzerinnen eine erhöhte Kontrolle über Form und Größe des 3D-Modells benötigen. Dabei wird mit realistischen Daten gearbeitet, die vorrangig in den CAD-Programmen für die Konstruktionstechnik relevant sind. Weiterhin ist der Dynamik-Faktor als eine Erweiterung der zuvor beschriebenen Design-Software zu verstehen. Das gesamte 3D-Modell oder 3D-Modellteile können beweglich gestaltet werden, z. B. durch Animationen.

Tabelle 2-5: Klassifikation nach Ziel der 3D-Software

	3D-Design-Software	**3D-Funktions-Software**
Zweck	Darstellen der 3D-Form, Proportionen und baulichen Ausmaße (z. B. Skulpturen)	Realisieren der korrekten Abmaße und funktionalen Eigenschaften (z. B. technische Konstrukte)
Animation	keine Animation	Animationen

Um 3D-Modelle für die Lehre zu entwickeln, sollte zu Beginn festgelegt werden in welcher Detailtiefe oder Komplexität modelliert werden soll bzw. ob das 3D-Modell als reines Anschauungsobjekt oder mit vielen Funktionen den Lernenden zur Verfügung gestellt wird. Eine entsprechende Auswahl der geeigneten 3D-Software für den speziellen Anwendungsfall kann bei der Entwicklung die Effizienz steigern.

Es existiert weiterhin eine Vielzahl an Plattformen, die 3D-Modelle zum Download zur Verfügung stellen, um den Modellierungsaufwand gering zu halten. Die bekanntesten Plattformen werden nachfolgend aufgelistet.

Tabelle 2-6: Plattformen für den Download von 3D-Modellen (Stand August 2019)

Name	Link	Bemerkung
Autodesk Online Gallery	https://gallery.autodesk.com	– über 18.800 kostenlose 3D-Modelle – 3D-Modelle aus den Bereichen 3D-Druck, Ingenieurwesen & Architektur
GrabCAD	https://grabcad.com	– über 3.300.000 überwiegend kostenpflichtige 3D-Modelle – 3D-Modelle aus den Bereichen 3D-Druck & Ingenieurwesen
CADNav	http://www.cadnav.com	– über 50.000 kostenlose 3D-Modelle – 3D-Modelle aus den Bereichen Architektur, Animation, Computerspiele, Design & Ingenieurwesen
Trace Parts	https://www.traceparts.com	– über 100.000.000 kostenlose 3D-Modelle – 3D-Modelle aus den Bereichen 3D-Druck, Ingenieurswesen & Architektur
3D Content Central	https://www.3dcontentcentral.de	– über 1.100.000 überwiegend kostenlose 3D-Modelle – 3D-Modelle aus dem Bereich Ingenieurwesen
Sketchfab	https://sketchfab.com	– über 1.500.000 kostenpflichtige 3D-Modelle – 3D-Modelle aus den Bereichen 3D-Druck, Animation & Computerspiele
CG-Trader	https://www.cgtrader.com	– über 660.000 kostenpflichtige 3D-Modelle – 3D-Modelle aus den Bereichen 3D-Druck, Architektur, Animation, Computerspiele & Design
MyMini Factory	https://www.myminifactory.com	– über 45.000 kostenlose 3D-Modelle – Modelle für den 3D-Druck
Thingiverse	https://www.thingiverse.com	– über 1.100.000 kostenlose 3D-Modelle – Modelle für den 3D-Druck
Tinkercad Things	https://www.tinkercad.com	– etwa 400 kostenlose 3D-Modelle – 3D-Modelle aus den Bereichen 3D-Druck, Animation, Computerspiele
TurboSquid	https://www.turbosquid.com	– über 720.000 überwiegend kostenpflichtige 3D-Modelle – 3D-Modelle aus den Bereichen Architektur, Computerspiele & Design

Ein Großteil dieser Plattformen bietet 3D-Modelle für den 3D-Druck an. Dabei sind auffällig viele 3D-Modelle aus dem Hobbybereich, wie z. B. Autos, Tiere oder Film- bzw.

Videospielfiguren. Animierte 3D-Modelle sind dabei nur vereinzelt verfügbar. Für die Vielzahl an angebotenen 3D-Modellen lassen sich jedoch nur wenige Lerngegenstände für die ingenieurwissenschaftliche Hochschullehre, wie z. B. ein technischer Magnetkreis mit Luftspalt oder ein stromdurchflossener Leiter, finden. Diese speziellen Lerngegenstände müssten hierfür eigenständig modelliert werden.

Hardware

Eingabegeräte

Neben den Plattformen, die 3D-Modelle bereitstellen, oder dem eigenständigen Modellieren mit einer 3D-Software, können real existierende Objekte weiterhin über 3D-Scanner oder 3D-Kameras aufgenommen werden, um sie zu digitalisieren und z. B. auf einem Computermonitor auszugeben [E-Teaching.org 2015a]. Anschließend können diese durch Eingabegeräte gesteuert oder manipuliert werden. Die Eingabegeräte für 3D-Anwendungen, die als Erweiterung eines traditionellen Computerarbeitsplatzes anzusehen sind, unterscheiden sich in ihren Freiheitsgraden. In den meisten Fällen werden sechs Freiheitsgrade (Rotation um die drei Achsen und die zugehörige Translation) unterstützt [Preim et al. 2015, S. 288]. Typische Eingaberäte zur Interaktion werden in [Preim et al. 2015, S. 289–306] beschrieben und nachfolgend aufgelistet:

- diverse Arten von 3D-Mäusen (z. B. Rockin‘ Maus, SpaceMouse, SpaceBall), die das Navigieren zwischen einzelnen Ansichten im 3D-Raum ermöglichen,
- Tracking-basierte und handgehaltene Eingabegeräte, die frei im Raum bewegt und mit Markern oder Sensoren durch Kameras detektiert werden, wie z. B. ein WII-Controller, Flystick, 3D-Ball, GlobePointer, RingMouse, FlyMouse oder CubicMouse),
- Datenhandschuhe und Finger-Tracking, die die natürlichen und präzisen Hand-Bewegungen, wie Greifen oder Bewegen von Objekten, erfassen (z. B. Power Glove, Force Feedback Glove),
- Gesten-basierte Eingabegeräte, die Bewegungen des Körpers, insbesondere der Hände oder Arme, oftmals ohne das Anbringen von Markern oder Sensoren registrieren und in den 3D-Raum transferieren (z. B. LeapMotion),
- Tracking durch Tiefenkameras, die mit Hilfe von Infrarot neben der Bildaufnahme auch die entsprechende Entfernung des Objekts zur Kamera erkennen (z. B. Kinect).

Ausgabegeräte

Zu den Eingabegeräten werden nachfolgend die Möglichkeiten zur Ausgabe der 3D-Modelle auf technischen Geräten aufgelistet. Neben den klassischen 2D-Monitoren, wie der Computerbildschirm oder Displays von mobilen Endgeräten sowie Beamern, existiert eine Vielzahl an Ausgabegeräten, die die 3D-Modelle stereoskopisch präsentieren können, um einen realitätsnäheren Eindruck zu vermitteln. Zur weiteren Option des einfachen Drucks auf Papier soll in dieser Aufzählung weiterhin der 3D-Drucker zur Erzeugung eines realen Objekts aufgelistet werden. Die Monitore, Helme, Brillen und Systeme sind in [Preim et al. 2015, S. 306–316] beschrieben:

- stereoskopische Displays, bei denen 3D-Modelle durch verschiedene Verfahren und entsprechende Brillen wahrgenommen werden (Anaglyph, Shutter, Polarisation),
- autostereoskopische Monitore, die 3D-Modelle ohne den Gebrauch von Brillen präsentieren,
- holografische Displays und Projektoren, die Beugungsmuster durch Beleuchtung mit kohärentem Licht generieren und 3D-Modelle darstellen, die von allen Punkten im Raum betrachtet werden können (z. B. Dreamoc XL4),
- Head-Mounted-Displays (HMD), wie z. B. AR-Brillen (z. B. Hololens) und VR-Brillen (z. B. Oculus Rift oder HTC Vive, Google Carboard), die das 3D-Modell nah an den Augen projizieren während die Kopfbewegungen getrackt werden,
- Cave Automatic Virtual Environment (CAVE), bei der es sich um einen Raum mit Projektionswänden handelt, den die Benutzer und Benutzerinnen begehen und mit dem 3D-Modell interagieren können,
- Kuppelprojektoren, die 3D-Modelle in deren halbkugelförmigen projizierten Kuppeln für Benutzergruppen darstellen und
- 3D-Drucker, die das 3D-Modell durch schichtweises Auftragen von Material aufbauen.

Grafischer Überblick

Die beschriebene 3D-Software und -Hardware wird nachfolgend in Zusammenhang gebracht (Abbildung 2-12). Hierfür sind Ergänzungen im Bereich der Erstellung und Verarbeitung für die Vollständigkeit unerlässlich. Neben der Aufnahme von realen Objekten durch 3D-Scanner oder -Kameras, können 3D-Modelle „von Hand“ mit einer 3D-Soft-

ware oder prozedural modelliert werden. Bei Letzterem handelt es sich um ein automatisiertes Erzeugen der 3D-Modelle, das sonst „von Hand“ zu komplex und aufwendig wäre. Typische Beispiele sind hierfür das Generieren von Stadtmodellen oder Terrain z. B. durch Geodaten [Jung et al. 2019, S. 81]. Ist das 3D-Modell erstellt, kann es funktional gestaltet werden, indem z. B. Animationen erzeugt werden. Diese werden häufig durch die Keyframe-Animation, die meist in der 3D-Software beinhaltet ist, realisiert [Jung et al. 2019, S. 97f]. Sollen jedoch Modellteile durch den Nutzer und der Nutzerin in Form, Größe, Farbe etc. geändert oder Elemente, wie z. B. Beschriftungen, aufgerufen werden, sind diese Eingaben programmiertechnisch umzusetzen. Da dies aufgabenabhängig und damit optional ist, sind die Elemente der Verarbeitung in Abbildung 2-12 durch eine gestrichelte Linie dargestellt. Denn wie bei der 3D-Design-Software gezeigt wurde, kann das 3D-Modell als reines Anschauungsobjekt dienen und ohne Interaktion durch Nutzer und Nutzerinnen präsentiert werden.

Im Abschnitt der Verarbeitung können weiterhin sogenannte 3D-Autorensysteme hinzugefügt werden. Das sind grafisch-interaktive Entwicklungsumgebungen zum Erstellen von multimedialen Anwendungen für deren Nutzung keine Programmierkenntnisse erforderlich sind [Lehner 2001, S. 162]. Sie beinhalten vorgefertigte Funktionen zur Aufbereitung der 3D-Modelle, wie z. B. das automatische Hinzufügen von Beschriftungen, Texten oder Aufgaben sowie die visuelle Darstellung der einzelnen Modellteile mit Markierungen und weiterer didaktischer Mittel. Zur geringen Anzahl der aktuell angebotenen Autorensysteme ist die Themenabhängigkeit zudem eine Hürde für die Lehrenden, die 3D-Modelle in die Lehre integrieren wollen. Aktuell existiert ein bekanntes Autorensystem für die Ausbildung in der Druck- und Medientechnologie aus dem BMBF-geförderten Projekt SAL [Hagenhofer 2017].

Die Geräte der Ausgabe hängen von der Ausgabeart ab (Kapitel 2.1.3). Hierbei wurden aufgrund der Übersichtlichkeit und Relevanz der Export als Bilddatei und der anschließende Druck eines 3D-Modells auf Papier sowie Augmented Reality-Geräte vernachlässigt. Abbildung 2-12 fasst den Zusammenhang der beschriebenen 3D-Werkzeuge zusammen.

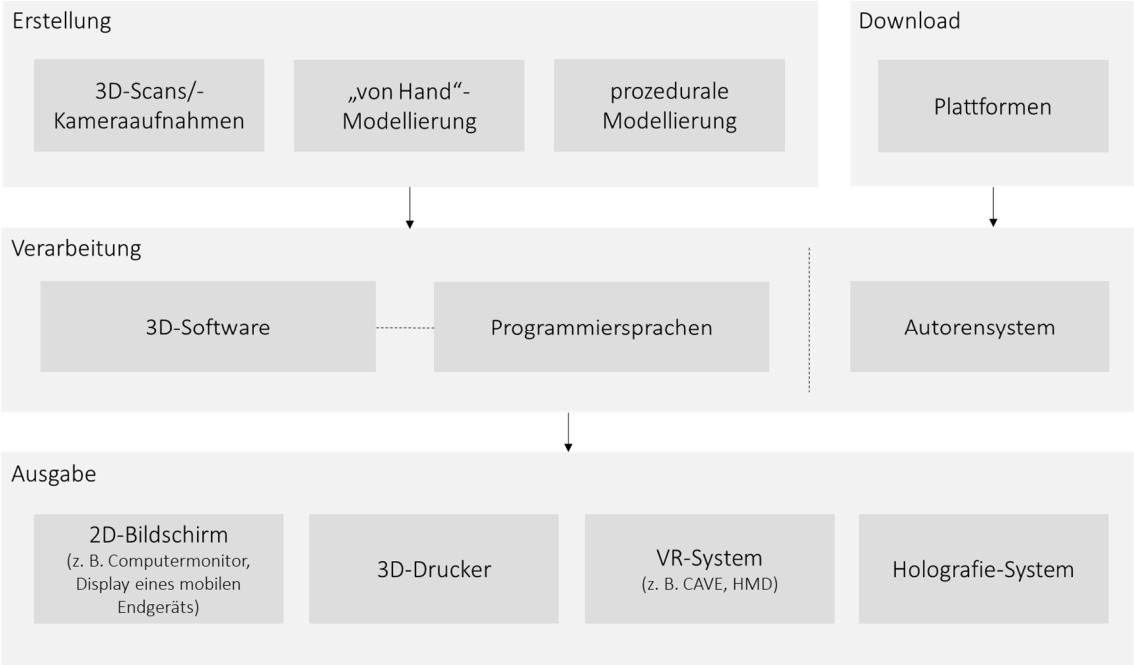


Abbildung 2-12: Zusammenhang der 3D-Werkzeuge von der Erzeugung bis zur finalen Ausgabe (e. D.)

3D-Werkzeuge in dieser Arbeit

Die Abbildung 2-13 stellt die Schritte aus Abbildung 2-12 für die zu erstellenden und zu untersuchenden 3D-Modelle für die ingenieurwissenschaftliche Lehre heraus. Die eigenständige Modellierung wird durch den Download vorgefertigter 3D-Modellteile, wie z. B. Schalter, Drehregler oder Arbeitsplatzzubehör, ergänzt. Die freie 3D-Funktions-Software Blender [Blender Foundation 2020] dient neben der Modellierung dazu Animationen zu erzeugen und Marker für die Beschriftungen zu setzen. Um die 3D-Modelle didaktisch aufzubereiten, werden dann relevante Elemente durch Programmierung in JavaScript [Powers 2007] und dem einfach zu lesenden Dateiformat JSON [Ecma International 2017] erstellt. Anschließend werden die 3D-Modelle mit den didaktischen Mitteln in ein Framework integriert, um sie den Lernenden webbasiert zur Verfügung zu stellen. Hierfür wird die WebGL-Schnittstelle [Khronos 2020] genutzt. Die Ausgabe erfolgt hauptsächlich über 2D-Bildschirme.

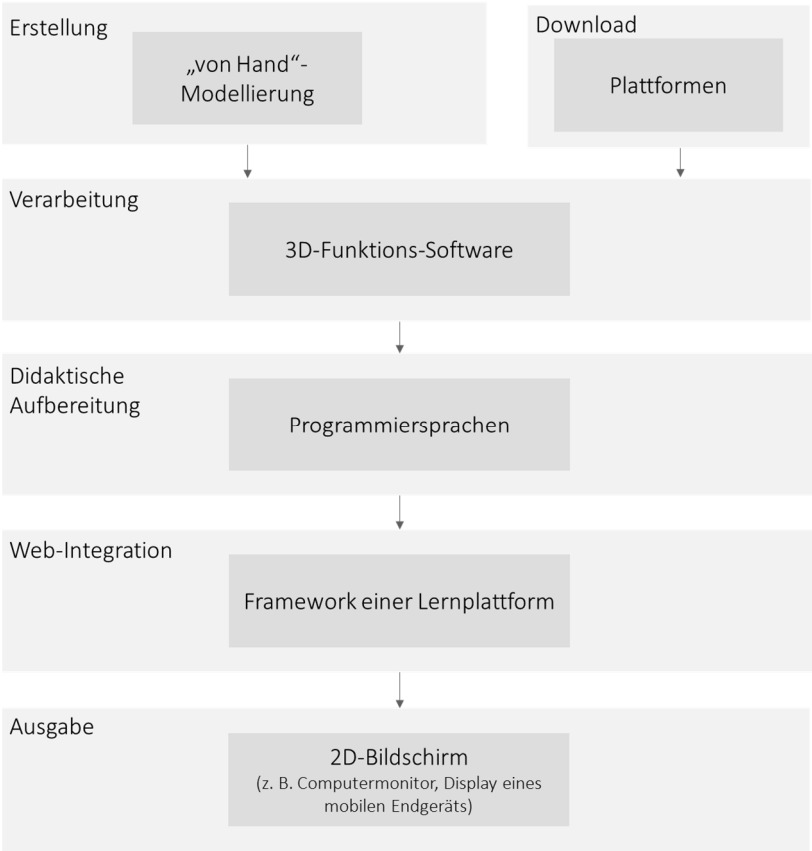


Abbildung 2-13: Darstellung der für diese Arbeit relevanten Schritte

Zusammenfassung

Dieses Kapitel zeigt die Vielzahl an 3D-Software, die aktuell zur Verfügung steht. Zusammenfassend existieren dabei Programme, die nach der Nutzergruppe und dem Einsatz gegliedert werden können. Nach der Aufspaltung in Anfänger-, Fortgeschrittenen- und Experten-Software können sie weiterhin in Design- und Funktions-Software klassifiziert werden. Mit 3D-Design-Software kann der Aufbau von Objekten realisiert werden, wobei diese jedoch meist statisch bzw. ohne Funktion bleiben. Da die Ingenieurwissenschaften viele technisch funktionale Lerngegenstände behandeln, bietet die 3D-Funktions-Software den passenden Funktionsumfang, um z. B. Abhängigkeiten und Zusammenhänge zu realisieren. Nachteilig ist hier die hohe Einarbeitungszeit. Um den Modellierungsaufwand zu reduzieren, bietet sich der Download bereits modellierter 3D-Modelle an, die auf vielen Plattformen bereitgestellt werden. Resümierend kann der Einstieg zum Erlernen von 3D-Software über die 3D-Design-Software erfolgen. Damit lassen sich das benötigte 3D-Raumverständnis sowie das Aufbauen mit Primitiven erlernen. Werkzeuge, die nur auf den Lehrkontext ausgerichtet sind, lassen sich nicht explizit herausstellen. Ein zu entwickelndes Autorensystem, das auf die Ingenieurwissenschaften ausgerichtet ist, könnte das Modellieren und die didaktische Aufbereitung wesentlich vereinfachen.

2.3 3D in der Didaktik

In der ingenieurwissenschaftlichen Lehre sind dreidimensionale Visualisierungen nicht wegzudenken. Sie verdeutlichen z. B. die Bauweise oder die Funktion spezieller technischer Gebilde im Maschinenbau oder elektrischer Geräte in der Elektrotechnik. Dieses Kapitel soll hierbei zeigen, an welchen Stellen 3D-Modelle konkret in der Didaktik eingesetzt werden. Anknüpfend an die Darstellung der Werkzeuge aus Kapitel 2.2 muss zunächst die Nutzung von 3D-Modellen im Lehrkontext differenziert werden.

Differenzierung im Lehrkontext

Innerhalb der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von 3D-Modellen ergeben sich zwei Bereiche, die bei der Nutzung im Lehrkontext unterschieden werden. Im vorherigen Kapitel wurde der Erstellungsprozess bzw. das Modellieren von 3D-Modellen mit entsprechenden Werkzeugen fokussiert. Dies wird in der ingenieurwissenschaftlichen Hochschullehre typischerweise in CAD-Kursen für Maschinenbauer und Maschinenbauerinnen gelehrt. Demgegenüber steht das Lehren mit bereits entwickelten 3D-Modellen. Die Lernenden erhalten dementsprechend finale 3D-Modelle, um z. B. Prozesse zu erkennen oder den Aufbau von technischen Gebilden zu verinnerlichen. Die Benutzung beschränkt sich z. B. auf die reine Betrachtung oder die Interaktion mit dem 3D-Modell. Die Lernenden erlernen zum einen den Prozess des Erschaffens oder zum anderen den durch das 3D-Modell überlieferten Inhalt. Sie lernen also entweder das 3D-Modellieren an sich oder sie lernen mit dem 3D-Modell (Abbildung 2-14). Der Fokus dieser Arbeit liegt auf den fertigen 3D-Modellen, die den Nutzern und Nutzerinnen zum Lernen bereitgestellt werden.

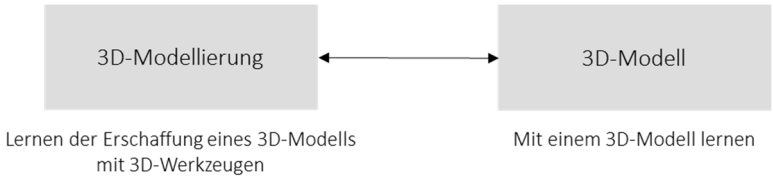


Abbildung 2-14: Einteilung des Anwendungsstatus im Lehrkontext (e. D)

Zusätzlich nimmt der 3D-Druck seit den letzten Jahren einen steigenden Stellenwert in der Lehre ein. Den Lernenden wird dabei ermöglicht, gleich ob sie das 3D-Modell selbst erstellt oder von einer Online-Plattform (Tabelle 2-6) erhalten haben, ein haptisches Modell zu produzieren. Die Studie von [Witzke et al. 2018, S. 2015–2018] zeigt die Verwendung der 3D-Druck-Technologie als neues Medium im Mathematikunterricht. Lehrende

und Lernende können hierbei individuelle Arbeits- und Anschauungsmittel aus der Mathematik herstellen. Die Studie berichtet dabei jedoch vom Fehlen „spezifischer mathematikdidaktischer Einbettungen für einen sinnvollen Einsatz im Mathematikunterricht.“ [Witzke et al. 2018, S. 2016].

Einordnung

Nach der Beschreibung der grundsätzlichen Nutzung von 3D-Modellen in der Lehre wird nachfolgend untersucht, wann und wie 3D-Modelle als Medium in der Didaktik eingesetzt werden. Hierfür lässt sich in der Literatur eine wiederkehrende Medienrangfolge erkennen, in der die einzusetzenden Medien beschrieben werden. Tabelle 2-7 zeigt in einer Auswahl typische Auflistungen von Medien zur didaktischen Aufbereitung.

Tabelle 2-7: Medienauflistung

	[Kerres 2018]	**[Niegemann et al. 2004]**	**[Niegemann et al. 2008]**	**[E-Teaching.org 2015b]**
Text/Hypertext	x	x	x	x
Bild	x	x	x	x
Audio	x	x	x	x
Video/Film		x	x	x
Animation		x	x	x
Simulation	x	x	x	
Formeln				x
3D				x

Auffällig ist hierbei, dass 3D-Modelle für herkömmliche Bildschirme in der Aufzählung konkret fehlen. Eine Zuordnung der 3D-Modelle zur Computersimulation liegt dabei nah. Jedoch werden in [Kerres 2018, S. 385–388] Planspiele, virtuelle Experimente, entfernte Labore und der Flugsimulator als Beispiele genannt. In diesen wird eine 3D-Umgebung geschaffen, in denen die Lernenden interagieren können. In der Entwicklung werden zur Aufwandsreduktion vorzugsweise fotorealistische Bilder auf Bildschirmen eingefügt. Außerdem steht jedoch nicht das Abbild eines realen Gegenstandes im Mittelpunkt, sondern eine ganze Raumsituation, in der Handlungsabläufe mit verschiedenen Materialien und Objekten trainiert werden. Die Arbeitsgruppe um [Jong 2011, S. 446–465] empfiehlt, solch ein Trainingssystem bezüglich der Funktionen und Anforderungen für die Lernenden zu vereinfachen. Der Lernerfolg wird durch die didaktische Reduktion der Komplexität des Systems erzielt. Demgegenüber steht das Nachbilden der vollständig realen Trainingssituation, das jedoch mit enormem Aufwand verbunden ist.

In [Niegemann et al. 2004] sind Erklärungen zu 3D kaum zu finden und lediglich in Beispielbildern bei artverwandten Themen, wie in Animationen, zu sehen. Zu diesen existieren hierbei didaktische Empfehlungen, die allgemeine Richtlinien beschreiben. Es wird beispielsweise darauf hingewiesen, dass die Aufmerksamkeit und Motivation beim Lernenden erreicht werden sollen sowie übermäßiger Einsatz von Animationen den Lernenden ablenken kann. Die Richtlinien lassen sich zwar auf 3D-Modelle übertragen, beschreiben diese aber nicht explizit in ihrer konkreten Aufbereitung.

In [Niegemann et al. 2008, S. 555] steht 3D weiterhin im Kontext von virtuellen Welten, in denen dreidimensionale Umgebungen mit 2D-Lerninhalten entstehen. Besteht als Teil des Lernziels die Vorstellung von dreidimensionalen Räumen, so haben sich 3D-Lerninhalte, wie der Flugsimulator oder Inhalte der Medizin, durchgesetzt. Beispielhafte 3D-Visualisierungen werden zudem in modellbildenden Simulationen verortet, bei denen die Lernenden selbstständig modellieren und programmieren.

Auf e-teaching.org wird unter dem Aspekt der Aufbereitung von Medientechnik auf 3D eingegangen. Hierbei wird erläutert wie 3D durch das menschliche Sehen entsteht und welche Einsatzgebiete existieren (Tabelle 2-2). Neben den 3D-Ein- und Ausgabemöglichkeiten (Abbildung 2-12) werden Virtual Reality- und Augmented Reality-Anwendungen beschrieben. Im Kontext von didaktischer Aufbereitung wird 3D in virtuellen Welten und Lernumgebungen behandelt. Dabei müssen die Studierenden zunächst lernen, sich in der Welt zu bewegen, zu kommunizieren und zu interagieren. Begleitender Support und Tutorials sollten als Unterstützung angeboten werden.

Zusammenfassend lässt sich herausstellen, dass 3D-Modelle als Lerninhalte wenig beschrieben und nur als Randthema im Kontext von virtuellem Lernen und Simulationen berücksichtigt werden, ohne dass die 3D-Darstellung explizit untersucht wird. Daher sind Richtlinien und Systematiken der 3D-Modelle schwer zu eruieren.

Virtuelles Lernen

Im Zusammenhang mit 3D-Lernumgebungen bzw. virtuellen Welten wird 3D mit virtuellem Lernen in Verbindung gebracht. Dazu haben [Baumgartner et al. 1999] Lernsoftware systematisiert, die virtuelles Lernen unterstützen und denen 3D-Modelle zugeordnet werden können (Abbildung 2-15).

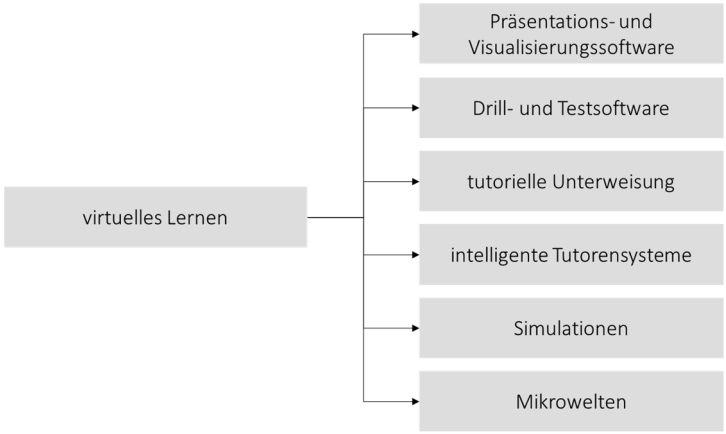


Abbildung 2-15: Lernsoftware-Typologie nach [Baumgartner et al. 1999, S. 141]

Zunächst erfüllen die interaktiven 3D-Modelle die Aufgabe der Präsentation und Visualisierung. Letztere bedeutet in diesem Kontext die Veranschaulichung von Informationen. Die 3D-Darstellungen und Animationen können dabei zur Veranschaulichung von komplexen Gebilden und Vorgängen dienen [Mader et al. 1999, S. 89]. Die zweite wichtige Einordnung der 3D-Modelle ist die Simulation. Sie dient dazu, komplexe Sachverhalte oder Situationen aus bestimmten inhaltlichen Bereichen darzustellen. Die Sachverhalte müssen sich durch mathematische Parameter und Relationen darstellen lassen. Die Lernenden verändern diese Parameter, um die gewünschten Einflüsse auf die Situation zu erzielen. Da zwischen den Parametern meist komplexe Verknüpfungen bestehen, müssen die Lernenden die Wechselwirkungen zwischen diesen herausfinden [Baumgartner et al. 1999, S. 161]. Ein 3D-Modell kann dabei unterstützen die Wechselwirkungen im dreidimensionalen Raum darzustellen. Die Vielseitigkeit der 3D-Modelle zeigt sich dadurch, dass sie weiterhin Teil von Testsoftware, Mikrowelten sowie Tutorien-Programmen sein können. Die Visualisierung und Simulation spiegeln die Erkenntnisse aus dem Einsatz von 3D (Kapitel 2.1.2) und der Definition von 3D (Kapitel 2.1.3) wider.

Dreidimensionale Visualisierungen stellen mehr Informationen als zweidimensionale dar. Sie vermitteln damit einen realitätsnäheren Eindruck. Der Vorteil der 3D-Modelle ist es somit, Sachverhalte präziser zu visualisieren oder Abläufe wirklichkeitsgetreuer zu veranschaulichen [E-Teaching.org 2015a]. Um diese Elemente weiter erfahrbar bzw. erlebbar zu präsentieren, werden Interaktionsmöglichkeiten integriert. Auf diese Weise können sich die Lernenden die Lerngegenstände selbstständig erschließen. Bei der Interaktion ist dabei das wechselseitige aufeinander Einwirken zwischen Mensch und Computer gemeint. Hierfür existieren bereits Interaktionstaxonomien, die die Interaktionsmöglichkeiten der Lernenden mit digitalen Systemen hierarchisch einteilen (Kapitel 5.2). Interaktion hat eine wesentlich höhere Bedeutung als die grafische Darstellung der Lernobjekte. Die

Interaktivität von Lehrvideos reicht für das intensive Lernen nicht aus, während Bücher prozedurales Wissen nur wenig bildhaft beschreiben. Interaktive Lehrsysteme, die 3D-Visualisierungen präsentieren, bieten hingegen die Vorteile, beliebig transformiert und interaktiv gesteuert zu werden und haben hiermit wesentlich mehr Potenzial zur Unterstützung von Lernhandlungen als z. B. Grafiken [Preim et al. 1999, S. 1]. Richtig eingesetzt und angemessen gestaltet kann computergestützte Interaktivität in Form von Übungen, Lernspielen, Simulationen und Tests eine didaktisch sinnvolle Ergänzung für herkömmliche Lehrmethoden virtueller Lernumgebungen darstellen [E-Teaching.org 2015c].

Aufwand und Usability

3D-Modelle in der Mathematik werden weiterhin in der Studie von [Kaufmann et al. 2002] analysiert. Hierbei ist eine funktionsfähige, pädagogische AR-Anwendung für den Mathematik- und Geometrieunterricht in österreichischen Lehrplänen von Gymnasien und Universitäten entstanden. Sie kommen zu der Erkenntnis, dass „trotz der aufregenden Möglichkeiten der neuen Medien die Erstellung von Bildungsinhalten für ein interaktives System mindestens so schwierig ist wie das Verfassen guter Lehrbücher und einen erheblichen Zeit- und Arbeitsaufwand erfordern.“ [Kaufmann et al. 2002, S. 6]. Hier wird bereits deutlich, dass der Aufwand in einem guten Verhältnis zum Nutzen stehen sollte, um 3D-Modelle in der Lehre einzusetzen. Das wichtigste Ergebnis ist, dass das tatsächliche Sehen von Objekten in 3D und die Interaktion mit ihnen das Verständnis und die Motivation der Lernenden für die dreidimensionale Geometrie verbessern kann und damit die räumliche Vorstellung geschult wird. Dies zeigt, dass 3D-Modelle weiterhin bei Lerngegenständen eingesetzt werden können, bei denen die Lernenden zum Lernen motiviert werden müssen. Zum einen können die vielfältigen Interaktionsmöglichkeiten, zum anderen aber auch eine gute Usability helfen. Nach [DIN EN ISO 9241-11] wird die Usability im Bereich der Ergonomie als Gebrauchstauglichkeit von Software oder Produkten übersetzt und durch drei Leitkriterien definiert. Die Effektivität, Effizienz und Zufriedenstellung sind zu erfüllen, damit Nutzer und Nutzerinnen bestimmte Ziele im Gebrauch mit dem Produkt oder der Software erreichen können. Nach [deNoyelles et al. 2014, S. 265] stellt die Usability den entscheidenden Faktor bei Lernanwendungen dar. [Hartwig et al. 2007, S. 81–85] ergänzt dazu, dass im Kontext von interaktiven Lehr- und Lernmedien die vier Disziplinen Ergonomie, Softwaretechnik, Design und Pädagogik/Didaktik in Verbindung zueinander gebracht werden, jedoch eine ganzheitliche Sicht fehlt. Dabei überschneidet sich die Ergonomie bereits mit den Disziplinen und nimmt Einfluss darauf. Daher kann erst gute Usability die Didaktik zum Tragen bringen.

Zusammenfassung

Die Erkenntnisse dieses Kapitels sind nachfolgend aufgelistet und eröffnen zum großen Teil die Definition der Forschungslücke im anschließenden Kapitel.

- Die Lernenden können beim Einsatz von 3D die Modellierung an sich oder mit aufbereiteten, finalen 3D-Modellen lernen.
- 3D-Modelle werden als Randthema im Kontext von virtuellem Lernen und Simulationen gesehen.
- 3D-Modelle visualisieren präzise und vermitteln Sachverhalte und Abläufe realitätsnäher.
- Die Interaktion nimmt einen wichtigen Stellenwert im Lernprozess ein.
- Es fehlen Richtlinien und Systematiken zur Erstellung und Aufbereitung von 3D-Modellen.
- Der Erstellungsprozess von 3D-Modellen ist mit enormem Aufwand verbunden.
- 3D-Modelle verbessern die Motivation und das Verständnis zur räumlichen Vorstellung bei Lernenden.
- Usability und Didaktik sind beim Einsatz von 3D-Modellen wichtig und spielen zusammen.

2.4 Definition der Forschungslücke

Der State of the Art zeigt, dass 3D ein stark verstetigtes Thema in vielen verschiedenen Anwendungsbereichen ist. Es fehlen jedoch Richtlinien und Systematiken, die die 3D-Modelle für die Lehre beschreiben oder bei der Entwicklung unterstützen. Bisherige Studien zeigen zahlreiche Erkenntnisse und Erklärungen zu Medien, wie z. B. Texte, Bilder, Animationen oder Videos. Jedoch werden 3D-Lerninhalte dabei nur am Rand diskutiert. Stärker werden dagegen Untersuchungen zu Virtual Reality durchgeführt. Damit bilden die 3D-Modelle die Lücke in dieser Reihe. Die Vielzahl an 3D-Werkzeugen zeigt vorrangig die Bandbreite an Möglichkeiten zur Modellierung, jedoch fehlen auch hierbei wichtige Hinweise zur effektiven und effizienten Entwicklung von 3D-Modellen für die ingenieurwissenschaftliche Lehre. In dieser kann von den vielen Vorteilen der 3D-Modelle Gebrauch gemacht werden. Dazu müssen diese für Lehrende klar herausgestellt werden. Durch die dreidimensionale Darstellung der Lerngegenstände kann gerade in der frühen Studienphase das räumliche Verständnis geschult sowie komplexe Sachverhalte veranschaulicht und vermittelt werden. Der seltene Einsatz von interaktiven 3D-Modellen

zur Wissensvermittlung in der ingenieurwissenschaftlichen Lehre ist dabei auf zwei Gründe zurückzuführen. Neben dem hohen und meist nicht abschätzbaren Entwicklungsaufwand fehlen Systematiken und Anleitungen für eine effektive und effiziente Erstellung. Nach den Recherchen zum State of the Art zeigen sich Chancen und Herausforderungen der 3D-Modelle, die in Tabelle 2-8 aufgelistet sind.

Tabelle 2-8: Chancen und Herausforderungen von 3D-Modellen

Chancen	**Herausforderungen**
Darstellung - Visualisieren von komplexen Sachverhalten - Simulieren von Zusammenhängen - Ermöglichen von Interaktionen	Entwicklung - hoher Entwicklungsaufwand - nicht abschätzbarer Entwicklungsaufwand - Auswahl der 3D-Werkzeuge
Technik - erreichbar für eine Vielzahl an Lernenden	Didaktischer Kontext - fehlende didaktische Einbettung und Richtlinien
Didaktik - Fördern der Lernmotivation - Schulen der räumlichen Vorstellung	Fehlende Systematik - fehlendes Aufzeigen der Potenziale - fehlende Anleitungen für die Erstellung

Für das Begreifen von 3D-Modellen für die Lehre muss eine gesamtheitliche Darstellung angestrebt werden. Ein systematisches und qualitätsgesichertes Vorgehensmodell kann als Anleitung dienen, um die effektive und effiziente Entwicklung von 3D-Modellen für die Lehre zu beschreiben. Eine Besonderheit des Vorgehensmodells zeigt sich bereits nach der Aufschlüsslung der Chancen und Herausforderungen. Für den Einsatz in der Lehre muss das Vorgehensmodell neben dem eigentlichen Content didaktische und technische Anforderungen erfüllen. Für eine zielführende Entwicklung müssen weiterhin die Nutzer und Nutzerinnen stets in den Prozess eingebunden werden. Um dann eine nutzerorientierte Entwicklung der 3D-Modelle zu gewährleisten, muss das Vorgehensmodell Hinweise zum Test der ergonomischen Anforderungen beinhalten. Das Zusammenspiel von Content, Didaktik, Technik und Usability ist dabei zu berücksichtigen. Dies führt zu folgender Kernfragestellung.

Forschungsfrage

Wie gestaltet sich ein Entwicklungsprozess von 3D-Modellen, der didaktische, ergonomische und technische Fragestellungen berücksichtigt? (Kapitel 6 - Vorgehensmodell)

Um zu dieser Fragestellung zu gelangen, werden zunächst analytische Studien zu 3D-Modellen auf aktuell bestehenden Lernplattformen durchgeführt, um zu erfahren wie 3D-Modelle visuell und didaktisch aufbereitet werden. Hieraus ergibt sich die Lücke der

Nutzeranforderungen, die in einer nutzerzentrierten Entwicklung von 3D-Modellen zwingend beachtet werden müssen. Sie werden in den darauffolgenden empirischen Studien mit Lehrenden und Lernenden analysiert. Da die Entwicklung der 3D-Modelle oft mit großem Aufwand und vielen Iterationsschleifen verbunden ist, besteht die Möglichkeit Patterns zu entwickeln und einzusetzen. Sie präsentieren Musterlösungen für wiederkehrende Probleme und können damit die Entwicklung schneller vorantreiben und effizienter gestalten. Bevor die Entwicklung startet, sollte zu Beginn der Nutzen des 3D-Modells bestimmt werden. An dieser Stelle kann eine Entscheidungshilfe als Orientierung dienen, um die Gründe für den Einsatz zu bestimmen und somit die Entscheidung zur Erstellung eines 3D-Modells zu erleichtern. Da solche Elemente bisher nicht entwickelt wurden, setzt hier die vorliegende Arbeit an und führt zu folgenden Teilforschungsfragen.

Teilforschungsfragen:

- *Wie wurden 3D-Modelle bisher dargestellt? (analytische Studie in Kapitel 3)*
- *Wie kann der Einsatz von 3D-Modellen in der ingenieurwissenschaftlichen Hochschullehre klassifiziert werden? (analytische Studie in Kapitel 3)*
- *Welche Anforderungen entstehen auf Lehrenden- und Lernendenseite? (empirische Studie in Kapitel 3)*
- *Wie kann ein 3D-Modell aufbereitet werden? (3D-Patterns aus Kapitel 4)*
- *Wie können 3D-Modelle für die ingenieurwissenschaftliche Hochschullehre klassifiziert werden? (Vorarbeit zur Entscheidungshilfe aus Kapitel 5)*
- *Wann ist ein 3D-Modell sinnvoll? (Entscheidungshilfe aus Kapitel 5)*

Wie in Kapitel 2.1.3 und 2.3 beschrieben, wird die Arbeit auf 3D-Modelle ausgerichtet, die für die Lehre als vollendet modellierte 3D-Modelle existieren. Es steht also nicht das kreative Modellieren bzw. Neuerzeugen als Handlungsprozess der Lernenden im Vordergrund, sondern das Lernen mit dem 3D-Modell. Weiterhin liegt der Fokus auf 3D-Modellen, die auf dem Computerbildschirm bzw. auf mobilen Endgeräten präsentiert werden und nicht als stereoskopische Darstellung durch Unterstützung der binokularen Tiefenhinweise vorliegen. Ein Großteil der Ergebnisse kann dann auf die Virtual Reality oder Augmented Reality (AR) übertragen werden. Es hatte sich bereits bei der Definition von 3D (Kapitel 2.1.3) gezeigt, dass die Stereoskopie, die die VR-Präsentation von der Bildschirm-Präsentation hauptsächlich unterscheidet, als Erweiterung des 3D-Modells anzusehen ist. Jedoch hat aktuell nicht jeder Lernende Zugriff auf ein VR- oder AR-System. Weiterhin ergeben sich andere Interaktionsmöglichkeiten als bei der Eingabe über Maus,

Tastatur oder Touch, da bei einem VR- oder AR-System ganz spezifische und vielfältige Eingabemöglichkeiten bestehen, wie z. B. systemspezifische Controller, Gestensteuerung oder Sprachsteuerung. Die Forschungslücke konzentriert sich somit auf die benannten interaktiven 3D-Modelle auf Bildschirmen oder Displays. In anschließenden Arbeiten kann dann die Übertragung der Erkenntnisse auf VR- oder AR-Systemen untersucht werden (siehe Kapitel 7.2).

3 Studien zum Einsatz von 3D-Modellen in der Lehre

Der State of the Art aus Kapitel 2 zeigt erste Potenziale von 3D-Modellen in der Lehre. Jedoch existieren kaum Studien, die die Ausgestaltung der 3D-Modelle beschreiben und erklären, wann sich der Aufwand für deren Einsatz lohnt. Zudem fehlt eine Klassifikation der 3D-Modelle, um sie eindeutig für die ingenieurwissenschaftliche Lehre zu unterscheiden. Um dies zu untersuchen, werden analytische Studien zu aktuellen 3D-Modellen auf Lernplattformen durchgeführt. In den empirischen Studien werden Lernende und Lehrende aus der Hochschullehre und der beruflichen Aus- und Weiterbildung methodisch befragt, um Anforderungen bezüglich der 3D-Modelle der jeweiligen Zielgruppe zu erhalten. Die Ergebnisse der Studien zeigen Anforderungen der Zielgruppen sowie Systematiken der verschiedenen Untersuchungsgegenstände und bilden die Grundlage für die Entwicklung des Vorgehensmodells, der 3D-Patterns sowie der Entscheidungshilfe in den darauffolgenden Kapiteln.

3.1 Analytische Studien

Dieses Kapitel zeigt die analytischen Studien, die Lernplattformen mit 3D-Modellen ergründen. Die erste Analyse präsentiert Merkmale aktueller 3D-Modelle, die Lernenden zur Verfügung stehen. Hierzu soll die Frage beantwortet werden, wie 3D-Modelle bisher dargestellt wurden und welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede sie aufzeigen. Dabei wird die Analyse innerhalb der in Kapitel 2.4 genannten Disziplinen Content, Didaktik, Technik und Usability durchgeführt, um eine gesamtheitliche Betrachtung darzulegen. Aus den Ergebnissen soll die Zielstellung für den Einsatz der 3D-Modelle in der Lehre abgeleitet werden. In der zweiten Analyse werden Lerngegenstände, die als 3D-Modell aufbereitet wurden, in Kategorien gefasst. Hieraus kann der Einsatz weiter konkretisiert und klassifiziert werden. Außerdem sollen die unterschiedlichen Inhaltstypen der 3D-Modelle in der dritten Analyse aufgeschlüsselt werden, um die didaktischen und inhaltlichen Möglichkeiten innerhalb eines 3D-Modells und damit weiteres Potenzial aufzuzeigen. Ein 3D-Modell mit entsprechender didaktischer und inhaltlicher Ausarbeitung ergibt sich dann zu einer 3D-Lernanwendung (Kapitel 2.1.3). Die Ergebnisse der analytischen Studien werden anschließend in die Entscheidungshilfe (Kapitel 5) und die Patterns zur Aufbereitung von 3D-Modellen (Kapitel 4) überführt. Abbildung 3-1 zeigt die Inhalte der analytischen Studien.

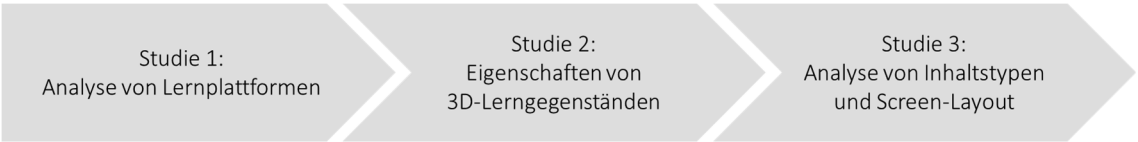


Abbildung 3-1: Analytische Studien zu den 3D-Modellen

3.1.1 Analyse von Lernplattformen mit 3D-Modellen

Ziel

Das Ziel ist es, aktuelle Lernplattformen zu analysieren, um die Darstellung und Aufbereitung von 3D-Modellen zu erfassen. Mit Fokus auf den Disziplinen Content, Didaktik, Technik und Usability (CDTU), die in Kapitel 2.4 festgelegt wurden, wird diese Untersuchung durchgeführt. Das erwartete Ergebnis ist eine Übersicht der aktuell verfügbaren Lernplattformen mit 3D-Modellen sowie deren Aufbereitung. Daraus wird der Nutzen für die Lehre konkretisiert und das Ziel von 3D-Modellen abgeleitet. Folgende Fragen sollen damit beantwortet werden: Wie wurden 3D-Modelle bisher dargestellt und welche Ziele werden beim Einsatz verfolgt?

Methode

Die Analyse wird an insgesamt 16 ausgewählten Lernplattformen mit insgesamt über 130 interaktiven 3D-Modellen durchgeführt. Bereits bei der Recherche der 3D-Lernplattformen wurde deutlich, dass im ingenieurwissenschaftlichen Kontext wenige Anwendungen mit 3D-Modellen zur Verfügung stehen, die in der Lehre eingesetzt werden. Daher werden für die Analyse neben den technischen auch die naturwissenschaftlichen 3D-Lernplattformen hinzugefügt, um die vielfältigen Möglichkeiten zur Aufbereitung zu erfahren. Die Themen- und Forschungsfelder sind Elektrotechnik, Maschinenbau, Mathematik, Physik, Biologie und Chemie. Es gilt zu beachten, dass die Liste der 3D-Lernplattformen nicht vollständig ist. Um viele Beispiele analysieren zu können, liegt der Fokus hierbei auf frei zugänglichen 3D-Lernplattformen, die auf Webseiten oder als App zur Verfügung gestellt werden. Idealerweise werden interaktive 3D-Modelle in den einzelnen Hochschulen auf internen Servern oder Plattformen, wie z. B. [Moodle 2020] abgelegt. Weiterhin werden virtuelle Welten und virtuelle Labore bei der Analyse nicht berücksichtigt, da hierbei die Umgebung und das Steuern eines möglichen Avatars im Mittelpunkt stehen (Kapitel 2.1.3). Tabelle 3-1 gibt eine Übersicht der analysierten 3D-Lernplattformen, während Abbildung 3-2 und 3-3 eine Galerie der Beispielbilder aus den Lernplattformen zeigen.

Die Lernplattformen entsprechen folgenden Anforderungen:

- Präsentation eines interaktiven 3D-Modells
- Rotation und Anwählen von Elementen als Mindestvoraussetzung für die Interaktivität
- Einsatz im ingenieur- bzw. naturwissenschaftlichen Bereich

Tabelle 3-1: 3D-Lernplattformen mit 3D-Modellen (Stand Juni 2019)

No.	3D-Lernplattform mit Autoren und URL	Themengebiet	Beispiele	Anzahl 3D-Modelle	Technische Basis
1	Mozaik education Mozzaweb https://bit.ly/3fwQf7E	Biologie, Chemie, Mathematik, Physik	Elektromotor, Doppler-Effekt	1241	Website & App
2	GETsoft TU Ilmenau https://bit.ly/3fAaelT	Elektrotechnik	Asynchronmotor, Gleichstrommotor	3	Website
3	DMG-Lib TU Ilmenau https://bit.ly/2BhAaDY	Maschinenbau	Fassreinigung, Türschloss	15	Website
4	Objektbasiertes Lernen Continental https://bit.ly/2YJ7iwD	Maschinenbau	Bremssystem	1	Website
5	CAD Models CADENAS GmbH https://bit.ly/30QUnex	Maschinenbau	Lager, Schrauben, Wellen	500 Kataloge	App
6	Geoknecht - Geometrische Körper in 3D erstellen Matheretter, Kai Noack https://bit.ly/3d6epUU	Mathematik	Geometrische Formen, Vektoren	2	Website
7	GeoGebra Markus Hohenwarter https://bit.ly/2AKMzjW	Mathematik, Physik	Flächen im Raum, geometrische Körper	> 300	Website
8	Virtual Labs LabInApp https://bit.ly/2N7EubE	Physik, Chemie	Elektromagnet, Seismograf	20	Website & App
9	SAL/SVL Universität Wuppertal https://bit.ly/2YbXMDe	Medien- und Drucktechnologie	Druckmaschine	1	Download der Demo-Version für PC
10	Phet interactive simulations University of Colorado Boulder https://bit.ly/2BgDWO4	Chemie	Moleküle	5	Website
11	3D-Kugelwolkenmodell Universität Rostock https://bit.ly/37DT3Np	Chemie	Moleküle	1	Download der Anwendung
12	Chilie - Chemie interaktiv lernen Universität Oldenburg https://bit.ly/2Cf60lf	Chemie	Moleküle	10	Website

13	DNA mit Jmol-Molekül Lehrer Online https://bit.ly/2N5e3mL	Chemie	Moleküle	12	Website
14	Innere Organe 3D Victor Gonzalez Galvan https://bit.ly/37HXF5s	Biologie	Organe	7	App
15	Anatomie 3D Atlas Catfish Animation Studio https://bit.ly/30Q1GTI	Biologie	Kopf, Herz, Niere, Knochen	68	App
16	3D Gehirn Neurowissenschaftliche Gesellschaft e. V. https://bit.ly/2UTuXcl	Biologie	Gehirn	1	Website

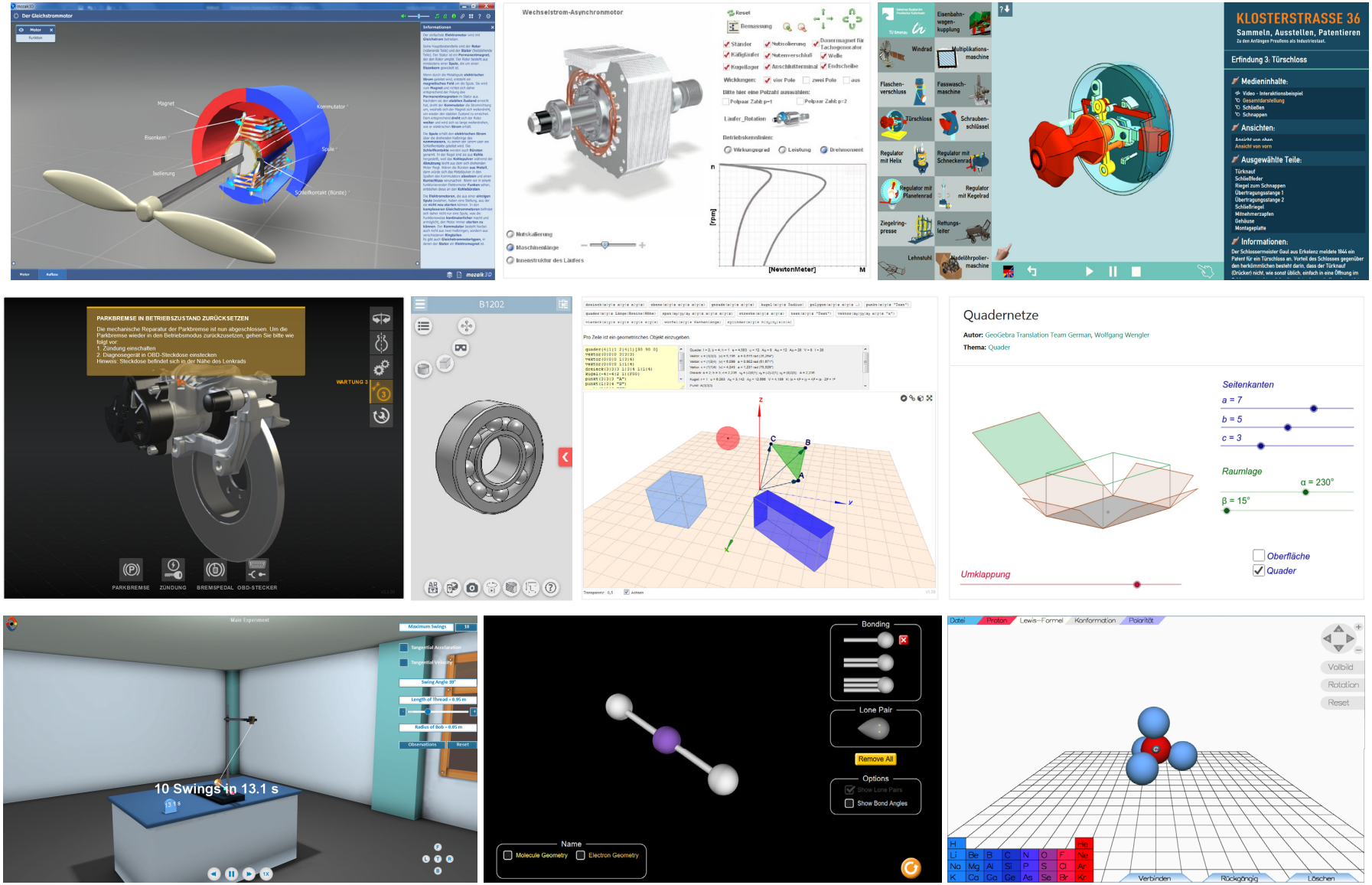


Abbildung 3-2: Beispiele der Lernplattformen mit 3D-Modellen (Anordnung gemäß Tabelle 3-1)

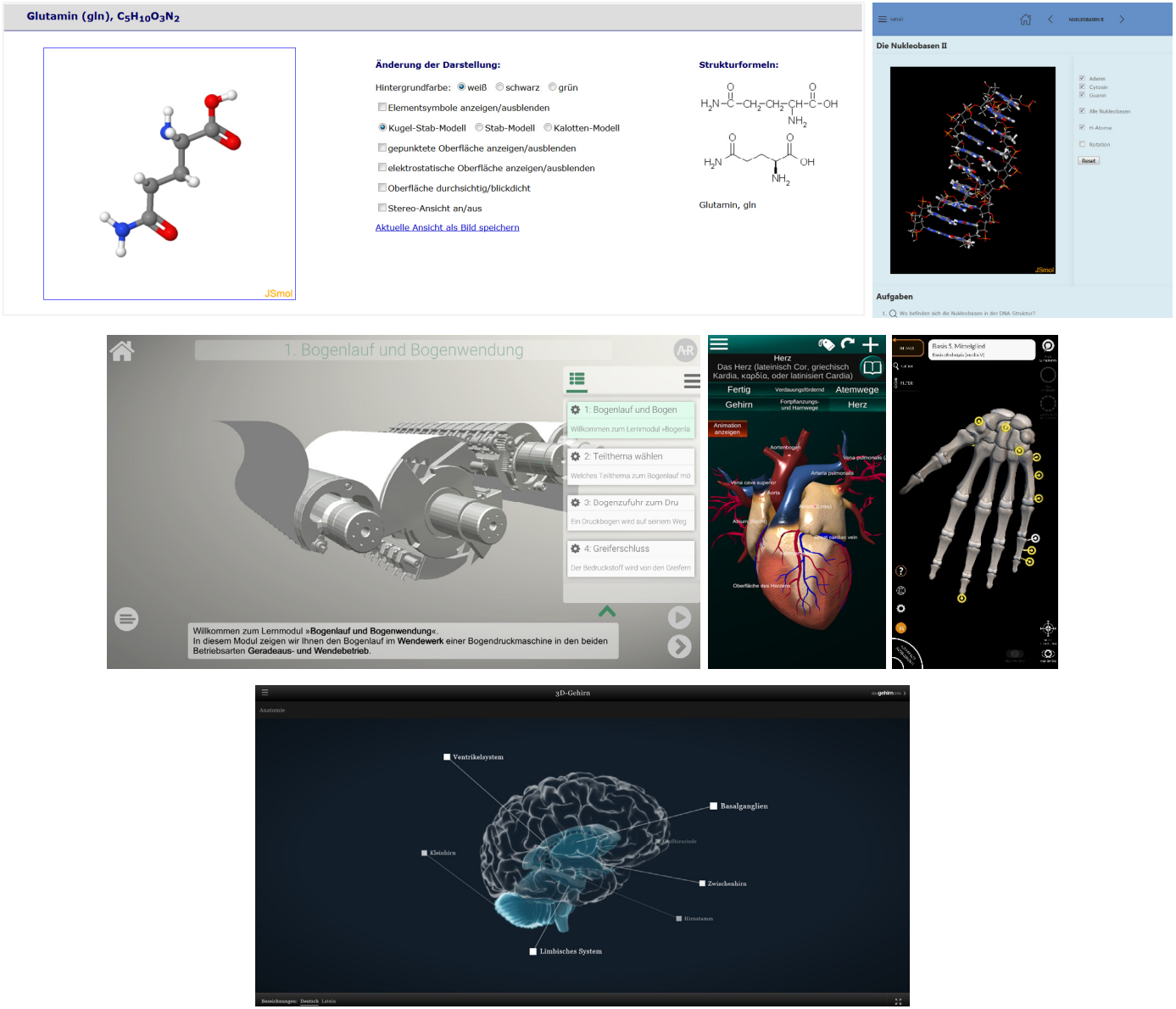


Abbildung 3-3 (Fortsetzung): Beispiele der Lernplattformen mit 3D-Modellen (Anordnung gemäß Tabelle 3-1)

Alle 3D-Lernplattformen wurden nebeneinander im Browser auf verschiedenen Tabs aufgerufen. Gleichzeitig wurden die Apps sowie die Downloads geöffnet, um sie nach den folgenden Elementen miteinander zu vergleichen. Im ersten Schritt wurden die 3D-Modelle analysiert und deren Aufbereitung durch Farben, Markierungen und Beschriftungen aufgeschlüsselt. Im zweiten Schritt wurde die Bildschirmaufteilung untersucht, die neben dem 3D-Modell als Visualisierung weitere Inhaltstypen, wie z. B. Textfelder, Einstellungen oder Menüs enthält. Im letzten Schritt wurden dann alle Elemente bezüglich der Disziplinen CDTU im Einzelnen eruiert.

Ergebnisse

Allgemeines

Die Übersicht zeigt die geringe Anzahl an Lernplattformen mit interaktiven 3D-Modellen für die Hochschullehre. Zur Unterstützung der Analyse wurden zusätzlich Lernplattformen genutzt, die außerhalb der Hochschule entstanden sind, wie z. B. Mozaik education, das durch ein Unternehmen in Ungarn erstellt wurde und den Fokus auf den Schulbereich setzt. Ein anderes Beispiel ist die Bremse des Continental-Trainingscenters, welches das interaktive 3D-Modell durch das Unternehmen blend4web [Triumph 2019] entwickeln ließ. An diesen Beispielen der Auslagerung der 3D-Modellentwicklung an externe Unternehmen ist erkennbar, dass die Erstellung einen hohen Aufwand bedeutet sowie hierfür Spezialisten und Spezialistinnen benötigt werden.

Das deutlichste Ergebnis der Analyse ist die Unterschiedlichkeit in der Aufbereitung der 3D-Modelle und deren Frameworks. Die 3D-Modelle liegen dabei selten als alleiniges Objekt vor. Sie werden durch weitere Elemente zur inhaltlichen Unterstützung ergänzt. Beim Layout fällt dabei besonders auf, dass es häufig verschieden strukturiert ist. Erklärungen, Aufgaben und Einstellungen sind unterschiedlich auf dem Bildschirm positioniert, was bei der Nutzung mit einem erheblichen kognitiven Aufwand verbunden ist. Der Hintergrund des 3D-Modells reicht von einfarbigen Flächen bis hin zur detailreichen Umgebung. Die unterschiedliche Detaillierung und Farbgebung der 3D-Modelle ist ein weiteres auffälliges Merkmal beim Vergleich der Lernplattformen. Zudem ist die Gestaltung teilweise innerhalb derselben Lernplattformen inkonsistent. Die 3D-Modelle verfolgen Ziele, die nur selten konkret beschrieben werden. Die Texte sind sehr verschieden gestaltet, was auch für die Aufgaben und Tutorials gilt. Die Beschriftungen und die Markierungen am 3D-Modell sind ganz verschiedenartig realisiert und werden zu einer besonderen Herausforderung. Bei der Interaktion fällt auf, dass Hotspots sehr inkonsistent verwendet

werden und oft dringend notwendige Resets nicht möglich sind. Auch Zooms, Rotationen und Translationen werden unterschiedlich realisiert und stellen bei der Interaktion einen zusätzlichen kognitiven Aufwand dar.

Content

Der Content präsentiert den inhaltlichen Aspekt der 3D-Modelle und lässt auf das Themenfeld schließen. Die Analyse der Lernplattformen zeigt, dass ein Großteil der Beispiele aus den Bereichen Biologie und Chemie stammen. In Form von Apps liegen dabei noch viele weitere vor, die in der Analyse ausgelassen wurden, da der Fokus auf technische Inhalte gelegt wurde. Daher kann jedoch grundlegend gesagt werden, dass aktuell mehr 3D-Modelle aus dem naturwissenschaftlichen Bereich als aus dem technischen Bereich bestehen. Ein sehr typisches Beispiel ist das Molekül. Dieses ist durch den einfachen Aufbau leicht zu modellieren. Da es zudem für das menschliche Auge nicht sichtbar ist, lohnt sich durch die schnelle Umsetzung hierbei eine Visualisierung als interaktives 3D-Modell. Das Gleiche gilt für die oft visualisierten Objekte der Anatomie, wie z. B. Organe oder Skelettteile. Sie können zwar durch ihre Größe wahrgenommen werden, jedoch sind sie durch die Haut verdeckt und daher nicht auf natürlichem Weg sichtbar.

Im technischen Bereich werden unterschiedliche Lerngegenstände als 3D-Modell aufbereitet. Das reicht von einzelnen Bauteilen über Baugruppen bis hin zu komplexen Systemen und Teilsystemen. Dabei ist der Komplexitätsgrad weiterhin verschieden. Während ein Großteil der 3D-Modelle lediglich den Lerngegenstand visuell präsentiert, besitzen andere vielfältige Einstellmöglichkeiten, Ausgaben oder Aufgabenstellungen. Letztere bieten sich vor allem in den mathematischen Anwendungen an, bei denen z. B. geometrische Figuren erzeugt werden. Ein typisches Beispiel aus dem technischen Bereich ist die Visualisierung technischer Teilsysteme, wie z. B. Motoren. Hierzu wird vorrangig die Funktionsweise anhand von Animationen erklärt und die dazugehörigen Bauteile aufgezeigt. Die Präsentation der baulichen Form bzw. des Aufbaus ist dabei oftmals ein gleichwertiges Ziel.

Didaktik

Der didaktische Aspekt der Analyse beinhaltet alle Elemente, die die Lernenden im Lernprozess unterstützen, motivieren und anleiten. Bei lediglich zwei der 3D-Lernanwendungen wurden konkrete Lernziele definiert, die den Lernenden bei dem zielgerichteten Lernen mit dem interaktiven 3D-Modell unterstützen. Das Bereitstellen didaktischer Mittel

lässt bei den restlichen 3D-Lernanwendungen nur schwer auf ein Lernziel schließen, da sie verschieden gestaltet sind. Bei acht 3D-Lernanwendungen kann eine Aufgabenstellung abgeleitet werden. Diese bezieht sich dabei nicht nur auf die reine Präsentation eines Lerngegenstandes als Anschauungsobjekt. Hierbei können durch Slider oder Auswahlbuttons Änderungen am 3D-Modell vorgenommen werden. Lediglich in einer Lernanwendung ist die Aufgabe konkret formuliert und setzt den Schwerpunkt auf die Zuordnung von Beschriftungen, um den Aufbau des dargestellten Objekts zu erlernen. Bei dieser ist weiterhin die Kontrolle vorhanden, ob alle Beschriftungen korrekt zugeordnet wurden. Hinweise für den Einsatz in der Lehre geben drei 3D-Lernanwendungen.

Technik

Die Technik beschreibt die Entwicklungsbasis auf denen die 3D-Modelle realisiert und präsentiert wurden. Die 3D-Lernplattformen stammen aus unterschiedlichen Zeiten. GETsoft wurde Mitte der 2000er mit damals aktuellen JAVA-Applets entwickelt, die heute jedoch nur noch mit Sicherheitsrisiken zu öffnen sind. Das exakte Entstehungsjahr der 3D-Lernplattformen lässt sich oftmals schwer nachvollziehen. Dass es sich bei den analysierten 3D-Lernplattformen um verhältnismäßig aktuelle Entwicklungen handelt, lässt sich am Vorhandensein von Responsive Design bei mobilen Varianten, webbasierten Lernplattformen als Website oder Apps festhalten. Eine Offline-Variante, die als Download auf der Website zur Verfügung steht, kann zeit- und ortsunabhängig genutzt werden. Das trifft auf zwei Lernanwendungen zu. Als klassische Website liegen neun 3D-Lernplattfomrnen vor, während drei als App für Smartphones downloadbar und nutzbar sind. Zwei Plattformen bieten beide Varianten als Website und App an. Zusätzlich bieten zwei der Lernplattformen die Ausgabe des 3D-Modells als stereoskopische Darstellung an, die durch einen vorgegebenen Button anschaltbar ist. MozzaWeb bietet in diesem Fall bei allen 3D-Modellen die Ausgabe als Anaglyphenbild und als Stereoansicht für z. B. Virtual Reality-Brillen oder 3D-Projektoren an. Diese Plattform enthält weiterhin als einzige Hintergrundmusik, die über einen Button deaktiviert werden kann.

Usability

Innerhalb der Usability werden die Auffälligkeiten benannt, die die Gebrauchstauglichkeit bzw. die Interaktion mit dem 3D-Modell beinhalten. Zunächst sind die Interaktionen zur Steuerung des 3D-Modells oftmals identisch gestaltet. Das Halten der gedrückten linken Maustaste bzw. das Sliden auf einem Touchbildschirm realisiert die Rotation. Das

Scrollrad bzw. das Pinchen ermöglicht den Zoom und mit der gedrückten linken und rechten Maustaste bzw. dem Sliden mit zwei Fingern kann das 3D-Modell verschoben werden (Translation). Trotzdem lassen sich hierbei kleine Unterschiede feststellen. So wird das Scrollen mit der Maus nach oben in den meisten Fällen als Heranzoomen umgesetzt. Das Herunterscrollen dient dann dem Herauszoomen. In einigen wenigen Fällen ist dies jedoch vertauscht, was zunächst verwirrend erscheint. Richtet sich der Fokus lediglich auf ein einfaches 3D-Modell, ist die Translation häufig nicht möglich. Selten ist die Zoom-Funktion nicht realisiert. Hiermit lässt sich das 3D-Modell nur Drehen. Bei wenigen 3D-Lernanwendungen ist weiterhin ein Rotieren in alle Rotationsrichtungen nicht vorgesehen. Hierbei besteht die Vermutung, dass eine Ansicht, z. B. von unten, für die Lernenden nicht notwendig ist. Eine weitere Herausforderung ist das Präsentieren des 3D-Modells innerhalb einer Webseite. Durch das Scrollen, um z. B. auf weiter untenstehende Informationen zuzugreifen, kann es passieren, dass der Zoom-Prozess im 3D-Modell ausgelöst wird, weil der Mauszeiger im 3D-Modell-Feld platziert wurde. Dies kann zu kurzzeitigen Verwirrungen führen und Zeit beanspruchen, um in die Ausgangslage zurückzukehren. Um den Einstieg in eine 3D-Lernanwendung für die Lernenden zu erleichtern, können Tutorials als Einführung genutzt werden, um alle Funktionen und Interaktionsmöglichkeiten zu zeigen. Dies fehlt jedoch bei über der Hälfte der Lernanwendungen. Wenn ein Tutorial enthalten ist, erklärt dieses nur die Steuerung des 3D-Modells. Im Idealfall sind alle Informationen, die das 3D-Modell näher beschreiben oder Aufgaben präsentieren, direkt in der 3D-Lernanwendung enthalten. Informationen, die nur extern (z. B. auf einer anderen Webseite) verfügbar sind und die Nutzer und Nutzerinnen zu einem regelmäßigen Umschalten zwingen, beeinflussen die Benutzerfreundlichkeit negativ und ein effizientes Lernen wird kaum möglich. Das ist bei zwei Lernanwendungen der Fall. Ein weiteres Element, das ein effektives, effizientes und zufriedenstellendes Lernen mit einer 3D-Lernanwendung kaum unterstützt, sind schlecht umgesetzte Animationen. Bei dem Bremsen-Modell konnten z. B. die teils langen Animationen nicht gestoppt werden. Damit ist auch in diesem Bereich die oft analysierte unterschiedliche Realisierung der 3D-Modelle und Inhalte in 3D-Lernanwendungen feststellbar.

Gestaltungsvarianten

Die nachfolgende Auflistung fasst die analysierten Unterschiede in der Gestaltung und Realisierung von 3D-Lernanwendungen zusammen. Dabei beziehen sich diese auf die vier Bereiche Content, Didaktik, Technik und Usability.

Tabelle 3-2: Unterschiedliche Elemente in 3D-Lernanwendungen

Bereich	**Merkmale der Gestaltung und Realisierung**	**Kurzbeschreibung**
Content	Layout	Unterschiedliche Platzierung von Inhaltstypen
	Detaillierung	Von sehr abstrakter bis zu sehr detaillierter Darstellung
	Farbgebung	Von einfarbigen bis sehr bunten 3D-Modellen
	Markierung	Pfeile, Einfärben von Bauteilen oder Rahmen
	Hintergrund	Einfarbige bis detailreiche Umgebung
	Blick ins Innere	Transparenz, Schnitt, Querschnitt oder entfernen von Modellteilen
Didaktik	Texte	Unterschiedlicher Detailgrad und Ausdruck
	Beschriftung	Mit Pfeilen, Linien oder außerhalb des 3D-Modells
	Aufgaben	Unkonkret oder nicht vorhanden
Technik	Plattform	Websites, Apps oder eigene Anwendung
	Ausgabe	Neben einfacher Bildschirmausgabe zusätzlich Anaglyphenbild oder Stereoansicht
	Audio	Hintergrundmusik oder nicht vorhanden, keine Aktionstöne
Usability	Tutorial	Unterschiedlicher Fokus oder nicht vorhanden
	Reset	Unterschiedliche Platzierung oder nicht vorhanden
	Interaktionsmöglichkeiten	Unterschiedliche Realisierung oder Existenz von Zoom, Rotation und Translation

Ziel von 3D-Modellen

Trotz der unterschiedlichen Aufbereitung der 3D-Modelle, lässt sich ein generisches Ziel für die ingenieurwissenschaftliche Lehre aus der Analyse ableiten. Grundsätzlich werden die 3D-Modelle eingesetzt, um komplexe Konstrukte, wie z. B. Maschinen oder Bauteile für die Lernenden sichtbar und erfahrbar zu machen. Sie verdeutlichen vor allem die räumlichen Ausmaße bzw. den Aufbau des darzustellenden Konstrukts. Die 3D-Modelle dienen damit dem Sichtbarmachen von unsichtbaren, schwervorstellbaren und komplexen Sachverhalten. Der primäre Nutzen der 3D-Modelle ist das Visualisieren an sich. Somit ist die Visualisierung des Aufbaus ein grundlegendes primäres Ziel. Ohne den Aufbau eines technischen Gebildes kann dessen Funktionsweise lediglich grafisch, z. B. durch ein Ablaufdiagramm, gezeigt werden. Die Visualisierung der Funktionsweise zählt weiterhin zum primären Nutzen der 3D-Modelle und wird dabei häufig als vollständige Animation präsentiert.

Können die Lernenden interaktiv Änderungen am 3D-Modell bezüglich des Aufbaus oder der Funktionsweise vornehmen, liegt eine Simulation vor. Hierbei können qualitativ oder quantitativ Änderungen durchgeführt werden. Eine Simulation hat einen dynamischen Charakter, womit die Modifikation beim Aufbau und der Funktionsweise in den meisten Fällen in Echtzeit realisiert wird. Die Simulation wird oft als dynamische Abfolge von

einzelnen Aktivitäten und damit als Prozess zusammengefasst. Im Kontext von 3D-Lernanwendungen konnten drei Arten von Prozessen analysiert werden.

- Modellprozesse, die die Lernenden passiv am Geschehen teilhaben lassen. Die Lernenden sehen Animationen und Abläufe, die sie nicht durch aktives Eingreifen verändern können (lediglich durch Starten und Stoppen der Animation).
- Nutzerprozesse, bei denen das aktive Eingreifen der Lernenden fokussiert wird. Beispiele für diese Prozessart sind das Durchführen von Handlungsabläufen, wie der Zusammenbau eines Motors, oder Ändern von Parametern.
- Hybride Nutzer-Modell-Prozesse, die Elemente beider zuvor beschriebenen Prozesse beinhalten. Die Lernenden führen Aktionen aus und das 3D-Modell übernimmt komplexe Zwischenabläufe, die als (Teil-)Animation visualisiert werden.

Ein 3D-Modell kann explizit den Aufbau und die Funktionsprinzipien eines technischen Gebildes visualisieren und simulieren. Weiterhin kann es auch Elemente aufzeigen, an denen Berechnungen vorgenommen werden. Der Aufbau des technischen Gebildes gilt damit als Ausgangspunkt. Danach kann die Funktionsweise demonstriert werden. Schließlich dienen diese beiden Elemente der Berechnung, wie z. B. von Wirkungsgrad oder Effizienz. Dabei sinkt jedoch die Präsenz der 3D-Visualisierung. Während beim Präsentieren des Aufbaus die Visualisierung essenziell ist, können bei der Darstellung der Funktionsweise andere Mittel genutzt werden. Das können z. B. Ausgaben wie Flussdiagramme oder eine Aufzählung der Schrittfolgen sein. Schließlich steht bei Berechnungen der Wert im Fokus und die 3D-Visualisierung rückt weiter in den Hintergrund, womit sie nur noch Mittel zum Zweck wird (Abbildung 3-4). Im 3D-Modell können durch die Präsentation von Aufbau und Funktionsweise die wesentlichen Elemente zur Berechnung bestimmter Vorgänge visualisiert werden.

Abbildung 3-4: Präsenzreduktion der 3D-Visualisierung innerhalb des Verlaufs (e. D.)

Zusammenfassend ist das primäre Ziel der 3D-Modelle für die ingenieurwissenschaftlichen Lehre die Visualisierung und Simulation von Aufbau und Funktionsweise technischer Gebilde. Das sekundäre Ziel ist die Unterstützung bei Berechnungen durch visuelle und prozedurale Inhalte (Abbildung 3-5).

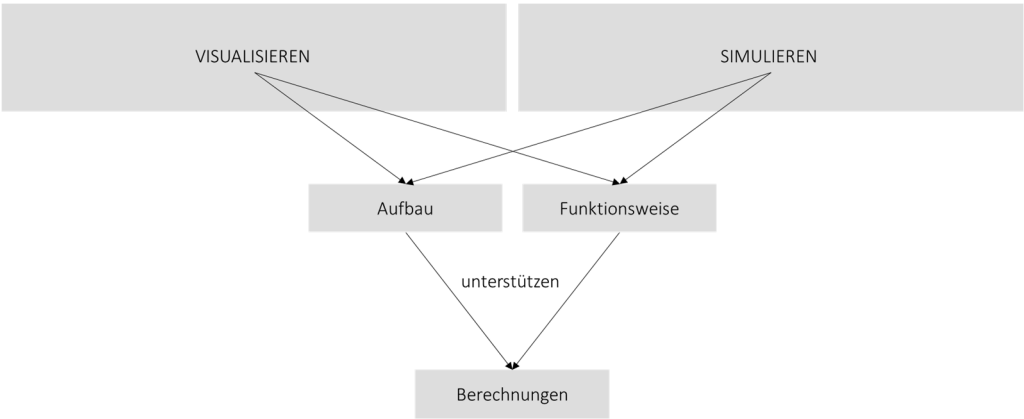


Abbildung 3-5: Ziel der 3D-Modelle für ingenieurwissenschaftliche Inhalte (e. D.)

Diskussion

Es zeigte sich, dass derzeit wenige 3D-Modelle in der ingenieurwissenschaftlichen Lehre verwendet werden, wodurch die Analyse erschwert wurde. Die untersuchten 3D-Modelle sind dabei bezüglich der Interaktion, der didaktischen Aufbereitung, der technischen Basis sowie der ergonomischen Elemente völlig unterschiedlich aufbereitet. Damit lassen sich kaum Gemeinsamkeiten in der Darstellung oder ein Zusammenhang der bereitgestellten Elemente erkennen. Durch die unterschiedlichen Varianten in der Aufbereitung besteht die Forderung nach einer Systematisierung innerhalb dieser interaktiven 3D-Modelle. Dazu werden in Kapitel 4 die Gestaltungsvarianten getestet und Patterns als Lösungsempfehlungen abgeleitet. Die Zielstellung ist das einzige Merkmal, das alle dargestellten 3D-Modelle verdeutlichen. Sie zeigen die Visualisierung oder die Simulation von Aufbau oder Funktionsweise technischer Gebilde. Dies kann als grundlegende Einstiegsfrage nach dem sinnvollen Einsatz von 3D-Modellen in der ingenieurwissenschaftlichen Lehre angesehen werden. Die Zielstellung sollte somit in die Entscheidungshilfe (Kapitel 5) einfließen.

3.1.2 Eigenschaften der 3D-Lerngegenstände im praktischen Einsatz

Ziel

3D-Modelle können nach der Analyse in Kapitel 3.1.1 anhand ihrer generischen Zielstellung unterschieden werden. Trotzdem lässt sich der Einsatz von 3D-Modellen nicht konkret beschreiben. Hierfür muss untersucht werden, unter welchen Bedingungen 3D-Modelle für die Lehre eingesetzt werden. Da es bisher keine empirischen Befunde gibt, muss eine zweite Analyse anhand der vorhandenen 3D-Modelle durchgeführt werden. Hierzu

stellt sich die Frage: Wie lassen sich 3D-Modelle klassifizieren, die in der ingenieurwissenschaftlichen Lehre eingesetzt werden?

Methode

Für die Analyse werden nochmals die vorhandenen 3D-Modelle der Lernplattforen aus Kapitel 3.1.1 aufgenommen. Der Fokus liegt auf der 3D-Visualisierung. Sämtliche Ergänzungen, wie Beschriftungen, Textfelder etc., werden ausgeblendet bzw. der Vollbildmodus aktiviert. Bei jedem 3D-Modell wird nun analysiert aus welchem Grund dieses eingesetzt wurde. Dabei ist stets infrage zu stellen, welchen Mehrwert der Lerngegenstand als 3D-Modell gegenüber einer 2D-Darstellung hat. Diese Einsatzbedingungen werden aufgelistet. Ähnliche Bedingungen werden verdichtet und in eine Systematik überführt.

Ergebnisse

Für den Einsatz von 3D-Modellen innerhalb der Lehre lassen sich fünf konkrete Gründe ableiten, die in Abbildung 3-6 aufgelistet sind. Sie sind nachfolgend genauer beschrieben und mit Beispielen unterlegt. Die 3D-Modelle weisen oftmals mehrere Einsatzbedingungen gleichzeitig auf. Dabei ist „Verdeckung“ der häufigste Grund für den Einsatz.

Verdeckung	Verfügbarkeit	Dynamik	Komplexität	Betrachtung
– rückseitig – im Inneren	– durch Gefahr – geringe Anzahl – an anderem Ort – nicht mehr existent	– animierte Prozesse – animierter Aufbau	– Prozess – Aufbau	– Auswirkung in die Zeichenebene – weitere Blickwinkel

Abbildung 3-6: Einsatz von 3D-Modellen (e. D.)

Lerngegenstände mit Verdeckung

Verdeckte Elemente in Lerngegenständen können durch 3D-Modelle optimal visualisiert werden. Um in das Innere des Lerngegenstandes zu sehen, werden die verdeckenden Elemente transparent gestaltet oder es erfolgt ein Aufschnitt. Eine weitere Möglichkeit, die oftmals im Maschinenbau angewendet wird, ist die Explosionsdarstellung. Dabei werden die Einzelelemente aus dem Gesamtkonstrukt entnommen und in unmittelbarer Nähe platziert. Ein 3D-Modell kann durch die Funktion der Rotation außerdem rückseitige Elemente eines Lerngegenstandes sichtbar machen, in dem das 3D-Modell an die entsprechende verdeckte Stelle gedreht wird.

Lerngegenstände mit geringer Verfügbarkeit

3D-Modelle virtualisieren Lerngegenstände, die nicht für jeden Lernenden zur Verfügung stehen oder zugänglich sind. Diese können zum einen gefährliche Lerngegenstände sein, wie z. B. Prozesse mit giftigen Stoffen oder schwere Maschinen. Zum anderen können Lerngegenstände als 3D-Modelle aufbereitet werden, die nicht mehr existent sind oder nur in einer geringen Anzahl zur Verfügung stehen, wie z. B. antike Konstrukte oder seltene Bauteile. Ein weiterer Grund für den Einsatz eines 3D-Modells ist die erschwerte Zugänglichkeit. Hierbei kann sich der Lerngegenstand an einem anderen geografischen Ort befinden.

Dynamische Lerngegenstände

Die Besonderheit dieser Lerngegenstände ist die Dynamik. Damit sind Elemente des Lerngegenstandes gemeint, die durch Bewegungen bzw. einer Abfolge verständlich werden. Dabei können der Aufbau sowie der Ablauf entsprechender Teilbereiche mit Hilfe eines interaktiven 3D-Modells animiert werden. Als Beispiel kann hierbei die Funktionsweise eines Verbrennungsmotors als Animation genannt werden.

Komplexe Lerngegenstände

Weisen Lerngegenstände eine hohe Komplexität bezüglich ihres Aufbaus oder ihrer Funktion auf, können 3D-Modelle helfen, diese Komplexität erfahrbar zu gestalten. Die Lerngegenstände beinhalten meist mehrere Elemente, die zudem in einem Zusammenhang stehen und voneinander abhängig sind. Hierbei helfen die Interaktionsmöglichkeiten des 3D-Modells, wie z. B. der Zoom oder die Rotation, den Lerngegenstand genauer zu analysieren, diesen von allen Seiten zu betrachten und wichtige Stellen zu vergrößern.

Lerngegenstände mit intensiverer Betrachtung

Durch die drei Dimensionen des Modells ist es möglich, Auswirkungen, die nicht mehr auf einer X- oder Y-Achse liegen, genauer abzubilden. Ein typisches Beispiel ist die Darstellung von Lerngegenständen auf einer Tafel. Der Lehrende kann durch eine perspektivische Zeichnung andeuten, dass z. B. ein Prozess Auswirkungen in die Zeichenebene hat. Mit einem 3D-Modell ist es aber möglich an diese Stelle zu navigieren bzw. zu rotieren und das Ergebnis deutlicher zu betrachten. Dies muss nicht zwingend ein Prozess sein. Komplizierte geometrische Körper können konkreter mit einem 3D-Modell visualisiert

werden als z. B. mit einem Schrägbild. Das weitere Merkmal hängt mit dem eben benannten stark zusammen. Hierbei geht es zudem um die erweiterte Projektion einer grafischen Lösung. Ein typisches Beispiel ist die im Maschinenbau genutzte Dreitafelprojektion für technische Zeichnungen. Durch die Rotation können die Lernenden das 3D-Objekt mit Hilfe mehrerer Blickwinkel betrachten.

Diskussion

Nach der Analyse konnte die Zielstellung für 3D-Modelle in der ingenieurwissenschaftlichen Lehre konkretisiert werden. Die fünf Einsatzbedingungen weisen zusätzlich weitere Potenziale von 3D-Modellen auf und dienen als Klassifikation, wie 3D-Modelle zur Wissensvermittlung in der ingenieurwissenschaftlichen Lehre eingesetzt werden können. Diese dienen in der zu entwickelnden Entscheidungshilfe (Kapitel 5) als Orientierung zum sinnvollen Einsatz eines 3D-Modells in der Lehre.

3.1.3 Analyse von Inhaltstypen und Screen-Layout

Ziel

Wie die Analyse in Kapitel 3.1.1 gezeigt hat, wird das 3D-Modell selten allein präsentiert. 3D-Modelle beinhalten in einem Lehrkontext stets verschiedene Elemente, die den Lernprozess anleiten oder unterstützen. Sie sind in ein Framework von Aufgaben, textlichen Erklärungen und Interaktionstools gebettet. Damit beschreiben sie das 3D-Modell für die Lernenden genauer und bieten Möglichkeiten zur Interaktion. Durch dieses Zusammenwirken des 3D-Modells mit den ergänzenden Elementen (Inhaltstypen) ergibt sich somit eine 3D-Lernanwendung. Für die Entwicklung von 3D-Lernanwendungen sollten die Möglichkeiten zur didaktischen Ausarbeitung bekannt sein. Daher werden diese Elemente extrahiert und aufgelistet. Die Frage hierbei ist: Welche Inhaltstypen sind in 3D-Lernanwendungen vorhanden und wie lassen sie sich klassifizieren?

Die Inhaltstypen können in ihrer Position bestimmten Bereichen im Framework zugeordnet werden. Mit der Anordnung wird das Screen-Layout verdeutlicht. Dieses soll aufgrund der Abhängigkeit zu den Inhaltstypen weiterhin untersucht werden, um Möglichkeiten zur Gestaltung des Frameworks zu verdeutlichen. Die Inhaltstypen und das Screen-Layout werden als grundsätzliche Richtlinien für die Gestaltung der 3D-Lernanwendung extrahiert. Auf dieser Basis werden Patterns abgeleitet (Kapitel 4.3.3).

Methode

Für diese Analyse werden die 3D-Modelle aus Kapitel 3.1.1 verwendet. In jeder 3D-Lernanwendung werden die Inhaltstypen gesichtet und anschließend aufgelistet. Das Kriterium hierbei ist, dass sie eine Ergänzung zum 3D-Modell darstellen. Dabei können sie visuellen, textlichen oder interaktiven Charakter besitzen.

Das Screen-Layout wird nach der Extraktion der Inhaltstypen untersucht. Dazu werden Skizzen jeder 3D-Lernanwendung angefertigt, um die wichtigen und abgeschlossenen Bereiche zu markieren. Anschließend werden Gemeinsamkeiten in der Aufteilung analysiert und die häufigste Form des Screen-Layouts präsentiert.

Ergebnisse

Inhaltstypen

Die Lernplattformen aus Kapitel 3.1.1 zeigen die Vielfältigkeit und die unterschiedliche Aufbereitung von 3D-Lernanwendungen. Jedoch lassen sich wiederkehrende Elemente identifizieren. Das sind Elemente, die das 3D-Modell erfahrbar gestalten, Informationen anbringen oder durch weitere visuelle Elemente grafisch unterstützen. Hieraus ergeben sich drei wesentliche Klassen, in denen diese ergänzenden Elemente eingeteilt werden können.

Visualisierungen zeigen neben dem 3D-Modell grafische Elemente, die weitere Ansichten, andere Aufbereitungen mit diversen Abstraktionsgraden oder alternativen Darstellungen des Aufbaus oder der Funktionsweise präsentieren. Die Inhaltstypen der Visualisierung lassen sich auf folgende Elemente beziehen:

- 3D-Modell
- Bild, z. B. Grafik, Foto
- Video inkl. Audio, z. B. Realfilm, animierter Film
- Diagramm

Der Information zugehörig sind alle textlichen Erweiterungen zur näheren Beschreibung des 3D-Modells sowie didaktische Mittel zum besseren Verständnis der Lernanwendung bzw. zur Aufforderung von Tätigkeiten, die die Lernenden am 3D-Modell durchführen können. Folgende Elemente lassen sich den Informationen zuschreiben.

- Lernziele
- Beschriftungen
- Erläuterungen, wie z. B. kurze Beschreibungen oder Langtexte
- Tutorial
- Aufgaben inkl. Lösung
- Glossar
- Literaturangaben

Die Interaktionsmöglichkeiten beziehen sich auf alle Elemente, die die Lernenden nutzen können, um das 3D-Modell und deren zusätzliche Inhaltstypen zu steuern, aufzurufen oder zu manipulieren. Die Interaktionsmöglichkeiten können auch das Framework direkt betreffen. Damit sind z. B. die Einstellung der Sprache oder die Auswahl an Audioeinstellungen gemeint. Interaktionsmöglichkeiten beziehen sich auf folgende Elemente.

- Steuerungselemente zur Änderung von Parametern, z. B. durch Dateneintrag oder Schieberegler
- allgemeine Einstellungen, die sich an das Framework richten, wie z. B. die Sprachauswahl, Ansichtsänderung (z. B. Wechsel zu Stereoskopie-Darstellung), Änderung der Bildschirmauflösung
- Navigationselemente, wie z. B. Aufrufen des Menüs oder Umblättern bei langen Texten
- Modellinteraktion, wie z. B. Rotation, Zoom oder Translation

Screen Layout

Für die Analyse des Screen-Layouts wurden die Lernplattformen noch einmal bezüglich der Anordnung der einzelnen Bereiche untersucht. Dafür wurden vier Bereiche zur Aufteilung des Screens bei allen Plattformen identifiziert. Die Klassen der analysierten Inhaltstypen können bereits den verschiedenen Screen-Layout-Bereichen zugeordnet werden. Neben dem Visualisierungsbereich, bei dem das 3D-Modell im Mittelpunkt steht, werden Informations- und Interaktionsbereiche bereitgestellt. Weitere Visualisierungen, die neben dem 3D-Modell existieren, sind dabei im Informationsbereich als ergänzende visuelle Unterstützung zu finden. Der vierte Bereich ist der Navigation zugesprochen. In diesem befinden sich hauptsächlich der Menü-Button, z. T. der Titel der Anwendung sowie weitere allgemeine Einstellungen zum Framework.

Hieraus ergeben sich zwei Screen-Layout-Varianten, dessen Gemeinsamkeit die zentrale Platzierung des 3D-Modells ist. Zudem ist der Navigationsbereich bei 13 der 16 Lernplattformen im oberen Bereich angeordnet. Bis auf zwei Lernplattformen war das Layout fest verankert. Bei diesen zwei konnten bestimmte Inhaltstypen, wie z. B. Kurztexte oder Aufgaben, ein- und ausgeblendet werden. Bei einer Lernanwendung konnten diese Felder eigenständig verschoben und damit lernerspezifisch angepasst werden.

In Variante 1 sind die weiteren Bereiche in einer L-Form um das 3D-Modell platziert (Abbildung 3-7). In 7 der 16 Lernplattformen wurde diese Anordnung bei der Entwicklung gewählt. Dabei kann der Informationsbereich mit dem Interaktionsbereich kombiniert sein.

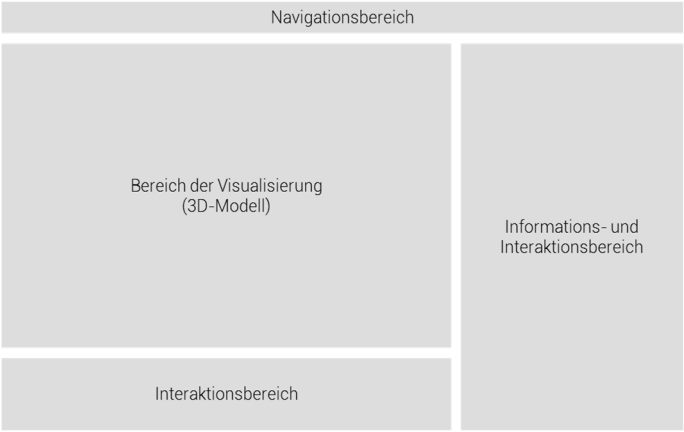


Abbildung 3-7: Variante 1 des Screen-Layouts (L-Form)

In Variante 2 sind der Interaktions- bzw. Informationsbereich links und rechts wie ein Rahmen um das 3D-Modell angeordnet (Abbildung 3-8). Dies wurde in 6 der 16 Lernplattformen identifiziert. Hierbei konnte jedoch nicht eindeutig gekennzeichnet werden, welcher Bereich welcher Seite zugeteilt ist. Wenn ein Bereich jedoch der Information diente, war die andere der Interaktion zugeordnet.

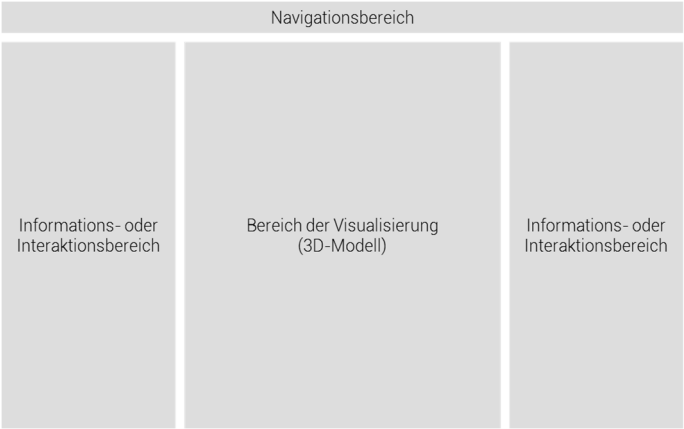


Abbildung 3-8: Variante 2 des Screen-Layouts (Rahmen-Form)

Diskussion

Das Ergebnis dieser Analyse erbrachte zwei wesentliche Erkenntnisse. Zunächst konnten typische Inhaltstypen gekennzeichnet werden, die entsprechenden Klassen in 3D-Lernanwendungen zugeteilt sind. Neben den drei Klassen Visualisierung, Information und Interaktion, entstand eine Liste an Inhaltstypen, die wiederkehrend in 3D-Lernanwendungen zu finden sind. Als zweites Ergebnis wurden zwei Varianten des Screen-Layouts identifiziert, die in den 3D-Lernanwendungen verwendet werden. Die Ergebnisse sind maßgeblich für die Entwicklung der geplanten 3D-Patterns (Kapitel 4).

3.2 Empirische Studien

Das angestrebte nutzerzentrierte Vorgehensmodell soll die Entwicklung von 3D-Modellen für die ingenieurwissenschaftliche Lehre unterstützen. Dafür muss das Grundverständnis für 3D-Modelle in Form von Systematiken und Anforderungen geschaffen werden. Die ersten Systematisierungen entstanden in den analytischen Studien bezüglich des Einsatzes, der Ziele und der Inhaltstypen von 3D-Lernanwendungen. Sie erzeugen eine Basis für den sinnvollen Einsatz von 3D-Modellen. Für eine ganzheitliche Betrachtung zur Entwicklung des nutzerzentrierten Vorgehensmodells müssen nun die Nutzer und Nutzerinnen als Zielgruppe einbezogen werden. Das sind auf der einen Seite die Erschaffer und Erschafferinnen, also Lehrende sowie Entwickler und Entwicklerinnen, die das 3D-Modell konzipieren und für den Lernprozess umsetzen. Auf der anderen Seite stehen die Lernenden, die mit dem 3D-Modell lernen. Im nächsten Schritt greifen vier empirische Studien die Fragestellung der Forschungslücke auf und zeigen unter Einbeziehung der Zielgruppen, welche Anforderungen für den idealen Einsatz von 3D-Modellen erfüllt werden müssen. Dazu werden Vertreter und Vertreterinnen der Zielgruppe direkt befragt. Die leitfadengestützten Interviews wurden dazu gewählt, um ein gleiches Verständnis der 3D-Modelle zu vermitteln und schneller auf mögliche Nachfragen zu reagieren. Studie 1 zeigt die Erfahrungen und Anforderungen an 3D-Lernanwendungen aus Entwickler/-innen- und Lehrendensicht. Studie 2 listet die Anforderungen an 3D-Lernanwendungen aus Sicht der Lernenden auf. Für diese Studie werden zu Beginn Interviews durchgeführt, um eine direkte Befragung mit möglichen Erklärungen durchzuführen. In anschließenden Fokusgruppen werden die Anforderungen konkretisiert. Durch Diskussionen innerhalb der Gruppen soll garantiert werden, dass die Anforderungen vollständig erfasst werden.

Um die ergonomischen Anforderungen und Herausforderungen zu ergründen, wird in Studie 3 ein Usability-Test mit erstellten 3D-Modellen durchgeführt. Anhand der Beobachtung können dabei z. B. schwerwiegende Fehler in der Bedienung der 3D-Modelle festgestellt werden.

Es wird angenommen, dass interaktive 3D-Modelle von Lernobjekten der Ingenieurwissenschaften dazu beitragen, den Lernerfolg zu verbessern. Dazu soll in der vierten Studie überprüft werden, ob die Behaltensleistung durch den Einsatz der 3D-Modelle erhöht und dadurch der Aufwand gerechtfertigt wird. Dies soll komparativ zu 3D-Grafiken (statische Ansicht des 3D-Modells) getestet werden. Abbildung 3-9 zeigt die empirischen Studien zur Untersuchung der 3D-Lernanwendungen. Die Ergebnisse fließen in die Erarbeitung der 3D-Patterns ein.

Abbildung 3-9: Empirische Studien zu 3D-Lernanwendungen

3.2.1 Fallstudie

Die folgenden Studien erfolgen im Rahmen des BMBF-geförderten Projektes NanoTecLearn [Hirt 2016], das eine Wissensplattform mit spezifischen Lerneinheiten für die Mikrosystemtechnik und Nanotechnologie (Oberbegriff Mikrotechnologie) entwickelt. Die Wissensplattform adressiert Lehrende sowie Lernende von Auszubildenden bis zu promovierten Ingenieuren und Ingenieurinnen. Für die Studien werden diese Zielgruppen genutzt, da zum einen die Mikrosystemtechnik und Nanotechnologie zu den Ingenieurwissenschaften zählen und zum anderen die Lernenden in ihrer Aus- und Weiterbildung eine Besonderheit darstellen. Über die Hälfte der Auszubildenden sowie Techniker und Technikerinnen besitzen das Abitur als höchsten Bildungsabschluss (Kapitel 3.2.3). Damit haben sie die gleichen Voraussetzungen wie die Studierenden der Hochschullehre zu Beginn des Studiums.

Die Lerneinheiten auf NanoTecLearn beinhalten Hypertexte, interaktive Formeln, Probensets von Nanostrukturen und -partikeln sowie vier interaktive 3D-Modelle von Werkzeugen der Mikrotechnologie. Bei den gewählten Werkzeugen handelt es sich um ein Lichtmikroskop, ein Rasterelektronenmikroskop (REM), ein Focused Ion Beam (FIB) und ein Kontaktwinkelmessgerät. Sie werden für die Studien verwendet, da sie den Kriterien aus Kapitel 3.1.2 entsprechen. Im Einzelnen weisen sie dabei einen komplexen

Aufbau auf, wodurch mehrere Blickwinkel zum Betrachten benötigt werden. Vor allem jedoch stehen z. B. ein FIB oder REM nicht jedem Lernenden zur Verfügung, da sie meist aufgrund der Kosten in geringer Anzahl angeschafft werden. Die Aufnahmeprozesse laufen im Inneren des Werkzeugs ab, wodurch verdeckende Elemente vorhanden sind. Schließlich sollen die Prozesse verstanden werden, die hierbei durch Animationen oder Teilanimationen dargestellt werden. Damit sind alle fünf Kriterien erfüllt, die eine Umsetzung zunächst rechtfertigen.

3.2.2 Anforderungen der Lehrenden sowie Entwickler und Entwicklerinnen

Ziel

Aus den Analysen (Kapitel 3.1) ging hervor, dass 3D-Modelle als Demonstrator in der ingenieurwissenschaftlichen Hochschullehre wenig eingesetzt werden. Dieser Umstand führt zur Durchführung der Studie mit Experten und Expertinnen, die bereits Erfahrungen mit 3D-Modellen für die Lehre sammeln konnten. Das Ziel ist es, diese Erfahrungen der Zielgruppe Lehrende sowie Entwickler und Entwicklerinnen zu sammeln und in das angestrebte Vorgehensmodell einfließen zu lassen. Dazu soll die bisherige Vorgehensweise bei der Entwicklung der 3D-Modelle erfasst werden, um wichtige Hinweise und Merkmale für das zu entwickelnde Vorgehensmodell zu erhalten. Zudem sollen Richtlinien und Anforderungen bei der Entwicklung und dem Einsatz von 3D-Modellen abgefragt werden.

Methode

Es werden 14 Experten und Expertinnen mit Hilfe eines Leitfadens interviewt. Diese Experten und Expertinnen haben bereits Erfahrung mit dem Entwickeln dreidimensionaler Visualisierungen und dem Einsatz in der Lehre gesammelt. Der Leitfaden beinhaltet vier inhaltliche Kategorien (Tabelle 3-3), die mit jeweils drei bis fünf Fragen abgefragt werden. Die Befragten erklären die Anforderungen an 3D-Lernanwendungen und reflektieren die Erfahrungen beim Engineering Prozess aus Entwickler- und Lehrendensicht. Zudem werden Lernziele der von den Experten und Expertinnen entwickelten 3D-Lernanwendungen und die genutzten Richtlinien abgefragt. Die Kategorien sind innerhalb des Leitfadens in einen Rahmen integriert, der aus einer Einführung zu Beginn und Ergänzung am Ende besteht. Abschließend wird die Forschungslücke mit den Interviewten diskutiert.

Tabelle 3-3: Inhaltliche Kategorien des Leitfadens

Kategorie	Inhalt
Kategorie 1	3D-Visualisierungen
Kategorie 2	Lernziele
Kategorie 3	Engineering Prozess
Kategorie 4	3D-Regeln und Richtlinien

Für diese Studie wurden drei Frauen und elf Männer für die Interviews gewonnen. Davon waren drei Entwickler, sechs Lehrende sowie fünf Interviewte mit der Doppelfunktion als Entwickler und Lehrender. Zwölf Interviewpartner und -partnerinnen waren aus den Fakultäten der Technischen Universität Ilmenau. Ein Lehrender von der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm sowie ein Entwickler des Fraunhofer-Instituts IMT konnten gewonnen werden. Die Interviewdauer betrug im Schnitt 90 Minuten. Sie fanden im Wintersemester 2014/2015 statt. Jedes Interview wurde auditiv aufgenommen, um die Auswertungen im Detail nachzuvollziehen.

Ergebnis

3D-Visualisierungen

Das wichtigste Ergebnis der Interviews ist der Stellenwert des 3D-Modells in einer Lernanwendung. Es wurde von 9 der 14 Interviewten verdeutlicht, dass die Interaktivität einer 3D-Lernanwendung die wesentliche Eigenschaft darstellt und besonderer Beachtung geschenkt werden muss. Das 3D-Modell ist dabei nur eine mögliche Form der Visualisierung, die in speziellen Fällen Vorteile bringt. Die anzustrebende Motivation zum Lernen steigt jedoch laut Experten und Expertinnen durch das selbstständige Ausprobieren und damit das explorative Entdecken innerhalb der 3D-Lernanwendung. Demzufolge ist eine hohe Interaktivität wertvoller als die Art der Visualisierung. Das zeigt sich auch in der Nennung der entwickelten 3D-Beispiele. Viele der 3D-Lernanwendungen zeigen grafische 3D-Elemente, die lediglich eine Perspektive aufweisen und daher nicht als 3D-Modell vorliegen, sondern laut Definition aus Kapitel 2.1.3 als Grafik bzw. Bild. Das waren z. B. Grafiken eines interaktiven Versuchsaufbaus aus der Physik oder eines Oszilloskops (interaktive Bildschirmexperimente). Durch diese Gegebenheit hatten die Interviewten ihren Fokus auf die interaktiven Möglichkeiten und Funktionen innerhalb der Lernanwendung gelegt.

Lernziele

Eine Herausforderung war es für alle Interviewpartner und -partnerinnen, die Lernziele anhand von Systematiken, wie z. B. der Bloom'schen Taxonomie [Bloom et al. 1973], konkret zu nennen. In über der Hälfte der Interviews wurde das Ziel der 3D-Beispiele als „Visualisieren“ und „Abbilden“ bestimmter und fachspezifischer Lerngegenstände beschrieben.

Die Lehrenden aus dem Bereich des Maschinenbaus und der Elektrotechnik sehen in den 3D-Modellen einen wesentlichen Vorteil. Sie berichteten vom fehlenden räumlichen Vorstellungsvermögen vieler Studierender vorrangig in den ersten Semestern eines Ingenieurstudiums. Laut neun Interviewpartnern unterstützen die 3D-Modelle die Vorstellung von räumlichen, komplexen Gebilden. Eine Herausforderung aus der Elektrotechnik ist das Transformieren der Darstellung technischer Gebilde von einer Ansicht in eine andere, wie z. B. von der Draufsicht auf eine Seitenansicht des Objekts. Der Übergang kann hier durch Rotieren der 3D-Modelle geschaffen werden. Die Maschinenbauer und Maschinenbauerinnen sehen vor allem die Vorteile bei der Übertragung von komplexen Bauteilen in technische Zeichnungen. Oft werden verdeckte Kanten vernachlässigt, die durch das gesamtheitliche Visualisieren sichtbar werden. Die 3D-Modelle unterstützen damit die Lernenden in der Entwicklung eines mentalen Modells.

Engineering Prozess

Weiterhin wurde deutlich, dass nach keinem systematischen Engineering Prozess gearbeitet wurde. Zu Beginn einer Entwicklung bestand die Idee einer möglichen 3D-Visualisierung, wie z. B. eines Asynchronmotors für die Elektrotechnik oder das Abbilden eines Prozesses in einem Informatiklabor, die dann in verschiedenen Überarbeitungsphasen entwickelt wurden. Dadurch wurden sehr viele Iterationsstufen bei der Erstellung durchlaufen, um sich der finalen 3D-Lernanwendung anzunähern. Endnutzertests wurden in den genannten Beispielen nicht erwähnt.

Da die Maschinenbauer und Maschinenbauerinnen nach der Einteilung der 3D-Modelle im Lehrkontext aus Kapitel 2.3 auch das Modellieren lehren, ist für sie der Erstellungsprozess gut abschätzbar. Das betrifft jedoch das reine Modellieren. Die anschließende inhaltliche, didaktische und technische Aufbereitung lässt sich schwer vorhersagen. Bei zwei der drei Elektrotechniker wurde während der Interviews die Frage aufgeworfen, ab welchem Zeitpunkt sich ein 3D-Modell für den Einsatz in der Lehre lohnt. Dies gilt es

laut Definition der Forschungslücke (Kapitel 2.4) zu ergründen. Eine Möglichkeit ist das Abschätzen des Aufwandes mit Hilfe einer Entscheidungshilfe (Kapitel 5).

Regeln und Richtlinien

Die Experten und Expertinnen konnten wenige Richtlinien bei der Entwicklung von 3D-Lernanwendungen konkret benennen. Eine wichtige Regel sollte laut drei Experten bei der Interaktion beachtet werden. Vordergründig bei Bedienabläufen sollten Fehler durch die Nutzer und Nutzerinnen zugelassen und die Möglichkeit gegeben werden, diese direkt beheben zu können. Ist in einem virtuellen Messaufbau ein Voltmeter beispielsweise kaputtgegangen, müssen die Nutzer und Nutzerinnen diesen mit Hilfe eines Schraubenziehers und einer neuen Batterie reparieren. Laut zwei Maschinenbauern sollten Fehler unverzüglich in der 3D-Lernanwendung angezeigt werden. Allgemein erweisen sich bei den Lehrenden Unsicherheiten bezüglich der korrekten Medienwahl. Hierbei ist es oftmals nicht klar, ob ein interaktives 3D-Modell erstellt werden muss oder eine Videoanimation ausreicht. Hier werden Regeln oder Richtlinien eingefordert.

Der Leitsatz der Interviewpartner war es, die Lernanwendung „so einfach wie möglich“ zu gestalten. Dies betonten 8 der 14 Befragten. Ein Lehrender aus der Informatik beschrieb dabei detailliert die darauf bezogenen Eigenschaften. Das 3D-Modell sollte lediglich das darstellen, worauf zu Beginn der Fokus gesetzt wurde. Das bedeutet, dass aufwändig gestaltete Hintergründe oder zusätzliche Bauteile bei der 3D-Visualisierung besser vermieden werden, damit sich die Lernenden auf das wesentliche Lernziel konzentrieren können. Weiterhin wurde bezüglich der Interaktion das Negativbeispiel der virtuellen Umgebung genannt. Hier sind virtuelle Welten, die der Nutzer oder die Nutzerin als Avatar durchlaufen kann, gemeint. Die Bewegungssteuerung des Avatars durch Interaktion ist oftmals nicht Bestandteil des Lernziels. Dies übersteigt weiterhin den Programmier- und Modellierungsaufwand. Die Interaktion sollte sich daher auf das 3D-Objekt beziehen.

Aus den Antworten der Lehrenden sowie Entwickler und Entwicklerinnen lassen sich folgende Anforderungen an die 3D-Modelle ableiten:

- Das 3D-Modell muss interaktiv sein.
- Die Interaktion sollte sich auf das 3D-Modell beziehen.
- Das 3D-Modell muss so einfach wie möglich sein.
- Unnötiges Ausschmücken der 3D-Lernanwendung sollte vermieden werden.

- Das 3D-Modell muss die Erreichung des Lernziels durch entsprechende Funktionen und Darstellungen gewährleisten.
- Die Rotation für die Stärkung der räumlichen Vorstellungskraft sollte stets gegeben sein.
- Fehler sollten zugelassen werden und eventuell die Anwendung zurücksetzen.
- Ergebnisse und Fehler müssen sofort erkennbar sein.
- Das 3D-Modell sollte für eine gute Performance auf die nur nötigen Polygone reduziert werden.

Diskussion

Die Erwartungen an mögliche Richtlinien und Erfahrungen aus den Prozessen waren vor den Interviews sehr hoch. Reflektierend war die Fülle an weiteren Informationen für diese entsprechend kurzen Interviews weiterhin zu hoch angesetzt. Dass hierbei leitfadengestützte Interviews gewählt wurden, erwies sich trotzdem als sinnvoll. In einer Fokusgruppe wären möglicherweise die fehlenden Erfahrungen und Informationen als Schwäche angesehen und der Fokus folglich auf angrenzende Themen umgeleitet worden. Dies fand teilweise bereits in den Interviews statt.

Für diese Arbeit werden die berichteten vielen Iterationsstufen bei der Entwicklung von 3D-Visualisierungen als wichtiges Ergebnis der Interviews angesehen. Um diese Iterationen zu umgehen und bereits von Beginn an ein systematisches Verfahren vorzugeben, entspricht das angestrebte Vorgehensmodell einer möglichen Lösung. In den Interviews wurde das Vorhaben zur Entwicklung eines Vorgehensmodells diskutiert und durch alle Interviewpartner als sinnvoll angesehen. Eine Anleitung zur nutzerzentrierten Erstellung von 3D-Modellen für die Hochschullehre ist bisher nicht bekannt und könnte die Entwicklung unterstützen.

3.2.3 Anforderungen der Lernenden

Ziel

Der Bedarf des Vorgehensmodells für die Erstellung von 3D-Modellen wurde durch die Lehrenden sowie Entwickler und Entwicklerinnen in der vorangegangenen Studie bestätigt. Sie können diese Anleitung nutzen, um 3D-Modelle effizient zu entwickeln. Dafür ist es für die Lehrenden sowie Entwickler und Entwicklerinnen wichtig, die Zielgruppe

der Lernenden und deren Anforderungen an 3D-Modelle genau zu kennen, um diese nutzerzentriert und zufriedenstellend zu entwickeln. In Kapitel 3.1.3 wurde gezeigt, dass 3D-Modelle selten alleinstehen, sondern in eine Lernanwendung integriert werden. Die Informationen sind dabei ein bedeutendes Element. Diese können als Lang- bzw. Kurztexte oder in Aufgaben bereitgestellt werden. Die Lernenden müssen diese Informationen entsprechend ihren Gewohnheiten im Umgang mit digitalen Medien leicht finden können. Damit wird innerhalb der folgenden Studie neben den Anforderungen an 3D-Lernanwendungen, und somit der Darstellung der allgemeinen Lerngewohnheiten, weiterhin speziell auf die Präsentation von Texten und Informationen innerhalb von 3D-Lernanwendungen abgezielt.

Die Studie hat das Ziel, die Anforderungen der Lernenden in Bezug auf 3D-Lernanwendungen zu analysieren. Lernende haben heute sehr genaue Vorstellungen wie sie lernen möchten und stellen explizite Anforderungen an Lernanwendungen. Ein entscheidendes Merkmal ist die Informationssuche innerhalb der Lernanwendung, die in dieser Studie weiterhin untersucht wird. Die Frage hierbei ist: Welche Anforderungen haben die Lernenden an die allgemeine Lerngewohnheit sowie an die Informationen innerhalb einer 3D-Lernanwendung?

Methode

Die Studie wird in einem zweistufigen Verfahren durchgeführt. Zunächst sollen in Einzelgesprächen mit Lernenden die Lerngewohnheiten abgefragt werden, um die allgemeinen Anforderungen an 3D-Lernanwendungen abzuleiten. Dies erfolgt in leitfadengestützten Interviews, da hierbei auf Rückfragen eingegangen werden kann. Die Interviews wurden im Sommersemester 2015 mit 13 Lernenden aus drei Firmen und einem Institut in Thüringen durchgeführt. Sie dauerten im Schnitt 90 Minuten. Bedingt durch das BMBF-geförderte Projekt (Kapitel 3.2.1) wurde ein Spektrum von Lernenden angesprochen, die nach ihren arbeitssituierten Lerngewohnheiten befragt wurden und damit heterogene Anforderungen erbrachten. Der Leitfaden bestand aus Fragen zu

1. beruflicher Selbstdarstellung,
2. Weiterbildung und Weiterbildungswunsch,
3. arbeitssituierter Wissensbedarf,
4. arbeitssituierte Wissensvermittlung und
5. Ideenpool.

Beim Ideenpool wurden zusammenfassend Fragen nach gewünschten Methoden, bekannten Anwendungen und Medien der Lernenden gestellt. An dieser Stelle wurden außerdem die Erfahrungen mit 3D-Modellen ermittelt. Tabelle 3-4 zeigt die Interviewpartner und -partnerinnen mit entsprechender beruflicher Qualifizierung nach dem Deutschen Qualifikationsrahmen für lebenslanges Lernen (DQR) [BMBF 2014].

Tabelle 3-4: Interviewpartner und -partnerinnen mit entsprechendem DQR-Niveau

DQR-Niveau	**entsprechend**	**Anzahl (n=13)**
DQR 4	Facharbeiter/-in	3
DQR 5	Meister/-in, Techniker/-in	5
DQR 6 und 7	Hochschulabsolvent/-in (Bachelor, Master)	3
DQR 8	Promovierte/-r Ingenieur/-in	2

Die anschließenden Fokusgruppen wurden im September 2015 mit 33 Lernenden aus dem Bereich der Mikrotechnologie durchgeführt. Die Lernendengruppe bestand aus 19 Probanden sowie 14 Probandinnen (Tabelle 3-5). Mehr als die Hälfte der Probanden und Probandinnen (55%) haben einen Abitur-Abschluss.

Tabelle 3-5: Profile der Probanden und Probandinnen

	Auszubildende	**Techniker/-innen**	**Gesamt**
Anzahl	n=23 11 weiblich 12 männlich	n=10 3 weiblich 7 männlich	n=33 14 weiblich 19 männlich
Alter	zw. 18 und 27 Jahre	zw. 22 und 36 Jahre	∅ 23,18 Jahre

Sie wurden in insgesamt acht Fokusgruppen à vier bzw. fünf Lernenden eingeteilt. Die Aufgabe war es, Lerntexte zu spezifischen mikrotechnologischen Themen zu lesen und zu verstehen. Die Lerntexte wurden nach dem Prinzip der leichten Sprache, arbeitssituiert und entsprechend der erprobten Gliederung nach den openMINTlab-Vorbild [Fleuren 2016, S. 146f] verfasst. In einem dreistufigen Review-Prozess wurden die Texte auf fachliche Korrektheit, Verständlichkeit und Vollständigkeit durch Lehrende und Lernende der TU Ilmenau bewertet. Die Teilnehmenden der Fokusgruppen erhielten die Lerntexte sechs Wochen vor dem Testtermin, um diese mit einem Fragebogen bezüglich folgender Kriterien zu bewerten und deren Stärken und Schwächen aufzuschlüsseln.

- Textverständlichkeit
- Aufbau und Struktur
- Darstellung der Informationen

- Vorwissen
- Formatierung und Formalität

Während der Durchführung der Fokusgruppen wurden die Beispieltexte und die Ergebnisse noch einmal diskutiert und Verbesserungsvorschläge auf Kärtchen gesammelt.

Ergebnis

Leitfadeninterviews

Eine Übersicht der ermittelten Merkmale der DQR-Niveaus sind in Tabelle 3-6 aufgelistet. Innerhalb der einzelnen DQR-Niveaus zeigen sich spezifische Anforderungen und Wissensbedarfe. Diese sind in der darauffolgenden Tabelle 3-7 zusammengetragen. Die DQR 6 und 7, die dem Bachelor und Master entsprechen, wurden zu Hochschulabsolventen und -absolventinnen zusammengefasst, da keine wesentlichen Unterschiede in Bezug auf Wissensbedarf und Aufbereitung der Lerninhalte auffällig waren.

Tabelle 3-6: Übersicht der Lernendengruppen aus den Interviews

	Facharbeiterin, Facharbeiter	**Technikerin, Techniker**	**Hochschulabsolventin, Hochschulabsolvent**	**Prom. Ingenieurin, prom. Ingenieur**
Geschlecht	Hauptsächlich männlich	Hauptsächlich männlich	Hauptsächlich männlich	Hauptsächlich männlich
Computerkenntnisse	mittelmäßig bis sehr gut	Gut bis sehr gut	Sehr gut	Sehr gut
Mögliche Lerndauer im Arbeitsprozess am Tag	30 - 60 min	1 - 2 h	1 - 8 h	1 - 8 h
Arbeitsumgebung	Arbeitsplatz mit Internetzugang, Büro und Reinraum	Arbeitsplatz mit Internetzugang, Büro und Reinraum	Arbeitsplatz mit Internetzugang, Büro und Reinraum	Arbeitsplatz mit Internetzugang, Büro und Reinraum
Arbeitsplatz	Fertigung, Produktion, Forschung	Fertigung, Produktion	Forschung und Entwicklung	Forschung und Entwicklung

Tabelle 3-7: Wissensbedarfe, Wissenstiefe und allgemeine Anforderungen

DQR	**Wissensbedarfe**	**Wissenstiefe**	**Aufbereitung, Anforderung**
4	Grundlagen, Abläufe	Eher gering	– Visuelle Darstellungen, z. B. Videos, hochwertige 3D-Animationen – Videos mit geringer Dauer – Verlinkung zwischen Wissenselementen – einfache Sprache
5	Berechnungen, Parameter	Hoch	– Datenblätter – Aktualität der Informationen und Medien

6 u. 7	Spezialwissen, Prozesse, Zusammenhänge, organisatorische Abläufe, Aufbau	Sehr hoch	– Tiefgründige, aber auch gebündelte Informationen mit Überblick, analog einem Wiki – Kurztexte – Animationen als Video bzw. GIF – Struktur – Gutes Design – Einfachheit – schnelle Verfügbarkeit – optimiert für mobile Endgeräte
8	Spezialwissen, Zusammenhänge, interdisziplinäres Wissen, Einfluss von Parametern, Einfluss auf Prozesse	Sehr hoch	– schnell auffindbar – visuelle Darstellungen – Aktualität der Informationen

Die Lernenden verdeutlichten innerhalb der Interviews die unterschiedlichen Wissensbedarfe. Dabei verfolgen die Lernenden innerhalb ihrer Arbeitsbereiche und deren entsprechenden Aufgaben verschiedene Wissenstiefen, die vom Facharbeiter und Facharbeiterin bis zum promovierten Ingenieur und Ingenieurin stetig spezieller werden. Weiterhin war die Art der Aufbereitung deutlich unterscheidbar. Während die Facharbeiter und Facharbeiterinnen sowie Techniker und Technikerinnen stets betonten, Visuelles leichter zu erfassen, hat für die Ingenieure und Ingenieurinnen die Qualität der Informationen höchste Priorität. Somit werden Informationen oftmals in wissenschaftlichen Publikationen und damit in Textform gesucht. Diese sollten zudem durch eine schlüssige Strukturierung schnell erfassbar sein.

Auffällig war, dass die Lernenden oft 3D-Modelle in ihrer Freizeit nutzen. Apps und Videospiele waren dabei die häufigsten Vertreter. Im Arbeitsalltag sind 3D-Lernanwendungen jedoch seltener aufzufinden.

Aus den verschiedenen Anforderungen der Lernenden lassen sich explizit drei wesentliche Merkmale ableiten, die für alle Lernenden gelten. Die Lernenden möchten ihre Lerninhalte

- in kleinen, schnell erfassbaren Einheiten (kurze Videos und Texte),
- übersichtlich (strukturiert und überblicksartig) und
- mit visuellen Beispielen (Animation, Video, Grafiken), die ansprechend designt sind.

Fokusgruppen

Auch hier wurde deutlich, wie sehr sich die Teilnehmenden kurze Textabschnitte zum Lernen wünschen. In geeigneten Fällen genügen auch lediglich Stichpunkte oder Tabellen. Weiterhin erwiesen die Anwendungs- und Praxisbeispiele einen hohen Stellenwert in einer Lerneinheit. Die einheitliche Gliederung der Lerntexte wurde von 80% der Lernenden als sehr gut oder gut bewertet. Die Zusammenfassung am Ende jeder Lerneinheit fanden 90% der Lernenden wertvoll. Die Teilnehmenden äußerten außerdem den Wunsch nach vielen Visualisierungen. Letzteres erhält in der Mikrotechnologie eine besondere Bedeutung, da die technologischen Vorgänge im Nanometerbereich stattfinden und damit außerhalb unserer Erfahrungswelt liegen. Gleichzeitig kann dieser Umstand auf die Elektrotechnik und den Maschinenbau übertragen werden, da auch hierbei Prozesse ablaufen und Elemente visualisiert werden, die außerhalb der menschlichen Sehleistung liegen, wie z. B. Ströme, Spannungen oder Kräfte. Zusammenfassend lassen sich aus den Fokusgruppen folgende Erkenntnisse bezüglich der Texte gewinnen:

- Forderung von Lernzielen
- viele Visualisierungen
- hohe Verständlichkeit der Texte
- Bedarf an Fallbeispielen, Praxisbeispielen und Anwendungsfällen
- Text soll schnell erfassbar sein
- Text mit strukturierter Information
- Einheitlichkeit der Struktur
- Kompakte Informationen
- Stichpunkte und Tabellen
- Zusammenfassungen am Ende

Diskussion

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die Lernenden schnell auffindbare Informationen, gute Visualisierungen und konkrete Anwendungsbeispiele benötigen. Diese werden bei der Entwicklung der 3D-Patterns sowie des Vorgehensmodells berücksichtigt. Die einzelnen Anforderungen aus den Interviews und den Fokusgruppen verdeutlichen, dass die Lernenden sehr klare Vorstellungen bezüglich ihrer gewünschten Wissensvermittlung besitzen und diese explizit kommunizieren können.

3.2.4 Studie zur Ergonomie von 3D-Modellen

Ziel

Die vorangegangene Studie zeigte die Anforderungen der Lernenden bezüglich der Aufbereitung der Lerninhalte inklusive der Texte für die 3D-Lernanwendungen. Neben den Lerninhalten ist die Ergonomie für die Nutzung von großer Bedeutung (Kapitel 2.3). Die Ergonomie muss für die Lernenden angemessen sein, um mit einem interaktiven 3D-Modell optimal zu lernen. Diese Studie bezieht sich somit auf die Ergonomie der 3D-Lernanwendungen aus der Sicht der Lernenden. Hierfür werden 3D-Modelle der Werkzeuge aus der Mikrotechnologie aufgrund der Projektnähe (Kapitel 3.2.1) entwickelt.

Das Ziel der Studie ist es, die Anforderungen der Lernenden in Hinblick auf die Ergonomie und damit die Benutzerfreundlichkeit zu untersuchen. Es werden vier 3D-Modelle entwickelt, die für die Lernenden einfach zu bedienen sind und deren Interaktionsmöglichkeiten und Informationen das Erreichen von vorgegebenen Lernzielen ermöglichen. Die dazu bereitgestellten Informationen werden entsprechend den Anforderungen aus der vorangegangenen Studie aufbereitet.

Methode

Zur Durchführung wird ein zweistufiges Verfahren genutzt. In der Vorstudie sind alle aufbereiteten Informationen und das 3D-Modell durch Experten und Expertinnen auf fachliche Korrektheit zu prüfen, da das Themenfeld der Mikrotechnologie eine hohe Verständlichkeit verlangt. Anschließend erfolgt der Usability-Test mit Lernenden, die die 3D-Modelle auf einfache Interaktion testen. Die entwickelten 3D-Modelle sind typische Werkzeuge, wie sie in der Mikrotechnologie zum Einsatz kommen. Im Einzelnen sind dies ein Lichtmikroskop, ein Rasterelektronenmikroskop (REM), ein Focused Ion Beam (FIB) und ein Kontaktwinkelmessgerät, wie Abbildung 3-10 zeigt. Sie entsprechen den fünf Kriterien zur sinnvollen Umsetzung eines 3D-Modells aus Kapitel 3.1.2:

- Verdeckung: Prozesse laufen im Inneren ab, teilweise liegen wichtige Bauteile an der Rückseite der Werkzeuge
- Verfügbarkeit: oftmals ist nur eine geringe Anzahl in den Laboren vorhanden
- Dynamik: animierte Prozesse sind zur Demonstration notwendig
- Komplexität: sehr komplexer Aufbau der Werkzeuge
- Betrachtung: es werden mehrere Blickwinkel zur Betrachtung benötigt

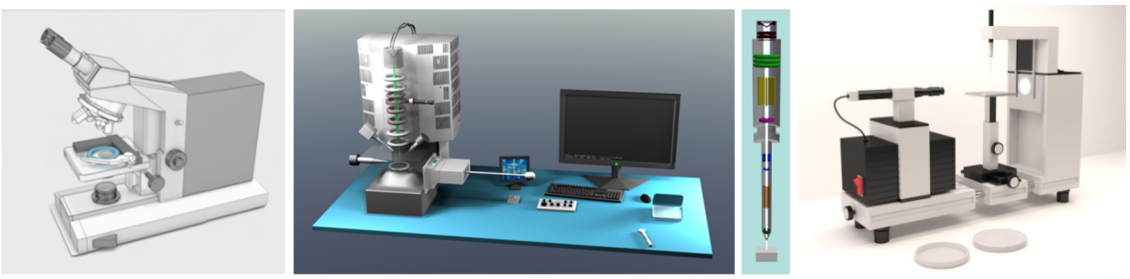


Abbildung 3-10: Lichtmikroskop, Rasterelektronenmikroskop, Focused Ion Beam und Kontaktwinkelmessgerät als 3D-Modell

Vor der Entwicklung der 3D-Lernanwendung mussten zunächst die Lernziele festgelegt werden. Den 3D-Modellen wurden dann den Lernzielen entsprechende Inhaltstypen und Funktionalitäten hinzugefügt. Die Lernziele für die Lernenden waren im Sinne der Bloom'schen Taxonomiestufen [Bloom et al. 1973]:

- Die Lernenden können die Komponenten des Aufbaus der Werkzeuge benennen.
- Die Lernenden können die Funktionsweise der Werkzeuge erläutern.

Zur Lernzielerreichung wurden folgende Inhaltstypen (gemäß Kapitel 3.1.3) integriert:

- Langtexte zur Beschreibung der Funktionsweise
- Kurztexte zur Erläuterung der Bauteilfunktion
- Beschriftungen zur Benennung der Bauteile
- Animationen und Teilanimationen spezifischer Prozesse des Werkzeugs
- Kamerasteuerungselemente

Die 3D-Modelle besaßen jeweils folgende Funktionalitäten bezüglich der Interaktion:

- Rotieren
- Zoomen
- Verschieben
- Selektieren von Bauteilen bzw. Komponenten
- Abspielen von Animationen und Teilanimationen am 3D-Modell
- Ändern von Parametern
- Ein- und ausblenden von Beschriftungen
- An- und abwählen des Vollbildmodus

Für die Evaluation der fachlichen Korrektheit der beschriebenen Bauteile und Funktionsweisen wurde eine Vorstudie durchgeführt. Hierfür nahmen zwölf Experten und Exper-

tinnen aus der Mikrotechnologie an einem Usability-Test teil. Die Vorstudie fand im Sommersemester 2015 im Usability-Labor der TU Ilmenau statt. Die Experten und Expertinnen hatten die Aufgabe, die 3D-Modelle auf die ergonomische, didaktische und fachliche Qualität anhand von Lernaufgaben zu analysieren. Kriterien waren z. B. die Effektivität und Effizienz des Lernvorgangs und die Lenkung der Aufmerksamkeit auf die relevanten Kernkomponenten.

Zwischenergebnis

Durch die Vorstudie konnten die Experten und Expertinnen Hinweise zur Verbesserung der fachlichen Details geben. Die realen Werkzeuge aus der Mikrotechnologie weisen eine Vielzahl an Funktionen auf, die für die Vorstudie nicht umgesetzt wurden. Somit ergab sich aus dem Test eine Liste zur Steigerung der Interaktionsmöglichkeiten und der Korrektur, die in Tabelle 3-8 erfasst ist.

Tabelle 3-8: Verbesserungen aus der Vorstudie

Werkzeug	**Korrektur und weitere Funktionalitäten**
Lichtmikroskop	Visualisieren des Lichtstrahls Integrieren von Ausgabebildern Umschalten auf Hellfeld und Dunkelfeld
Rasterelektronenmikroskop	Korrektur der Beschriftung der Detektoren Kondensoranzahl verringern
Kontaktwinkelmessgerät	Variation der Flüssigkeiten Integrieren von Ausgabebildern
Focused Ion Beam	Integrieren von Ausgabebildern

3D-Modelle bieten generell vielfältige Interaktionsmöglichkeiten. Jedoch muss die Interaktionsmöglichkeit dem Lernziel, das durch die Lehrenden festgelegt wird, entsprechen. Weitere Funktionalitäten könnten die Lernenden vom eigentlichen Lernziel ablenken. Nach der Korrektur der Informationen und Bauteilbeschriftungen wurden die Ausgabebilder der jeweiligen Werkzeuge und das Umschalten auf Hell- und Dunkelfeld beim Lichtmikroskop umgesetzt.

Nach der Vorstudie wurde ein Usability-Test mit den 33 Lernenden (Auszubildende sowie Techniker und Technikerinnen der Mikrotechnologie) aus Kapitel 3.2.3 durchgeführt. Dieser fand im September 2015 im Rechnerlabor der TU Ilmenau statt. Der Test wurde an klassischen PCs mit Tastatur und Maus sowie mit Tablets als Eingabegeräte durchgeführt. Die Probandengruppe wurde in drei kleinere Gruppen aufgeteilt, sodass zehn bzw. elf Probanden und Probandinnen pro Gruppe am Test teilnahmen. Es wurden zwei der

vier 3D-Modelle aufgrund des vorgegebenen, kurzen Zeitfensters für den Test ausgewählt. Verwendet wurden das Rasterelektronenmikroskop (REM) sowie das Focused Ion Beam (FIB), die Abbildung 3-11 zeigt. Sie wurden aufgrund ihrer hohen Komplexität, der vielfältigen Interaktionsmöglichkeiten und der geringeren Bekanntheit bei den Lernenden gewählt.

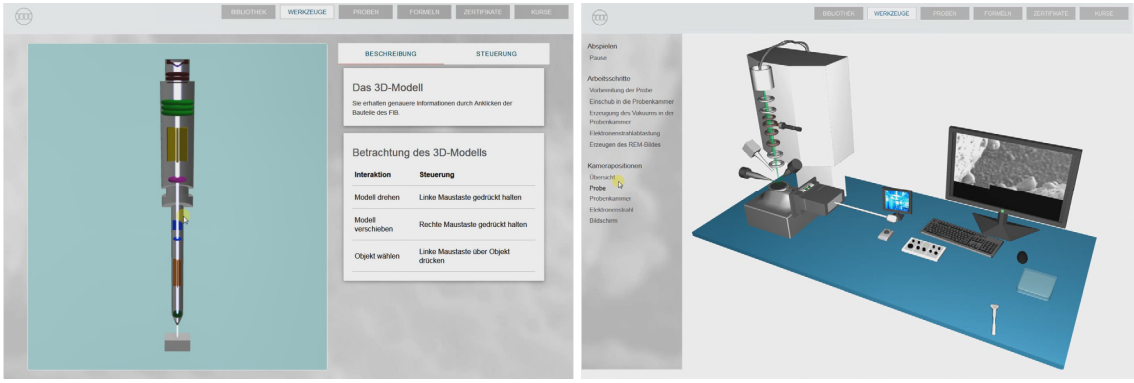


Abbildung 3-11: Interaktive 3D-Modelle (FIB links und REM rechts) für den Ergonomie-Test

Mit dem Rasterelektronenmikroskop ist eine Vergrößerung bis in den Nanometerbereich möglich. Es dient so der Analyse von Nanostrukturen. Die Aufgabe des Focused Ion Beams ist das Abtragen von Material im Nanobereich. Es dient damit der Bearbeitung und Manipulation von Nanostrukturen. Für die Beschreibung der Werkzeuge wurde den Lernenden zusätzlich der Lerntext aus Kapitel 3.2.4 in einer Lerneinheit zur Verfügung gestellt. Dieser wurde aufgrund der Struktur der Wissensplattform separat abgelegt und enthielt eine Verlinkung zum 3D-Modell. Der Usability-Test umfasste folgende Aufgaben:

- Finden der Verlinkung vom Lerntext zum 3D-Modell
- Zurückspringen zum Lerntext
- Interaktionen am 3D-Modell: Rotation, Zoom, Verschiebung, Selektion
- Ein- und ausblenden von Beschriftungen
- Abspielen, pausieren und wiederholen der Animation

Der Test enthielt konkrete Aufgaben zur Bedienung der 3D-Modelle inklusive eines Fragebogens, den die Probanden und Probandinnen nach Beenden der jeweiligen Aufgaben ausfüllten. Für die User Experience, die zur Attraktivität und Akzeptanz beisteuert, wurde der User Experience Questionnaire (UEQ) [Laugwitz et al. 2008, S. 63–76] genutzt. Weiterhin erfolgte eine Beobachtung durch die Testleiterin sowie durch das Screenrecording, das die Interaktionen der Teilnehmenden aufzeichnete. Nach dem Test wurde in der Gruppe über die Eindrücke und das Bedienen der 3D-Modelle diskutiert. Abbildung 3-12

visualisiert das Testkonzept inkl. der Vorstudie mit den Probanden und Probandinnen.

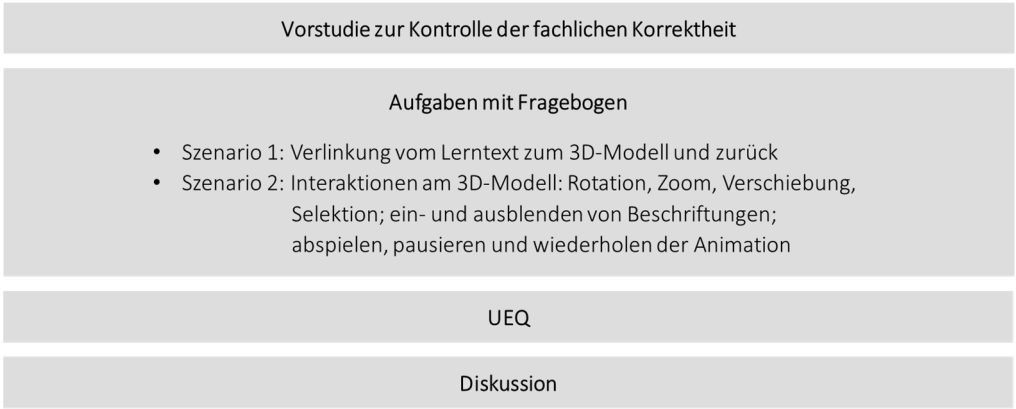


Abbildung 3-12: Testkonzept

Ergebnis

Der Test zeigte, dass die gestellten Aufgaben einfach zu bewältigen waren und die Lernenden intuitiv mit dem 3D-Modell interagierten. Anhand der Beobachtungen war es für sie einfach das 3D-Modell zu steuern. Das betraf auch das Ein- und Ausblenden der Beschriftungen und das Benutzen der Steuerungselemente. Typischerweise wurde das 3D-Modell als erstes durch Gedrückthalten der linken Maustaste rotiert. Anschließend folgte in den meisten Fällen das Zoomen durch Bewegen des Scrollrades. Das Verschieben, das durch Drücken und Halten beider Maustasten realisiert wird, entsprach nicht bisher gelernter Interaktionsweisen und wurde demnach nicht durchgeführt.

Die UEQ-Auswertung zeigte eine überdurchschnittliche Bewertung in den Bereichen Attraktivität, Durchschaubarkeit, Effizienz und Stimulation, wie Abbildung 3-13 zeigt. Die Originalität wurde durchschnittlich mit „gut“ bewertet. Lediglich die Steuerbarkeit erweist sich als nicht zufriedenstellend. Dies ist damit zu begründen, dass die Probanden und Probandinnen die Steuerung auf der Wissensplattform bzw. vom Lerntext zum 3D-Modell und zurück in die Bewertung einfließen ließen.

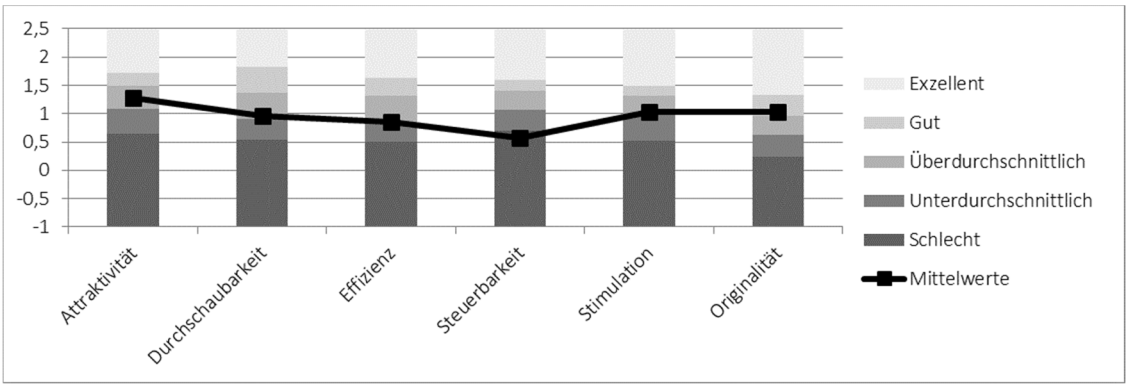


Abbildung 3-13: Auswertung des UEQ

Nach dem Test wurden Stärken, Schwächen und das damit verbundene Verbesserungspotenzial diskutiert. Neben ansprechenderen Farben und eine Erhöhung der Kontraste zeigten vor allem textliche Beschreibungen Potenzial zur Verbesserung. Die Lernenden vermissten konkrete Aufgaben in Textform. Auch Bedienhinweise wären aus Sicht der Lernenden wünschenswert, da die 3D-Lernanwendung im ersten Moment eine hohe Komplexität verbildlicht. Schließlich verlangten die Lernenden eine Intensivierung der Interaktionsmöglichkeiten. Sie hätten gern noch weitere Aufgaben gelöst, da die gestellten Aufgaben in kurzer Zeit bearbeitet waren. Für eine intensive Auseinandersetzung mit dem Werkzeug sind daher weitere Aufgaben wünschenswert.

Diskussion

Diese Studie hatte das Ziel, 3D-Modelle für Lernende auf ihre ergonomischen Aspekte zu untersuchen. Die Ergebnisse zeigten vor allem, dass eine Intensivierung arbeitssituierter Interaktionsmöglichkeiten als wesentlich für die Effektivität und Effizienz angesehen wurde. Die Probanden und Probandinnen wollen selbst aktiv werden und arbeitssituierte Aufgaben interaktiv ausführen, um Vorgänge besser zu verstehen und auf den Arbeitsalltag abzubilden. Die Lernenden zeigten vor allem großes Interesse an den 3D-Modellen. Wie die Studie in Kapitel 3.2.3 gezeigt hat, konnten die Lernenden bereits viel Erfahrung mit 3D-Modellen im privaten Bereich sammeln. Daher kannten sie sich überwiegend mit der Bedienung der 3D-Modelle aus. Für den Arbeitsalltag bzw. im schulischen Bereich werden diese jedoch kaum eingesetzt. Damit zeigte sich, dass sich die Lernenden sich intensiver und motivierter mit Lerngegenständen auseinandersetzen, wenn diese interaktiv aufbereitet sind. Neben der überdurchschnittlichen Bewertung der 3D-Lernanwendungen bezüglich der User Experience konnten weiterhin viele Verbesserungsvorschläge gesammelt werden. Dies beweist wiederholt die Fähigkeit der Lernenden, ihre Anforderungen und Ansprüche an Lerninhalte konkret und detailliert äußern zu können.

3.2.5 Studie zur Behaltensleistung

Ziel

Das mit dem 3D-Modell Gelernte soll lange im Gedächtnis der Lernenden gespeichert und abgerufen werden können. Die Studie hat daher das Ziel, den Zusammenhang zwischen Behaltensleistung von statischen 3D-Grafiken und interaktiven 3D-Modellen zu

untersuchen (Definition in Kapitel 2.1.3). Eine der ersten Überlegungen galt der Erstellung von interaktiven 3D-Modellen. Diese ist vor allem sehr zeit- und kostenaufwendig. Die Interaktivität von 3D-Modellen ist mit einem erheblichen Programmieraufwand verbunden. Dies führte zu der Frage, ob dieser Mehraufwand durch eine deutliche Steigerung der Behaltensleistung gerechtfertigt ist.

Dazu wird mit 33 Auszubildenden sowie Technikern und Technikerinnen, die aufgrund der Projektnähe ausgewählt wurden (Kapitel 3.2.1), ein Test durchgeführt, in dem die Behaltensleistung bei den 3D-Visualisierungen verglichen wird. In dem Test soll prozedurales Wissen zu typischen Geräten in der Mikrotechnologie erworben werden. Hierfür werden zunächst typische Arbeitsprozesse an technischen Geräten analysiert und jeweils als statische 3D-Grafik und interaktives 3D-Modell aufbereitet. In dem Test werden die Auszubildenden sowie Techniker und Technikerinnen dazu aufgefordert anhand der jeweiligen 3D-Visualisierung diese Prozesse zu erlernen und durch eine vergleichende Wissensabfrage vor und nach dem Erlernen hierzu befragt. Hieraus wurde die Hypothese für diese Studie entwickelt:

„Arbeitssituierte Interaktion mit 3D-Modellen steigert die Behaltensleistung von prozeduralem Wissen.“

Es wird angenommen, dass 3D-Modelle von Lernobjekten dazu beitragen, den Lernerfolg zu verbessern.

Methode

Um die Behaltensleistung zu untersuchen, wurde ein komparativer Test erarbeitet. Für die Untersuchung wurden zwei typische Werkzeuge ausgewählt und als 3D-Grafik ohne Interaktionen und 3D-Modell mit Interaktionen und arbeitssituierten Animationen entwickelt. Die typischen Werkzeuge waren das Rasterelektronenmikroskop (REM) und das Focused Ion Beam (FIB). Sie wurden aufgrund der Erfüllung der fünf Einsatzbedingungen aus Kapitel 3.1.2 sowie ihrer hohen Komplexität, der vielfältigen Interaktionsmöglichkeiten und der geringen Bekanntheit bei den Lernenden gewählt. Mit dem Rasterelektronenmikroskop ist eine Vergrößerung bis in den Nanometerbereich möglich. Das REM dient somit der Analyse von Nanostrukturen. Die Aufgabe des Focused Ion Beams ist das Abtragen von Material im Nanobereich. Es dient damit der Bearbeitung und Manipulation von Nanostrukturen.

Um gleiche Testvoraussetzungen zu schaffen, mussten alle interaktiven und animierten Elemente der Werkzeuge für die statische Variante textlich ausformuliert und detailliert erklärt werden (Abbildung 3-14 und Abbildung 3-15). Da die Visualisierungen zuerst als 3D-Modelle vorlagen, konnten daraus leicht 3D-Grafiken für den statischen Untersuchungsfall exportiert werden. Die Effizienz und die visuelle Vergleichbarkeit waren hierbei ausschlaggebend.

Abbildung 3-14: Statische (links) und interaktive 3D-Visualisierung (rechts) des Rasterelektronenmikroskops

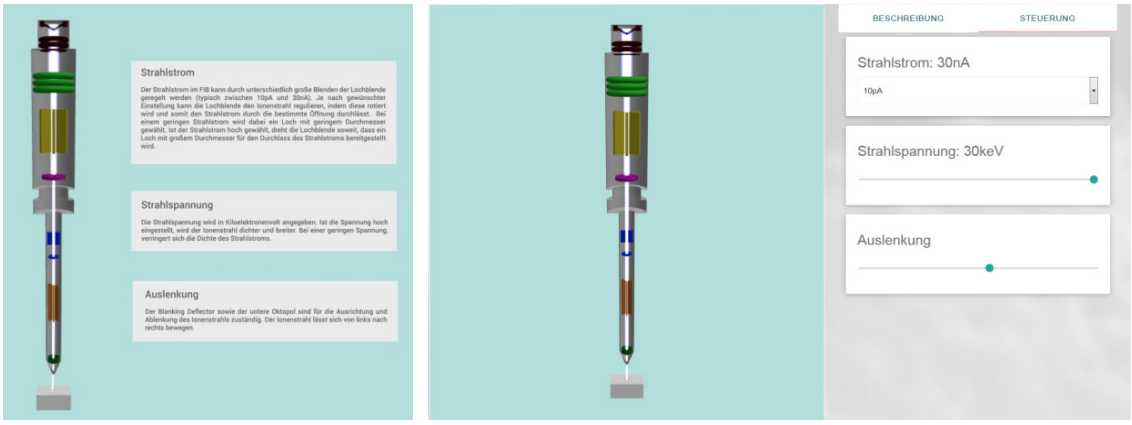


Abbildung 3-15: Statische (links) und interaktive Visualisierung (rechts) des Focused Ion Beams

Die Lernziele für die Lernenden entsprachen den Lernzielen aus der Ergonomiestudie (Kapitel 3.2.4) und waren im Sinne der Bloom'schen Taxonomiestufen [Bloom et al. 1973]:

- Die Lernenden können die Komponenten des Aufbaus der Werkzeuge benennen.
- Die Lernenden können die Funktionsweise der Werkzeuge erläutern.

Tabelle 3-9 zeigt, wie die Lernziele bei den statischen und interaktiven Darstellungen erreicht werden konnten.

Tabelle 3-9: Erreichung der Lernziele

Lernziel	statisch	interaktiv
Benennen der Komponenten und des Aufbaus	Allgemeiner Fließtext zur Beschreibung von Komponenten und Aufbau	Komponentenbezogener Zugriff auf die Texte durch Anklicken der Komponenten
Erläutern der Funktionsweise	Allgemeiner Fließtext zur Beschreibung von Funktionsweisen	Funktionsbezogener Zugriff auf das Gerät: interaktives Ausführen einzelner Arbeitsschritte

Die Lernziele konnten bei den statischen Visualisierungen lediglich durch Lesen der allgemeinen Texte erreicht werden. Bei der interaktiven Darstellung konnten die Textabschnitte gezielt durch Anwählen der Komponenten und Funktionselemente aufgerufen werden. Die Interaktionsmöglichkeiten wurden dahingehend erweitert, dass neben den bereits vorhandenen, einfachen Interaktionen, wie z. B. Rotation oder Translation, wichtige Teilarbeitsschritte sowie eine gezielte Kameraansicht ausgewählt werden konnten.

Als Testpersonen standen insgesamt dieselben 33 Auszubildenden sowie Techniker und Technikerinnen der Mikrotechnologie zur Verfügung, die bei der Fokusgruppe zur Anforderungsanalyse von Lernenden (Kapitel 3.2.3) und der Ergonomiestudie (Kapitel 3.2.4) bereits befragt wurden. Die Probanden und Probandinnen wurden in zwei Gruppen eingeteilt. Während die erste Gruppe mit der interaktiven 3D-Visualisierung des ersten Werkzeugs lernte, diente die andere mit der statischen Darstellung als Kontrollgruppe. Hieraus konnte die entsprechende Differenz der Behaltensleistung bestimmt werden. Anschließend erfolgte ein Wechsel der gruppenweisen Einteilung von statischer und interaktiver Visualisierung. Tabelle 3-10 zeigt die jeweilige Verteilung.

Tabelle 3-10: Einteilung der Gruppen

	Gruppe 1	Gruppe 2
REM-Visualisierung	statisch	interaktiv
FIB-Visualisierung	interaktiv	statisch
Anzahl der Testpersonen	17	16

Der Testablauf (Abbildung 3-16) beinhaltet drei Testteile. Zur Erfassung der demografischen Daten wurde als erstes ein Fragebogen ausgehändigt. Der erste Teil der Untersuchung war ein Eingangstest zur Abfrage des bestehenden Wissens bezüglich der Lernaufgaben. In einem Online-Fragebogen sollten die Probanden und Probandinnen die Schritte zur Bedienung der jeweiligen Werkzeuge nennen und konkrete Auswirkungen von Einstellmöglichkeiten beschreiben.

Im zweiten Teil erhielten sie die Aufgabe, sich mit den Visualisierungen auseinanderzusetzen und anhand der statischen bzw. interaktiven Darstellung den Aufbau der Komponenten und die Funktionsweise zu erlernen. Die Testpersonen wurden bei dieser Aufgabe durch ein Screen- und Interaktionsrecording beobachtet, um mögliche Fehlerquellen im Nachgang zu detektieren.

Im dritten Teil wurde das nun erlernte Wissen mit dem Fragebogen aus dem Eingangstest geprüft. Im letzten Teil der Untersuchung erhielten die Probanden und Probandinnen die Möglichkeit die Anmutung der Visualisierungen zu bewerten und über ihre Erfahrungen beim Lernen mit 3D-Modellen zu berichten. Zusammengefasst ergab sich folgendes Konzept zur Testdurchführung (Abbildung 3-16).

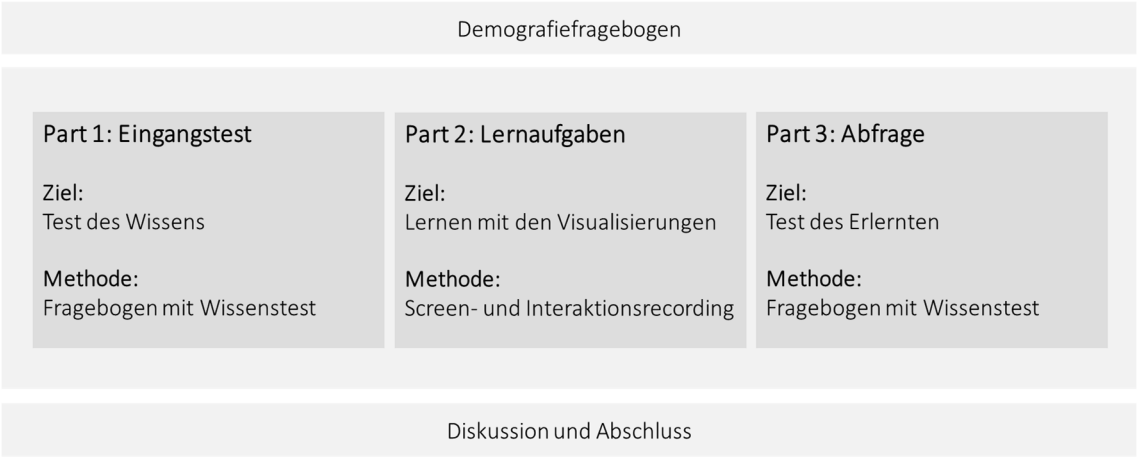


Abbildung 3-16: Testkonzept

Ergebnis

Abbildung 3-17 zeigt die Ergebnisse aus der Untersuchung. Hier wurden die korrekten Antworten in Prozent vor und nach dem Test gegenübergestellt.

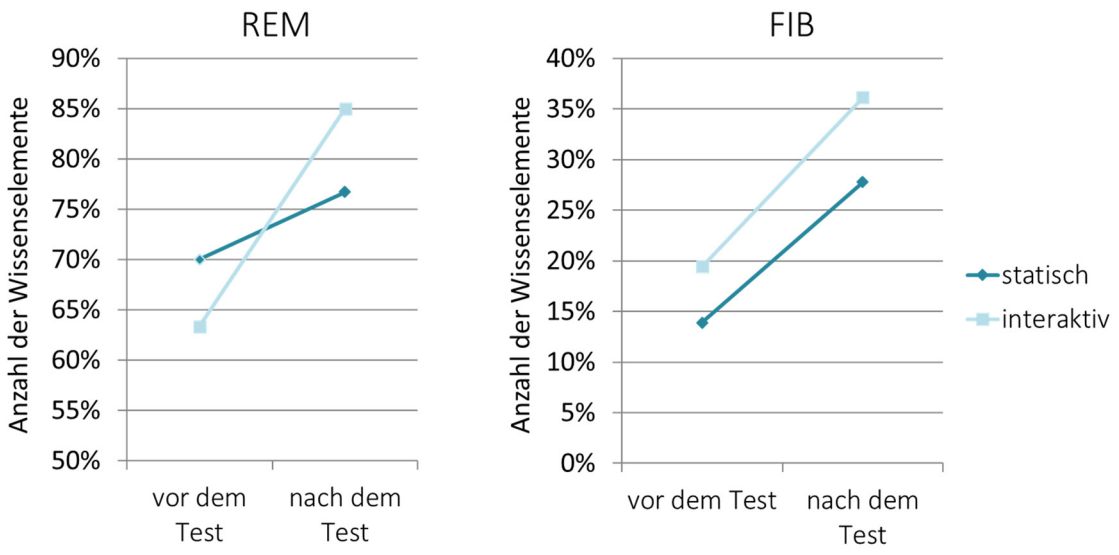


Abbildung 3-17: Gegenüberstellung der Ergebnisse: Behaltensleistung mit statischen und interaktiven 3D-Visualisierungen

Die Analyse der Ergebnisse zeigte eine unterschiedlich ausgeprägte Wissenstiefe der Probanden und Probandinnen bezüglich der zwei Werkzeuge. Das Vorwissen über das REM war deutlich höher als über das FIB. Das liegt daran, dass das Analysegerät häufiger als das Bearbeitungsinstrument genutzt wird. Die Ausbildung zielt daher stärker auf die Vermittlung des REMs ab. Des Weiteren wurde deutlich, dass die zwei Gruppen jeweils über unterschiedliches Vorwissen verfügten. Beispielsweise hatte die erste Gruppe mit der statischen Visualisierung ein höheres Vorwissen über das REM als die Gruppe mit der interaktiven Darstellung. Bei dem FIB war dies umgekehrt.

Als ein signifikantes Ergebnis kann aufgeführt werden, dass das interaktive 3D-Modell zu einer höheren Behaltensleistung führte, allerdings in einer unterschiedlichen Ausprägung. Bei dem Rasterelektronenmikroskop wusste die Gruppe mit der interaktiven Visualisierung nach dem Test rund 22% der erfragten Wissenselemente mehr als vor dem Test. Bei der statischen Darstellung gab es lediglich einen Anstieg von rund 7%. Die Testauswertung des Focused Ion Beams zeigte weiterhin, dass die Wissenselemente der Gruppe mit der interaktiven Darstellung um 17% gestiegen sind, während die der Gruppe mit der statischen Visualisierung um 14% zunahm. Die interaktive Darstellung ist damit zu bevorzugen.

In der Bewertung zeigten sich auch hinsichtlich der Anmutung bei den interaktiven 3D-Modellen entscheidende Vorteile (Abbildung 3-18). Am eindeutigsten waren diese beim FIB erkennbar. Hierbei schnitt die interaktive Variante in allen semantischen Differentialen besser ab.

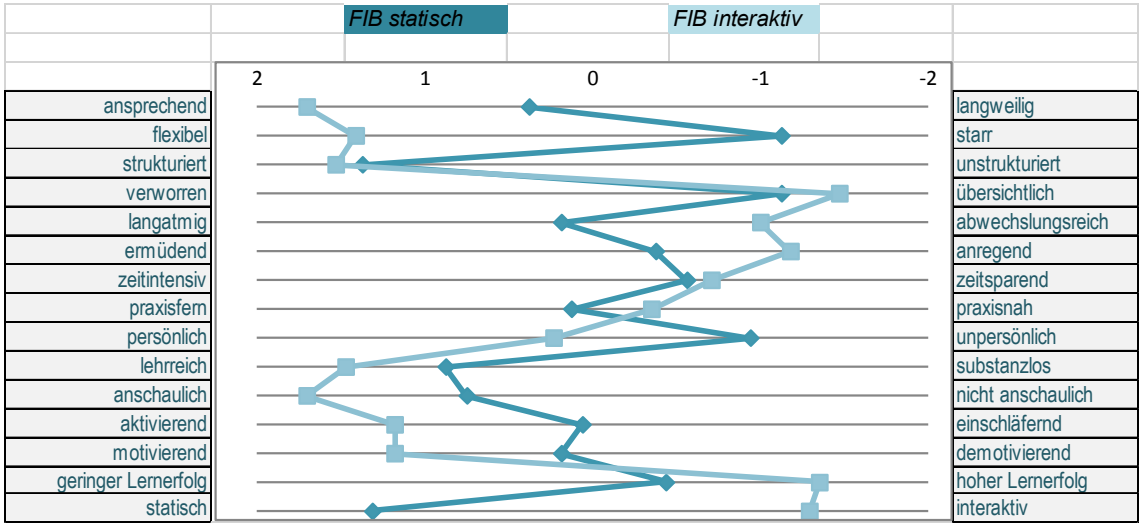


Abbildung 3-18: Gegenüberstellung der Bewertung zur Anmutung zwischen der statischen und der interaktiven 3D-Visualisierung des FIBs

Die Aufforderung zur Bewertung und Kommentierung der 3D-Visualisierungen erbrachte zahlreiche Verbesserungsvorschläge. Die Gruppen mit den statischen Visualisierungen wünschten sich Animationen, die sie durch Interaktion selbst steuern können. Hatten die Testpersonen bereits bei der Untersuchung mit interaktiven 3D-Visualisierungen gelernt, äußerten sie den Wunsch nach weiteren Interaktionsmöglichkeiten sowie die Funktion der Parametereingabe, damit der Vorgang noch realistischer wirkt.

Durch die Ergebnisse konnte die Hypothese belegt werden, dass interaktive 3D-Visualisierungen bezüglich prozeduralen Wissens die Behaltensleistung steigern können. Ein weiteres Ergebnis der Studie war, dass die Interaktionsmöglichkeiten für die Lernenden einen hohen Stellenwert im Lernprozess haben und aus Sicht der Lernenden stets noch intensiviert werden sollten.

3.3 Zusammenfassung

Aus der Forschungsfrage ging hervor, dass ein systematisches Vorgehensmodell für die Erstellung von interaktiven 3D-Modellen benötigt wird. Die Studien wurden durchgeführt, um eine Grundlage für die Entwicklung dieses Vorgehensmodells zu bilden. Dafür wurden die Teilforschungsfragen der Forschungslücke aufgenommen, um zunächst den aktuellen Stand von 3D-Modellen auf Lernplattformen zu analysieren. Des Weiteren erfassten die Studien Anforderungen der Lehrenden und Lernenden bezüglich der 3D-Modelle. Die Ergebnisse der analytischen und empirischen Studien werden nachfolgend in Tabelle 3-11 sowie 3-12 noch einmal zusammengefasst.

Tabelle 3-11: Zusammenfassung der analytischen Studien

	Studie 1: Analyse von Lernplattformen	**Studie 2: Analyse der Eigenschaften von 3D-Lerngegenständen**	**Studie 2: Analyse von Inhaltstypen und Screen-Layout**
Ziel	Untersuchung der Lernplattformen bezüglich Content, Didaktik, Technik und Usability	Klassifikation der Eigenschaften für den Einsatz von 3D-Modellen	Auflistung von Inhaltstypen und Varianten des Screen-Layouts
Ergebnis	- viele Beispiele aus den Bereichen Biologie und Chemie - wenige Beispiele im Bereich Technik - sehr unterschiedliche und vielfältige Aufbereitung des 3D-Modells und des Frameworks - Zusammenspiel von 3D-Modell und Inhaltstypen -> 3D-Lernanwendung - Zielbestimmung der 3D-Modelle: Visualisierung und Simulation von Aufbau und Funktionsweise	- Ableitung von fünf Gründen für den Einsatz von 3D-Modellen mit entsprechender Beschreibung	- Inhaltstypen in den Klassen Visualisierung, Information, Interaktion - zwei Screen-Layout-Varianten

Die Analyse der Lernplattformen zeigte zum einen die Vielfalt der dargestellten 3D-Modelle, wies jedoch keine Systematik bei der Erreichung von Lernzielen und der Elemente zur Information oder Interaktion bzw. der Detaillierungstiefe der Visualisierung auf. In der ingenieurwissenschaftlichen Lehre dienen interaktive 3D-Modelle überwiegend dazu, den Aufbau und die Funktionsweise von technischen Gebilden zu visualisieren und zu simulieren. Die inhaltliche Konzeption ist komplex und vielschichtig, sodass die 3D-Modelle in unterschiedlichen Ausprägungen vorliegen können. Dadurch wird der Aufwand bei der Erstellung von interaktiven 3D-Modellen kaum abschätzbar. Die dritte analytische Studie konnte bereits mögliche Elemente einer 3D-Lernanwendung kategorisieren und bietet damit eine Grundlage zur Eingliederung von Musterlösungen, die innerhalb von 3D-Lernanwendungen benötigt werden (Kapitel 4).

Tabelle 3-12: Zusammenfassung der empirischen Studien

	Studie 1	**Studie 2**	**Studie 3**	**Studie 4**
Testpersonen	14 Entwickler/-innen und Lehrende	13 Lernende aus Firmen (von Facharbeiter/-in bis zum promovierten Ingenieur/-in), 33 Lernende (Auszubildende und Techniker/-innen)	Vorstudie: 12 Experten und Expertinnen Hauptstudie: 33 Lernende (Auszubildende und Techniker/-innen)	33 Lernende (Auszubildende und Techniker/-innen)
Zeitraum	Wintersemester 2014/2015	Sommersemester 2015	Sommersemester 2015	09/2015

Ziel	Anforderungen und Erfahrungen mit der 3D-Modell-Entwicklung	Anforderungen an 3D-Lernanwendungen, Untersuchung zur Verständlichkeit der Texte	Ergonomie von 3D-Modellen	Untersuchung zur Behaltensleistung zwischen statischen und interaktiven Visualisierungen
Methode	Leitfadengestützte Interviews	Leitfadengestützte Interviews und Fokusgruppen	Usability-Test	Komparativer Test von statischen und interaktiven 3D-Visualisierungen
Ergebnis	- hohe Interaktion wichtig - Gestaltung so einfach wie möglich - kein systematischer Entwicklungsprozess	- in kleinen, schnell erfassbaren, strukturierten Einheiten - Forderung von Lernzielen und ansprechenden Visualisierungen - hohe Verständlichkeit der Texte - Bedarf an Beispielen - Einheitlichkeit der Struktur - Stichpunkte und Tabellen - Zusammenfassungen am Ende	- Mehr Textliches erwünscht: Tutorials, Erklärungen - einfache Handhabung der 3D-Modelle gegeben	- Interaktion mit 3D-Modellen steigert die Behaltensleistung - Anforderung an hohe Realitätsnähe

In den empirischen Studien wurden Erkenntnisse deutlich, die Kernkriterien für die weitere Entwicklung festlegen. So konnte die Wichtigkeit der Interaktion durch die Lehrenden sowie Entwickler und Entwicklerinnen klar herausgestellt werden. Die Anforderungen der Lernenden veranschaulichen ihre gewünschte Art des Lernens. Dabei war es hilfreich, dass sie ihre Anforderungen konkret und eindeutig formulierten. Die Erfahrungswerte mit 3D-Modellen waren insgesamt hoch, sodass fast jeder Lernende im privaten Bereich bereits 3D-Modelle genutzt hat. Für den Lernprozess in Aus- oder Weiterbildung waren diese eher weniger zu finden. Daher besteht eine Möglichkeit eine Anleitung zur nutzerorientierten Entwicklung von 3D-Modellen zu schaffen, um die Lernenden stärker zum Lernen zu motivieren.

In der dritten empirischen Studie wurde jedoch erneut der enorme Aufwand anhand von eigens erstellten 3D-Modellen deutlich. Diese mussten für den Testfall überwiegend neu modelliert und für die Interaktion programmiert werden, um diese dann webbasiert bereitzustellen. Dabei wurden mehrere Iterationsschleifen durchlaufen und Tests angesetzt, um Modellierungs- sowie Programmierungsfehler zu erkennen und zu reduzieren. Es stellte sich die Frage, ob der Aufwand den Nutzen rechtfertigt. Ein wesentliches Kriterium für den Erfolg des Einsatzes von 3D-Modellen ist die Behaltensleistung, die in der vierten empirischen Studie untersucht wurde. Hierbei weisen die Interaktionsmöglichkeiten den entscheidenden Vorteil auf und führen die Lernenden dazu, motivierter mit dem

Lerngegenstand zu lernen.

Für die Reduktion des Aufwandes und der beschriebenen Iterationsschleifen werden Musterlösungen, die **3D-Patterns**, entwickelt. Die Problemklassen entstammen den analytischen Studien. Innerhalb der Klassen werden Problemstellen aufgezeigt, welche durch komparative Tests eine mögliche Lösung beschreiben. Diese werden in den 3D-Patterns festgeschrieben (Kapitel 4).

Um den Aufwand gering zu halten, soll im Folgenden zusammengestellt werden, wann sich der Einsatz eines 3D-Modells lohnt und wie es aufbereitet werden muss. Hierzu werden die gesammelten Kriterien aus Kapitel 2 und 3 analysiert und in einer **Entscheidungshilfe** zusammengeführt. Diese soll weiterhin eine Interaktionstaxonomie enthalten, damit das darzustellende Lernobjekt als 3D-Lerngegenstand in den Ingenieurwissenschaften entsprechende Interaktionsmöglichkeiten bietet. Zuvor muss eine Klassifikation von Lerngegenständen erarbeitet werden, um eine Orientierung zur Verfolgung der Zielstellung bei der Entwicklung zu geben (Kapitel 5).

Schließlich werden diese Bausteine in das **Vorgehensmodell** zur systematischen Entwicklung von 3D-Modellen integriert. Aus den Studien war deutlich erkennbar, dass Lehrende sowie Entwickler und Entwicklerinnen 3D-Modelle gern einsetzen würden. Ihnen fehlt jedoch eine Systematik für die Entwicklung der didaktischen Aufbereitung. Daher ist es das Ziel, ein Vorgehensmodell für die Entwicklung von 3D-Modellen zu erarbeiten, das die Vielfalt der ökonomischen, didaktischen und ergonomischen Anforderungen gleichermaßen berücksichtigt (Kapitel 6).

4 Ableitung von Patterns für die Gestaltung der 3D-Modelle

Beim Lösen von Entwurfsherausforderungen ist es für Entwickler und Entwicklerinnen hilfreich auf bewährte, entsprechend dokumentierte und wiederverwendbare Gestaltungsmuster bzw. Entwurfsmuster zurückzugreifen. Die sogenannten Patterns bieten dabei etablierte Lösungen für wiederkehrende Entwicklungsaufgaben. Sie werden auf Grundlage von Erfahrungswissen von Experten und Expertinnen erarbeitet [Kohls 2015, S. 1f]. Patterns stammen ursprünglich aus der Architektur [Alexander et al. 1977], sind in der Software-Entwicklung stark verankert und erfreuen sich wachsenden Interesses im Bereich der Mensch-Computer-Interaktion. Insgesamt tragen sie zur Erhöhung der Konsistenz und zur Steigerung der Entwicklungseffizienz bei, was maßgeblich auch bei 3D-Modellen anzustreben ist. Bisher sind Patterns bei der Entwicklung von 3D-Modellen jedoch kaum etabliert.

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der nutzerzentrierten Entwicklung von Patterns für 3D-Modelle im Kontext Lehre. Zunächst erfolgt die Analyse von Patterns aus verschiedenen Anwendungsgebieten. Sie liefert Kriterien und Regeln, die einer systematischen Pattern-Entwicklung dienen. Die Entwicklung wird in Kategorien gefasst, die drei Bereiche zur systematischen Aufbereitung abdecken - die Visualisierung, die Informationsinhalte sowie die Interaktion. Die jeweiligen Kategorien enthalten dann evaluierte und bewährte Lösungen für ausgewählte Probleme der 3D-Modell-Entwicklung.

Die evaluierten Lösungen stammen aus einem komparativen Test mit über 29 Auszubildenden, Technikern und Ingenieuren der Mikrotechnologie und Elektrotechnik. Aus den Ergebnissen werden Patterns abgeleitet, die für die zielgerichtete Entwicklung von interaktiven 3D-Modellen zum Einsatz kommen können. Zusätzlich zu den Nutzer- bzw. Lerneranforderungen aus den vorangegangenen Studien (Kapitel 3), fließt die technische Machbarkeit ein. Die entwickelten Patterns werden zu einer Pattern-Kollektion aufbereitet. Das Ziel der Pattern-Kollektion ist es, eine konsistente Präsentation, Information und Interaktion mit dem 3D-Modell von der Desktopanwendung bis zur mobilen Version zu gewährleisten.

Die Patterns sind Bestandteil des Vorgehensmodells (Kapitel 6), das die gesamtsystematische Entwicklung von 3D-Modellen für die ingenieurwissenschaftliche Lehre beschreibt.

4.1 Pattern-Beschreibung

Für die allgemeine Pattern-Beschreibung wird zunächst der Hintergrund zur Entwicklung von Patterns dargelegt und bestehende Pattern-Sammlungen bzw. -kollektionen analysiert. Anschließend werden Pattern-Anforderungen für die zu entwickelnden 3D-Patterns erhoben.

4.1.1 Pattern-Ansatz

Der Mensch muss sich stets mit Problemen auseinandersetzen. Dafür sucht er nach geeigneten Lösungsmöglichkeiten. Treten über die Zeit hinweg ähnliche Probleme mehrfach auf und müssen diese zudem von anderen gelöst werden, ist es hilfreich auf bewährte Lösungen zu setzen, statt nach neuen zu suchen. Ein Problem ist zudem detaillierbar, d. h. es erfolgt ein Differenzieren in kleinere Unterprobleme, die dann einfacher zu lösen sind. Der Experte und die Expertin können durch die Erfahrung bei einem bekannten Problem auf die entsprechende Lösung zurückgreifen. Der Experte bzw. die Expertin unterscheidet sich dann vom Anfänger bzw. Anfängerin in der Kenntnis über die Existenz dieser Musterlösung. Daher müssen Musterlösungen dokumentiert werden. In dokumentierter Form werden diese Lösungen Patterns genannt. Hiermit ist es möglich, die erprobten Lösungen und damit das verbundene Wissen an andere Personen weiterzugeben, die ebenfalls vor demselben Problem stehen. Es ist somit das Externalisieren von implizitem Expertenwissen, um es für zukünftige Aufgaben zu nutzen [Kohls 2007, S. 1]. Dabei ist es wichtig, das Wissen in einer leicht verständlichen Weise darzustellen und zugänglich zu machen. Die explizite Darstellung beinhaltet nicht nur das Problem mit der entsprechenden Lösung, sondern auch den Kontext, in dem das Problem auftritt.

Der Pattern-Ansatz zu wiederkehrenden Mustern stammt aus dem Architektur-Bereich. Die Pattern sollten dabei unterstützen, Anforderungen für eigene Wohn- und Lebensräume zu identifizieren und kommunizieren [Alexander et al. 1977]. Insgesamt wurden 253 Muster zur Gestaltung von Städten, Gebäuden und Konstruktionen beschrieben. [Beck et al. 1987] griffen diesen Ansatz auf und transferierten ihn auf den Bereich der objektorientierten Softwareentwicklung. Im Jahr 1994 konnten dann [Gamma et al. 1994] mit „Design Patterns“ ein Standardwerk zu objektorientierter Softwareentwicklung publizieren. Ein weiterer Meilenstein war das erste programmierte Wiki von [Cunningham 1995], das erstellt wurde, um darin kooperativ Entwurfsmuster zu sammeln.

Ein Pattern besteht nicht nur aus der Problembeschreibung. Der Kontext erklärt das nähere Anwendungsgebiet der Problemstellung. Mit dem Kontext kann das Problem fixiert und schneller erkannt werden. Die Herausforderung ist dabei, dass der Kontext des Problems vom Problem selbst oftmals nicht unterscheidbar ist. Das liegt daran, dass das Problem mit äußeren Rahmenbedingungen einhergeht und damit stets in einem Kontext steht [Gundelsweiler 2012, S. 146]. Neben dem Kontext und dem Problem, ist die Lösung das Entscheidende bei Patterns. Die Lösung beschreibt die Behandlung des Problems in einem effektiven und effizienten Weg. Der Lösungsweg wird dabei in Form von entsprechenden Handlungsanweisungen und Regeln beschrieben.

Ein Pattern ist also ein Konstrukt, das drei in Relation stehende Bereiche umfasst: Kontext, Problem und Lösung. Damit Patterns eindeutig identifizierbar sind, erhalten die einzelnen Patterns zudem aussagekräftige Namen (Abbildung 4-1).

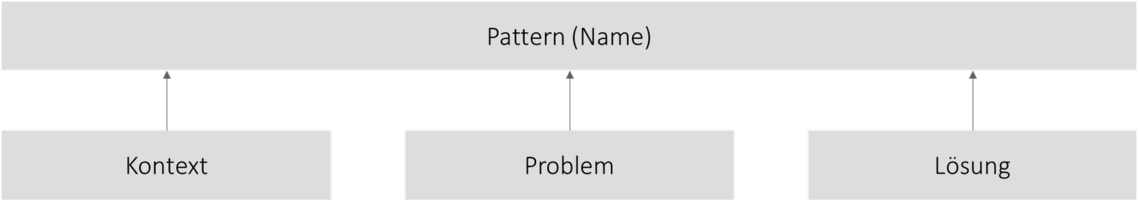


Abbildung 4-1: Pattern-Konstrukt (e. D.)

Die Patterns sammeln also das Expertenwissen in einer formalen Beschreibungsstruktur und grenzen Teilprobleme eindeutig voneinander ab. Insgesamt können folgende Punkte zusammengefasst werden, die für Patterns gelten sollten:

- Ein Pattern beschreibt den Lösungsweg für ein Problem.
- Ein Pattern zeigt den Kontext bei der Lösung eines Problems auf.
- Das lösbare Problem muss wiederkehrend und wiedererkennbar sein.
- Ein Pattern weist einen passenden Abstraktionsgrad auf.
- Ein Pattern zeigt mindestens Problem, Kontext und Lösungsweg auf.
- Ein Pattern besitzt normalerweise Titel, Beschreibung und Querverweise.

Eine Zusammenfassung von mehreren erstellten Patterns wird durch eine Pattern-Sprache beschrieben. Dabei können eng miteinander verbundene Muster über Relationen untereinander verknüpft werden [Gundelsweiler 2012, S. 147].

Der Pattern-Ansatz findet in allen Domänen Anwendung, in denen Probleme entstehen und Lösungen erarbeitet werden. Patterns werden nach [Hahsler 2001, S. 23] in vielen

Bereichen oft unbewusst angewandt. Das liegt daran, dass das Denken in einem Problem-Lösungs-Schema weit verbreitet ist. Beispiele für das bewusste Einsetzen von Patterns sind in Tabelle 4-1 aufgelistet. Diese zeigt weiterhin die Vielfältigkeit der Anwendungsgebiete bestehender Patterns.

Tabelle 4-1: Patterns innerhalb verschiedener Anwendungsgebiete

Anwendungsgebiet	**Titel**	**Quelle**
Musik	Patterns for Jazz	[Choker 1986]
Architektur	A Pattern Language	[Alexander et al. 1977]
Strategie und Kriegsführung	The art of war	[Tzu 1983]
Management von Organisationen	Pattern languages of program design	[Coplien et al. 1995]
Informatik	Design Patterns - Elements of Reusable Object-Oriented Software	[Gamma et al. 1994]
User Interface Design	Designing Interfaces: Patterns For Effective Interaction Design	[Tidwell 2011]
Webdesign	Pattern in Interaction Design	[van Welie 2008]
Interactive TV Apps	User-Centered Interaction Design Patterns for Interactive Digital Television Applications	[Kunert 2009]
Didaktik	Didaktische Design Patterns	[Wippermann 2009]
Pädagogik	Pedagogical Patterns	[Bergin et al. 2012]
ÖPNV	Nutzerorientierte Gestaltungsprinzipien für mobile Fahrgastinformation	[Radermacher et al. 2014]
E-Learning	eLearning-Patterns	[Mayrberger 2015]
3D-Software	Patterns für 3D-Interfaces und die Gestaltung intuitiver 3D-Interaktionen	[Virtual Dimension Center Fellbach]

Musterlösungen existieren, wie Tabelle 4-1 zeigt, in den unterschiedlichsten Bereichen. Die bekanntesten und etabliertesten Vertreter der Patterns sind in der Softwareentwicklung zu finden. Aber auch in der Didaktik werden immer häufiger Patterns als evaluierte Lösungen erarbeitet. Jedoch lassen sich aktuell keine niedergeschriebenen Patterns für den speziellen Bereich der 3D-Modelle in der ingenieurwissenschaftlichen Hochschullehre finden. Lediglich zeigen Richtlinien wie bei der Modellierung von 3D-Modellen sowie bei der Gestaltung von VR-Räumen allgemein vorgegangen werden kann, z. B in [Bowman 2005, S. 77ff].

Die Patterns aus Tabelle 4-1 weisen neben der Vielfältigkeit der Anwendungsgebiete eine unterschiedliche Gliederung auf. Ältere Patterns zeigen das dreiteilige Grundgerüst von Kontext, Problem und Lösung, während die neueren oftmals differenzierter strukturiert sind und häufig bis zu sieben Gliederungspunkte enthalten. Dabei beinhalten überwiegend die didaktischen und pädagogischen Patterns eine hohe Gliederungsvielfalt. Der

Umfang, die Benennung der Gliederungspunkte und die Aufbereitung der Patterns zeigen enorme Unterschiede. Dabei stehen sich Tabellen mit Stichpunkten und ausformulierten Textabschnitten gegenüber. Innerhalb der Pattern-Familie beweisen die Patterns eine hohe Konsistenz der Gliederung. Weiterhin weisen sie unterschiedliche Abstraktionsgrade auf, die auf den Anwendungsfall abgestimmt wurden. In diesem Zusammenhang wird im nachfolgenden Kapitel verdeutlicht, welchen Anforderungen Patterns weiterhin entsprechen sollen und was es zu berücksichtigen gilt.

4.1.2 Anforderungen an Patterns

Angelehnt an den Pattern-Ansatz aus Kapitel 4.1.1 werden nun die Anforderungen herausgearbeitet. Nach [Alexander 1979, S. 256–261] enthält ein dokumentiertes Entwurfsmuster in seiner Grundform Problemstellung, Kontext und eine Lösung. Diese Untergliederung in einzelne Felder hilft dabei, das interne und implizite Wissen in eine nachvollziehbare externe Form zu überführen. Das Trennen und Vernetzen von Teilproblemen lässt aus einer Sammlung von einzelnen Entwurfsmustern eine Pattern Language entstehen, mit der sich Probleme und Aufgaben auf unterschiedlichem Detailniveau zerlegen lassen.

Ein wichtiges Grundprinzip der Patterns ist, stets etwas Wiederkehrendes und daher nicht etwas Neues oder Einmaliges zu beschreiben. Sie fassen Konzepte zusammen, die in häufig vorkommenden Situationen anwendbar sind und aus Erfahrung eine gute Lösung für diese Situationen darstellen. Ein Pattern dokumentiert zusammenfassend in der Praxis langfristig bewährte, nicht theoretisch konstruierte oder neu gefundene Lösungen.

Damit die Patterns zu den 3D-Modellen für die ingenieurwissenschaftliche Lehre erfolgreich erstellt werden können, sollen Hinweise und Details für Anforderungen verfolgt werden. In der Literatur haben sich bereits viele Autoren von Patterns mit grundlegenden Anforderungen auseinandergesetzt und diese in Form von Gütekriterien und Regeln verschriftlicht. Zunächst geben Regeln zur Dokumentation von Patterns wichtige Hinweise zur Erarbeitung (Tabelle 4-2). Die Regeln stammen aus der Entwicklung von Software-Patterns und lassen sich durch den hohen Abstraktionsgrad auch auf die 3D-Modell-Patterns übertragen.

Tabelle 4-2: Regeln bei der Dokumentation von Patterns [Vlissides 1995, S. 7–10]

No.	Regel	Kurzbeschreibung
1	Reflexion	Bei der Generierung von Patterns ist immer wieder die Reflexion der geleisteten Arbeit notwendig.
2	Strukturiertheit	Die Dokumentation der Patterns sollte einer konsistenten Struktur folgen. Es gibt viele unterschiedliche Strukturen. Je mehr Informationen die Patterns enthalten, desto wichtiger ist die Struktur. Es muss abgewogen werden, inwieweit die konsistente Struktur eine Vergleichbarkeit und Kurzfassung ermöglicht und wo Freiräume bleiben und textliche Beschreibungen ausreichen.
3	Frühe Konkretisierung	Die Motivation für das Pattern sollte früh deutlich werden. Dazu kann beispielsweise schon zu Beginn das zu lösende Problem oder die Motivation beschrieben werden. Beispiele aus der Praxis sollten aufgeführt und Probleme und Schwierigkeiten aufgezeigt werden.
4	Eindeutigkeit und Ergänzbarkeit	Die Schwierigkeit bei der Entwicklung von Patterns ist, dass diese bei der Erstellung wachsen und somit der genaue Fokus unklar wird. Man sollte also immer wieder reflektieren und die Eindeutigkeit der unterschiedlichen Patterns sicherstellen. Trotzdem ist es auf der anderen Seite wichtig, dass sich die Patterns gegenseitig ergänzen bzw. in sinnvoller Weise kombiniert werden können.
5	Effektive Darstellung	An der Darstellungsform und -art kann ein Pattern scheitern, da diese aufzeigt wie das Pattern funktioniert. Die Kommunikation der Funktionsweise wird von der textlichen und visuellen Form übernommen. Je effektiver die Darstellung das Pattern kommunizieren kann, desto besser funktioniert die Anwendung und Weiterentwicklung.
6	Iteration	Patterns entstehen in den seltensten Fällen durch das Lösen eines Designproblems. Normalerweise treffen unterschiedliche Designer immer wieder auf ähnliche Probleme und es kristallisiert sich nach einiger Zeit eine Art der Problemlösung heraus, die sich zur Dokumentation als Pattern eignet. Aber selbst dann steht dieses Pattern nicht in seiner Endversion fest, sondern sollte stetig durch erneutes Anwenden verbessert werden. Design-Patterns entstehen in mehreren Iterationen durch reflektiertes Gestalten von Designproblem-Lösungen und Überprüfung dieser mit Benutzern.
7	Feedback	Die Anwender der Patterns sollten Feedback auf die Patterns geben und so zu deren Weiterentwicklung und Verbesserung beitragen. Es kann auch vorkommen, dass Patterns im Laufe der gesellschaftlichen und technischen Entwicklungen zu Anti-Patterns werden, deren Dokumentation aber genauso sinnvoll sein kann.

Die Regeln zeigen sehr deutlich was bei der Identifikationsphase zu beachten ist. Mit der Zielvorstellung gut strukturierter und eindeutiger Patterns, die Feedback und Ergänzungen zulassen, kann der Erstellungsprozess begonnen werden. Für die anschließende Prüfung der Patterns werden die Gütekriterien nach [Kohls 2007, S. 7–9] verwendet. Die in Tabelle 4-3 vorgestellten Gütekriterien wurden im Rahmen von Erfolgsverantwortlichkeit und Qualitätssicherung diskutiert. Diese sollen den finalen Zustand der 3D-Patterns gewährleisten.

Tabelle 4-3: Gütekriterien für Patterns nach [Kohls 2007, S. 7–9]

Validität	Entscheidend für die Qualität eines Musters ist, ob es tatsächlich das vorgegebene Problem löst. Muster sind dann glaubwürdiger, wenn Nachweise erprobter Beispiele aus der Praxis angeführt werden können oder zumindest hypothetische Einsatzszenarios bestehen, für die es empirische Belege gibt.
Vollständigkeit	Wenn ein Entwurfsmuster nicht alle Design-Anforderungen berücksichtigt, dann wird es in der Regel keinen vollständigen Lösungsansatz bieten können. Je mehr Lücken ein Muster enthält, desto weniger Nutzen stiftet es.
Plausibilität und Verständlichkeit	Ein Muster kann valide und vollständig beschrieben sein, doch wenn es nicht verständlich und überzeugend formuliert ist, wird es kaum Akzeptanz finden. Expertisegrad und Vorwissen der Zielgruppe sind daher zu berücksichtigen.
Strukturierung	Häufig werden die Beschreibungsfelder Problem, Kontext und Lösungen nicht richtig getrennt. Tatsächlich liegt hierin die Schwierigkeit beim Schreiben, denn diese drei Komponenten hängen sehr eng zusammen. Eine klare Trennung ist jedoch wichtig, da z. B. demselben Problem je nach Kontext mit unterschiedlichen Lösungen begegnet werden muss.
Granularität	Die richtige Abgrenzung und Vernetzung von Teilproblemen macht das einzelne Muster nicht nur übersichtlicher, sondern steigert auch die Wiederverwendbarkeit, da Muster möglichst unabhängig voneinander sein sollten.
Fuzzyness	Nicht in allen Wissensdomänen lassen sich Strukturen gleich scharf voneinander trennen. Was für die formalen Strukturen des Software-Designs gut funktioniert, ist für human- und sozialwissenschaftliche Felder sehr viel schwieriger.
Objektivität	Weiter muss zwischen objektiven und subjektiven Mustern unterschieden werden, sobald der Lösungsansatz von persönlichen Einstellungen und Überzeugungen abhängt. So können zwar unterschiedliche Lehrmethoden als Muster erfasst werden, Akzeptanz und Gültigkeit sind jedoch mehr oder weniger von individuellen Ansichten abhängig.
Relevanz und Expertisegrad	Aufwand und Nutzen der Muster-Dokumentation sind zu berücksichtigen. Zwar lässt sich auch ein Kugelschreiber formal als Entwurfsmuster beschreiben, doch dürfte das Interesse daran sehr gering sein. Interessant sind Entwurfsmuster, die Expertenwissen zugänglich machen.
Komplexität des Umfelds	Je schwieriger es ist, wiederkehrende Strukturen aufzuspüren, desto wertvoller sind die gefundenen Muster. So helfen die Muster im Bereich des Software-Designs in komplexen Diagrammen sehr schnell einen Überblick zu erlangen. Im Gegensatz zu Türen oder Fenstern sind im Bereich der Softwarearchitektur wiederkehrende Elemente nämlich nicht mit dem bloßen Auge zu erkennen, so dass Hilfestellungen wie explizite Design-Patterns unabkömmlich sind.
Abstraktionsgrad	Abstrakte Muster können vielseitiger eingesetzt werden, sind jedoch auch schwerer verständlich und liefern weniger Lösungsdetails, da spezifische Aspekte ausgelassen werden. Zu spezialisierte Muster erschweren dagegen die Übertragbarkeit auf andere Problemstellungen.

Mit Blick auf die finalen 3D-Patterns begleiten die Regeln und Kriterien die nachfolgende Evaluation der Gestaltungsvarianten. Dabei soll eine Reihe an Musterlösungen entstehen, die durch ihre Klassenabhängigkeit untereinander verbunden werden. Das finale Ziel ist es damit, eine Pattern-Kollektion zu entwickeln.

4.2 Evaluation von Gestaltungsvarianten

Wichtige Gestaltungselemente innerhalb der 3D-Lernanwendungen wurden in der Analyse von Lernplattformen in Kapitel 3.1.3 untersucht. Sie zeigen die hohe Diversität bei der Erstellung und Aufbereitung der 3D-Modelle. Das Ziel ist es nun, Gestaltungsem-

pfehlungen bei wiederkehrenden und oft benutzten Gestaltungelementen der 3D-Modelle herauszuarbeiten, die für eine effektive und effiziente Erstellung der 3D-Modelle in der Lehre anzuwenden sind. Dabei gilt es, die Gestaltungsempfehlungen in die kompakte Form von Patterns zu überführen. In diesem Kapitel wird damit die Studie zur Evaluation von Gestaltungsvarianten der 3D-Modelle dargelegt. Nach der Beschreibung der Vorgehensweise werden die Methoden und die Ergebnisse der Studie vorgestellt. Die bestbewerteten Gestaltungsempfehlungen werden im anschließenden Kapitel 4.3 in Patterns abgeleitet. Die relevanten Kriterien und Regeln, die für die Erstellung der 3D-Patterns anzuwenden sind, fließen hierzu aus Kapitel 4.1 ein.

4.2.1 Vorgehensweise

Für die Pattern-Entwicklung wurde methodisch eine mehrstufige Vorgehensweise (Abbildung 4-2) erarbeitet. Die aktuellen Lernplattformen mit interaktiven 3D-Modellen aus Kapitel 3.1.1 wurden auf Problemklassen analysiert. In diesen sind Probleme enthalten, die für die nutzerzentrierte Entwicklung von interaktiven 3D-Modellen eine besondere Herausforderung darstellen. Innerhalb der Problemklassen werden anschließend Gestaltungsvarianten extrahiert, die häufig bei der Aufbereitung von 3D-Modellen zu finden sind und Unterschiede aufweisen. Eine experimentelle komparative Analyse mit Lernenden stellt dann die Gestaltungsvariante heraus, die der gewünschten Benutzerfreundlichkeit und den Anforderungen der Lernenden entspricht. Die bestbewertete Variante ist dann als Gestaltungsempfehlung anzunehmen. Zusätzlich werden Patterns erarbeitet, die aus bereits beständigen Lösungen bestehen. Diese Lösungen stammen aus der Analyse der Lernplattformen (Kapitel 3.1.1). Im letzten Schritt werden die Gestaltungsempfehlungen ausformuliert und als Pattern definiert. Die Entwicklung der 3D-Patterns wird im anschließenden Kapitel 4.3 genauer erläutert.

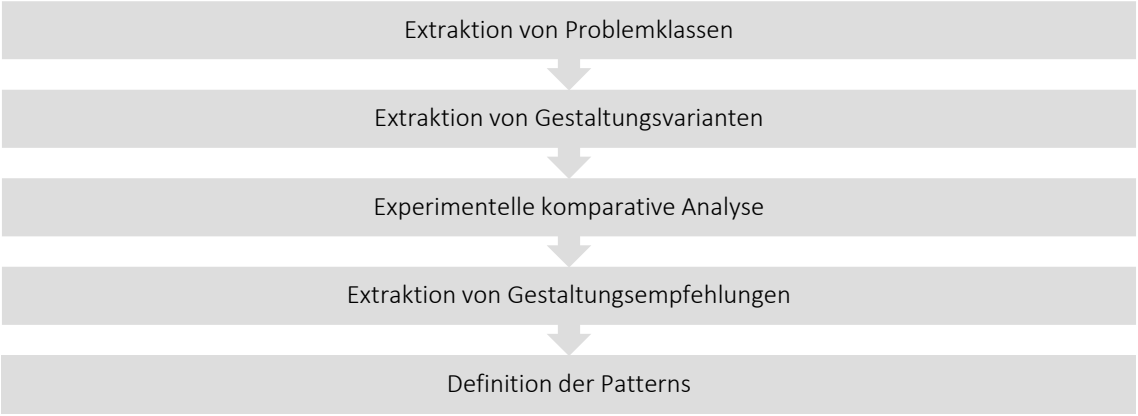


Abbildung 4-2: Mehrstufige Vorgehensweise für die Pattern-Entwicklung (e. D.)

4.2.2 Extraktion von Problemklassen

Die Analyse der 3D-Lerngegenstände aus Kapitel 3.1.2 sowie der Lernplattformen aus Kapitel 3.1.1 zeigen die Vielfältigkeit der 3D-Modelle, die im Web präsentiert werden. Im Wesentlichen sind dabei drei Bereiche der 3D-Modelle stets erkennbar. Das interaktive 3D-Modell zeigt zunächst die eigene bauliche Gestalt, die im Folgenden der Visualisierung zugeordnet wird. Da ein 3D-Modell selten allein als solches präsentiert wird, sind Informationen, wie z. B. Erklärungen, Beschriftungen oder Bedienhinweise, nötig. Zusätzlich zu den Informationen ist die Interaktion das wesentliche und wichtigste Merkmal der 3D-Modelle. Sie ermöglicht in verschiedenen Komplexitätsgraden (Kapitel 5.2.1) das explorative Untersuchen und Steuern des 3D-Modells für die Lernenden. Die analysierten Problembereiche lassen sich somit in Anlehnung an die Einteilung der Inhaltstypen aus Kapitel 3.1.3 in Visualisierung, Information und die dazugehörige Interaktion des 3D-Modells einteilen.

Visualisierung

Der Visualisierung zugehörig sind alle Elemente, die zur Darstellung der visuellen Präsentation des 3D-Modells (z. B. Detaillierungsgrad von Bauteilen) sowie der grafischen Einbettung des Modells in ein Framework (z. B. Layout des Screens) gezählt werden.

Information

Die Informationen sind alle textlichen und grafischen Elemente, die das 3D-Modell näher beschreiben (z. B. Beschriftungen und Erklärungen), Hinweise zur Bedienung geben oder Aufgaben formulieren.

Interaktion

Die Interaktionselemente befähigen zur Interaktion mit dem 3D-Modell, wie z. B. zur intensiven Betrachtung in Form von Rotation und Zoom sowie zur Änderung von Komponenten (Manipulation) oder zum Aufrufen der Informationen.

Die analysierten Bereiche bauen hierarchisch aufeinander auf. Die Visualisierung des 3D-Modells bildet den Kern. Direkt darauf bzw. daneben werden die Informationen angebracht, die das 3D-Modell näher erläutern. Die Interaktion hingegen dient der direkten Bedienung des visuellen 3D-Modells und dem Aufrufen der Informationen. Die Interaktion steht demzufolge über den beiden anderen Bereichen.

Innerhalb der drei Bereiche zeigen sich viele und sehr unterschiedliche Gestaltungsvarianten. Es ist nun zu untersuchen, welche Varianten als Best Practice gelten. Dazu werden die Varianten verglichen und als Lösung für spezielle Probleme präsentiert. Damit sind

die Bereiche Visualisierung, Information und Interaktion als Problemklassen zu definieren. Aus den Ergebnissen werden dann Patterns abgeleitet, die für wiederkehrende Probleme eine Musterlösung ergeben.

4.2.3 Extraktion von Gestaltungsvarianten

Wie bereits die Analyse der Lernplattformen (Kapitel 3.1.1) gezeigt hat, existieren verschiedene 3D-Modelle mit unterschiedlicher Aufbereitung der Elemente zur Visualisierung, Interaktion und Information. Es gilt nun innerhalb der analysierten Problemklassen die Gestaltungsvarianten herauszuarbeiten, die eine mögliche Designlösung darstellen. Hierfür werden die gewonnenen Erkenntnisse aus den analytischen Studien (Kapitel 3.1) zu den 3D-Modellen und den Inhaltstypen genutzt, um eine entsprechende Auflistung der zu testenden Gestaltungsvarianten aufzuschlüsseln. Problemstellen, die häufig gleich oder ähnlich gelöst wurden, werden in Kapitel 4.2.5 ergänzt.

Für das Visualisieren und Simulieren von Aufbau und Funktionsweise technischer Gebilde ergaben sich viele Details, die zur Unterstützung der Zielerreichung verwendet werden. Trotz der bedeutenden Eigenschaft der Interaktion von 3D-Modellen, sind die häufigsten Gestaltungsvarianten in der Visualisierung zu finden. Die Interaktion zeigte wenige Gestaltungsvarianten innerhalb der analysierten 3D-Modelle auf. Die Grundinteraktionen wie Selektion, Zoom, Translation und Rotation haben sich bereits in ihrer Ausführung bewährt und ließen sich annähernd gleichermaßen durchführen.

Nachfolgend werden die zu untersuchenden Probleme aufgelistet, die häufig bei interaktiven 3D-Modellen erkannt wurden und für die mehrere Gestaltungsvarianten erkennbar waren. Diese wurden den drei benannten Problemklassen zugeordnet.

Visualisierung

Gestaltungsvariante	Kurzbeschreibung
Markierung	Hervorheben von Objektteilen
Blick ins Innere	Darstellen eines Zugangs zum inneren Aufbau
Kontext – Untergrund	Hinweisen auf die Objektorientierung
Kontext – Hintergrund	Aufzeigen eines Kontextes
3D-Erkennbarkeit	Aufzeigen eines interaktiven 3D-Modells

Information

Gestaltungsvariante	Kurzbeschreibung
Beschriftung	Benennen einzelner Objektteile
Kurztexte	Aufzeigen weiterer Informationen in Kurzform
Langtexte	Gesamtheitliche Erläuterung des Lerngegenstandes

Interaktion

Gestaltungsvariante	Kurzbeschreibung
Kamerasteuerung (Rotation, Translation, Zoom)	Ausführen der Interaktion zur Bewegung der Kamera im 3D-Modell
Modellsteuerung (Rotation, Translation, Zoom)	Ausführen der Interaktion zur Bewegung des 3D-Modells

Trotz einer auf den ersten Blick geringen Auswahl werden sich die vielfältigen Unterschiede in den einzelnen Gestaltungsvarianten nachfolgend zeigen. Zudem werden die bereits etablierten Lösungen in Kapitel 4.2.5 hinzugefügt.

Im nächsten Schritt werden nun die verschiedenen Gestaltungsvarianten aufbereitet, deren Unterschiede aufgezeigt und für den Test ausgewählt. Als Testobjekt wurde hierbei ein typisches Werkzeug der Mikrotechnologie genutzt. Es handelt sich dabei um das Lichtmikroskop, das innerhalb des BMBF-Projekts (Kapitel 3.2.1) als interaktives 3D-Modell erarbeitet wurde. Es wurde hierfür ausgewählt, da es einen einfachen Aufbau aufweist, die Funktionsweise schnell erlernbar und bei vielen Lernenden bekannt ist.

Visualisierung - Markierung

Die Markierung hebt Elemente hervor, auf die in einem Aufgabenkontext hingewiesen wird. Für die Darstellung von Markierungen im 3D-Modell existiert eine Vielzahl an Möglichkeiten. Dazu wird die Markierung entweder um das Objektelement als Umrandung gesetzt oder füllt das Element komplett aus. Zwischen diesen beiden Varianten existieren weiterhin verschiedene Darstellungsmöglichkeiten (Tabelle 4-4).

Tabelle 4-4: Gestaltungsvarianten der Markierung

Schein	Kontur	Hohe Sättigung	Transparenz

Für den Test werden die zwei häufigsten Gestaltungsvarianten genutzt: die Kontur und das vollständige Einfärben des Objektelements mit Transparenz.

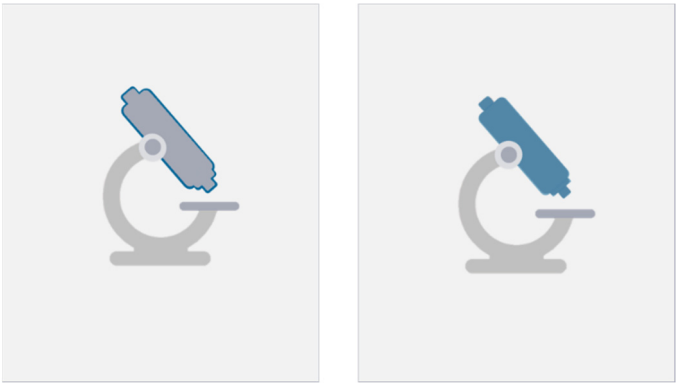
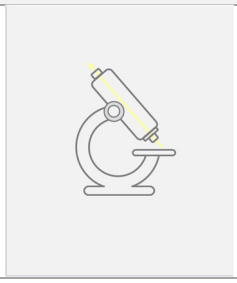
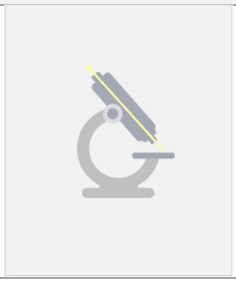
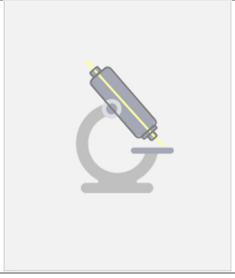


Abbildung 4-3: Ausgewählte Gestaltungsvarianten der Markierung (links Kontur, rechts Einfärben)

Visualisierung - Blick ins Innere

Bei vielen ingenieurwissenschaftlichen Lerngegenständen ist der Blick ins Innere notwendig, um im Detail den Aufbau und die Funktionsweise durch das Sichtbarmachen der inneren Bauteile zu verstehen. Hierbei besteht weiterhin eine Vielfältigkeit der Gestaltungsvarianten. Entweder wird die gesamte Außenhülle des 3D-Modells transparent gestaltet, ein Schnittbild bzw. ein Aufschnitt erstellt oder die Bauteile in einer Explosionsdarstellung gezeigt. Der Aufschnitt unterscheidet sich vom Schnittbild darin, dass dabei die inneren Objektelemente in ihrer Geometrie erhalten bleiben, während beim Schnittbild alle Elemente angeschnitten werden.

Tabelle 4-5: Gestaltungsvarianten zum Blick ins Innere

Transparenz	Schnittbild	Aufschnitt	Explosionsdarstellung
			

Die gezeigten Varianten sind für diese Art ins Innere zu blicken häufig anzufinden. Jedoch werden schon an dieser Stelle verschiedene Anwendungskontexte deutlich, bei denen die einzelnen Varianten eingesetzt wurden und bereits bei der Analyse verschiedene Vor- und Nachteile gezeigt haben (Tabelle 4-6).

Tabelle 4-6: Gestaltungsvarianten zum Blick ins Innere

Gestaltungs-variante	**Vorteil**	**Nachteil**	**Anwendungskontext**
Transparenz	Geometrie der Objektelemente bleibt erhalten	kann unübersichtlich werden	sehr komplexe, asymmetrische Objekte
Schnittbild	Übersichtliche Darstellung des Inneren	Objektelemente werden angeschnitten, Geometrie bleibt nicht erhalten	axialsysmmetrische Objekte
Aufschnitt	Geometrie der Objektelemente bleibt erhalten	äußere Form wird angeschnitten, Verdeckung teilweise durch äußere Form	axialsysmmetrische Objekte, innere Geometrie soll noch deutlich bleiben
Explosions-darstellung	Geometrie der Objektelemente bleibt erhalten	Objektteile stehen nicht in Verbindung zueinander, Explosion oftmals mit Animation verbunden	sehr komplexe, unsymmetrische und ineinander verschachtelte Objektelemente

Der Test der analysierten Varianten wird in diesem Fall nicht durchgeführt, da der Blick ins Innere vom Anwendungskontext abhängt. Die Systematisierung aus Tabelle 4-6 präsentiert bereits die individuellen Lösungen.

Visualisierung - Kontext: Untergrund

Die interaktiven 3D-Modelle wurden auf den analysierten Lernplattformen auf unterschiedlichen Arten des Untergrunds präsentiert. Dabei werden vor allem Hinweise auf die Objektorientierung, meist mit der kanonischen Ansicht, gegeben. Die häufigsten Vertreter sind in Tabelle 4-7 aufgelistet. Für die Testauswahl wurde ein Bewertungssystem eingesetzt.

Tabelle 4-7: Gestaltungsvarianten des Untergrunds (grün – positiv, orange – negativ)

	Leere	**Gitter**	**Schatten**	**Bodenplatte**
Darstellung				
Bottom-Sicht	ja	ja	ja	nein
Bezug	nein	ja	ja	ja
Häufigkeit	häufig	selten	sehr häufig	häufig
Variation	-	Gitterstärke und Gitterart variabel	Spiegelung (selten), Transparenz variabel	abgeschnitten oder unendlich
Bemerkung	wirkt schwebend, ressourcensparend	wirkt unfertig, eher für Modellierung geeignet	durch Schatten wird ein unendlicher Boden erzeugt	Schatten nötig, sonst unrealistisch, als Tischplatte besonders geeignet
Beispiele aus Lernanwendungen	häufig: Moleküle, Elektronen, Signale	geometrische Körper, Moleküle	Teilsysteme, Bauteilgruppen	Maschinen, Versuchsaufbauten mit mehreren Objekten, abgeschlossene Systeme
Bewertung	× 1 ✓ 1	× 1 ✓ 0	× 0 ✓ 2	× 2 ✓ 0

Für den Test werden die zwei häufigsten Varianten mit der besten Bewertung ausgewählt. Somit werden „Leere“ und „Schatten“ gegeneinander getestet.

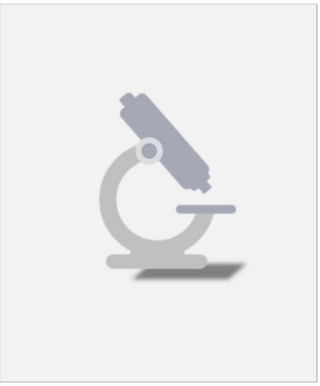


Abbildung 4-4: Ausgewählte Gestaltungsvarianten des Untergrunds (links ohne, rechts mit Schatten)

Visualisierung - Kontext: Hintergrund

Der Hintergrund vermittelt die Tiefe im dreidimensionalen Raum und zeigt das 3D-Modell in einem typischen Kontext. Der Hintergrund hängt stark mit dem Untergrund zusammen. Hierbei existieren die zwei Varianten „endlicher“ und „unendlicher“ Hintergrund. Der unendliche Hintergrund weist oftmals keinen harten Übergang vom Boden

zum Hintergrund auf. Er wird vorrangig durch einen leichten Farbverlauf visualisiert und deutet somit auf keine räumliche Grenze zwischen Hintergrund und Untergrund hin. Der endliche Hintergrund wird häufig mit einer Grafik verdeutlicht. Diese zeigt den typischen Kontext des Lerngegenstandes auf, z. B. ein Labor oder eine Maschinenhalle.

Abbildung 4-5: Gestaltungsvarianten des Hintergrunds (links endlich, rechts unendlich)

Visualisierung - 3D-Erkennbarkeit

Bei der 3D-Erkennbarkeit ist das sofortige Begreifen der Lernenden gemeint, dass es sich bei dem präsentierten Lerngegenstand um ein interaktives 3D-Modell handelt. Oftmals wird das 3D-Modell als perspektivische Darstellung wahrgenommen, wenn sämtliche Hinweise fehlen. Eine Möglichkeit zur Demonstration eines 3D-Modells beinhaltet die automatische Rotation des Modells. Oftmals werden jedoch die 3D-Modelle in ihrem Framework ohne Bewegung präsentiert. In diesem Fall steht textlich in der Überschrift oder in Beschreibungen, dass ein 3D-Modell vorhanden ist.

Abbildung 4-6: Gestaltungsvarianten der 3D-Erkennbarkeit (links statisch, rechts mit automatischer Rotation)

Information - Beschriftung

Die Beschriftung bei 3D-Modellen stellt eine besondere Herausforderung dar, da sie für Objektelemente wegen ihrer überwiegend zweidimensionalen Darstellung stets lesbar bleiben müssen, auch wenn das 3D-Modell rotiert wird. Beschriftungen werden auf zwei Arten präsentiert. Entweder sind sie nah am Objekt angebracht oder werden mit geringer Distanz und einer Verbindung zum Objektelement dargestellt. Für die zwei Gestaltungsvarianten wurden die Begrifflichkeiten „Bezugslinie“ und „Label“ gewählt (Abbildung 4-7). Zu den zwei gewählten Varianten existieren derart viele Darstellungsmöglichkeiten, dass hierbei nur eine Auswahl gezeigt werden kann (Tabelle 4-8).

Abbildung 4-7: Ausgewählte Gestaltungsvarianten der Beschriftung (links Bezugslinie, rechts Label)

Tabelle 4-8: Gestaltungsmöglichkeiten der Varianten

Kein Endpunkt	**Pfeil**	**Kreis**
Einsatz, um auf die Kanten der Objektelemente zu verweisen	Einsatz bei präziser Demonstration	Einsatz bei großflächigen Objektelementen

Ohne Zeiger	**Zeiger außerhalb**	**Zeiger innerhalb**
Einsatz bei weit auseinanderliegenden Objektelementen	Einsatz bei präziser Demonstration	Einsatz bei kompakter Darstellung

Information - Langtexte

Der Langtext steht für eine gesamtheitliche Beschreibung des 3D-Modells, z. B. für den Aufbau oder dessen Funktionsweise. Bei den Gestaltungsvarianten differenziert die räumliche Anordnung. Die Langtexte sind entweder auf einer Ebene mit dem 3D-Modell

(horizontal) oder darunter (vertikal) platziert. Sie sind jedoch stets in der Nähe positioniert und nur selten auf externen Webseiten zu finden.

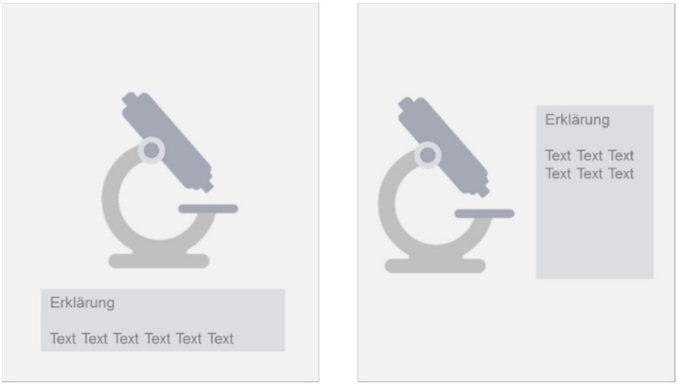


Abbildung 4-8: Gestaltungsvarianten der Langtexte (links vertikal, rechts horizontal)

Information - Kurztexte

Kurztexte dienen zur weiteren Information von z. B. Objektelementen oder Teilfunktionen. Sie hängen stark mit der Beschriftung zusammen und bedingen somit die Gestaltung. Zur Verdeutlichung wird hierbei die Gestaltungsvariante der Beschriftung mit der Bezugslinie gewählt. Die Kurztexte werden entweder direkt an die Beschriftung gehaftet oder in einer separaten Box präsentiert (Abbildung 4-9). Oftmals müssen die Kurztexte explizit aufgerufen werden.

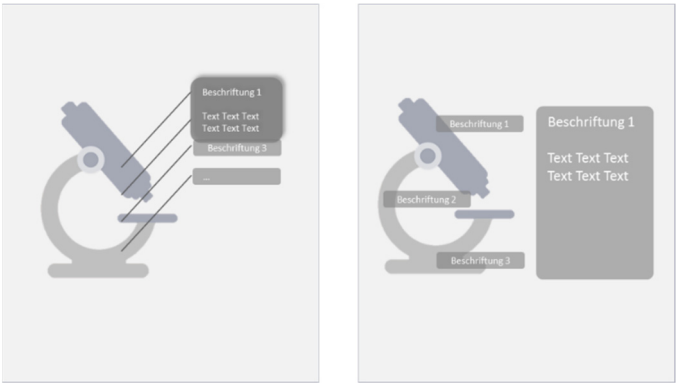


Abbildung 4-9: Gestaltungsvarianten der Kurztexte (links verknüpft, rechts separat)

Interaktion - Kamerasteuerung

Bei der Interaktion werden die Grundinteraktionen wie Rotation, Zoom oder Translation bei 3D-Modellen überwiegend einheitlich mit Maus, Tastatur oder per Touch-Funktion umgesetzt. Die Funktionalität wird dabei über zusätzlich präsentierte Buttons ausgeführt,

mit denen die Kamera um das 3D-Modell gesteuert werden kann. Dementsprechend werden hier die Varianten mit Steuerungsbuttons und ohne gezeigt (Abbildung 4-10).

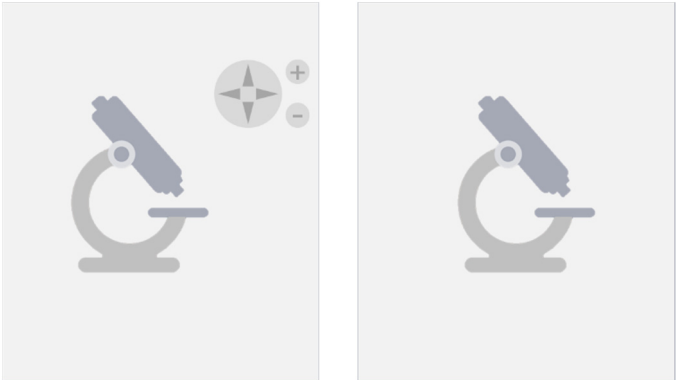


Abbildung 4-10: Gestaltungsvarianten der Kamerasteuerung (links mit, rechts ohne Buttons)

Interaktion - Modellsteuerung

Die Interaktion zur Modellsteuerung ähnelt der der Kamerasteuerung. Auch hier waren 3D-Lernanwendungen so aufbereitet, dass diese ohne oder mit Buttons zur Steuerung des Modells versehen waren. Zum einen konnte das 3D-Modell intuitiv durch Maus, Tastatur oder Touch-Funktion gesteuert werden, zum anderen konnten die teils vorhandenen Buttons dazu genutzt werden (Abbildung 4-11). Dies führt jedoch zu Verwirrungen, wenn die Modell- und die Kamerasteuerung in einer 3D-Lernanwendung zusammen ausgeführt werden konnten.

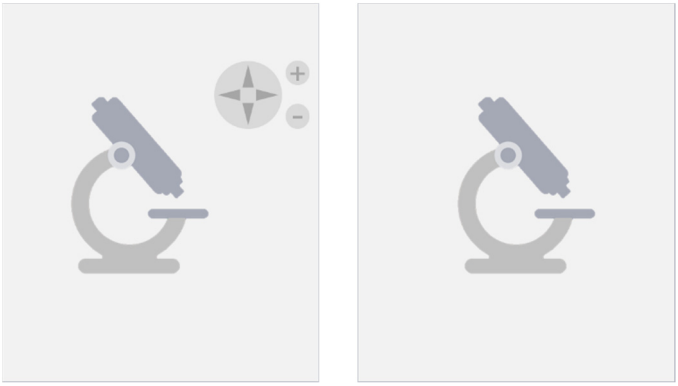


Abbildung 4-11: Gestaltungsvarianten der Modellsteuerung (links mit, rechts ohne Buttons)

Die Gestaltungsvarianten werden im nachfolgenden Kapitel komparativ getestet. Des Weiteren ergaben sich bereits etablierte Lösungen aus den Analysen, die in Kapitel 4.2.5 beschrieben und in die Pattern-Kollektion (4.3.3) aufgenommen werden.

4.2.4 Experimentelle komparative Analyse

Die Gestaltungsvarianten für interaktive 3D-Modelle aus Kapitel 4.2.3 werden aufgrund der jeweils zwei ausgewählten Lösungen in einer experimentellen komparativen Analyse gegenübergestellt und von Lernenden getestet und bewertet. Dazu konnten 29 Auszubildende, Techniker und Ingenieure der Mikrotechnologie und Elektrotechnik als Probanden und Probandinnen aus dem BMBF-geförderten Projekt (Kapitel 3.2.1) gewonnen werden. Aus den Ergebnissen werden zunächst die Gestaltungsempfehlungen (Kapitel 4.2.5) extrahiert und anschließend die 3D-Patterns (Kapitel 4.3.3) abgeleitet, die für die zielgerichtete Entwicklung von interaktiven 3D-Modellen zum Einsatz kommen können. Das Ziel der Pattern-Kollektion ist es, eine konsistente Präsentation und Interaktion mit dem 3D-Modell von der Desktopanwendung bis zur mobilen Version zu gewährleisten. Daher werden im Test verschiedene Endgeräte und Eingabemöglichkeiten (Schnittstellen) getestet.

Nach einem kurzen Demografiefragebogen werden die Testfälle in den Problemklassen Visualisierung, Information und Interaktion anhand eines Online-Fragebogens durch die Probanden und Probandinnen bewertet. Dies erfolgt mit den Testkriterien nach [DIN EN ISO 9241-12]: „Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 12: Informationsdarstellung“ und einer zusätzlichen Möglichkeit der Kommentierung. Die sieben Kriterien werden laut DIN folgendermaßen definiert:

- **Klarheit** (der Informationsinhalt wird schnell und genau vermittelt),
- **Unterscheidbarkeit** (die angezeigte Information kann genau unterschieden werden),
- **Kompaktheit** (den Benutzern und Benutzerinnen wird nur jene Information gegeben, die für das Erledigen der Aufgabe notwendig ist),
- **Konsistenz** (gleiche Information wird innerhalb der Anwendung entsprechend den Erwartungen des Benutzers stets auf gleiche Art dargestellt),
- **Erkennbarkeit** (die Aufmerksamkeit des Benutzers wird zur benötigten Information gelenkt),
- **Lesbarkeit** (die Information ist leicht zu lesen),
- **Verständlichkeit** (die Bedeutung ist leicht verständlich, eindeutig, interpretierbar und erkennbar).

Die Fragen erlauben eine Bewertung der Aussagen zu den Kriterien mit einer 5-stufigen Likert-Skala [Brosius et al. 2008, S. 62] (stimme nicht zu (-2), stimme eher nicht zu (-1),

stimme teilweise nicht zu/stimme teilweise zu (0), stimme eher zu (1) und stimme zu (2)). Abschließend werden die Stärken und Schwächen der 3D-Lernanwendung abgefragt und diskutiert, wie Abbildung 4-12 zeigt.

Abbildung 4-12: Testkonzept der komparativen Analyse

Die experimentelle komparative Analyse wird exemplarisch an dem 3D-modellierten Lichtmikroskop durchgeführt. Es ist repräsentativ für die typische Zielstellung der Präsentation von Aufbau und Funktionsweise und den Lernenden sehr bekannt, da sie es in ihrem Arbeitsalltag oft benutzen (Abbildung 4-13 und 4-14).

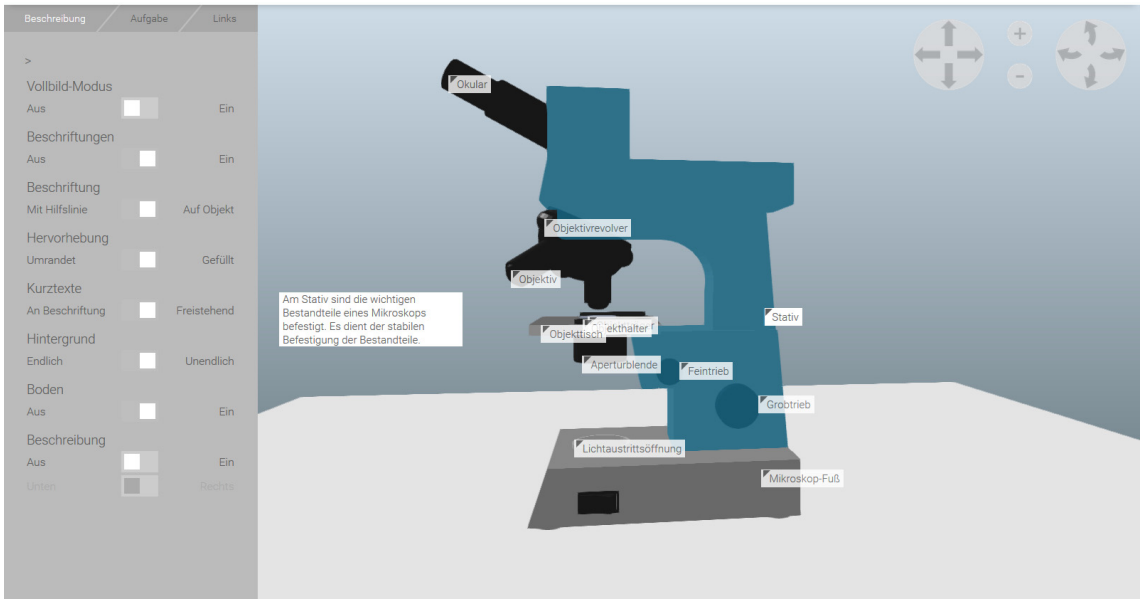


Abbildung 4-13: Testgegenstand mit Umschalter für die Gestaltungsvarianten

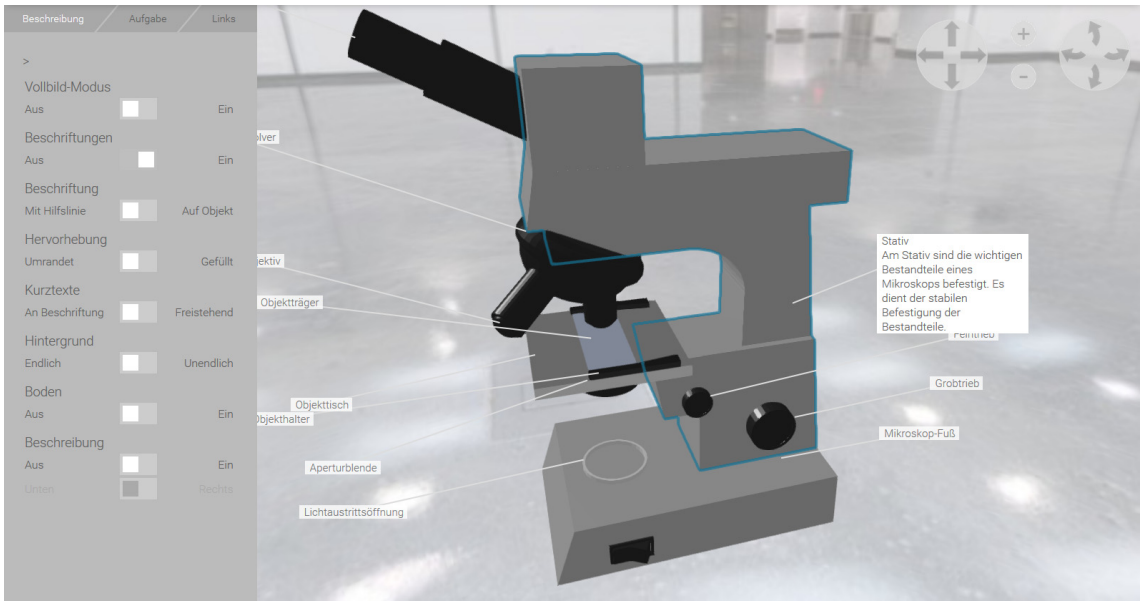


Abbildung 4-14: Testgegenstand mit alternativen Gestaltungsvarianten

Demografie

Für die komparative Analyse konnten 29 Probanden und Probandinnen gewonnen werden. Darunter waren 25 männliche Probanden sowie 4 weibliche Probandinnen. Das Durchschnittsalter betrug 24,66 Jahre. Über 22 Probanden und Probandinnen waren Auszubildende und Techniker der Mikrotechnologie. Die 3D-Vorerfahrung wurde mit Fragen zum beruflichen Alltag (z. B. tägliche Anwendung von CAD-Software und 3D-Drucker) und den privaten Tätigkeiten (z. B. tägliches Nutzen von 3D-Computerspielen oder Apps) erfasst. Lediglich zwei der 29 Probanden und Probandinnen sind durch ihre ingenieurwissenschaftliche Tätigkeit täglich im Umgang mit 3D-Modellen. Sie haben als „Erfahrene“ bereits mehrmals selbst 3D-Modelle konstruiert, während die Anfänger und Anfängerinnen 3D-Visualisierungen vorrangig aus dem privaten Bereich kennen und benutzen.

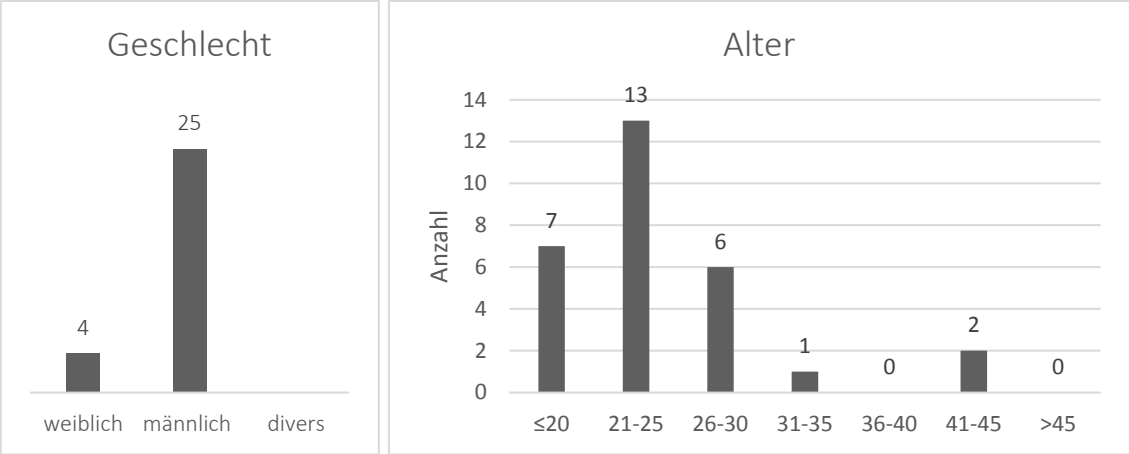


Abbildung 4-15: Geschlecht und Alter der Probanden und Probandinnen

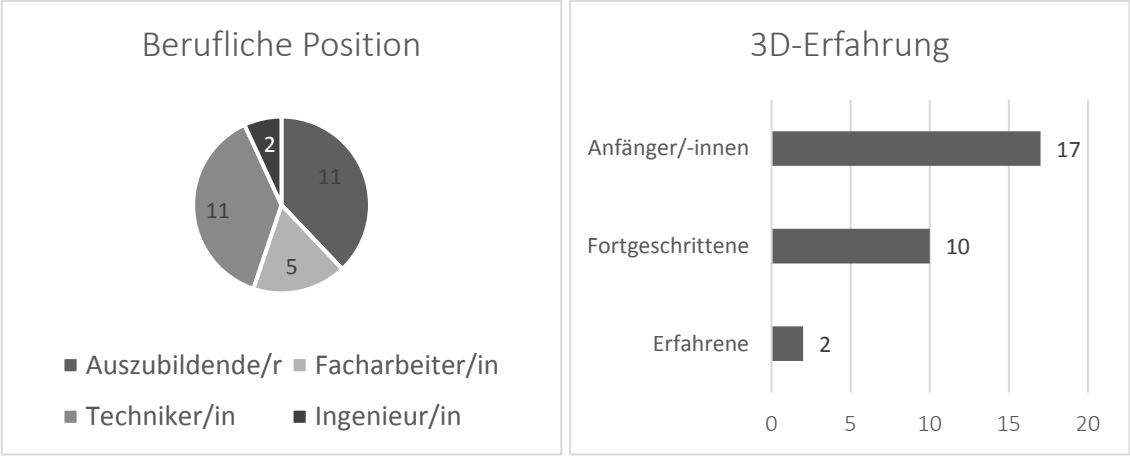


Abbildung 4-16: Berufliche Position und Vorerfahrung mit 3D

Beschriftung

Bei der Beschriftung wurde die Variante mit einer Bezugslinie zum Objektelement gegen das Label getestet. Bei allen sieben Kriterien wurde die Bezugslinie besser bewertet. Daher wurde die Variante mit der Bezugslinie mit 27 Stimmen als Favorit gewählt (Abbildung 4-17). Eine gravierende Differenz zwischen den Varianten bestand in der Unterscheidbarkeit der einzelnen Beschriftungen. Über die Hälfte der Probanden und Probandinnen war es laut ihren Hinweisen besonders wichtig, dass sich die Beschriftungen nicht überschneiden. Dies konnte lediglich die Beschriftung mit Bezugslinien garantieren, da diese weit genug auseinander lagen und sich bei der Rotation kaum überschnitten. Jedoch sollte die Beschriftung, die auf ein während der Rotation verdeckendes Objektelement Bezug nimmt, ausgeblendet werden. In der Testsituation blieben die Beschriftungen sichtbar. Dies wurde von drei Testpersonen kritisiert und als verwirrend bezeichnet. Außerdem sollte laut fünf Testpersonen gewährleistet sein, dass sich die Beschriftungen beim Zoom mitbewegen, d. h. stets sichtbar bleiben.

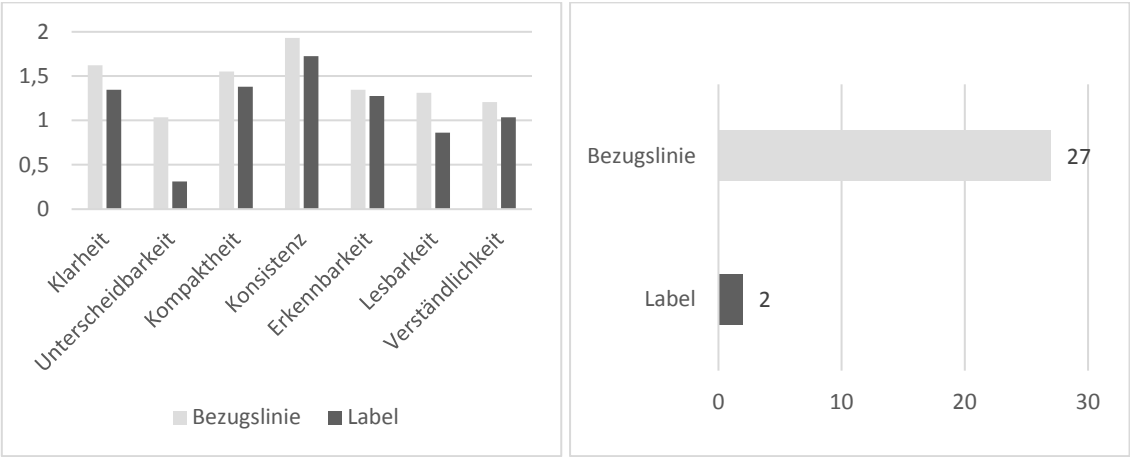


Abbildung 4-17: Bewertung und Favorit der Beschriftungsvarianten

Markierung

Auch bei der Markierung zeigte die Bewertung ein eindeutiges Ergebnis. Dabei wurde die Variante des Einfärbens eines Objektelements gegenüber der Variante der Kontur bei allen Kriterien besser bewertet und mit mehr als doppelt so vielen Stimmen als Favorit gewählt (Abbildung 4-18). Die Hinweise der Testpersonen bezogen sich vorrangig auf die schlechte Erkennbarkeit der Kontur. Dabei kritisierten sieben Probanden und Probandinnen die Akzentfarbe Petrol für diesen Zweck und forderten einen höheren Kontrast. Zudem wurde nochmals angemerkt, dass eine Label-Beschriftung die schwache Erkennbarkeit der Kontur verstärken würde und daher vermieden werden muss.

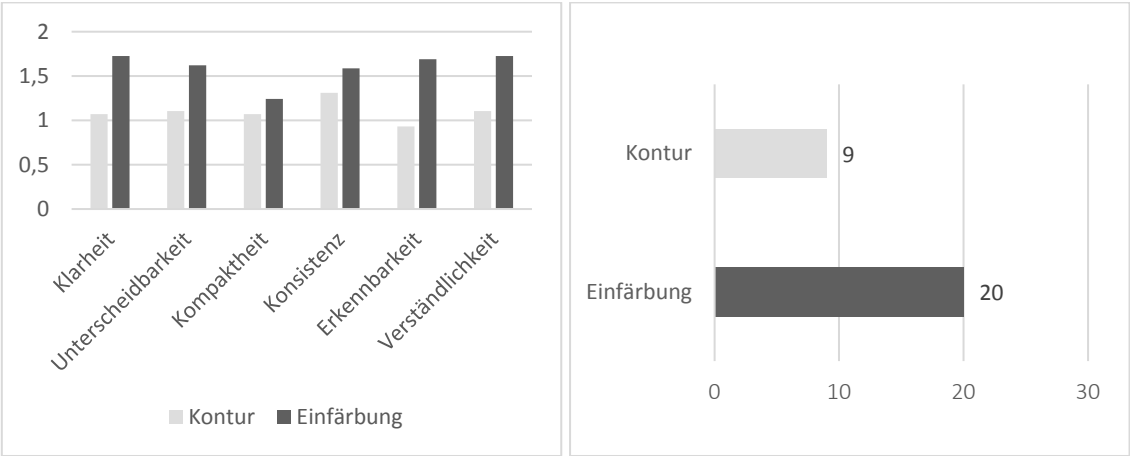


Abbildung 4-18: Bewertung und Favorit der Markierungsvarianten

Kurztexte

Die Kurztextvarianten zeigen bereits die unterschiedliche Favorisierung der Probanden und Probandinnen. In fünf von sieben Kriterien wurde der separierte Kurztext besser bewertet. Vor allem in der Klarheit und Unterscheidbarkeit übertrifft die Bewertung der separierten Kurztexte die der verknüpften mit einem größeren Abstand. In Bezug auf die Konsistenz und Erkennbarkeit konnten jedoch die verknüpften Kurztexte besser abschneiden. Mit 18 zu 11 Stimmen wurden die separierten Kurztexte favorisiert (Abbildung 4-19). Wichtig war es auch in diesem Testfall für mehr als die Hälfte der Testpersonen, dass eine Überdeckung so gut wie möglich zu vermeiden ist. Gerade bei den verknüpften Kurztexten überlagert der Text das entsprechende Bauteil, was die Testpersonen dazu veranlasste, die Perspektive zum 3D-Modell in einem extra durchgeführten Schritt, z. B. durch Rotation, anzupassen. Dazu gaben drei Testpersonen die Empfehlung, einen Hinweis für das Vorhandensein eines Kurztextes an den Beschriftungen zu integrieren, z. B. durch das Einbringen von zwei kleinen Pfeilen.

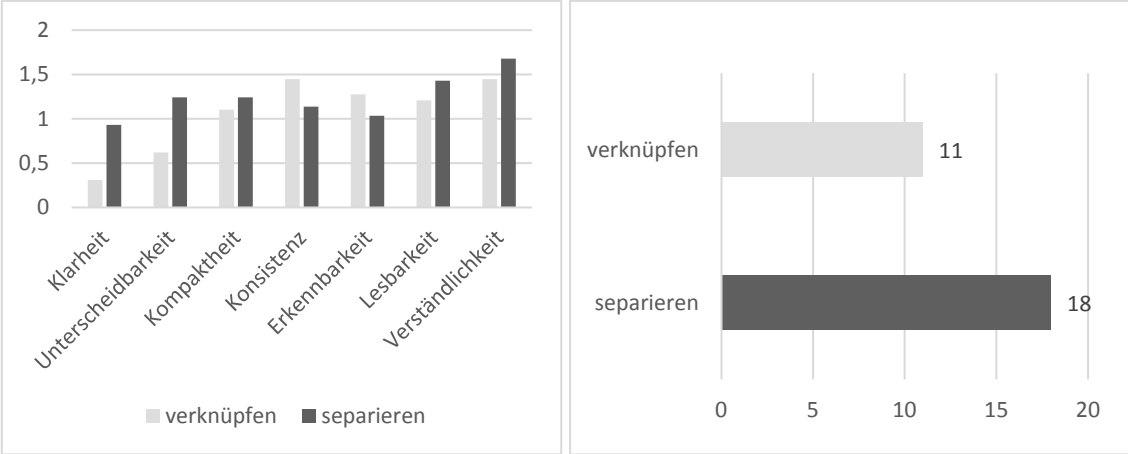


Abbildung 4-19: Bewertung und Favorit der Kurztextvarianten

Langtexte

In diesem Testfall wurden die Positionen der Langtexte, die mehr Platz einnehmen als die Kurztexte, gegeneinander getestet. Dabei zeigt die Bewertung eindeutig, dass eine horizontale Ausrichtung, also das links- bzw. rechtsseitige Platzieren des Textes neben dem 3D-Modell, besser bewertet wurde als eine vertikale Variante. Trotzdem hatte bei der Favoritenwahl die horizontale Variante lediglich fünf Stimmen mehr als die vertikale erhalten (Abbildung 4-20). Für knapp die Hälfte der Testpersonen wurde ein Langtext generell als störend und belastend empfunden. Stichpunkte als Verbesserungsvorschlag wurden gegeben, um den Inhalt schneller zu erfassen oder um eventuelles Scrollen zu vermeiden. Auf der anderen Seite gaben die Probanden und Probandinnen an, einen Langtext standardmäßig einzublenden, um die Nutzer und Nutzerinnen von Beginn an an den verwendeten Platz der Langtexte zu gewöhnen. Auch in diesem Testfall gingen vier der Testpersonen nochmals auf die Überlagerung von Inhaltselementen ein, die unbedingt zu vermeiden wäre.

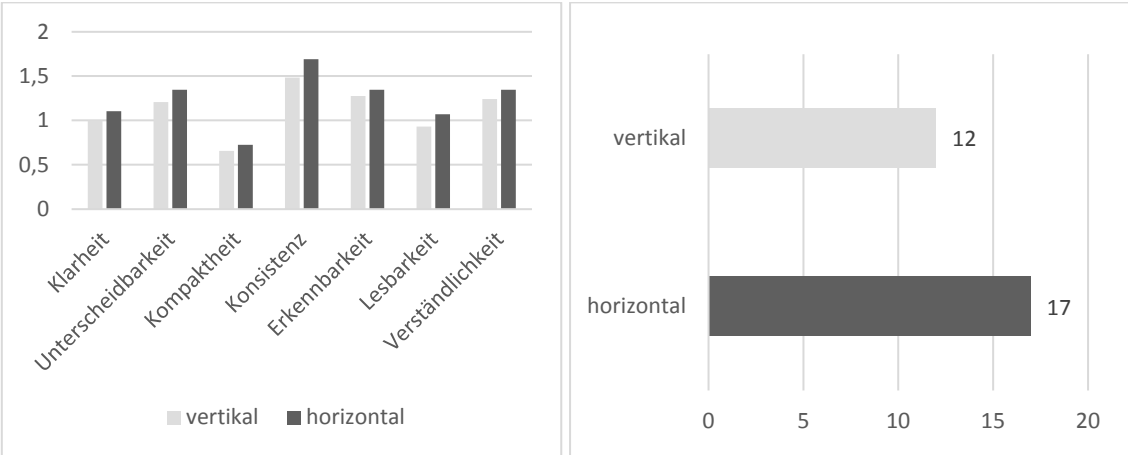


Abbildung 4-20: Bewertung und Favorit der Langtextvarianten

Hintergrund

Der Test der Hintergrundvarianten ist der einzige Testfall, bei dem die Bewertung mit der Favoritenwahl nicht korreliert. Dazu wurde ein endlicher Hintergrund, der das Lichtmikroskop in einem Labor zeigt, gegen einen Farbverlauf, der einen unendlichen Hintergrund visualisiert, getestet. Dabei erhielt der unendliche Hintergrund bei fünf der sieben Kriterien mit teilweise enormem Abstand eine bessere Bewertung. Deutlich ist dies an der Kompaktheit zu sehen. Die Fragestellung bezog sich jedoch dabei auf die Verdeutlichung des Nötigsten, das bei einem unendlichen Hintergrund mehr gegeben ist als bei einer Grafik. In der Erkennbarkeit und Verständlichkeit wurde dagegen der endliche Hintergrund besser bewertet, da hierbei der konkrete Kontext und damit ein „echter“ Hintergrund präsentiert wurde. Der endliche Hintergrund wurde dann mit 21 zu 8 Stimmen als Favorit gewählt (Abbildung 4-21). Durch die Kommentare und Hinweise wurde deutlich, dass die Farbwahl des unendlichen Hintergrunds großen Einfluss auf die Bewertung hatte. Dabei wurde von fünf Probanden und Probandinnen angemerkt, dass der blaue Hintergrund das Mikroskop transparent wirken lässt, während das helle Labor als Grafik einen plastischeren Eindruck vermittelt und die wirkliche Größe verständlich macht. In diesem Testfall sollte ein Mittelweg gefunden werden, der die zwei Varianten ermöglicht.

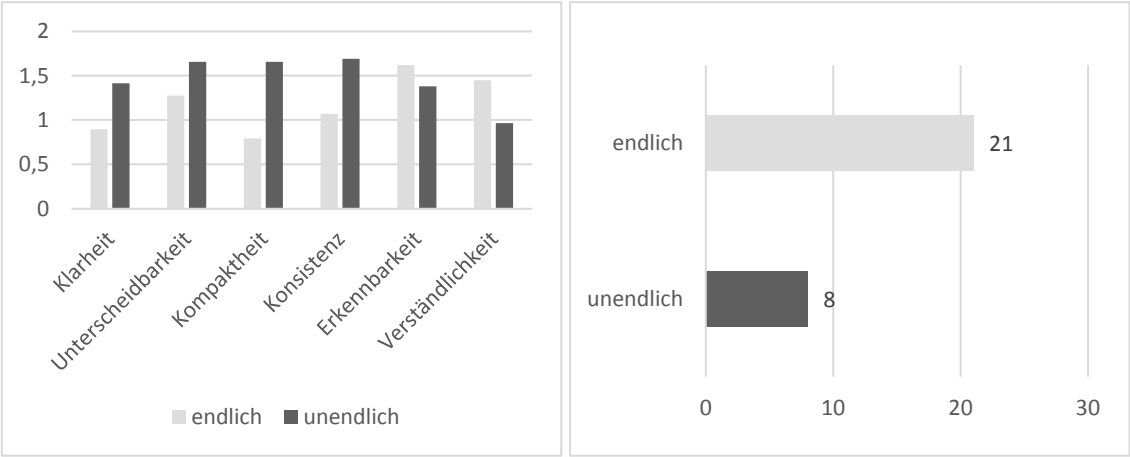


Abbildung 4-21: Bewertung und Favorit der Hintergrundvarianten

Untergrund

Der Test der Untergrundvarianten stellte sich zunächst als weitere große Herausforderung dar, da die Variante mit Untergrund gegen die ohne bewertet werden sollte. Zunächst zeigte sich bei der technischen Realisierung, dass ein Schattenwurf aufwendig zu programmieren ist. Hierfür musste eine transparente Bodenplatte erstellt werden, die dann durch den Lichteinfall einen Schatten des Lichtmikroskops wiedergeben kann. Daher war es einfacher die Variante mit einer einfachen Bodenplatte zu testen. Diese wurde jedoch

unsichtbar, sobald die Nutzer und Nutzerinnen zur Unterseite des Lichtmikroskops rotierten, um die Sicht darauf zu ermöglichen. In diesem Testfall konnten die Kriterien jedoch nicht bewertet werden, da die Variante ohne Bodenplatte keine vergleichbaren Ergebnisse geliefert hätte. Demzufolge wurden die Testpersonen nach dem Mehrwert eines Bodens sowie dem Favoriten gefragt. Über die Hälfte der Probanden und Probandinnen erkannten, dass eine Bodenplatte die Darstellung der korrekten Position des 3D-Modells unterstützt und es damit natürlicher wirkt. Dazu merkten aber sieben Testpersonen an, dass eine Bodenplatte zu mehr unnötigen Informationen führt und bei diesem Lerngegenstand als überflüssig anzusehen sei. Diese Gegensätzlichkeit zeigt sich weiterhin in der Wahl des Favoriten. Während 15 Testpersonen die Variante ohne Boden bevorzugt, stehen diesen 14 entgegen, die eine Bodenplatte wählen würden (Abbildung 4-22). Dieses Ergebnis war abhängig von der Wahl des Hintergrunds. Hatten die Testpersonen bereits den endlichen Hintergrund eingestellt, empfanden sie die Bodenpatte als Tisch. Dies erzeugte einen realistischen Eindruck. Bei der Voreinstellung mit unendlichem Hintergrund wurde die Bodenplatte eher für unnötig erachtet. Für die Pattern-Entwicklung muss, ähnlich der Hintergrundvarianten, die Lösung einen Mittelweg darstellen.

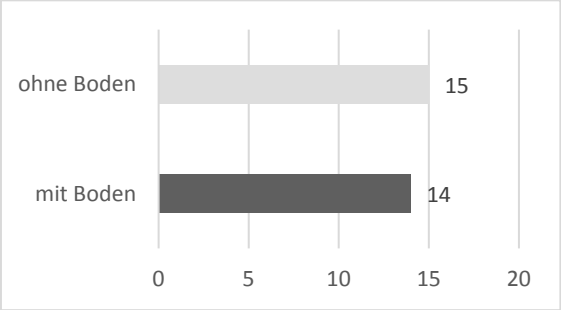


Abbildung 4-22: Favorit der Untergrundvarianten

Interaktion

Der Test der Interaktion bezog sich bei der experimentellen komparativen Analyse auf die Notwendigkeit von Buttons auf verschiedenen Geräten wie Laptop oder mobilem Endgerät. Dabei konnten die Interaktionen Rotation, Translation und Zoom für die Modell- sowie für die Kamerasteuerung getestet werden. Für die Selektion waren die Buttons nicht relevant. Die Schnittstellen waren die Computermaus, die Tastatur, die Touch-Funktion (NUI - Natural User Interface) und jeweils Buttons auf dem Laptop und Tablet zur Steuerung. Für jede Schnittstelle wurde ein Szenario erstellt, das die Probanden und Probandinnen mit der entsprechenden Interaktion durchführen und anschließend nach Intuitivität in eine Rangliste eintragen sollten. Nach der Bewertung der einzelnen Schnittstellen erbrachte das Ranking das in Tabelle 4-9 dargestellte Ergebnis.

Tabelle 4-9: Ranking der Schnittstellen (1 - sehr intuitiv, 5 - wenig intuitiv)

	Rotieren	**Verschieben**	**Zoom in/out**
1	Maus	Maus	Maus
2	NUI	NUI	NUI
3	Buttons (Laptop)	Buttons (Laptop)	Buttons (Laptop)
4	Buttons (Tablet)	Tastatur	Tastatur
5	Tastatur	Buttons (Tablet)	Buttons (Tablet)

Deutlich erkennbar ist, dass die Steuerung mit der Maus am intuitivsten bewertet wurde. Dieser folgen die Touch-Steuerung und die Buttons, die auf dem Laptop genutzt werden konnten. Die Schlusslichter bilden die Tastatur und die Buttonsteuerung auf dem Tablet. Gleich ob Kamera- oder Modellsteuerung verlangt war, wurden die Buttons schlechter bewertet und während des gesamten Tests selten benutzt. Daher ist eine Steuerung über die Buttons nur als zusätzlich anzusehen.

Stärken, Schwächen und Kommentare

Nach dem komparativen Test wurden Stärken, Schwächen und weitere Vorschläge zur Verbesserung für das Lernen mit einem 3D-Modell durch die Probanden und Probandinnen erfragt. Zu den am häufigsten genannten Stärken zählen die leicht erlernbare und einfache Bedienung, die übersichtliche Darstellung des Lerngegenstandes sowie die flüssige und stabile Anwendung. Dazu wurde häufig betont, dass das 3D-Modell viele Informationen preisgibt und die dazugehörigen kurzen Texte gut verständlich waren. Zudem gaben sechs Testpersonen an, dass die Stärke allein in der Aufbereitung des Lichtmikroskops als detailliertes und realistisches 3D-Modell vorliegt. Somit wäre durch die 3D-Sicht das Betrachten von allen Winkeln aus möglich und das eigene Interesse geweckt, um sich das Wissen leichter anzueignen. Als die größte Schwäche in der 3D-Lernanwendung wurde die Farbgebung angesehen. Knapp die Hälfte der Testpersonen merkten an, dass die Farben, vor allem von 3D-Modell und Hintergrund, stärker voneinander getrennt werden sollten. Die zweit häufigste Schwäche bezog sich auf die Informationen, die teilweise Modellelemente oder weitere Texte verdeckten und damit das 3D-Modell überladen wirken ließen. Zudem wurde in fünf Fällen kritisiert, dass die gesamtheitliche Erklärung des Mikroskops als Langtext zu umfangreich sei und insgesamt kurze Texte wünschenswert sind. In den Kommentaren wurden lediglich die Bedienhinweise und die interessante Darstellung mit hoher Lernförderlichkeit noch einmal angemerkt.

Zusammenfassung

Die Testergebnisse zeigen, dass die Lernenden von interaktiven 3D-Modellen in erster

Linie Übersichtlichkeit fordern. Beschriftungen dürfen sich bei Rotation des 3D-Modells nicht überlappen und damit wichtige Bauteile verdecken. Gleiches gilt für Bauteilbeschreibungen in Form von Kurztexten. Diese sollten das 3D-Modell im Idealfall nicht verdecken und möglichst separat präsentiert werden. Zu Beschriftungen im 3D-Modell gehören zusätzliche visuelle Markierungen der gewählten Bauteile. So lassen sich die räumlichen Ausmaße konkreter erkennen. Die Untergrund- und Hintergrundanalyse erbrachte keine eindeutigen Ergebnisse. Jedoch sollte in diesen Fällen das Keep-it-simple-Prinzip im Fokus stehen. Der Test zeigte, dass im Gegensatz zu Umrandungen, vollflächiges Einfärben der Bauteile bevorzugt wird. Weiter wurden die Interaktionsmöglichkeiten Rotation, Translation und Zoom mit unterschiedlichen Eingabegeräten getestet. Die Interaktion durch die Computermaus wurde hierbei bevorzugt, da die Bedienung des 3D-Modells am einfachsten zu erlernen war.

4.2.5 Extraktion von Gestaltungsempfehlungen

Bevor die 3D-Patterns im nächsten Kapitel definiert werden, sind in diesem sämtliche Gestaltungsvarianten und -empfehlungen zusammenzutragen, die bisher auftraten und die für wiederkehrende Probleme Musterlösungen schaffen. Diese werden zu Problem-Lösungs-Konstrukten verdichtet. Grundlegend stammen sie aus empirischen Tests, während der andere und überwiegende Teil aus bewährten Lösungen besteht. Wie in Kapitel 4.2.4 beschrieben, haben sich bereits Lösungen für Problemstellen der 3D-Lernanwendungen etabliert und werden zudem häufig und in minimalen Variationen angewendet. In der komparativen Analyse wurden dazu lediglich die Problemstellen mit den häufigsten Varianten, wie z. B. die Beschriftung, getestet. Für die Problem-Lösungs-Konstrukte dienen die folgenden gesammelten Ergebnisse:

- Auffälligkeiten der unterschiedlichen Gestaltung aus Kapitel 3.1.1,
- Inhaltstypen und Screen-Layout aus Kapitel 3.1.3,
- Anforderungen von Lehrenden und Lernenden aus den Unterkapiteln von 3.2 und
- Testergebnisse der komparativen Analyse aus Kapitel 4.2.4.

Nach der Formulierung der Problem-Lösungs-Konstrukte werden diese aufgrund der Passfähigkeit nach den Problemklassen Visualisierung, Information und Interaktion aus Kapitel 4.2.2 sortiert (Tabellen 4-10 bis 4-13). Dazu wird markiert, ob diese empirisch durch den Test oder analytisch festgestellt wurden.

Tabelle 4-10: Problem-Lösungs-Konstrukte bezüglich der Visualisierung

Name	**Problem**	**Lösung**	**empirisch/ analytisch**
Framework	Das 3D-Modell soll in einem Rahmen präsentiert werden, der Bereiche für weitere Inhaltstypen bereitstellt.	Das 3D-Modell muss im Fokus stehen. Die Inhaltstypen können allseitig oder mit dem Modell auf horizontaler Ebene dargestellt werden. Wichtig ist es dabei, die Elemente ausblendbar zu gestalten.	empirisch
3D-Erkennbarkeit	Die Lernenden sollen auf den ersten Blick erkennen, dass ein 3D-Modell anstatt einer Grafik vorliegt.	Das 3D-Modell wird durch Dynamik erkennbar. Dies wird durch eine automatische Rotation ermöglicht, die den Lernenden die dreidimensionalen Ausmaße des Modells aufzeigt.	empirisch
Detaillierung	Es ist unklar, mit welchem Abstraktionsgrad das 3D-Modell aufbereitet werden muss.	Wichtige Bauteile sollten detaillierter modelliert werden. Weniger wichtige können als Primitive erstellt werden. Wesentlich ist das Einsparen von Polygonen. Daher können z. B. Schrauben, Knöpfe oder Stromkabel ausgespart werden, wenn diese nicht von den Lernenden genutzt oder erlernt werden.	analytisch
Farbschema	Einzelne Elemente im 3D-Modell weisen gleiche Charakteristiken und Interaktionsmöglichkeiten auf.	Durch die Wahl von gleichen Farben enthalten die einzelnen Elemente des 3D-Modells spezifische Bedeutungen und indirekt Hinweise zur Bedienung durch die Lernenden. Ein zuvor festgelegtes Farbschema erleichtert die Modellierung und Programmierung des 3D-Modells.	empirisch
Markierung als Hervorhebung	Die Aufmerksamkeit der Lernenden soll nach einer Aktion auf Elemente des 3D-Modells gelenkt werden, die das Ergebnis verdeutlichen.	Um ein Bauteil hervorzuheben, sollte dies vollflächig eingefärbt werden. Dadurch werden die baulichen Ausmaße der komplexen Elemente eindeutig erkennbar und unterscheidbar.	empirisch
Markierung als Hotspot	Die Aufmerksamkeit der Lernenden soll auf ein Element des 3D-Modells gelenkt werden, das die Lernenden zu einer Aktion auffordert.	Die zu aktivierenden Elemente des 3D-Modells müssen auffällig als Zugangspunkte (sogenannte Hotspots) markiert werden.	analytisch
Hintergrund	Die Wahl eines passenden Hintergrunds für ein 3D-Modell kann nicht bestimmt werden.	Der Hintergrund eines 3D-Modells darf die Lernenden nicht ablenken. Dafür eignen sich eintönige Farben. Soll der Lerngegenstand jedoch in einer realistischen Umgebung (z. B. Produktionshalle, Labor) gezeigt werden, sollte dies optional durch den Lernenden aktiviert/deaktiviert werden können.	empirisch
Untergrund	Die Wahl eines passenden Untergrunds kann nicht bestimmt werden. Die Orientierung des 3D-Modells ist nicht eindeutig.	Eine Bodenplatte hilft bei der Demonstration von Aufbauten und Lerngegenständen mit mehreren Elementen auf einer Ebene oder wenn eine kanonische Ansicht benötigt wird. Hierauf kann weiterhin ein Schattenwurf helfen, um das 3D-Modell realistischer aussehen zu lassen. Soll ein schwebender Lerngegenstand, wie z. B. ein Molekül, gezeigt werden, wird kein Untergrund benötigt.	empirisch
Größenverhältnis	Die Größe des 3D-Modells als Abbild eines realen Lerngegenstandes ist für die Lernenden schwer vorstellbar.	Zur Verdeutlichung der Größe können bekannte Referenzobjekte eingebracht werden. Dabei sind der menschliche Körper bzw. Körperteile, wie z. B. Hand, Kopf oder ein einzelnes Haar, gute Referenzgrößen.	analytisch

Tabelle 4-11: Problem-Lösungs-Konstrukte bezüglich der Visualisierung (Fortsetzung)

Name	**Problem**	**Lösung**	**empirisch/ analytisch**
Teilanimation	Die Lernenden sollen Aktionen auslösen, deren Ergebnis bzw. der nachfolgende Prozess zu komplex ist, als dass dieser selbstständig durch die Lernenden erarbeitet werden kann.	Durch Teilanimationen können den Lernenden Teilprozesse demonstriert werden. Dies spart Programmieraufwand ein, da nicht alles interaktiv gestaltet wird. Das Ergebnis kann hierdurch zielgerichteter demonstriert werden.	analytisch
Gesamtanimation	Die komplexe Funktionsweise oder der Gesamtaufbau sollen vollständig und ohne Eingreifen der Lernenden demonstriert werden. Die Lernenden können den Prozess lediglich starten, pausieren und stoppen.	Eine vollständige Animation aller Elemente, die für die Funktionsweise oder den Aufbau relevant sind, müssen so animiert werden, dass das Zusammenspiel für die Lernenden erkennbar wird.	analytisch
Unsichtbare Felder	Im Lerngegenstand entstehen physikalische Felder, die in der Realität nicht sichtbar sind.	Ein Feld kann durch mehrere Linien oder Pfeile, die in die gleiche Richtung zeigen, dargestellt werden. Auch ein gerichtetes animiertes Feld kann bei höheren Kapazitäten eingesetzt werden. Zur Verstärkung können beide Lösungen kombiniert werden.	analytisch
Unsichtbare Flüsse, Ströme, Kräfte	Der Lerngegenstand enthält gerichtete Ströme, Kräfte oder Flüsse, die in der Realität nicht sichtbar sind.	Ein Strom, Fluss bzw. eine Kraft wird durch einen Pfeil in dessen Ausbreitungsrichtung dargestellt. Auch ein gerichteter animierter Strahl oder Partikelflug kann bei höheren Kapazitäten eingesetzt werden. Zur Verstärkung können beide Lösungen kombiniert werden.	analytisch
Blick ins Innere	Die Lernenden sollen den inneren Aufbau oder die inneren Prozesse eines komplexen Lerngegenstandes erlernen. Diese werden grundlegend durch andere Bauteile oder die Hülle verdeckt.	Um den inneren Aufbau oder Prozesse eines Lerngegenstandes zu erfahren, sollten die Lernenden durch Interaktion verdeckende Elemente aus- und einblenden können.	analytisch
Blick ins Innere bei Symmetrie	Die Lernenden sollen den inneren Aufbau oder die inneren Prozesse eines (axial-)symmetrischen Lerngegenstandes erlernen. Diese werden durch die äußere Hülle verdeckt.	Um hierbei ins Innere zu blicken, kann ein Aufschnitt bzw. Querschnitt durch die Lernenden aktiviert werden. Dies bietet sich vorrangig bei Modellen an, deren Elemente in einer Ebene liegen. Auch ein Schnitt der Außenhülle kann die Sicht auf die inneren Elemente freigeben. Bei dieser Lösung bleiben die Bauteile in ihrer Geometrie bestehen.	analytisch
Blick ins Innere bei Asymmetrie	Die Lernenden sollen den inneren Aufbau oder die inneren Prozesse eines asymmetrischen Lerngegenstandes erlernen. Diese werden durch die äußere Hülle verdeckt.	Um bei asymmetrischen Konstrukten ins Innere zu blicken, hilft Transparenz der äußeren Hülle. Damit bleibt die Geometrie der Elemente oder der Gruppen erhalten.	analytisch

Tabelle 4-12: Problem-Lösungs-Konstrukte bezüglich der Information

Name	**Problem**	**Lösung**	**empirisch/ analytisch**
Tutorial	Die Lernenden benötigen für den Einstieg erste Schritte und Hinweise zur Nutzung und Bedienung des 3D-Modells.	Die Lernenden werden anhand eines Tutorials angeleitet. Ihnen werden alle Funktionen und Interaktionsmöglichkeiten präsentiert.	empirisch
Langtexte	Die Lernenden benötigen eine gesamtheitliche inhaltliche Erklärung des Systems.	Durch ausführliche Informationen, z. B. zum Aufbau und Funktionsweise des Systems, sollte ein zusammenhängender Text erstellt werden. Der Langtext sollte in unmittelbarer Nähe und horizontal zum 3D-Modell integriert werden, sodass beschriebene Elemente im 3D-Modell parallel dazu auffindbar sind.	empirisch
Kurztexte	Die Lernenden benötigen eine spezifische Erklärung einzelner Elemente, wie z. B. den Zweck eines Bauteils.	Für eine kurze Erklärung bestimmter Elemente in 1-2 Sätzen bietet sich ein separater Bereich für den Text an.	empirisch
Gestaltung der Beschriftung	Die Lernenden sollen die Bezeichnungen von einzelnen Elementen oder Elementgruppen erlernen, um z. B. den Aufbau eines technischen Systems zu verstehen.	Beschriftungen am 3D-Modell dienen der eindeutigen Zuordnung von Name und Element. Die Verwendung einer Bezugslinie hilft dabei auf die Elemente eindeutig hinzuweisen.	empirisch
Beschriftung von Gruppen	Die Lernenden sollen die Bezeichnungen von Gruppen und deren enthaltenen Elementen erlernen.	Eine Gruppenbeschriftung kann zur Reduktion von vielen Einzelbeschriftungen eingefügt werden. Durch Interaktion, z. B. einen Klick auf ein „Ungroup-Icon“, können die Beschriftungen aller Gruppenelemente im Einzelnen sichtbar werden.	analytisch
Aufgaben	Die Lernenden sollen einen Einstieg zum Lernen mit einem 3D-Modell erhalten, um ein bestimmtes Lernziel zu verfolgen.	Die Lernenden benötigen konkrete Aufgaben für die Nutzung des 3D-Modells. Die Aufgaben sollten für die Lernenden eindeutig erkennbar und verständlich sein. Durch die Aufgabenstellung soll den Lernenden das Lernziel verdeutlicht werden.	empirisch
Ausgabe	Das Ergebnis einer Simulation mit einem 3D-Modell soll für die Lernenden ersichtlich werden.	Eine Ausgabe als Tabelle, Diagramm oder Grafik sollte nah am 3D-Modell präsentiert werden, damit die Lernenden das Ergebnis mit den Aktivitäten am 3D-Modell vergleichen können. Echtzeitänderungen verstärken das Erlernen von Zusammenhängen.	empirisch
Timer	Die Lernenden sollen für das Lernen mit einem 3D-Modell begrenzte Zeit erhalten.	Die Zeitdauer wird durch einen ablaufenden Timer angezeigt. Nach Ablauf der Zeit können die Lernenden keine Änderungen vornehmen.	analytisch
Fehler	Durch Interaktionen werden den Lernenden viele Möglichkeiten geboten mit dem 3D-Modell zu arbeiten. Die Lernenden sollen dabei deutlich erkennen, wenn sie Fehler machen.	Ein deutliches Zeichen, wie z. B. ein rotes X, soll als Feedback den Lernenden auf einen Fehler hinweisen und zur Wiederholung auffordern.	analytisch

Tabelle 4-13: Problem-Lösungs-Konstrukte bezüglich der Interaktion

Name	**Problem**	**Lösung**	**empirisch/ analytisch**
Rotation	Die Lernenden sollen interaktiv hinter das 3D-Modell blicken können.	Der Blick hinter bzw. unter ein 3D-Modell wird durch die Rotation ermöglicht. Damit kann das 3D-Modell von allen Seiten betrachtet werden.	analytisch
Bereitstellung	Das 3D-Modell soll für eine Vielzahl von Lernenden verfügbar sein.	Die Bereitstellung sollte webbasiert erfolgen. Damit ist ein Referenzieren durch Verlinken z. B. auf Moodle einfacher.	empirisch
Reset-Button	Die Lernenden geraten durch die intensive Nutzung des 3D-Modells, z. B. durch Zoom oder Rotation, oft in eine verwirrende Ansicht.	Ein Reset-Button (Reset View) erleichtert es den Lernenden, in die Ausgangs- bzw. Startposition für die kanonische Ansicht zu gelangen.	empirisch
Zoom	Die Lernenden sollen in einem komplexen 3D-Modell an wichtigen Stellen eine vergrößerte Ansicht erhalten.	Durch die Zoom-Funktion können die Lernenden eine kontinuierliche Vergrößerung erhalten.	empirisch
Selektion	Die Lernenden sollen spezifische Elemente anwählen können, um z. B. Beschriftungen aufzurufen	Durch einen Klick (Computermaus) oder Tap (mobile Endgeräte) können die Lernenden die Selektion ausführen.	empirisch
Translation	Wichtige Objektelemente des 3D-Modells sind durch die intensive Interaktion außerhalb des Ansichtsfensters geraten.	Mit der Translations-Funktion kann das 3D-Modell zurück verschoben werden.	empirisch
Puzzeln	Die Lernenden sollen den Aufbau oder die Funktionsweise eines technischen Konstrukts schrittweise verinnerlichen.	Die Lernenden können das 3D-Modell selbstständig Zusammenbauen, indem z. B. Bauteile zusammengesetzt bzw. gepuzzelt werden. Dies ist mit einer höheren Interaktion verbunden.	analytisch
Manipulation durch Dateneingabe, diskret	Die Lernenden sollen Zusammenhänge und Abhängigkeiten von Größen durch konkrete Zahlen- und Datenänderungen erkennen.	Textfelder für die Dateneingabe ermöglichen den Lernenden eine Änderung spezifischer Parameter. Hierfür ist in den meisten Fällen eine Tastatur (Hardware oder eingeblendete digitale Tastatur bei mobilen Endgeräten) nötig.	analytisch
Manipulation durch Slider, kontinuierlich	Die Lernenden sollen Zusammenhänge und Abhängigkeiten von Größen mit einer kontinuierlichen Änderung erkennen.	Die Zustandsänderung innerhalb eines 3D-Modells kann z. B. durch Benutzen von Slidern kontinuierlich erfolgen.	empirisch

4.3 Definition der Patterns

Dieses Kapitel präsentiert die Ergebnisse der analysierten und getesteten Musterlösungen zur Gestaltung der interaktiven 3D-Modelle in Pattern-Form. Nach den Anforderungen aus Kapitel 4.1 werden diese aufbereitet und als Pattern-Kollektion zusammengestellt.

Die Vorgehensweise beschreibt den Weg zur finalen Pattern-Kollektion. In der Entwicklung (Kapitel 4.3.2) werden anschließend die Festlegungen zur Gestaltung der Patterns mit entsprechender Pattern-Struktur und Kategorisierung beschrieben und diskutiert. Nach Ausformulieren der einzelnen Patterns erfolgt das Einordnen der Patterns in die zuvor erarbeitete Kategorisierung. Danach wird das Ergebnis der finalen Patterns als Pattern-Kollektion in 4.3.3 gezeigt.

4.3.1 Vorgehensweise

Nachdem im vorangegangenen Kapitel die formulierten Problem-Lösungs-Konstrukte von interaktiven 3D-Modellen vorliegen, werden nun die einzelnen Schritte bis zur finalen Präsentation der Pattern-Kollektion vorgestellt. Dabei wird dieselbe Vorgehensweise für die analysierten Lösungen wie für die getesteten Lösungen genutzt.

Die Definition der Patterns beinhaltet zunächst die zwei parallelen Prozesse des Kategorisierens der Patterns sowie des Aufstellens der Pattern-Struktur. Diese sind Voraussetzungen für das vollständige Ausformulieren der 3D-Patterns. In diesem Schritt werden die einzelnen Strukturelemente textlich befüllt und mit einer Grafik zur beispielhaften Demonstration visuell unterstützt. Damit eine Pattern-Kollektion entstehen kann, werden im darauffolgenden Schritt Beziehungen unter den 3D-Patterns aufgezeigt. Durch das Aufzeigen der Verbindungen könnte hier von einer Pattern Language bzw. Mustersprache gesprochen werden. Da jedoch lediglich Lösungen zu den Kernproblemen die 3D-Modell-Entwicklung erstellt werden, wird der Begriff der Pattern-Kollektion genutzt. Diese wird im letzten Schritt präsentiert. Abbildung 4-23 fasst das gesamte Vorgehen noch einmal zusammen.

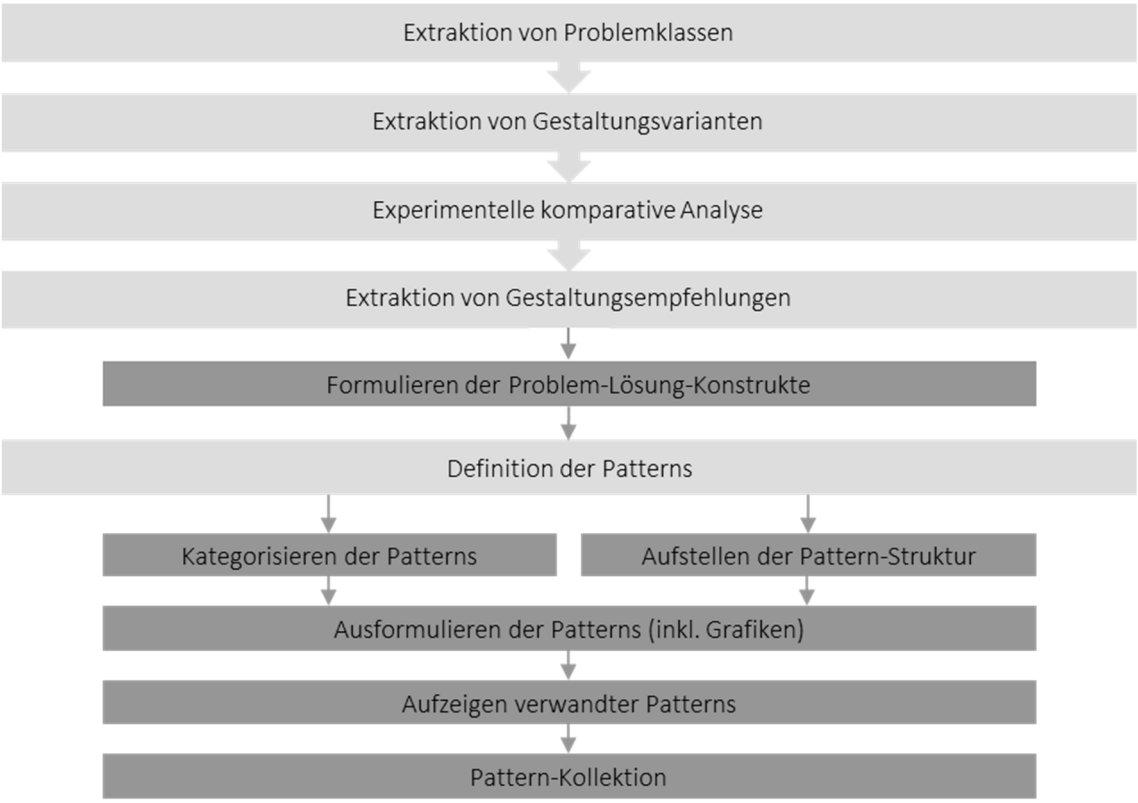


Abbildung 4-23: Vorgehensweise mit Fokus auf der Definition der Patterns (e. D.)

4.3.2 Entwicklung

Kategorisieren der Patterns

Die Erkenntnisse zur Aufbereitung von 3D-Lernanwendungen zeigen unterschiedliche Ausprägungen der Problemstellen. Der Großteil dieser richtet sich explizit an das 3D-Modell. Die Patterns beschreiben hierzu Lösungen für spezifische Aufgaben der 3D-Modelle, wie z. B. das Animieren der Funktionsweise oder das Beschriften einzelner Bauteile. Durch die Analysen aus Kapitel 3.1.1 zeigen sich ganz explizit Schwachstellen der derzeit vorhandenen Lernanwendungen mit 3D-Modellen, die in diesem Fall nicht spezifisch, sondern allgemeingültig sind. Sie sollten mit entsprechender Lösung in allgemeine bzw. übergeordnete Patterns abgeleitet werden. So fehlt z. B. oftmals ein Reset-Button, um die Ansicht zurückzusetzen und zur Ausgangsansicht zu gelangen. Ein weiteres Beispiel ist der Aufbau des Frameworks, in welches das 3D-Modell integriert wird.

Die Patterns sind daher in folgende zwei Kategorien zu gliedern:

- Allgemeine 3D-Patterns
- Spezifische 3D-Patterns

Bei der Entwicklung soll dadurch sichergestellt werden, dass allgemeine Regeln zum Aufbereiten von 3D-Modellen stets eingehalten werden. Spezifische Regeln können dann in Abhängigkeit der erforderten Aufgaben des 3D-Modells ausgewählt werden.

Für die allgemeinen 3D-Patterns ergeben sich die zwei Teilbereiche:

- Technischer Rahmen und
- 3D-Modell,

die in Abbildung 4-24 aufgelistet sind. Die spezifischen 3D-Patterns werden in die bekannten Problemklassen aus Kapitel 4.2.2:

- Visualisierung,
- Information und
- Interaktion

gegliedert. Dazu sind die getesteten und analysierten Gestaltungsempfehlungen der 3D-Modelle in Abbildung 4-25 hierarchisch mit Oberbegriffen dargestellt. Es ist hinzuzufügen, dass diese 3D-Patterns durch Beispiele aus webbasierten 3D-Modellen entstanden sind. Dies wird vor allem bei der Interaktion deutlich, da Grundinteraktionen wie Rotation oder das Zoomen für das sonst funktionslose WebGL programmiert werden mussten. Es ist sehr wahrscheinlich, dass in Zukunft Grundinteraktionen bereits bei möglichen Autorensystemen enthalten sind. Hierfür wäre es dann realisierbar, unnötige Interaktionen, wie z. B. das Rotieren um alle drei Achsen, auszuschalten und nur die gewünschten Drehachsen bzw. Freiheitsgrade freizuschalten.

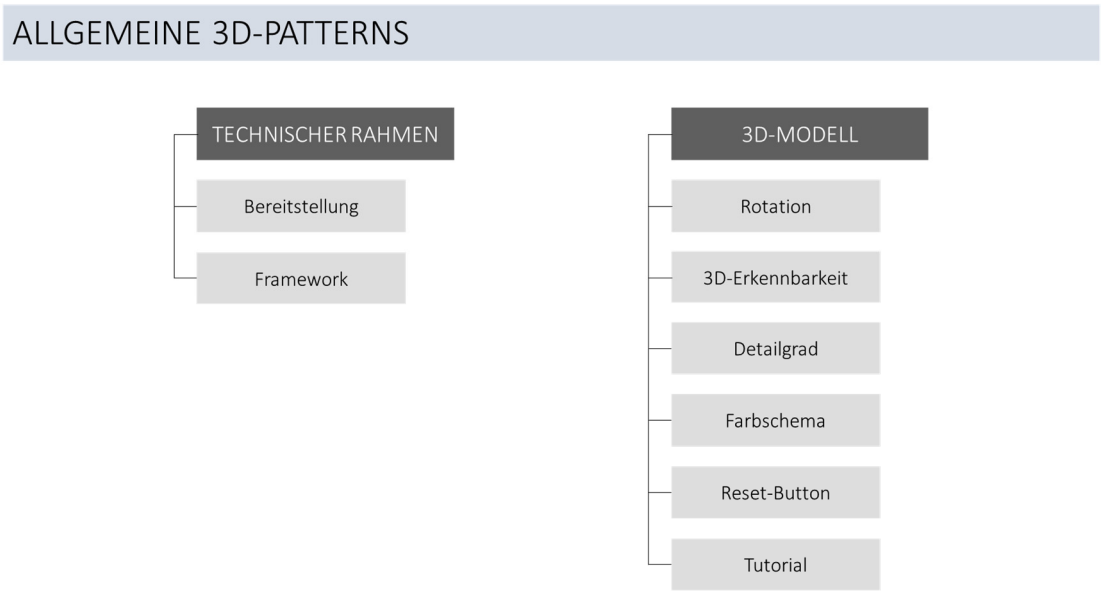


Abbildung 4-24: Allgemeine 3D-Patterns (e. D.)

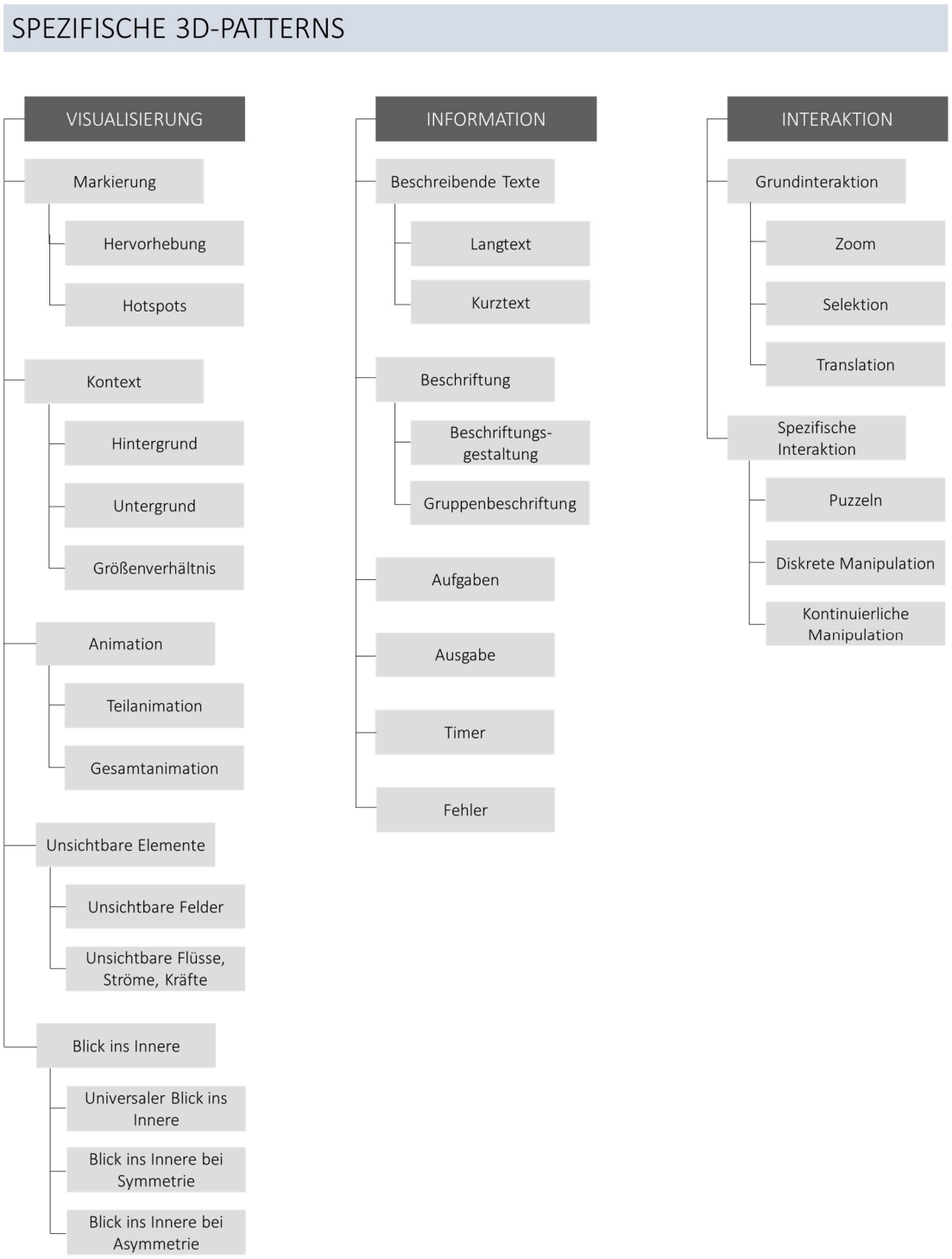


Abbildung 4-25: Spezifische 3D-Patterns (e. D.)

Aufstellen der Pattern-Struktur

Im nächsten Schritt müssen die Problem-Lösungs-Konstrukte in einer passenden Pattern-Struktur verankert werden. Die Struktur der 3D-Patterns wurde an den vergleichenden Analysen von Pattern-Gliederungen in Hinblick auf den Informationsbedarf bei Entwicklungen von [Kunert 2009, S. 229] und [Wedekind 2015, S. 10] angelehnt und ist in Tabelle 4-14 dargestellt.

Tabelle 4-14: Ursprüngliche Pattern-Struktur

Gliederungspunkt	Erläuterung
Name	wichtig für Kommunikation, eindeutige Benennung
Problem	Beschreibung der Herausforderungen und Aufgabe
Beispiel	Visualisierung der Lösung
Kontext	Beschreibung der Situation, in der das Pattern angewendet werden kann
Lösung	eindeutige Erklärung der Komponente zum Lösen des Problems
Vor- und Nachteile	Aufzeigen der Vor- und Nachteile des Einsatzes in Bezug auf die Lernenden
Verwandte Patterns	Nennung weiterer Patterns, die in Zusammenhang mit dem Problem stehen

Der Kontext ist bereits durch den Rahmen der Arbeit stark eingegrenzt. Alle Patterns beziehen sich stets auf die 3D-Lernanwendung für die ingenieurwissenschaftliche Lehre. Für die 3D-Patterns lohnt es sich derzeit jedoch nicht, den Kontext explizit zu beschreiben, da das Problem bereits auf den Kontext hinweist. Dieser würde sich in diesem Fall oftmals wiederholen. Daher wird der Kontext innerhalb des Problems beschrieben und deutlich gemacht, weil der Bezug im Einzelnen auf den Kontext gegeben ist und Beispiele erbracht werden. Deshalb entfällt dieser Gliederungspunkt.

Zur eindeutigen Identifizierung und aufgrund der Vielzahl der 3D-Patterns sollen ID-Nummern eingefügt werden. Sie geben Aufschluss über die Pattern-Kategorisierung einschließlich der Problemklasse sowie deren Unterkategorie.

Die Lösung soll kurz und knapp beschrieben werden. Bei einem Großteil der 3D-Patterns stellte sich bereits bei der Verschriftlichung der Problem-Lösungs-Konstrukte (Kapitel 4.2.5) heraus, dass hierbei weitere Details zur korrekten Umsetzung der Lösung integriert werden müssen. Daher wird die Struktur durch den Gliederungspunkt „Details“ erweitert.

Daraus ergibt sich nun die folgende finale Pattern-Struktur, die für die Ausformulierung der 3D-Patterns genutzt wird (Tabelle 4-15).

Tabelle 4-15: Finale Struktur

Gliederungspunkt	Erläuterung
Name	wichtig für Kommunikation, eindeutige Benennung
Problem	Beschreibung der Herausforderungen und Aufgabe, kurze Beschreibung der Situation, in der das Pattern angewendet werden kann
ID	ID-Nummer über Pattern-Kategorisierung, Problemklasse und Unterkategorie
Beispiel	Visualisierung der Lösung
Lösung	eindeutige Erklärung der Komponente zum Lösen des Problems
Details	Hinweise für die Umsetzung der Lösung
Vor- und Nachteile	Aufzeigen der Vor- und Nachteile des Einsatzes in Bezug auf die Lernenden
Verwandte Patterns	Nennung weiterer Patterns, die in Zusammenhang mit dem Problem stehen

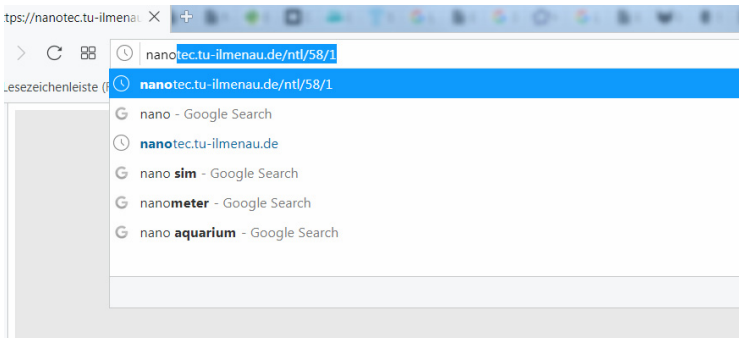
Hieraus resultiert eine achtgliedrige Struktur für die 3D-Patterns, die zur Ausformulierung und für die Pattern-Kollektion entwickelt wurde. Unter dem Gliederungspunkt „Beispiel“ werden Grafiken verwendet, die überwiegend aus der Wissensplattform des BMBF-geförderten Projekts (Kapitel 3.2.1) stammen. Diese sind an das Look-and-feel und damit an den Styleguide der Wissensplattform angelehnt. Daher wurde dieses Erscheinungsbild in die Grafiken der 3D-Patterns übertragen, um weiterhin einen einheitlichen Look zu schaffen.

Die vollständig ausformulierten 3D-Patterns sind im nachfolgenden Kapitel aufgelistet. Für die Details wurde aufgrund der Übersichtlichkeit die Beschreibung in Stichpunkten vorgesehen. Dabei werden Richtlinien und Anforderungen, die in den Analysen und Studien identifiziert wurden, integriert. Das Gleiche gilt für den Abschnitt der Vor- und Nachteile. Hier werden für eine schnelle Übersicht die Vorteile als Haken und die Nachteile als Kreuz in Form von Stichpunkten aufgelistet.

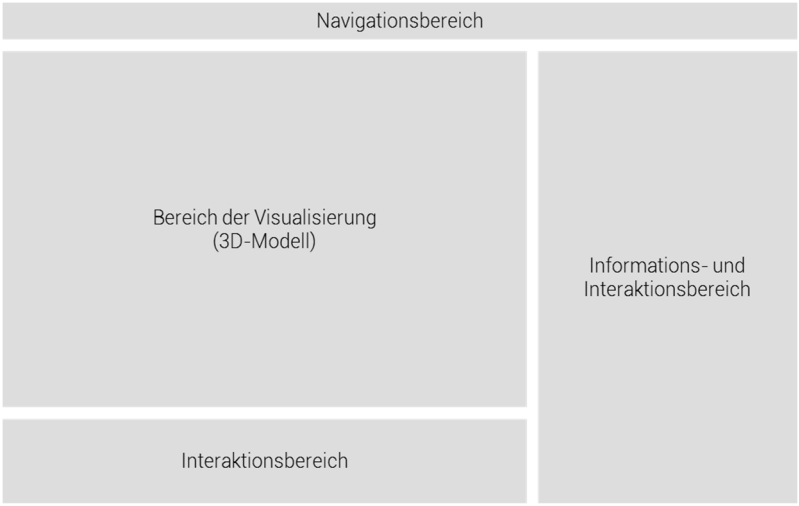
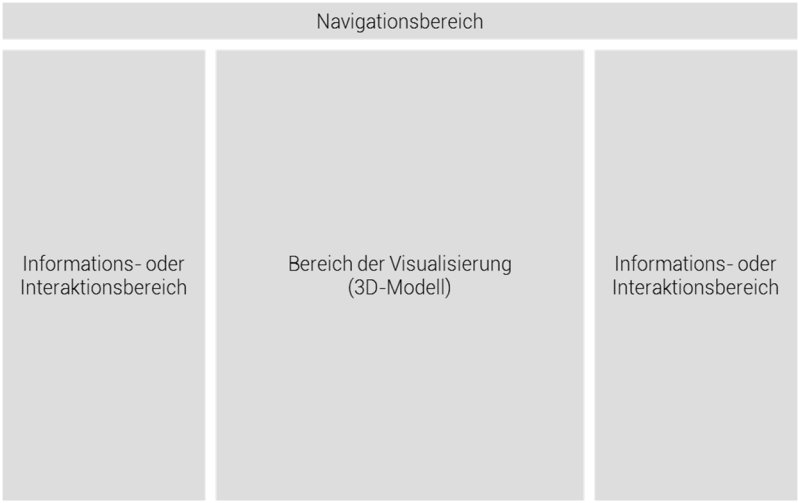
4.3.3 Pattern-Kollektion

Nachfolgend werden alle 3D-Patterns mit der entsprechenden Pattern-Struktur und Kategorisierung präsentiert.

Allgemeine 3D-Patterns: Technischer Rahmen

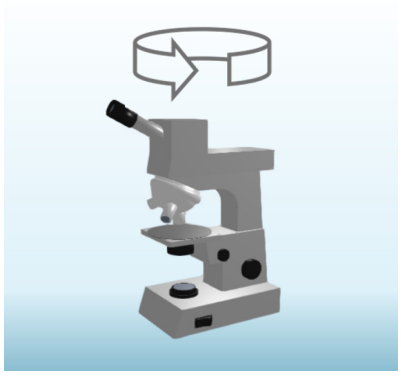
Name	Bereitstellung
ID	AT1
Problem	Das 3D-Modell soll für eine Vielzahl von Lernenden verfügbar sein.
Beispiel	
Lösung	Die Bereitstellung sollte webbasiert erfolgen. Damit ist ein Referenzieren durch Verlinken z. B. auf Moodle einfacher.
Details	• Programmierung z. B. mit WebGL, JavaScript und HTML5 • Testen auf Browserkompatibilität • Berücksichtigung verschiedener Endgeräte

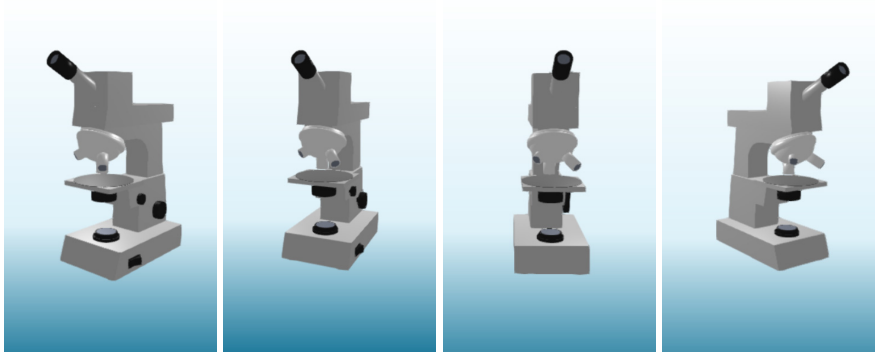
Vor- und Nachteile	✓ Verfügbarkeit für eine Vielzahl von Lernenden ✓ Verlinkung auf Zielmedium, z. B. Moodle ✓ Ortsunabhängig ✓ Mediumunabhängig (z. B. CD)	× Serverplatz, Speicherplatz nötig × Eventuell performance-technische Überlastung × Internetverbindung notwendig
Verwandte Patterns	AT2: Framework	

Name	Framework
ID	AT2
Problem	Das 3D-Modell soll in einem Rahmen präsentiert werden, der Bereiche für weitere Inhaltstypen bereitstellt.
Beispiel	Variante 1: L-Form  Variante 2: Rahmen-Form 
Lösung	Das 3D-Modell muss im Fokus stehen. Die Inhaltstypen können allseitig oder mit dem Modell auf horizontaler Ebene dargestellt werden. Wichtig ist es dabei, die Elemente ausblendbar zu gestalten.
Details	• Inhaltstypen ausblendbar und verschiebbar gestalten • Testen auf Browserkompatibilität • Berücksichtigung verschiedener Endgeräte (responsives Design) • Beibehalten derselben Variante für alle gewünschten 3D-Modelle

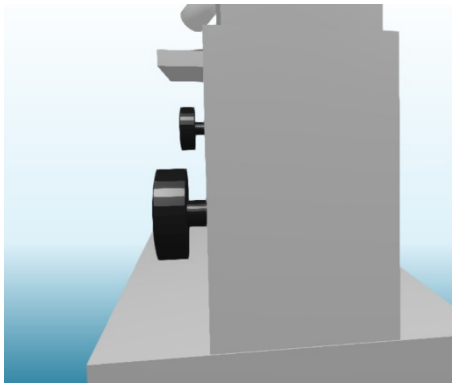
Vor- und Nachteile	✓ Einheitlicher Look ✓ Wiederverwendbarkeit ✓ Gute Strukturierung (Container) ✓ Kognitive Entlastung: Wiedererkennung	× Gewährleisten der gleichen Darstellung auf verschiedenen Endgeräten
Verwandte Patterns	AT1: Bereitstellung	

Allgemeine 3D-Patterns: 3D-Modell

Name	Rotation	
ID	AM1	
Problem	Die Lernenden sollen interaktiv hinter das 3D-Modell blicken können.	
Beispiel		
Lösung	Der Blick hinter bzw. unter ein 3D-Modell wird durch die Rotation ermöglicht. Damit kann das 3D-Modell von allen Seiten betrachtet werden.	
Details	• Kontrolle des Koordinatenursprungs • Festlegen der notwendigen Rotationsachsen (z. B. nur y-Achse) - unnötige Rotation durch Lernende wird vermieden, wenn keine Information aus „Bodenansicht“ gewonnen werden kann • Beachten einer angenehmen Rotationsgeschwindigkeit	
Vor- und Nachteile	✓ 3D-Modell kann von allen Seiten betrachtet werden ✓ Erschließen des baulichen Ausmaßes ✓ Schärfen der räumlichen Vorstellungskraft	× Mögliche Orientierungslosigkeit
Verwandte Patterns	AM2: 3D-Erkennbarkeit, AM5: Reset-Button	

Name	3D-Erkennbarkeit
ID	AM2
Problem	Die Lernenden sollen auf den ersten Blick erkennen, dass ein 3D-Modell anstatt einer Grafik vorliegt.
Beispiel	

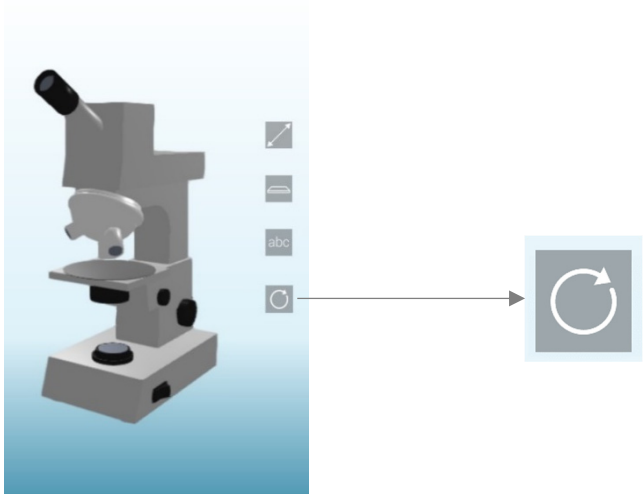
Lösung	Das 3D-Modell wird durch Dynamik erkennbar. Dies wird durch eine automatische Rotation ermöglicht, die den Lernenden die dreidimensionalen Ausmaße des Modells aufzeigt.	
Details	• Automatische Rotation gegen den Uhrzeiger um die y-Achse • Integrieren der Stoppmöglichkeit, z. B. Mausklick auf das 3D-Modell • Niedrige Rotationsgeschwindigkeit • Integrieren eines Buttons für Neustart für die automatische Rotation	
Vor- und Nachteile	✓ Sofortiges Erkennen eines 3D-Modells	× Automatische Rotation nur nach Start bzw. Neustart möglich
Verwandte Patterns	AM1: Rotation, AM5: Reset-Button	

Name	Detaillierung	
ID	AM3	
Problem	Es ist unklar, mit welchem Abstraktionsgrad das 3D-Modell aufbereitet werden muss.	
Beispiel		Am Beispiel Lichtmikroskop wurde das Stativ einfach gestaltet, während wichtige Bauteile, wie z. B. die Drehregler für den Fein- und Grobtrieb, detaillierter modelliert wurden.
Lösung	Wichtige Bauteile sollten detaillierter modelliert werden. Weniger wichtige können als Primitive erstellt werden. Wesentlich ist das Einsparen von Polygonen. Daher können z. B. Schrauben, Knöpfe oder Stromkabel ausgespart werden, wenn diese nicht von den Lernenden genutzt oder erlernt werden.	
Details	• Genaues Festlegen der Relevanz von Bauteilen • Vermeiden unnötiger Polygonzahl • Vermeiden von unnötigem Ausschmücken	
Vor- und Nachteile	✓ Datenreduktion ✓ Verbesserung der Performance und Geschwindigkeit ✓ Fokussierung auf wichtige Bauteile	× Lernende erhalten verfälschtes Bild der abstrakten Bauteile × Kein einheitlicher Look (in Bezug auf einzelnes Modell)
Verwandte Patterns	AM4: Farbschema	

Name	Farbschema
ID	AM4
Problem	Einzelne Elemente im 3D-Modell weisen gleiche Charakteristiken und Interaktionsmöglichkeiten auf.
Beispiel	

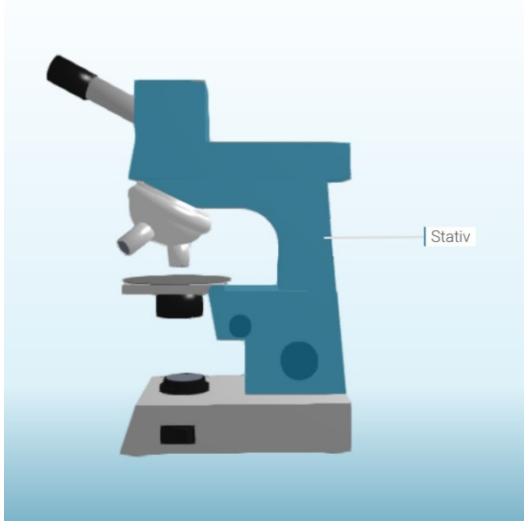
Objekt	Beispiel	Farbe	Farbwert RGB	Farbwert HEX	Darstellung
Flexible Bauteile, interaktive Elemente	Drehregler	schwarz	0, 0, 0	#000000	
Festkörper, unflexible Bauteile	Stativ, Standfuß	Mittleres Grau	190, 190, 190	#bebebe	
Fluide	Wasser, Lösungen	Helles Blau	180, 200, 210	#b4c8d2	
Transparente Objekte	Linsen, Spiegel	Helles Blau-Grau	205, 210, 220	#cdd2dc	
Licht	Lichtstrahlen, Strahlengang	Helles Gelb	255, 235, 190	#ffebbe	

Lösung	Durch die Wahl von gleichen Farben enthalten die einzelnen Elemente des 3D-Modells spezifische Bedeutungen und indirekt Hinweise zur Bedienung durch die Lernenden. Ein zuvor festgelegtes Farbschema erleichtert die Modellierung und Programmierung des 3D-Modells.	
Details	• Wahl der Farben mit hohem Kontrast • Konsistente Farbgebung für Materialien, Funktionstypen und Charakteristik • Bedarfsabhängiger Einsatz von Texturen • Beachten von Farbblindheiten	
Vor- und Nachteile	✓ Genaue Festlegung aller Elemente des 3D-Modells ✓ Hohe Einheitlichkeit ✓ Lernende erkennen sofort die Beschaffenheit bzw. Funktionalität	× Eingeschränkte Flexibilität × Genaue Unterscheidung der Farben für Beschaffenheit und Funktion
Verwandte Patterns	SV1.1: Hervorhebung, SV1.2: Hotspots, SV2.1: Hintergrund, SV4.1: Unsichtbare Felder, SV4.2: Unsichtbare Flüsse, Ströme, Kräfte	

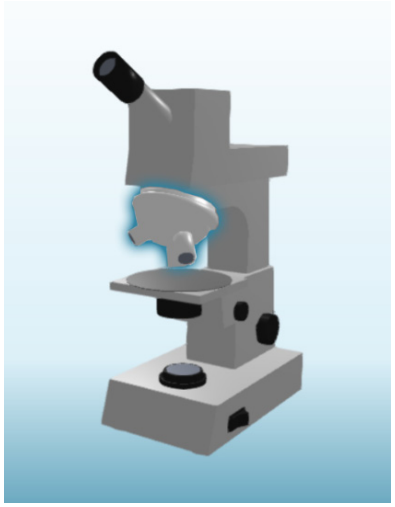
Name	Reset-Button	
ID	AM5	
Problem	Die Lernenden geraten durch die intensive Nutzung des 3D-Modells, z. B. durch Zoom oder Rotation, in eine verwirrende Ansicht.	
Beispiel		
Lösung	Ein Reset-Button (Reset View) erleichtert es den Lernenden, in die Ausgangs- bzw. Startposition für die kanonische Ansicht zu gelangen.	
Details	• Vermeiden von automatischem Reset bei Inaktivität der Lernenden	
Vor- und Nachteile	✓ schnelle und einfache Möglichkeit in die Ausgangsposition zu gelangen	× möglicher Platzverlust durch das Einbinden des Icons
Verwandte Patterns	AM1: Rotation, AM2: 3D-Erkennbarkeit	

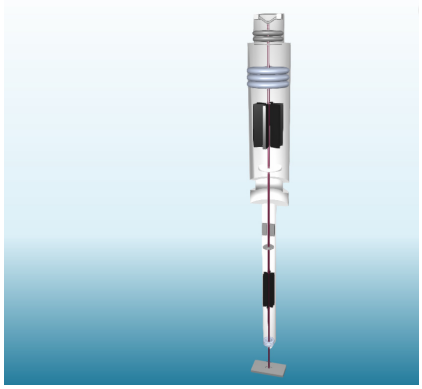
Name	Tutorial	
ID	AM6	
Problem	Die Lernenden benötigen für den Einstieg erste Schritte und Hinweise zur Nutzung und Bedienung des 3D-Modells.	
Beispiel		
Lösung	Die Lernenden werden anhand eines Tutorials angeleitet. Ihnen werden alle Funktionen und Interaktionsmöglichkeiten präsentiert.	
Details	• Möglichst kurze Beschreibungen • Einsatz unterstützender Bilder • Tutorial sollte jederzeit beendet werden können	
Vor- und Nachteile	✓ Erster Einstieg (Motivation) ✓ erleichterte Bedienung	✗ Mehraufwand ✗ Platzbedarf
Verwandte Patterns	SIF3: Aufgaben, SIT1.1: Zoom, SIT1.2: Selektion, SIT1.3: Translation	

Spezifische 3D-Patterns: Visualisierungs-Patterns

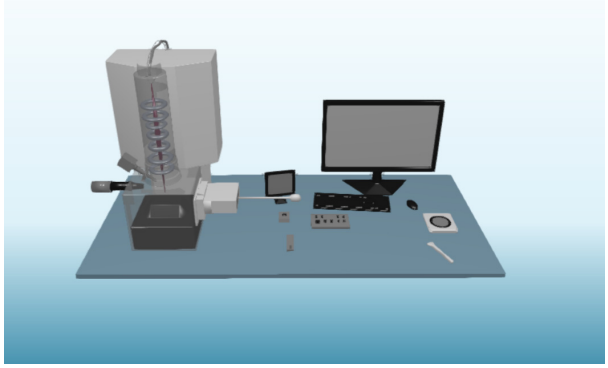
Name	Markierung - Hervorhebung
ID	SV1.1
Problem	Die Aufmerksamkeit des Lernenden soll nach einer Aktion auf Elemente des 3D-Modells gelenkt werden, die das Ergebnis verdeutlichen.
Beispiel	
Lösung	Um ein Bauteil hervorzuheben, sollte dieses vollflächig eingefärbt werden. Dadurch werden die baulichen Ausmaße der komplexen Elemente eindeutig erkennbar und unterscheidbar.
Details	• vollflächige und dabei leicht transparente Markierung, um die bauliche Form des Bauteils sichtbar zu halten • Markierungsfarbe sollte einen hohen Kontrast zur Bauteilfarbe aufweisen

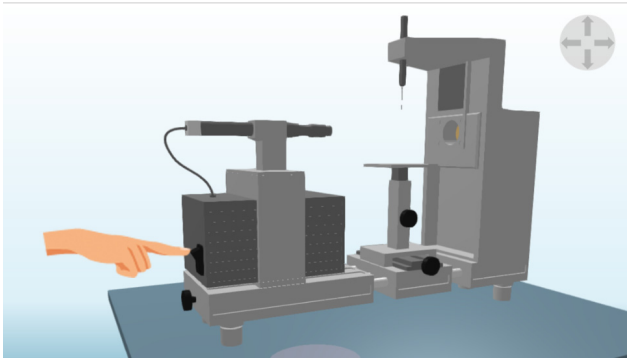
Vor- und Nachteile	✓ Eindeutige Zuordnung des gewählten Bauteils (z. B. bei Beschriftungen) ✓ Erkennbarkeit der räumlichen Ausmaße	× Zusätzlicher Programmieraufwand × Genaue Abstimmung der Farbwahl
Verwandte Patterns	AM4: Farbschema, SIF2.1: Beschriftungsgestaltung, SIF2.2: Gruppenbeschriftung, SV1.2: Hotspots	

Name	Markierung - Hotspots	
ID	SV1.2	
Problem	Die Aufmerksamkeit der Lernenden soll auf ein Element des 3D-Modells gelenkt werden, das die Lernenden zu einer Aktion auffordert.	
Beispiel		
Lösung	Die zu aktivierenden Elemente des 3D-Modells müssen auffällig als Zugangspunkte (sogenannte Hotspots) markiert werden.	
Details	• Verstärken der Wirkung eines Hotspots und Erkennbarkeit durch Blinken • Verstärken der Wirkung eines Hotspots mit einem Mouse-Over-Effekt (z. B. Änderung der Standardform (Mauspfeil) in einen Zeiger (Zeigefinger)) • Sollte sich deutlich von der Hervorhebung als Markierung unterscheiden • Sollte aktivierbar/deaktivierbar sein • Markierungsfarbe sollte einen hohen Kontrast zur Bauteilfarbe aufweisen	
Vor- und Nachteile	✓ Erkennbarkeit von interaktiven Elementen	× Kann bei komplexen Bauteilen verwirrend erscheinen
Verwandte Patterns	AM4: Farbschema, SV1.1: Hervorhebung	

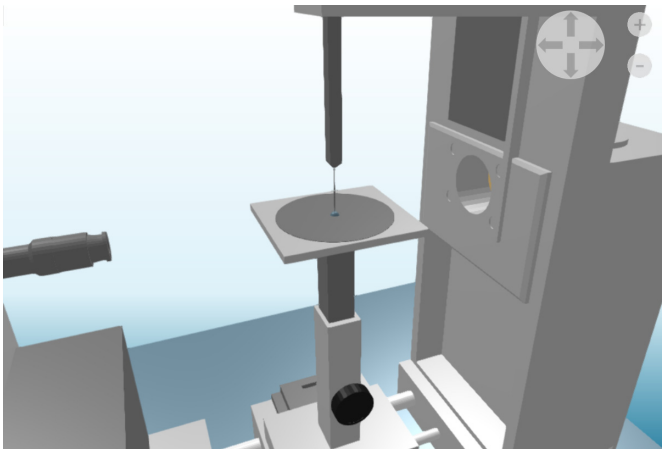
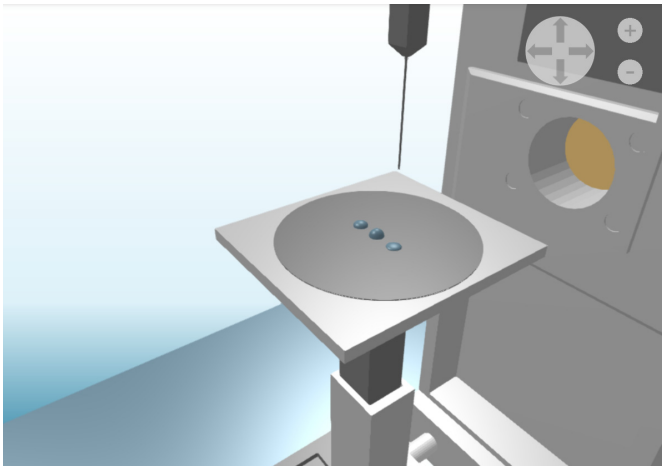
Name	Kontext - Hintergrund
ID	SV2.1
Problem	Die Wahl eines passenden Hintergrunds für ein 3D-Modell kann schwer bestimmt werden.
Beispiel	

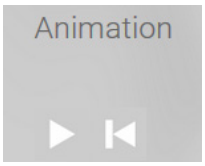
Lösung	Der Hintergrund eines 3D-Modells darf die Lernenden nicht ablenken. Dafür eignen sich eintönige Farben. Soll der Lerngegenstand in einer realistischen Umgebung (z. B. Produktionshalle, Labor) gezeigt werden, sollte dies optional durch den Lernenden aktiviert/deaktiviert werden können.	
Details	• Gewährleisten von farblichem Kontrast zu Bauteilen • Eintönige Farben oder Farbverläufe eignen sich für den Hintergrund • Beachten des Detailgrads bei realistischem Hintergrund	
Vor- und Nachteile	✓ Fokus liegt auf dem 3D-Modell	× Farbe muss gut gewählt sein
Verwandte Patterns	AM4: Farbschema, SV2.2: Untergrund, SV2.3: Größenverhältnis	

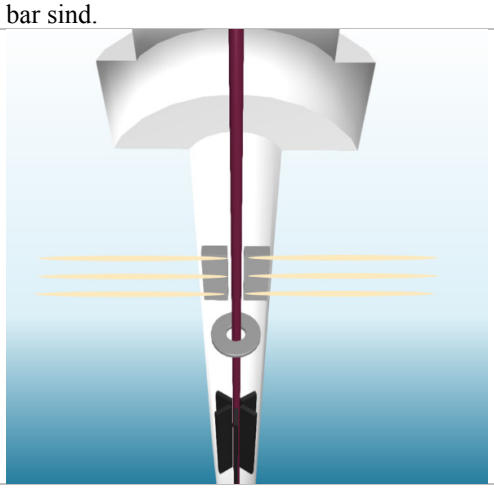
Name	Kontext - Untergrund	
ID	SV2.2	
Problem	Die Wahl eines passenden Untergrunds kann nicht bestimmt werden. Die Orientierung des 3D-Modells ist nicht eindeutig.	
Beispiel		
Lösung	Eine Bodenplatte hilft bei der Demonstration von Aufbauten und Lerngegenständen mit mehreren Elementen auf einer Ebene oder wenn eine kanonische Ansicht benötigt wird. Hierauf kann weiterhin ein Schattenwurf helfen, um das 3D-Modell realistischer aussehen zu lassen. Soll ein schwebender Lerngegenstand, wie z. B. ein Molekül, gezeigt werden, wird kein Untergrund benötigt.	
Details	• Falls die Ansicht von unten (Bottom-Sicht) nötig ist, kann die Bodenplatte ab einem bestimmten Rotationswinkel automatisch eine Transparenz aufweisen oder ausblendbar sein	
Vor- und Nachteile	✓ Orientierung des 3D-Modells wird verdeutlicht ✓ Höhenunterschiede sind leichter erkennbar	× Möglicher störender Schatten × Wird oftmals als Tisch assoziiert
Verwandte Patterns	SV2.1: Hintergrund, SV2.3: Größenverhältnis	

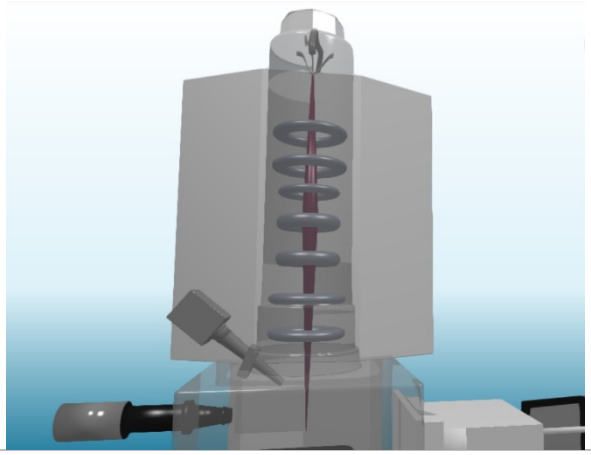
Name	Kontext - Größenverhältnis	
ID	SV2.3	
Problem	Die Größe des 3D-Modells als Abbild eines realen Lerngegenstandes ist für die Lernenden schwer vorstellbar.	
Beispiel		

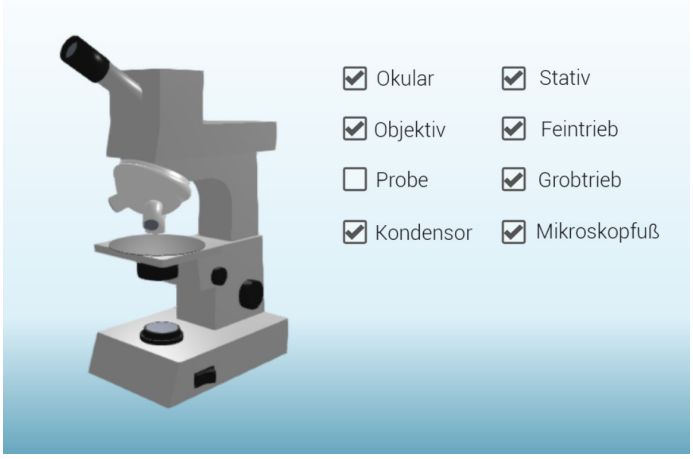
Lösung	Zur Verdeutlichung der Größe können bekannte Referenzobjekte eingebracht werden. Dabei sind der menschliche Körper bzw. Körperteile, wie z. B. Hand, Kopf oder ein einzelnes Haar, gute Referenzgrößen.	
Details	• Wahl eines passenden Referenzobjektes • Detailgrad des Referenzobjektes beachten, da es sonst vom 3D-Modell ablenken könnte • Referenzobjekt sollte ausblendbar sein	
Vor- und Nachteile	✓ Genaue Vorstellung der Modellgröße	× Mögliche Einschränkung der Performance
Verwandte Patterns	SV2.1: Hintergrund, SV2.2: Untergrund	

Name	Animation - Teilanimation
ID	SV3.1
Problem	Die Lernenden sollen Aktionen auslösen, deren Ergebnis bzw. der nachfolgende Prozess zu komplex ist, als dass dieser selbstständig durch die Lernenden erarbeitet werden kann.
Beispiel	 
Lösung	Durch Teilanimationen können den Lernenden Teilprozesse demonstriert werden. Dies spart Programmieraufwand ein, da nicht alles interaktiv gestaltet wird. Das Ergebnis kann hierdurch zielgerichteter demonstriert werden.
Details	• Bestimmen des darzustellenden Teilprozesses • Skizze des Storyboards • Programmieren der Interaktionsmöglichkeiten, wie z. B. Play, Geschwindigkeit, Pause oder Neustart
Vor- und Nachteile	✓ Einfache Demonstration von Teilprozessen ✓ Motivation durch einfache Interaktion	× Programmierung der Interaktionen × Animationsaufwand
Verwandte Patterns	SV3.2: Gesamtanimation, SV4.1: Unsichtbare Felder, SV4.2: Unsichtbare Flüsse, Ströme, Kräfte	

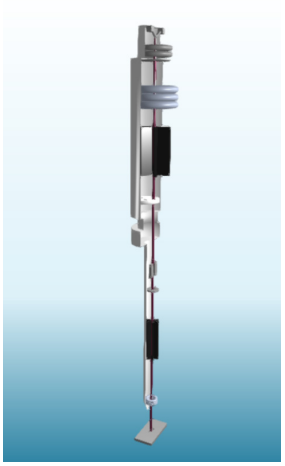
Name	Animation - Gesamtanimation	
ID	SV3.2	
Problem	Die komplexe Funktionsweise oder der Gesamtaufbau sollen vollständig und ohne Eingreifen der Lernenden demonstriert werden. Die Lernenden können den Prozess lediglich starten, pausieren und stoppen.	
Beispiel		
Lösung	Eine vollständige Animation aller Elemente, die für die Funktionsweise oder den Aufbau relevant sind, müssen so animiert werden, dass das Zusammenspiel für die Lernenden erkennbar wird.	
Details	• Bestimmen des darzustellenden Prozesses • Skizze des Storyboards • Programmieren der Interaktionsmöglichkeiten, wie z. B. Play, Geschwindigkeit, Pause oder Neustart	
Vor- und Nachteile	✓ Vollständiges Demonstrieren eines Prozesses ✓ Motivation durch einfache Interaktion	× Kein Eingreifen des Lernenden in den Prozess × Animationsaufwand × Programmierung der Interaktionen
Verwandte Patterns	SV3.1: Teilanimation, SV4.1: Unsichtbare Felder, SV4.2: Unsichtbare Flüsse, Ströme, Kräfte	

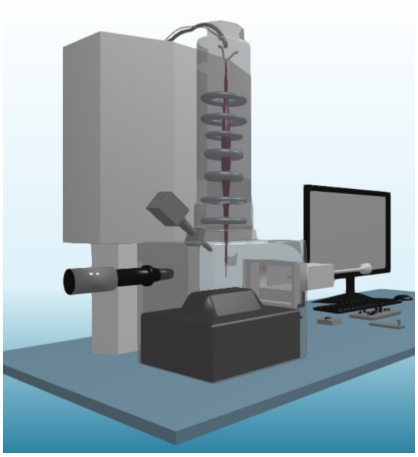
Name	Unsichtbare Felder	
ID	SV4.1	
Problem	Im Lerngegenstand entstehen physikalische Felder, die in der Realität nicht sichtbar sind.	
Beispiel		
Lösung	Ein Feld kann durch mehrere Linien oder Pfeile, die in gleiche Richtung zeigen, dargestellt werden. Auch ein gerichtetes animiertes Feld (Fläche) kann bei höheren Kapazitäten eingesetzt werden. Zur Verstärkung können beide Lösungen kombiniert werden.	
Details	• Bestimmen des Detailgrads und Dicke der Linien bzw. Pfeilen • Wahl von kontrastreichen Farben • Ausblendbar gestalten	
Vor- und Nachteile	✓ Sichtbarmachen von unsichtbaren Elementen	× Animationsaufwand × Mögliche Interpretationsfehler
Verwandte Patterns	AM4: Farbschema, SV3.1: Teilanimation, SV3.2: Gesamtanimation, SV4.2: Unsichtbare Flüsse, Ströme, Kräfte	

Name	Unsichtbare Flüsse, Ströme, Kräfte
ID	SV4.2
Problem	Der Lerngegenstand enthält gerichtete Ströme, Kräfte oder Flüsse, die in der Realität nicht sichtbar sind.
Beispiel	 Das unsichtbare Element ist der Elektronenstrahl (magentafarbener Strahl).
Lösung	Ein Strom, Fluss bzw. eine Kraft wird durch einen Pfeil in dessen Ausbreitungsrichtung dargestellt. Auch ein gerichteter animierter Strahl oder Partikelflug kann bei höheren Kapazitäten eingesetzt werden. Zur Verstärkung können beide Lösungen kombiniert werden.
Details	• Bestimmen des Detailgrads und Dicke des Pfeils bzw. der Partikel • Wahl von kontrastreichen Farben
Vor- und Nachteile	✓ Sichtbarmachen von unsichtbaren Elementen ✓ Stärke des Flusses, Strom bzw. Kraft wird durch Dicke und Animation verdeutlicht × Einschränkung der Performance (vor allem durch Animation) × Mögliche Interpretationsfehler
Verwandte Patterns	AM4: Farbschema, SV3.1: Teilanimation, SV3.2: Gesamtanimation, SV4.1: Unsichtbare Felder

Name	Universaler Blick ins Innere
ID	SV5.1
Problem	Die Lernenden sollen den inneren Aufbau oder die inneren Prozesse eines komplexen Lerngegenstandes erlernen. Diese werden grundlegend durch andere Bauteile oder die Hülle verdeckt.
Beispiel	
Lösung	Um den inneren Aufbau oder Prozesse eines Lerngegenstandes zu erfahren, sollten die Lernenden durch Interaktion verdeckende Elemente aus- und einblenden können.
Details	• Erstellung eines Interfaces • Modellteile einzeln ausblendbar gestalten

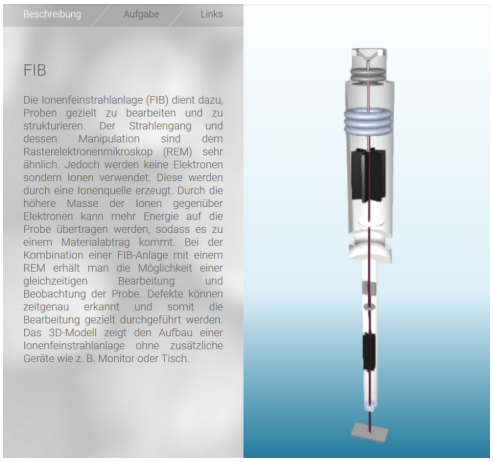
Vor- und Nachteile	✓ Individuelles Ein- und Ausblenden ✓ Aufbau erschließt sich stufenweise und individuell ✓ Kein Einsatz von Transparenzen	✗ Interface muss erstellt werden ✗ Kontextbezug, Zusammenbau ✗ Eventuell fehlende Relation beim Ausblenden
Verwandte Patterns	AT2: Framework, SV5.2: Blick ins Innere bei Symmetrie, SV5.3: Blick ins Innere bei Asymmetrie	

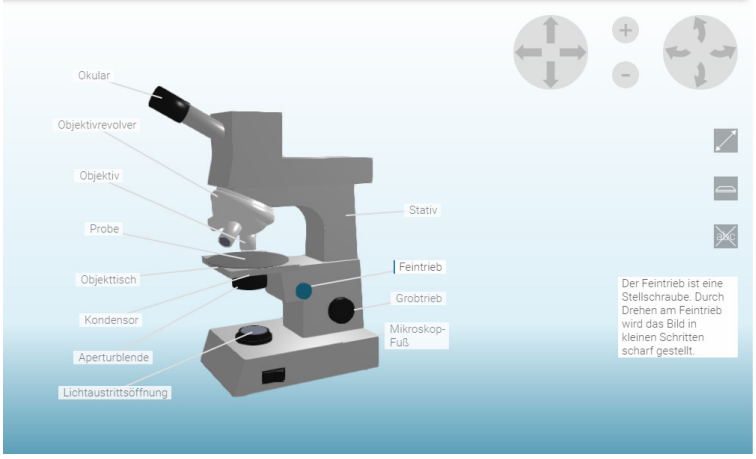
Name	Blick ins Innere bei Symmetrie	
ID	SV5.2	
Problem	Die Lernenden sollen den inneren Aufbau oder die inneren Prozesse eines (axial-)symmetrischen Lerngegenstandes erlernen. Diese werden durch die äußere Hülle verdeckt.	
Beispiel		
Lösung	Um hierbei ins Innere zu blicken, kann ein Aufschnitt bzw. Querschnitt durch die Lernenden aktiviert werden. Dies bietet sich vorrangig bei Modellen an, deren Elemente in einer Ebene liegen. Auch ein Schnitt der Außenhülle kann die Sicht auf die inneren Elemente freigeben. Bei dieser Lösung bleiben die Bauteile in ihrer Geometrie bestehen.	
Details	• Wählen zwischen Aufschnitt (Geometrie der inneren Elemente bleibt erhalten) oder Querschnitt (Geometrie der inneren Elemente wird angeschnitten) • Aktivierbar und deaktivierbar gestalten	
Vor- und Nachteile	✓ Lage und Beziehung der inneren Elemente werden ersichtlich	✗ Elemente werden eventuell ungewollt angeschnitten
Verwandte Patterns	SV5.1: Universaler Blick ins Innere, SV5.3: Blick ins Innere bei Asymmetrie	

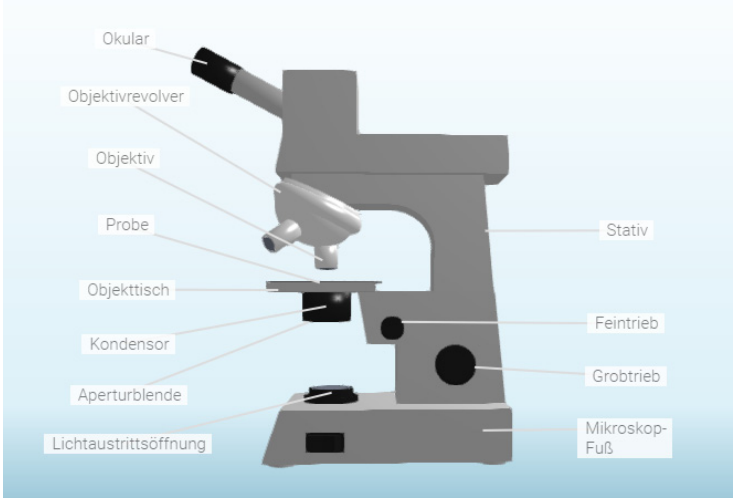
Name	Blick ins Innere bei Asymmetrie
ID	SV5.3
Problem	Die Lernenden sollen den inneren Aufbau oder die inneren Prozesse eines asymmetrischen Lerngegenstandes erlernen. Diese werden durch die äußere Hülle verdeckt.
Beispiel	

Lösung	Um bei asymmetrischen Konstrukten ins Innere zu blicken, hilft Transparenz der äußeren Hülle. Damit bleibt die Geometrie der Elemente oder der Gruppen erhalten. Die Lernenden können die Transparenz aktivieren und deaktivieren.	
Details	• Genaues Festlegen der sichtbaren Bauteile • Vermeiden von doppelter Transparenz (z. B. Hülle und darunterliegendes Bauteil als transparente Objekte) bei webbasierten 3D-Modellen, lässt möglicherweise Darstellungsfehler bzw. Artefakte entstehen • Aktivierbar und deaktivierbar gestalten	
Vor- und Nachteile	✓ Bezug zum Gesamtmodell bleibt vorhanden ✓ Größenverhältnisse werden deutlich	✗ Transparenz bei hintereinanderliegenden Bauteilen verursacht häufig Bugs und Artefakte
Verwandte Patterns	SV5.1: Universaler Blick ins Innere, SV5.2: Blick ins Innere bei Symmetrie	

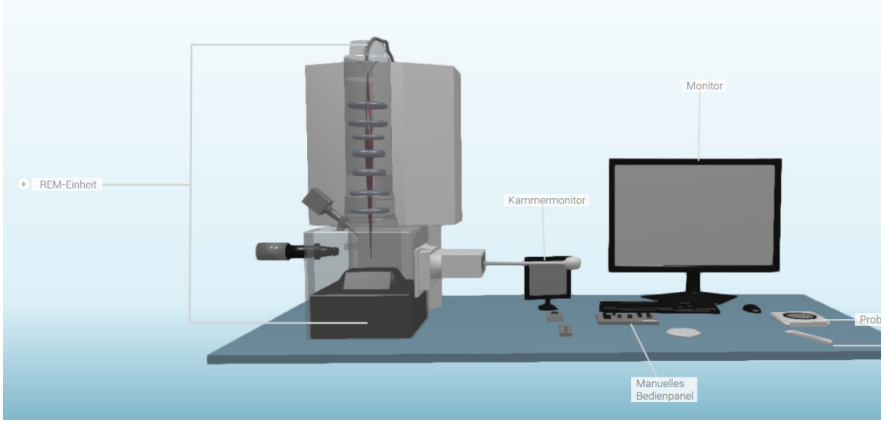
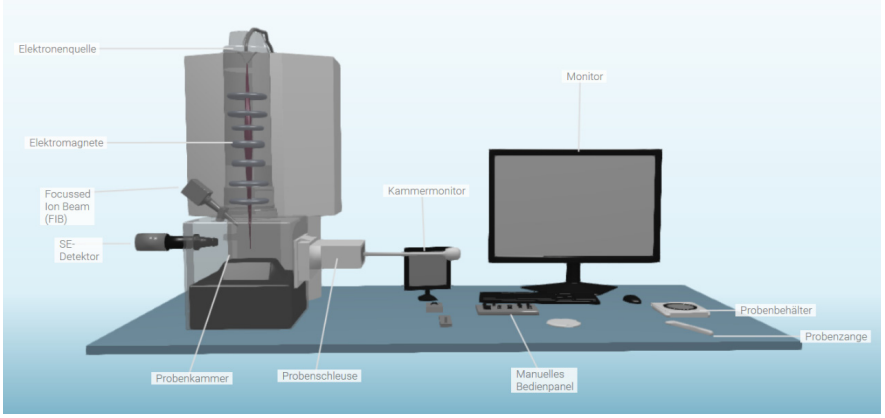
Spezifische 3D-Patterns: Informations-Patterns

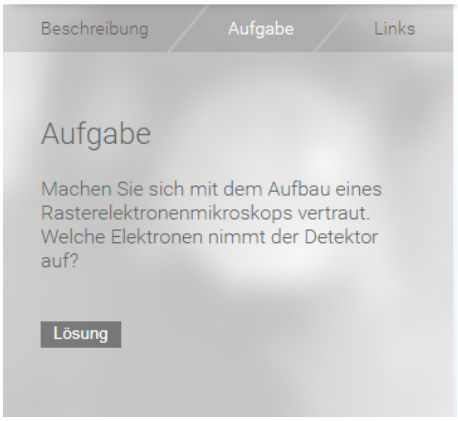
Name	Beschreibende Texte - Langtext	
ID	SIF1.1	
Problem	Die Lernenden benötigen eine gesamtheitliche inhaltliche Erklärung des Systems.	
Beispiel		
Lösung	Durch ausführliche Informationen, z. B. zum Aufbau und Funktionsweise des Systems, sollte ein zusammenhängender Text erstellt werden. Der Langtext sollte in unmittelbarer Nähe und horizontal zum 3D-Modell integriert werden, sodass beschriebene Elemente im 3D-Modell parallel dazu auffindbar sind.	
Details	• Ausblendbar gestalten • Ideal: Textlänge ohne Scrollen • Ggf. eine Vorlesefunktion integrieren • Gestaltung des Textes: – Kurze Sätze – Einfache Formulierungen – Besser Stichpunkte statt Fließtext – Kennzeichnung von Merksätzen – Hervorhebungen wichtiger Textstellen bzw. Begriffen – Erklärungen zu Fachbegriffen, Abkürzungen, Formelzeichen – Fachwörter - explizite Definition, Akronyme ausführen, konsistente Verwendung – Abstrakte Nominalisierung vermeiden – Anwendungsbeispiele integrieren	
Vor- und Nachteile	✓ Gesamtheitliche Beschreibung ✓ Direkt in der Nähe des Modells	✗ Darstellungsprobleme aufgrund der Displaygröße ✗ Platzeinbußen
Verwandte Patterns	AT2: Framework, SIF1.2: Kurztext	

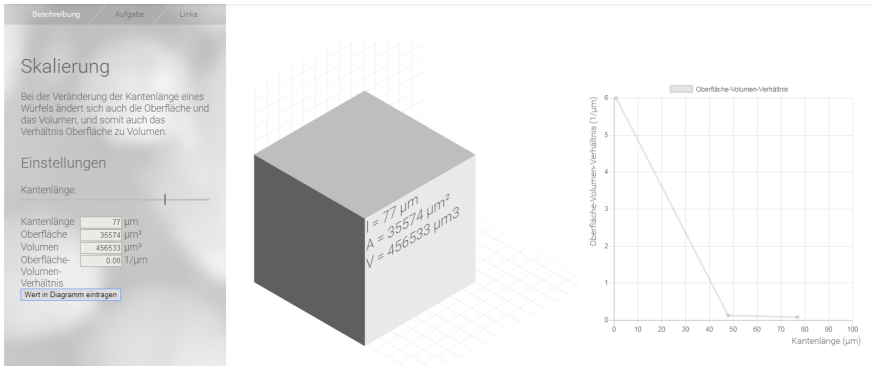
Name	Beschreibende Texte - Kurztext	
ID	SIF1.2	
Problem	Die Lernenden benötigen eine spezifische Erklärung einzelner Elemente, wie z. B. den Zweck eines Bauteils.	
Beispiel		
Lösung	Für eine kurze Erklärung bestimmter Elemente in 1-2 Sätzen bietet sich ein separater Bereich für den Text an.	
Details	• Möglichst kurze Texte • Verschiebbar und ausblendbar gestalten	
Vor- und Nachteile	✓ Zusatzinfos nach Bedarf ✓ Kurze und schnelle Information	✗ Mögliche Informationsflut ✗ Mögliches Überschneiden der Inhaltstypen
Verwandte Patterns	AT2: Framework, SIF1.1: Langtext	

Name	Beschriftungsgestaltung
ID	SIF2.1
Problem	Die Lernenden sollen die Bezeichnungen von einzelnen Elementen oder Elementgruppen erlernen, um z. B. den Aufbau eines technischen Systems zu verstehen.
Beispiel	
Lösung	Beschriftungen am 3D-Modell dienen der eindeutigen Zuordnung von Name und Element. Die Verwendung einer Bezugslinie hilft dabei auf die Elemente eindeutig hinzuweisen.
Details	• Beschriftungstexte sind in einem Rechteck mit leicht transparenter Füllfarbe und durch eine dünne Linie mit dem Bauteil verbunden • Beschriftungen sollten ausgeblendet werden, sobald das Bauteil durch Rotation nicht mehr sichtbar ist • Beschriftungen sollten sich bei Translation mitbewegen • Beschriftungen sollten an einer gedachten Linie linksbündig oder zentriert ausgerichtet werden (die Abbildung zeigt die zentrierte Variante)

	• Bei Vielzahl an Beschriftungen: Start an Position 12 Uhr und im Uhrzeigersinn Beschriftungen anordnen [Ballstaedt 2011, S. 108]] • mögliche Modi: – Anfängermodus zeigt alle vorhandenen Beschriftungen im Überblick – Expertenmodus dient der Exploration und zeigt durch Selektion einzelne Beschriftungen	
Vor- und Nachteile	✓ Übersichtlichkeit durch entfernte Beschriftung ✓ Alles auf einem Blick (Anfängermodus) bzw. ausgewählte Beschriftungen (Expertenmodus)	✗ Überlappung der Beschriftungen bei Rotation möglich
Verwandte Patterns	SV1.1: Hervorhebung, SIF2.2: Gruppenbeschriftung	

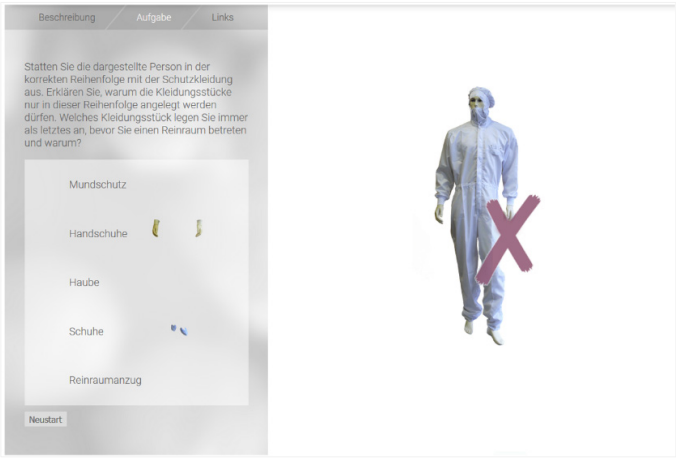
Name	Gruppenbeschriftung	
ID	SIF2.2	
Problem	Die Lernenden sollen die Bezeichnungen von Gruppen und deren enthaltenen Elementen erlernen.	
Beispiel	 	
Lösung	Eine Gruppenbeschriftung kann zur Reduktion von vielen Einzelbeschriftungen eingefügt werden. Durch Interaktion, z. B. einen Klick auf ein „Ungroup-Icon“, können die Beschriftungen aller Gruppenelemente im Einzelnen sichtbar werden.	
Details	• Zusammenfassen einzelner Bauteile in einer Gruppe • Integration eines „Ungroup-Icons“	
Vor- und Nachteile	✓ Platzersparnis ✓ Erkennen von Zugehörigkeiten	✗ Zusätzlicher Klick zum Ausklappen
Verwandte Patterns	SV1.1: Hervorhebung, SIF2.1: Beschriftungsgestaltung	

Name	Aufgaben	
ID	SIF3	
Problem	Die Lernenden sollen einen Einstieg zum Lernen mit einem 3D-Modell erhalten, um ein bestimmtes Lernziel zu verfolgen.	
Beispiel		
Lösung	Die Lernenden benötigen konkrete Aufgaben für die Nutzung des 3D-Modells. Die Aufgaben sollten für die Lernenden eindeutig erkennbar und verständlich sein. Durch die Aufgabenstellung soll den Lernenden das Lernziel verdeutlicht werden.	
Details	• Formulieren der Aufgabe, sodass das Lernziel erreicht werden kann • Integrieren der Lösung und Lösungshinweise • Ermöglichen von Restarts	
Vor- und Nachteile	✓ Einstieg zur Arbeit mit dem 3D-Modell ✓ Verdeutlichung des Lernziels ✓ Messbarer Erfolg ✓ Fehlerschwerpunkte können verdeutlicht werden	✗ Stressfaktor möglich
Verwandte Patterns	AT2: Framework, AM6: Tutorial, SIF4: Ausgabe, SIF6: Fehler	

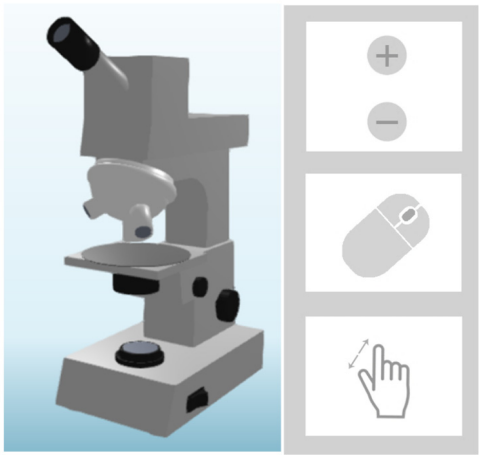
Name	Ausgabe
ID	SIF4
Problem	Das Ergebnis einer Simulation mit einem 3D-Modell soll für die Lernenden ersichtlich werden.
Beispiel	
Lösung	Eine Ausgabe als Tabelle, Diagramm oder Grafik sollte nah am 3D-Modell präsentiert werden, damit die Lernenden das Ergebnis mit den Aktivitäten am 3D-Modell vergleichen können. Echtzeitänderungen verstärken das Erlernen von Zusammenhängen.
Details	• Nutzen der Richtlinien für die Erstellung von Diagrammen und Grafiken von [Tufte 2006a; Tufte 2006b; Tufte 2008] und [Ballstaedt 2011] z. B.: – Verwenden von dünnen Linien – Verwenden von wenigen Farben – Achten auf einen hohen Kontrast – Achten auf Symmetrie – Vermeiden von kontextloser Dekoration

	– Vermeiden von Desinformation: Dicke umrahmende Kästen und unterstrichener serifenloser Text können das Lesen erschweren – Einsetzen von feinen Konturlinien bei zarten Abstufungen von Farben oder Grautönen • Nutzen der Richtlinien für die Erstellung von Tabellen der [DIN 5008]: – linksbündige Beschriftung der Vorspalte – Texte in Feldern sollten linksbündig, Zahlen in Feldern rechtsbündig ausgerichtet werden – der Tabellenkopf enthält alle Spaltenbezeichnungen	
Vor- und Nachteile	✓ Ergebnisdarstellung der Simulation bzw. Berechnung	× Platzbedarf × Mögliche Informationsflut × Hohe Rechenleistung bei Echtzeitverarbeitung
Verwandte Patterns	AT2: Framework, SIF3: Aufgabe, SIF6: Fehler	

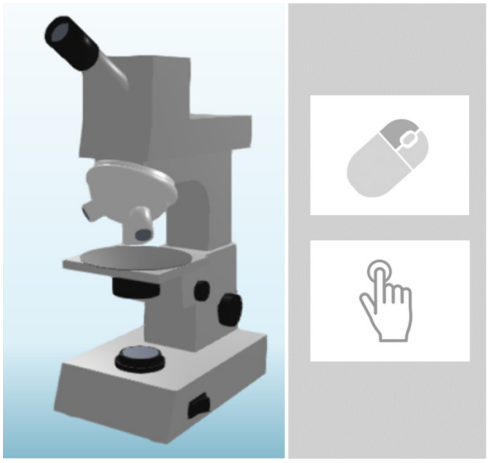
Name	Timer	
ID	SIF5	
Problem	Die Lernenden sollen für das Lernen mit einem 3D-Modell begrenzte Zeit erhalten.	
Beispiel		
Lösung	Die Zeitdauer wird durch einen ablaufenden Timer angezeigt. Nach Ablauf der Zeit können die Lernenden keine Änderungen vornehmen.	
Details	• Vorgegebene Zeit muss der Zielgruppe und Aufgabe entsprechend eingestellt werden • Anordnung in der Nähe der Aufgabe	
Vor- und Nachteile	✓ Konzentration und Fokus ✓ Prüfungstraining	× Kein Bezug zur individuellen Lernaufnahme × Leistungsdruck (Vorgabe der Zeit) und Stressfaktor
Verwandte Patterns	AT2: Framework, SIF3: Aufgabe	

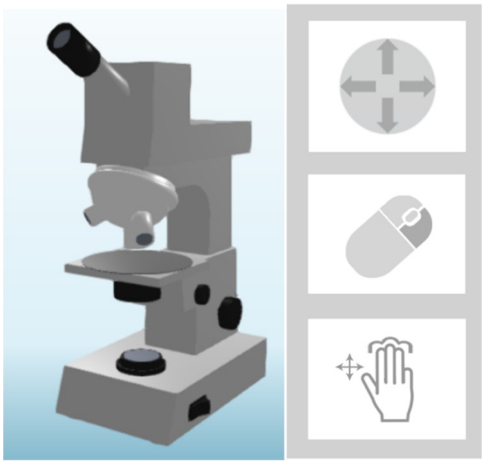
Name	Fehler
ID	SIF6
Problem	Durch Interaktionen werden den Lernenden viele Möglichkeiten geboten mit dem 3D-Modell zu arbeiten. Die Lernenden sollen dabei deutlich erkennen, wenn sie Fehler machen.
Beispiel	
Lösung	Ein deutliches Zeichen, wie z. B. ein rotes X, soll als Feedback den Lernenden auf einen Fehler hinweisen und zur Wiederholung auffordern.
Details	• Sofortiges Aufzeigen und Beschreiben des Fehlers • Zurücksetzen der Aufgabe • Motivieren zur Wiederholung der Aufgabe: Aussage nutzen z. B. „Versuche es noch einmal“ statt „Falsch!“ • Bei mehrmaligem Auftreten des Fehlers: Hilfestellung geben
Vor- und Nachteile	✓ Lernförderlichkeit ✓ Steile Lernkurve ✓ zwangsweise Wiederholung ✗ Demotivation ✗ Stressfaktor
Verwandte Patterns	SIF3: Aufgabe, SIF4: Ausgabe

Spezifische 3D-Patterns: Interaktions-Patterns

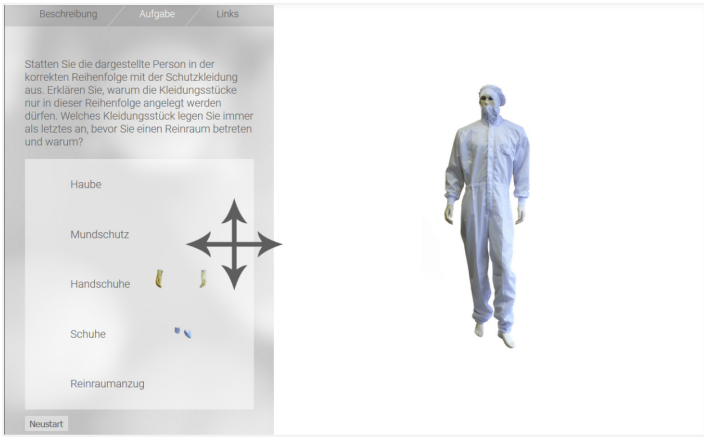
Name	Zoom
ID	SIT1.1
Problem	Die Lernenden sollen in einem komplexen 3D-Modell an wichtigen Stellen eine vergrößerte Ansicht erhalten.
Beispiel	
Lösung	Durch die Zoom-Funktion können die Lernenden eine kontinuierliche Vergrößerung erhalten.

Details	• Ermöglichen von Translation • Zoombereich begrenzen – wenn nötig, kann durch den Zoom auch ins Innere des Modells navigiert werden	
Vor- und Nachteile	✓ Vergrößerung von interessanten Stellen im Modell ✓ Kann dazu genutzt werden, um ins Innere des Modells zu blicken	× Mögliche verwirrende Ansicht
Verwandte Patterns	AM1: Rotation, AM5: Reset-Button, SIT1.3: Translation	

Name	Selektion	
ID	SIT1.2	
Problem	Die Lernenden sollen spezifische Elemente anwählen können, um z. B. Beschriftungen aufzurufen	
Beispiel		
Lösung	Durch einen Klick (Computermaus) oder Tap (mobile Endgeräte) können die Lernenden die Selektion ausführen.	
Details	• Programmieren der Selektion durch einen Klick, z. B. für Auswahl von Interaktionsfeldern, Auswahl von Modellelementen, Start und Stopp von Animationen, Aufrufen der Ausgabe oder Anwahl der Hotspots	
Vor- und Nachteile	✓ Individuelles Auswählen von spezifischen Elementen ✓ intuitive Interaktion	-
Verwandte Patterns	-	

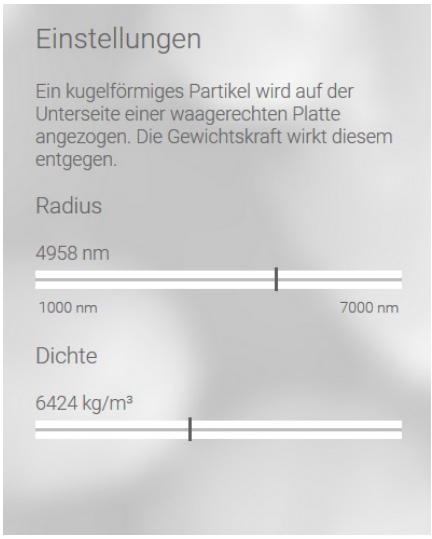
Name	Translation
ID	SIT1.3
Problem	Wichtige Objektelemente des 3D-Modells sind durch die intensive Interaktion außerhalb des Ansichtsfensters geraten.
Beispiel	

Lösung	Mit der Translations-Funktion kann das 3D-Modell zurück verschoben werden.	
Details	• Translation erfolgt auf horizontaler oder vertikaler Ebene	
Vor- und Nachteile	✓ 3D-Modell kann beliebig verschoben werden, ohne den Ansichtswinkel zu verändern	× Teilweise umständliche Interaktion mit Touch-Funktion
Verwandte Patterns	AM5: Reset-Button	

Name	Puzzeln
ID	SIT2.1
Problem	Die Lernenden sollen den Aufbau oder die Funktionsweise eines technischen Konstrukts schrittweise verinnerlichen.
Beispiel	
Lösung	Die Lernenden können das 3D-Modell selbstständig Zusammenbauen, indem z. B. Bauteile zusammengesetzt bzw. gepuzzelt werden. Dies ist mit einer höheren Interaktion verbunden.
Details	• Zusammenfügen der Elemente kann z. B. via Drag'n'Drop erfolgen • Festlegen der Punkte für den Zusammenschluss • Eventuell Festlegen einer Reihenfolge • Anzeigen der Fehler • Aufzeigen des finalen Zustandes
Vor- und Nachteile	✓ Hohe Lernkurve ✓ Eigenständiges Zusammenbauen eines 3D-Modells × Stressfaktor möglich
Verwandte Patterns	SIF6: Fehler, AM5: Reset-Button

Name	Diskrete Manipulation
ID	SIT2.2
Problem	Die Lernenden sollen Zusammenhänge und Abhängigkeiten von Größen durch konkrete Zahlen- und Datenänderungen erkennen.
Beispiel	

Lösung	Textfelder für die Dateneingabe ermöglichen den Lernenden eine Änderung spezifischer Parameter. Hierfür ist in den meisten Fällen eine Tastatur (Hardware oder eingeblendete digitale Tastatur bei mobilen Endgeräten) nötig.	
Details	• Vorgeben von Textfeldern mit entsprechender Einheit für die Eingabe • Vorsehen von Fehlermeldungen bei unrealistischen Werten und fehlender Daten • Bestimmen der möglichen Ausgabeart neben dem 3D-Modell (Grafik, Diagramm etc.)	
Vor- und Nachteile	✓ Eigenständige Überlegung passender Werte ✓ Änderung durch konkrete Daten	× Zahlenwerte eventuell schwer vorstellbar
Verwandte Patterns	SIF4: Ausgabe, SIT2.3: Kontinuierliche Manipulation	

Name	Kontinuierliche Manipulation
ID	SIT2.3
Problem	Die Lernenden sollen Zusammenhänge und Abhängigkeiten von Größen mit einer kontinuierlichen Änderung erkennen.
Beispiel	
Lösung	Die Zustandsänderung innerhalb eines 3D-Modells kann z. B. durch Benutzen von Slidern kontinuierlich erfolgen.
Details	• Präsentieren der Änderung im 3D-Modell in Echtzeit • Eingrenzen des Wertebereichs • Eventuell Hinzufügen der Daten zur kontinuierlichen Änderung
Vor- und Nachteile	✓ Verfolgen der kontinuierlichen Änderung × Einschränkung durch vorgegebenen Bereich
Verwandte Patterns	SIF4: Ausgabe, SIT2.2: Diskrete Manipulation

Aufzeigen verwandter Patterns

Abschließend werden die Querverbindungen zwischen den einzelnen 3D-Patterns visuell aufgezeigt, um die Pattern-Kollektion als Übersicht zu erhalten. Dafür werden die Relationen aufgrund der Bewahrung der Übersichtlichkeit lediglich innerhalb der einzelnen Unterkategorien aufbereitet (Abbildung 4-26).

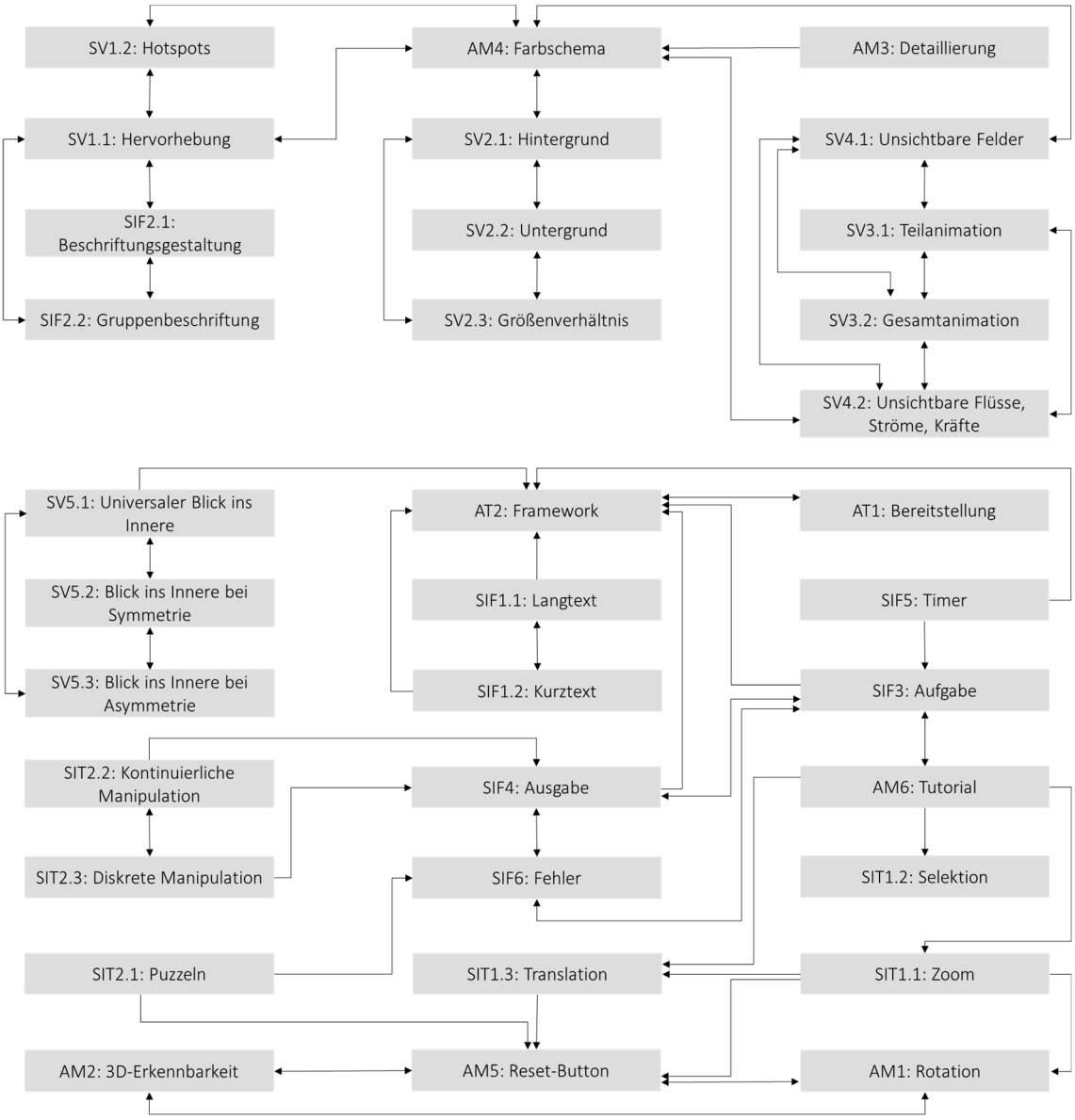


Abbildung 4-26: Pattern-Kollektion (e. D.)

Regeln und Gütekriterien

Abschließend wird das Umsetzen der Regeln und Erfüllen der Gütekriterien aus den Anforderungen (Kapitel 4.1.2) beschrieben. Dazu werden diese nochmals aufgeführt und in den Tabellen 4-16 und 4-17 dargelegt.

Tabelle 4-16: Regeln bei der Dokumentation von Patterns [Vlissides 1995, S. 7–10]

Regel	Umsetzung
Reflexion	Die Reflexion war durch die mehrmalige Verwendung der Patterns bei den verschiedenen Studien gegeben.
Strukturiertheit	Alle Patterns weisen eine konsistente Struktur auf, die vorher erarbeitet und festgelegt wurde. Lediglich bei einem Pattern konnten keine gravierenden Nachteile verfasst werden. Für alle anderen war die Struktur angemessen und für den Inhalt ausgewogen.

Frühe Konkretisierung	Bereits bei der ersten Modellierung der Werkzeuge aus der Mikrotechnologie als 3D-Modell waren die Problemstellen frühzeitig ersichtlich, z. B. Beschriftungen oder die Anbringung von Texten.
Eindeutigkeit und Ergänzbarkeit	Die Eindeutigkeit wird durch das Eingliedern der Patterns in die Problemklassen sowie der Identifikationsnummer gesichert. Durch die Klassifizierung sind weitere Patterns ergänzbar. Auch innerhalb der Patterns können Ergänzungen bezüglich der Vor- und Nachteile sowie der Details hinzugefügt werden.
Effektive Darstellung	Die größte Herausforderung bestand bei der Erarbeitung der Patterns in textlicher und visueller Form. Innerhalb der Texte mussten schnell erfassbare Informationen präsentiert werden. Der Fokus lag in der Problem- und Lösungsbeschreibung. Diese wurde daher in Sätzen formuliert, während weitere Informationen als Stichpunkte aufgeführt wurden. Für die visuelle Form wären Videos der Lösungen angebracht, da die 3D-Modelle überwiegend dynamische Elemente beinhalten, die in Grafiken schwer zu visualisieren sind. Bei der Bereitstellung der Patterns z. B. in einer Online-Library wären Videos effektiver.
Iteration	Bei der Erstellung der 3D-Modelle wurden bereits mehrere Iterationen durchlaufen, die die Patterns festigten. Die Patterns müssen jedoch durch wiederkehrende Anwendung verbessert werden. Von einer Endversion kann aktuell noch nicht ausgegangen werden.
Feedback	Um Feedback zu den Patterns geben zu können, sollte eine Online-Library erstellt werden. Einfache Content-Management-Systeme bieten meist eine Möglichkeit, um weitere Hinweise zu geben, z. B. in der Anbindung der Kommentarfunktion.

Tabelle 4-17: Gütekriterien für Patterns nach [Kohls 2007, S. 7–9]

Gütekriterium	**Erfüllung**
Validität	Die Validität ist dadurch gegeben, dass die Patterns bereits in der Praxis angewendet sowie erprobt wurden. Mit den gezeigten Beispielen der 3D-Modelle konnten die Patterns wiederkehrende Probleme lösen.
Vollständigkeit	In der aktuellen Version der Patterns sind die bis dahin aufgetretenen Probleme vollständig gelöst worden. Trotzdem können Ergänzungen und Erweiterungen angebracht werden, um die Patterns detailreicher zu gestalten.
Plausibilität und Verständlichkeit	Der Expertisegrad und das Vorwissen der Anwender und Anwenderinnen wurden bei der Erarbeitung der Patterns berücksichtigt. Zur Verständlichkeit kann jedoch derzeit keine Aussage gemacht werden.
Strukturierung	Siehe Tabelle 4-16: Strukturiertheit
Granularität	Die Patterns wurden so erarbeitet, dass sie unabhängig voneinander genutzt werden können. Anhand der Namen und Identifikationsnummern wurden die Teilprobleme eindeutig voneinander abgegrenzt, die durch Aufzeigen der verwandten Patterns weiterhin eine Vernetzung beinhalten.
Fuzzyness	Die Patterns über 3D-Lernanwendungen zeigen sehr eindeutige und klare Lösungen, die im Gegensatz zu z. B. sozialwissenschaftlichen Themen scharf voneinander getrennt werden können.
Objektivität	Die Objektivität ist durch die Vorgehensweise zur Erarbeitung der Pattens bereits gegeben. Denn die Analyse bestehender 3D-Modelle sowie deren Variantentests mit Lernenden ergeben Lösungen mit der jeweils besten Bewertung. Persönliche Vorstellungen zur Aufbereitung der 3D-Modelle waren nicht Bestandteil der Patterns.
Relevanz und Expertisegrad	Der Großteil der Patterns zeigt Lösungen, die Expertenwissen zugänglich machen. Zwar sind mögliche Aufbereitungen bekannt, wie z. B. dass Beschriftungen an einem 3D-Modell angebracht werden können, aber wie diese genau gestaltet sind, wird erst durch die Patterns beschrieben.
Komplexität des Umfelds	Wiederkehrende Elemente, vor allem die visuellen, sind bei 3D-Modellen einfach zu erkennen. Die Komplexität tritt bei den Problemklassen der Information und Interaktion auf. Hierbei erscheinen die Patterns wertvoller, da sie das Potenzial verdeutlichen.
Abstraktionsgrad	Die Patterns der 3D-Modelle für die ingenieurwissenschaftliche Lehre lassen sich aufgrund des Abstraktionsgrades leicht auf 3D-Modelle anderer Disziplinen, wie z. B. der Medizin, übertragen. Trotzdem liefern sie genug Details zur Aufbereitung und Gestaltung.

5 Entwicklung einer Entscheidungshilfe

In den vorangegangenen Kapiteln wurde mehrfach deutlich, dass 3D-Modelle immer noch aufwendig zu erstellen sind. Neben der Ressourcenplanung ist eine Abschätzung des Aufwands und einer Eignung der Aufbereitung von Lerngegenständen als 3D-Modell notwendig. Hierzu soll eine Entscheidungshilfe erstellt werden, die als Orientierung die Entwicklung eines 3D-Modells besser verorten und abschätzen lässt. Für die bessere Differenzierung werden 3D-Lerngegenstände klassifiziert und für die 3D-Aufbereitung auf eine angepasste Interaktionstaxonomie abgeleitet, da die Interaktion das entscheidende Merkmal der 3D-Modelle darstellt. Mit den Erkenntnissen aus den bisherigen Ergebnissen zu 3D-Modellen wird die Entscheidungshilfe in Kapitel 5.3 entwickelt. Diese wird in das später zu erstellende Vorgehensmodell eingegliedert.

5.1 Klassifikation von 3D-Lerngegenständen

Die empirischen Studien aus Kapitel 3.2 lieferten Ergebnisse, die durch Untersuchungen an modellierten Werkzeugen aus der Mikrotechnologie stammen. Damit ist nur eine Art von Lerngegenständen aus der Ingenieurwissenschaft beispielhaft getestet worden. Das nachfolgende Kapitel zeigt anhand einer Ist-Analyse die beispielhafte Klassifikation von Lerngegenständen der Ingenieurwissenschaften in der Hochschullehre. Hierzu wurden aktuelle Ingenieurstudiengänge und deren Module bzw. Kurse analysiert. Die Klassifikation dient im weiteren Verlauf in Kombination mit der Interaktionstaxonomie (Kapitel 5.2) als Teilbereich der zu entwickelnden Entscheidungshilfe (Kapitel 5.3). Diese soll eine Orientierung bieten, wann sich die Entwicklung einer interaktiven 3D-Lernanwendung lohnt.

5.1.1 Ziel

Die Lernenden der Ingenieurwissenschaften zeichnet das interdisziplinäre Wissen aus, das sie während des Studiums erhalten. Ihnen werden naturwissenschaftliche und technische Inhalte gelehrt, um sie auf den späteren Beruf vorzubereiten. Zusätzlich erhalten die Lernenden Grundkenntnisse in den Disziplinen Wirtschafts-, Sozial- und Rechtswissenschaften [Freyas 2016]. Zu dieser Fachkompetenz werden spezifische Kompetenzen im ingenieurwissenschaftlichen Bereich ergänzt. Die Lernenden entwickeln eine hohe Problemlösungskompetenz, um komplexe Aufgaben zu bewältigen. Zudem wird der Erwerb

von Methodenkompetenz, Sozialkompetenz und der persönlichen Kompetenz angestrebt [Sorko et al. 2019, S. 9–11]. Die Vielfältigkeit der Kenntnisse und Fähigkeiten spiegelt sich in den einzelnen Lerngegenständen wider, die es hier zu analysieren und klassifizieren gilt, um daraus eine Möglichkeit der Einteilung für die 3D-Visualisierung zu schaffen.

In vielen Bereichen der Ingenieurwissenschaften müssen sich Lernende ein Verständnis für dreidimensionale Konstrukte und deren Verhalten erwerben. Die Bandbreite reicht von einfachen geometrischen Figuren über spezielle Geräte und Maschinen, wie z. B. Mikroskope oder Motoren, bis hin zu komplexen Simulationen, z. B. von Energienetzen.

Die Klassifikation der Lerngegenstände in den Ingenieurwissenschaften hat das Ziel, eine Systematik zur besseren Einordnung eines geplanten 3D-Modells zu präsentieren. Es wird dabei das wesentliche Ziel verfolgt, zusammen mit der Ableitung einer Interaktionstaxonomie (Kapitel 5.2) Schlussfolgerungen auf das Aufwand-Nutzen-Verhältnis für ein 3D-Modell zu ziehen. Dies sind wichtige Hinweise für die zu entwickelnde Entscheidungshilfe (Kapitel 5.3).

5.1.2 Methode

Eine Ist-Analyse nach dem Top-Down-Prinzip dient als Grundlage für die Klassifikation der Lerngegenstände. Hierzu wurden die Ingenieurstudiengänge der besten Technischen Universitäten (TU) Deutschlands analysiert. Darunter zählen die TU9. Das sind die neun führenden Exzellenzuniversitäten [Saverschek 2020]. Aufgrund der räumlichen Nähe wird die Liste mit der Technischen Universität Ilmenau erweitert.

Tabelle 5-1: TU9

No.	Universitäten mit Ingenieurstudiengängen
1	Karlsruher Institut für Technologie
2	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
3	Technische Universität München
4	Technische Universität Berlin
5	Technische Universität Darmstadt
6	Technische Universität Dresden
7	Universität Stuttgart
8	Technische Universität Braunschweig
9	Leibniz Universität Hannover
10	Technische Universität Ilmenau

Im nächsten Schritt sind die Ingenieurstudiengänge darzustellen, die innerhalb der genannten Universitäten häufig vertreten sind. Die fünf häufigsten Studiengänge der Technischen Universitäten in absteigender Reihenfolge waren dabei:

Abbildung 5-1: Ingenieurstudiengänge

Das Ergebnis spiegelt die Darstellung von [Klesper 2017] wider, die die bekanntesten Fachrichtungen der Ingenieurwissenschaft aufzeigt. Maschinenbau und Elektrotechnik sind dabei die Fachrichtungen, in denen die meisten Ingenieure und Ingenieurinnen tätig sind.

Im nächsten Schritt werden die Module der Studiengänge bzw. Fachrichtungen analysiert. Sie geben Aufschluss darüber, welche fachlichen Kompetenzen die Ingenieure und Ingenieurinnen aufweisen müssen. Weiterhin wird geprüft, welche Inhalte für 3D-Lernanwendungen geeignet sind. Es können dann die Inhalte der Studiengänge systematisiert werden, um damit die Klassifikation der 3D-Lerngegenstände zu zeigen. Diese nachfolgenden fünf Module werden überwiegend in jedem Studiengang gelehrt:

Abbildung 5-2: Module

Eine kleine Auswahl an typischen Lehrinhalten bzw. Themenfeldern aus den Modulen ist in Tabelle 5-2 aufgelistet.

Tabelle 5-2: Typische Lehrinhalte bzw. Themenfelder der fünf Module

Mathematik	**Physik**	**Mechanik**	**Informatik**	**Elektrotechnik**
Vektorräume	Impulserhaltung	Kräftesysteme	Petri-Netze	Grundstromkreis
Differentialgleichungen	Optik	Statik	Algorithmen	Netzwerkanalyse
Komplexe Zahlen	Elektrizität	Festigkeitslehre	Automaten	Induktivität
Integralrechnung	Thermodynamik	Dynamik	Objektorientierte Modellierung	Schaltbilder
Geometrische Körper	Drehmomente	Reibung	OSI-Modell	Ortskurven
Gleichungssysteme	Schwingungen	Torsion	Logiken	Transformatoren
Matrizen	Quantenphysik	Kinematik	(binäre Such-) Bäume	Felder
…	…	…	…	…

Im weiteren Verlauf konnten Lerngegenstände analysiert werden, die häufig als 3D-Visualisierung (überwiegend als Grafik) vermittelt und veranschaulicht werden.

Tabelle 5-3: Typische Lerngegenstände, die häufig als 3D-Visualisierung präsentiert werden

Mathematik	**Physik**	**Mechanik**	**Informatik**	**Elektrotechnik**
Vektoren im Raum	Quantenphysik - Doppelspalt	Kräfteberechnung	Oberflächen-verfahren	3-Finger-Regel
Geometrische Körper, wie z. B. Würfel, Pyramide, Kugel	Wellenüberlagerung	Hall-Effekt	Marching Cube	Durchflutungsgesetz
Darstellung von Vektorfeldern	Bernoulli-Effekt	Belastungsarten	Beispiele boolescher Operationen	Magnetlinien
Koordinatensystem R^3	Strömungslinien	Getriebearten	Tessellierte Flächen	Asynchronmotor
Rotationsparaboloid	Strahlensatz	Kugellager	Darstellung von Isoflächen	Stromdurchflossener Leiter
…	…	…	…	…

Interessanterweise wird der Physik hierbei eine besondere Rolle zugesprochen. In der Recherche wurde ersichtlich, dass der Großteil der Ingenieurwissenschaften auf physikalische Systeme zurückzuführen ist. Besonders die Mechanik und Elektrotechnik bauen auf physikalischen Grundlagen auf und werden als Teilgebiete dargestellt. Tabelle 5-4 zeigt dazu eine etablierte Systematik.

Tabelle 5-4: Technische und natürliche Systeme nach [Koller 1998, S. 30]

Physikalische Systeme	**Chemische Systeme**	**Biologische Systeme**
– Mechanische – Hydraulische – Pneumatische – Elektrische – Magnetische – Optische – Thermische – Akustische	– Organische – Anorganische	– Humane – Zoologische – Pflanzliche – Bakterielle

Diese Systematik zeigt die Teilsysteme der physikalischen Systeme und verdeutlicht die Zugehörigkeit zu den technischen Systemen und damit den Ingenieurwissenschaften. Die Lerngegenstände der Ingenieurwissenschaften, die dem weiteren Verlauf der Analyse dienen, werden sich daher vordergründig auf die physikalischen Systeme beziehen.

Aus der Analyse der Lerngegenstände (Tabelle 5-2 und vorrangig Tabelle 5-3) lassen sich drei Klassen deutlich voneinander abgrenzen. Oft beginnen die Module mit der Darlegung von Grundlagen und Grundgrößen. Das sind z. B. Begriffe, Definitionen mit SI-Ein-

heiten oder Bauteile. Diese werden in der nächsten Klasse in Beziehung zueinander gesetzt. Es besteht dadurch eine gegenseitige Beeinflussung, die Wirkprinzipien verdeutlicht. Daraus ergeben sich Formeln, Gesetze und Effekte. In der dritten Klasse sind komplexere Wirkprinzipien zu finden. Das sind z. B. Methoden, Verfahren und Prozesse, die Abläufe innerhalb von Systemen beschreiben und verdeutlichen. In Tabelle 5-5 sind die Klassen aufgeführt und mit Beispielen versehen.

Tabelle 5-5: Klassifikation der Lerngegenstände

Klasse I: Grundgrößen	**Klasse II: Wirkungen**	**Klasse III: Abläufe**
− Begriffe − Grundlagen − Definitionen	− Gleichungen/Formeln − Gesetze − Wechselwirkungen − Zusammenhänge − Effekte − Abhängigkeiten − Axiome/Sätze − Effekte	− Verfahren − Methoden − Konzept zur Problemlösung − Prozesse − Beweise − Vorgang − Funktionsweise − Versuche

Vergleichend können die Wissensdimensionen aus dem Instruktionsdesign und der Didaktik, z. B. von [Anderson et al. 2001, S. 46] mit den abgeleiteten Klassen gegenübergestellt werden. Es zeigen sich hierbei deutliche Parallelen bezüglich der Abstufungen und inhaltlichen Erklärungen.

Tabelle 5-6: Gegenüberstellung der abgeleiteten Klassen mit den Wissensdimensionen

Abgeleitete Klassen	**Wissensdimension nach [Anderson et al. 2001]**	**Beschreibung der Wissensdimensionen nach [Anderson et al. 2001]**
Klasse I: Grundgrößen	Faktenwissen/ Begriffslernen	Lernende beherrschen grundlegende disziplinäre Wissenselemente.
Klasse II: Wirkungen	Zusammenhangswissen/Konzeptionelles Wissen	Lernende beweisen, dass sie das Erlernte in größeren Strukturen verstanden haben, z. B. kann das Gelernte in neuen Aufgabenstellungen angewandt werden.
Klasse III: Abläufe	Prozedurales Wissen	Lernende gestalten Abläufe sowie Prozesse und analysieren Beziehungen sowie Strukturen. Sie verknüpfen vorhandenes mit neuem Wissen und entwickeln so Hypothesen. Darüber hinaus können sie neue Programme entwerfen, die Informationen auf Kriterien gestützt bewerten und letztlich innovieren.

Tabelle 5-7 verdeutlicht anhand von ausgewählten Beispielen die entwickelte Klassifikation der Lerngegenstände. Dazu werden Lerngegenstände aus dem Ingenieurgrundlagenstudium bezüglich der physikalischen Systeme dargestellt, die überwiegend als 3D-Visualisierung präsentiert werden.

Tabelle 5-7: Abbilden der physikalischen Systeme auf die Klassifikation der Lerngegenstände

Physikalisches System	**Beispiel**	**Klasse I: Grundgrößen**	**Klasse II: Wirkungen**	**Klasse III: Abläufe**
Mechanisch	Flaschenzug	Arbeit, Gewichtskraft	Formel zur Kraftberechnung	Berechnung der Kraft
Hydraulisch	Hydraulikpresse	Öldruck, Kolbenkraft	Formel zur Leistungsberechnung	Berechnung der Kräfte
Pneumatisch	Vakuumpumpe	Druck, Kolben, Strömung	Kolbenbewegung	Leistung, Druck berechnen
Elektrisch	Transformator, z. B. für die Fernübertragung	Eisenkern, Primärstrom, Sekundärspannung	Abhängigkeit der Wicklungszahl bzw. Drahtdicke	Funktionsweise, vollständige Transformation
Magnetisch	Induktion, z. B. Induktionsherd	Strom, Glaskeramik, Spule	Formeln zur magnetischen Flussdichte	Ablauf von Erzeugung des Magnetfeldes bis zur Erhitzung im Topf
Optisch	Lichtmikroskop	Linsen	Zusammenspiel von Grob- und Feintrieb	Beschreibung des vollständigen Lichtwegs
Thermisch	Photovoltaikanlage	Energie, Leistung, Schichten der Solarzelle	Elektronenverlauf in den Solarzellenschichten	Aufbau und Ablauf der PV-Anlage, Berechnen des Wirkungsgrads der Solarzelle
Akustisch	Lautsprecher	Magnetfeld, Aufbau der Schwingspule	Kondensatoren	Funktionsweise, Erklärung zur Entstehung der Schallwelle

Sichtbare und unsichtbare Elemente

Tabelle 5-7 beinhaltet Elemente, die zum einen mit bloßem Auge sichtbar sind. Das sind z. B. Bauteile oder Schalter. Demgegenüber stehen die unsichtbaren Elemente, wie Kräfte oder Flüsse. Diese müssen innerhalb des 3D-Modells erkennbar visualisiert werden. Typische Elemente konnten hierfür extrahiert und in Tabelle 5-8 aufgelistet werden.

Tabelle 5-8: Unsichtbare und sichtbare Elemente aus Beispielen der physikalischen Systeme

Sichtbare Elemente	**Unsichtbare Elemente**
– Gehäuse – Material – Bauteile – Bedienelemente – Kabel – …	– Kräfte – Strom – Spannung – Wirkungen – Moleküle – …

Weiterhin wurde durch die Klassifikation deutlich, dass 3D-Modelle für das Visualisieren und Simulieren von Aufbau und Funktionsweise ideal einsetzbar sind. Zusätzlich unterstützen sie durchzuführende Berechnungen an den Lerngegenständen (Kapitel 3.1.1).

Klassifikation

Die gewählten Beispiele aus Tabelle 5-7 zeigen überwiegend ein Gesamtsystem bzw. ein technisches Gebilde. Das ist z. B. eine Maschine, ein Gerät oder eine Anlage. Die Klassifikation gilt jedoch auch für Teilsysteme bzw. Subsysteme, wie z. B. der Transformator, der meist Teil eines Gesamtsystems ist. Damit lässt sich die Klassifikation von Grundgrößen, Wirkungen und Abläufen auf Lerngegenstände anwenden, die ein Gesamt- oder Teilsystem verdeutlichen sollen.

Kontext

Die Klassifikation besteht aus drei Klassen, die überwiegend abstrakte Begriffe darstellen. Da jedoch ein 3D-Modell ein Mittel zur Visualisierung der Lerngegenstände ist, wird der Kontext, in dem der Lerngegenstand präsentiert wird, enorm wichtig. Es muss vor der Entwicklung des 3D-Modells festgelegt werden, welche Klasse in welchem Kontext dargestellt werden soll. Dabei ist zu bestimmen, ob z. B. der Einstellvorgang als Ablauf (Klasse III) an einem Lichtmikroskop darzustellen ist oder die Grundgrößen (Klasse I), wie z. B. die Linsen, das Stativ oder der Schalter, den Aufbau zeigen. Dieser Anwendungskontext wird nun mit konkreten Begriffen differenziert. Somit wäre eine Möglichkeit der Klassifikation mit Fokus auf den Anwendungskontext: das technische Objekt, die technische Gruppe und das technische System. Alternativ wäre eine kürzere Benennung der Klassen des Anwendungskontexts: Bauteil, Baugruppe und System. Dies wurde aus der Systematik des Maschinenbaus abgeleitet, bei dem nach [DIN 40150] und [Koller 1998, S. 31] folgende Definition besteht:

Tabelle 5-9: Dreistufige Klassifikation des Anwendungskontextes der 3D-Lerngegenstände

	Definition	**Synonyme**	**Beispiele**
Bauteil	kleinste unteilbare Einheit eines technischen Gebildes	Element, technisches Objekt	Schraube, Bolzen, Feder
Baugruppe	eigenständiges funktionsfähiges Subsystem aus mind. zwei Bauteilen bestehend	Gruppe, technische Gruppe	Wälzlager, Getriebemotor
System	Gesamteinheit zur Auftragserfüllung bzw. Realisierung eines Energie-, Stoff- oder Informationsumsetzungsprozesses	Einrichtung, technisches System	Bohrmaschine, Dampfturbine Walzwerkanlage, Notstromaggregat

5.1.3 Ergebnis

Das erste Ziel zur Erarbeitung einer Entscheidungshilfe war es, eine mögliche Klassifikation von Lerngegenständen für 3D-Modelle zu entwickeln. Nach Analyse der Ingenieurwissenschaften, deren Fachrichtungen und Module, ergaben sich drei Klassen an Lerngegenständen zur Darstellung von 3D-Modellen. Die Klassifikation zeigt keine generische Lösung. Diese dient lediglich als Basis zur Abschätzung des Aufwandes bei der Entwicklung von interaktiven 3D-Modellen. Die drei Klassen sind:

- Grundgrößen,
- Wirkungen und
- Abläufe.

Das Top-Down-Vorgehen zur Entwicklung der Klassifikation wird in Abbildung 5-3 zusammengefasst.

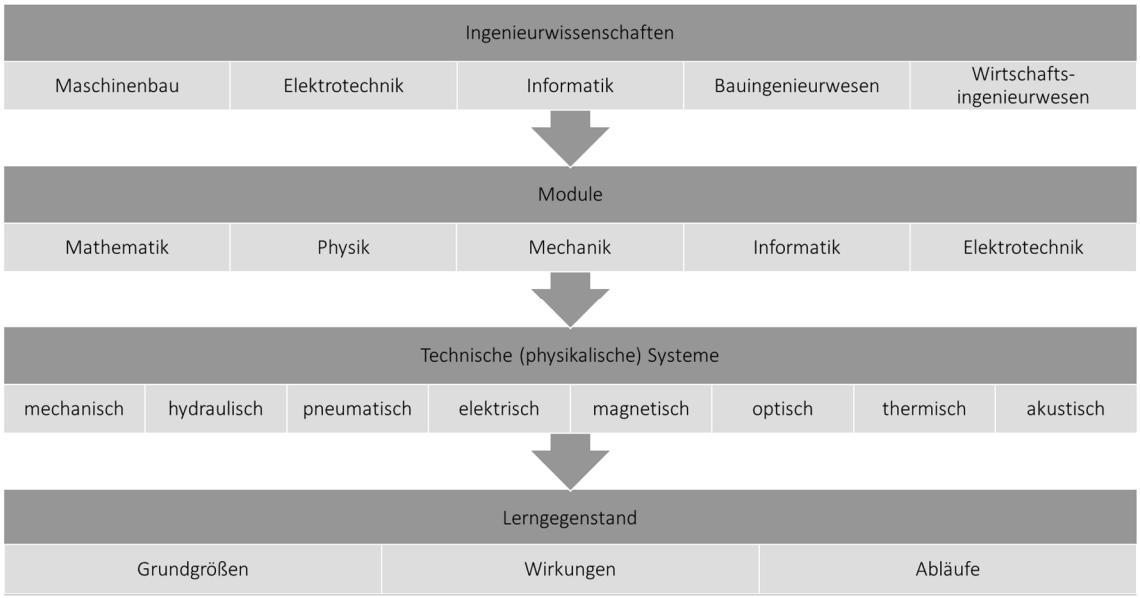


Abbildung 5-3: Zusammenfassung der Ergebnisse für die Klassifikation der Lerngegenstände (e. D.)

Anschließend wurde auf die Wichtigkeit des Anwendungskontextes hingewiesen, den 3D-Modelle benötigen, um die 3D-Lerngegenstände darzustellen. Auch hier wurde eine dreistufige Klassifikation mit folgender Einteilung benannt:

- Bauteil,
- Baugruppe und
- System.

Zusammenfassend müssen vor der Entwicklung des 3D-Modells die folgenden zwei Fragen beantwortet werden:

- Was soll vermittelt werden? – Grundgrößen, Wirkungen oder Abläufe
- In welchen Kontext sollen diese präsentiert werden? – In einem Bauteil, einer Baugruppe oder in einem System.

Die entwickelte Klassifikation der 3D-Lerngegenstände dient zusammen mit der nachfolgenden Interaktionstaxonomie als wesentliches Element der Entscheidungshilfe.

5.2 Ableitung einer Interaktionstaxonomie auf die Klassifikation der 3D-Lerngegenstände

Aus den empirischen Studien, bei denen Lehrende sowie Lernende bezüglich der 3D-Modelle befragt wurden, stellte sich die Interaktion als wichtigstes Kriterium heraus. Eine Visualisierung, gleich ob als Grafik oder 3D-Modell, wird durch die Interaktionsmöglichkeiten besonders motivierend und attraktiv. Durch dieses Ergebnis soll in diesem Kapitel die Interaktion bei 3D-Modellen genauer untersucht werden. Dazu werden zunächst Taxonomien der Interaktion komparativ gegenübergestellt. Wichtige Kriterien, die alle Taxonomien aufweisen, sollen hier gesammelt werden. Sie dienen der Ableitung einer zugeschnittenen Interaktionstaxonomie, die speziell auf 3D-Modelle im ingenieurwissenschaftlichen Bereich abzielt. Im Anschluss werden die Lerngegenstände aus Kapitel 5.1 zugeordnet. Dieses Grundgerüst dient dann der Entscheidungshilfe, die das genaue Festlegen der Zielstellung des interaktiven 3D-Modells unterstützt und dadurch eine Abschätzung des Erstellungsaufwands bietet.

5.2.1 Vergleich von Interaktionstaxonomien

Die Interaktivität ermöglicht den Lernenden den Zugriff auf mediale Informationen, z. B. durch farbliche Markierungen, Icons oder Links [Kerres 2002, S. 23]. Durch Anwählen bestimmter Inhalte erhalten sie Zusatzinformationen, wie z. B. Beschriftungen, akustische Kommentare oder weitere Abbildungen mit höherem Detailgrad. Den Erhalt von Zusatzinformationen steuern damit die Lernenden selbst. Die Fülle an Informationen und eine mögliche Überlastung werden dabei vermieden [Weidenmann 2002, S. 96]. Außerdem unterstützt die Interaktivität einer Lernanwendung den Lernprozess durch individu-

elle Steuerungsinteraktionen, wie z. B. die Auswahl gewünschter Inhalte oder das Abspielen von Videosequenzen, und durch didaktische Interaktionen, wie z. B. das Wiedergeben interaktiver Animationen über Eingabe von Parametern oder Texteingaben und entsprechende Rückmeldungen des Systems [Strzebkowski et al. 2002, S. 232]. Die Qualität der Interaktivität hängt von der Darstellung der Interaktionselemente ab und beeinflusst die Bedienbarkeit der Anwendung durch Auswahl, Strukturierung und Anordnung der Steuerungselemente. Folgende Grundsätze von [Strzebkowski et al. 2002, S. 237] geben hierfür eine Orientierung:

- Die Perspektive des Nutzers oder der Nutzerin einnehmen, sodass das Lernziel unterstützt wird.
- Interaktions- und Darstellungsform so wählen, dass der Nutzer und die Nutzerin die Kontrolle über die Anwendung haben, z. B. häufig genutzte Elemente gut sichtbar gestalten und selten genutzte Elemente zunächst verstecken.
- Gestaltung einer einfachen Oberfläche, z. B. durch:
    - übersichtliches, natürliches und ästhetisches Aussehen
    - flache, hierarchisch strukturierte Gliederung
- Informationen und Feedback an den Nutzer und die Nutzerin weitergeben (visuelle und/oder akustische Rückmeldungen einer Aktion), wie Meldungen zur Reflexion des Wissenserwerbs.
- Farben dürfen nicht von Inhalten ablenken, sondern fördern die Abgrenzung der Steuerungselemente von den Inhalten.

Die Interaktivität wird in der Literatur in verschiedenen Abstufungen abgegrenzt. Zum Beispiel geht [Haack 2002, S. 128f] von einem geringen Maß an Interaktivität aus und erhöht diese für die Nutzer und Nutzerinnen durch das Hinzufügen expliziter Merkmale. Der Grad der Interaktivität kann weiterhin nach [Clarke 2018, S. 5f] anhand von Auswahlmöglichkeiten und der Navigation unterschieden werden. Nach [Schulmeister 2007, S. 38] wird die Interaktivität durch die Aktionen der Lernenden eingeteilt. In Tabelle 5-10 sind die Taxonomien von Haack, Clarke und Schulmeister mit steigendem Grad an Interaktivität und entsprechender Definition gegenübergestellt.

Tabelle 5-10: Gegenüberstellung der Interaktivitätsstufen nach Haack, Clarke und Schulmeister

Stufe	[Haack 2002, S. 128f]	[Clarke 2018, S. 5f]	[Schulmeister 2007, S. 38]
1	Rein passives Rezipieren, Lesen, Zuhören und Anschauen von Lernstoff in einer fest vorgegebenen Reihenfolge	Foundation Level: Lineare Präsentation der Lerninhalte, den die Lernenden starten und stoppen können	Objekte betrachten und rezipieren
2	Zugreifen auf bestimmte Informationen, Auswählen, Umblättern		Multiple Darstellungen betrachten und rezipieren
3	Ja/Nein- und Multiple Choice-Antwortmöglichkeiten und Verzweigen auf entsprechende Zusatzinformationen		Repräsentationsform variieren
4	Markieren bestimmter Informationsteile und Aktivierung entsprechender Zusatzinformationen	Basic Level: Lernende können den Prozess starten bzw. stoppen und einige Auswahlmöglichkeiten tätigen, um zusätzliche Informationen aufzurufen	Inhalt der Komponenten modifizieren: Variation durch Parameter- oder Datenvariation
5	Freier Eintrag komplexer Antworten auf komplexe Fragestellungen mit intelligentem tutoriellem Feedback	Intermediate Level: Lernende können auf mehreren Pfaden explorieren, haben viele Auswahlmöglichkeiten und erhalten ausführliches Feedback vom System	Objekt bzw. Inhalt der Repräsentation konstruieren und Prozesse generieren
6	Freier ungebundener Dialog mit einem Tutor oder Lernpartnern	Advanced Level: Erkundung einer realitätsähnlichen Umgebung und Durchführung von Experimenten, um so durch eigene Erfahrungen zu lernen („Learning by doing“) bzw. realitätsnahe Auswahlmöglichkeiten, Freiheiten sowie Feedback zu erhalten	Inhalt der Repräsentation konstruieren und manipulierende Handlungen mit situationsabhängigem Feedback erhalten

Die Taxonomien zeigen innerhalb der Abstufung Gemeinsamkeiten. Die erste Taxonomiestufe von Haack gleicht inhaltlich dem Fundation Level von Clarke und der ersten Stufe von Schulmeister. Sie beschreiben, dass die Präsentation der Inhalte und dessen Betrachtung durch die Lernenden das geringste Maß an Interaktivität ausmacht. Die Taxonomien stellen das intelligente, zeitnahe Feedback vom System und die freie Auswahlmöglichkeit der Lernenden, z. B. auf komplexe Fragestellungen, als eine der höchsten Formen der Interaktivität dar. Haack fügt hierbei hinzu, dass die höchste Stufe der Interaktion den freien Dialog bzw. die Kooperationsmöglichkeit der Lernenden mit einem Tutor oder mit anderen Lernenden statt mit dem System beinhaltet. In Clarkes Interaktivitätslevel wird auf das spielerische Lernerlebnis abgezielt, das durch realitätsnahe Gestaltung eine experimentelle Lernumgebung konstruiert. Haack und Schulmeister fokussieren die Erreichung der Lernziele durch selbstgesteuertes und selbstgestaltetes Lernen, in-

dem die Lernenden über steigende Interaktionsmöglichkeiten verfügen. Nach dieser Gegenüberstellung der Interaktionsstufen bzw. Taxonomien können folgende Kriterien aufgezeigt werden.

Ableitung von Kriterien

- klare Abgrenzung der Stufen
- einfache und übersichtliche Systematik (Monohierarchie)
- aufeinander aufbauende Stufen (eine höhere Stufe schließt eine niedrigere ein)
- maximal 6-stufige Taxonomie
- linearer Aufbau (nicht netzartig)

Im nächsten Schritt erfolgt aus den vorangegangenen Erkenntnissen die Entwicklung einer Interaktionstaxonomie für interaktive 3D-Modelle.

5.2.2 Entwicklung einer Interaktionstaxonomie für 3D-Modelle

Die ursprüngliche Idee zur Gegenüberstellung der Ziele von 3D-Modellen zu denen der 3D-Lerngegenstände bestand in der Analyse von Lernzieltaxonomien. Diese sollen im Folgenden kurz aufgegriffen werden. Die Lernzieltaxonomien sind ein wichtiges Werkzeug in der Konzeption der didaktischen Aufbereitung von Lerngegenständen. Lernziele werden dabei nach einem Ordnungsschema gegliedert und bauen wie die Interaktionstaxonomien stufenweise aufeinander auf. Der Begriff Lernzieltaxonomie wurde von Benjamin Bloom 1956 geprägt. Er erstellte als erster ein hierarchisches System, welches stufenweise den Anstieg intellektueller Fertigkeiten und Fähigkeiten bzw. den Grad ihrer Komplexität beschreibt. Klar formulierte Lernziele müssen direkt zu Beginn einer didaktischen Entwicklung bzw. Konzeption formuliert werden. Tabelle 5-11 zeigt mit der Unterstützung eines Lehrenden der Elektrotechnik beispielhaft eine Lernzielformulierung für die Lernzielstufen nach [Bloom et al. 1973, S. 31] in den Ingenieurwissenschaften.

Tabelle 5-11: Beispiele von Lernzielen in den Ingenieurwissenschaften

Lern-zielstufe	**Lernziele nach [Bloom et al. 1973, S. 31]**	**Generelle Lernziele in den Ingenieurwissenschaften**
1	Wissen	Die Lernenden kennen Komponenten und Wirkprinzipien.
2	Verstehen	Die Lernenden können Komponenten und Wirkprinzipien in spezifischen Kontexten verstehen.
3	Anwendung	Die Lernenden können Komponenten in Hinblick auf die Zielstellung einsetzen.
4	Analyse	Die Lernenden können neue Komponenten unterscheiden.

5	Synthese	Die Lernenden können eine zielgerichtete Verhaltensänderung des Systems durch Änderung von Parametern der vorhandenen Komponenten oder durch Hinzufügen von neuen Komponenten ableiten.
6	Evaluation	Die Lernenden können Alternativen zur Ableitung von Kompromissen bewerten.

Die Lernziele helfen im nächsten Schritt eine geeignete Interaktionstaxonomie für 3D-Modelle zu erstellen. Über die Lernzieltaxonomie nach Bloom wurden die gezeigten Interaktionstaxonomien aus 5.2.1 auf ihre Passfähigkeit geprüft. Die Taxonomie von [Schulmeister 2007, S. 38] weist dabei die größten Vorteile auf. Zunächst ist es die bekannteste und neueste im Gegensatz zu den Taxonomien von [Haack 2002, S. 128f] und [Clarke 2018, S. 5f]. Weiterhin zeigt die Anzahl der Stufen eine genauere Unterscheidbarkeit der Interaktionsmöglichkeiten und damit eine höhere Abgrenzbarkeit auf. Darunter zeigen sich konkrete Anwendungsfälle für die 3D-Modelle, z. B. die Variation durch Parameter und Daten sowie die multiple Darstellung. Die Interaktionstaxonomie nach Schulmeister lässt sich zunächst aufgrund der Stufenanzahl den sechs Lernzielstufen nach Bloom gegenüberstellen (Tabelle 5-12).

Tabelle 5-12: Gegenüberstellung der Lernziele und der Interaktionsstufen

Stufe	**Lernziele nach Bloom [Bloom et al. 1973, S. 31]**	**Interaktionsstufen nach Schulmeister [Schulmeister 2007, S. 38]**
I	Wissen	Objekte betrachten und rezipieren
II	Verstehen	Multiple Darstellungen betrachten und rezipieren
III	Anwendung	Die Repräsentationsform variieren
IV	Analyse	Den Inhalt der Komponente beeinflussen: Variation durch Parameter- oder Datenvariation
V	Synthese	Das Objekt bzw. den Inhalt der Repräsentation konstruieren und Prozesse generieren
VI	Evaluation	Konstruktive und manipulierende Handlungen mit situationsabhängigen Rückmeldungen

Hierbei wird deutlich, dass die Lernzielstufen im direkten Zusammenhang mit den Interaktionsstufen stehen. Das Verstehen kann z. B durch die Betrachtung von multiplen Darstellungen gefördert werden bzw. wird die Fähigkeit der Evaluation durch manipulierende Handlungen und zusätzliche Rückmeldungen verstärkt. Zur Vereinfachung und besseren Handhabbarkeit für den weiteren Verlauf erfolgt eine Komplexitätsreduktion. Dazu werden die dargestellten Stufen in drei Ebenen aufgegliedert. Die erste Interaktionsstufe erklärt die Funktion der Illustration oder Information. Dies ist z. B. das reine Aufrufen eines 3D-Modells. In der nächsten Stufe existieren für die Komponenten mehrere Optionen.

Schulmeister beschreibt dies mit dem Beispiel des nacheinander Aufrufens mehrerer Versionen einer Grafik oder des Abspielens von Filmen oder Animationen. Auch hier können die Nutzer und Nutzerinnen das Lernmaterial lediglich betrachten. Auf das 3D-Modell übertragen, ist dies das Betrachten einer vorgegebenen Animation oder das Aufrufen von drei in verschiedenen Winkeln dargestellte 3D-Modell als Screenshot. Die dritte Stufe beschreibt die direkte Manipulation und das Erlebnis der Nutzer und Nutzerinnen, einen aktiven Einfluss auf die Darbietung zu haben. Das entspricht z. B. der Rotation eines 3D-Modells, das die Grundvoraussetzung für den Einsatz bestimmt. Weitere direkte Manipulationen sind z. B das Verschieben oder Zoomen. Der Inhalt des 3D-Modells bleibt auch hierbei unverändert. Lediglich die Repräsentationsform wird verändert. Diese drei Stufen können für die Visualisierung eines 3D-Modells zusammengefasst werden. Ein Mindestmaß an Interaktion für das Betrachten eines 3D-Modells muss in dieser Stufe gegeben sein. Damit beschreibt die erste Stufe der abgeleiteten Interaktionstaxonomie das reine „Rezipieren und Variieren der Repräsentationsform“.

In der nächsten Stufe steigert sich die Interaktion enorm, da nun die Nutzer und Nutzerinnen vielfältige Möglichkeiten zur Beeinflussung des Inhalts erhalten. Innerhalb eines gesetzten Rahmens können sie Daten frei eingeben sowie Parameter variieren, um neue Darstellungen zu erzeugen. Hierbei kann z. B. ein Bauteil des 3D-Modells verändert, verschoben oder verkleinert werden. Da dies eine entscheidende Stufe der Interaktion für das 3D-Modell bedeutet, wird diese in der abgeleiteten Interaktionstaxonomie eine einzelne Stufe („Variieren der Daten“) belegen.

Schließlich beschreibt die fünfte Stufe nach Schulmeister eine komplette Konstruktion. Dazu stehen den Nutzern und Nutzerinnen Werkzeuge zur Verfügung, mit denen sie die Komponenten erzeugen können. Hinsichtlich der Thematik wäre dies z. B. das Zusammenfügen einzelner vorgefertigter Bauteile zu einem vollständigen 3D-Modell mit Animationen oder Interaktionsmöglichkeiten. In der sechsten Stufe nach Schulmeister werden situative Rückmeldungen generiert. Er beschreibt selbst, dass für diese Stufen viel Kritik geübt wurde, da das Kriterium der Rückmeldung nicht in die Systematik passe [Schulmeister 2005, S. 13]. Für das 3D-Modell und dessen sinnhafte Verwendung sind jedoch Rückmeldungen essenziell, da hierbei die Nutzer und Nutzerinnen Hinweise zu den Handlungen erhalten, korrigiert oder tutoriert werden können. Dies sollte im engen Zusammenhang gesehen werden. Daher werden diese zwei Stufen zur dritten der abgeleiteten Interaktionstaxonomie zu „Konstruieren, Prozesse generieren und manipulieren mit Rückmeldung“ zusammengefasst. Tabelle 5-13 zeigt die drei erarbeiteten Stufen.

Tabelle 5-13: Ableitung der Interaktionstaxonomie

Stufe original	Stufe neu	Abgeleitete Interaktionsstufen
I - III	I	Rezipieren und variieren der Repräsentationsform
IV	II	Variieren der Daten
V, VI	III	Konstruieren, Prozesse generieren und manipulieren mit Rückmeldung

5.2.3 Zuordnung der Lerngegenstände

Die Klassifikation der Lerngegenstände aus Kapitel 5.1.3 ist nun auf die entwickelte Interaktionstaxonomie aus 5.2.2 abzuleiten. Das Ziel ist es hierbei, eine Zuordnung zu finden, die als Teil der Entscheidungshilfe eine Orientierung für eine Aufwandsabschätzung zur Erstellung von 3D-Modellen bieten kann. Zur Entwicklung der Verortung werden die bisherigen Fragestellungen noch einmal aufgenommen:

- Was soll vermittelt werden? - Grundgrößen, Wirkungen oder Abläufe (Lerngegenstände)
- In welchem Kontext sollen diese präsentiert werden? - In einem Bauteil, einer Baugruppe oder in einem System
- Welche Stufe der Interaktion soll erreicht werden? - Rezipieren und variieren der Repräsentationsform; Variieren der Daten; Konstruieren, Prozesse generieren und manipulieren mit Rückmeldung (Interaktionstaxonomie)

Diese Elemente erweisen sich für die Zuordnung jedoch als nicht gleichgestellt. Vielmehr muss hierbei erfragt werden:

- Was soll dargestellt werden?
- Mit welchem Ziel soll es dargestellt werden?

Das bedeutet nun, dass der Kontext einen sekundären Part ergibt, da dieser stark mit dem Lerngegenstand zusammenhängt. Die relevantere Frage ist, was genau durch ein 3D-Modell dargestellt werden soll. Sind dies Grundgrößen, Wirkungen oder Abläufe? Dazu muss das Ziel festgelegt werden. Hierbei wurde vermieden mit den Lernzielen zu arbeiten, da sich diese Thematik als zu komplex erweist und sich schwer mit 3D-Lernanwendungen in ein Verhältnis setzen lässt. Für die Zuordnung werden nun die Ziele aus der Analyse der Lernplattformen (Kapitel 3.1.1) verwendet. Mit dem Einsatz von 3D-Modellen wird das Ziel der Visualisierung und der Simulation von Aufbau und Funktionsweise verfolgt. Dieser Zusammenhang wird in Tabelle 5-14 mit typischen Beispielen verdeutlicht.

Tabelle 5-14: Abbilden der Visualisierung und Simulation auf Aufbau und Funktionsweise

	Visualisierung	**Simulation**
Aufbau	– 3D-Modell von allen Seiten betrachten (z. B. durch Rotation) – Zusammenbau des 3D-Modells als Animation betrachten	– den Aufbau eigenständig „puzzeln“ – einzelne Bauteilmaße ändern
Funktionsweise	– Animation der Funktionsweise betrachten	– Daten verändern, um einen Prozess zu generieren

Der Aufbau und die Funktionsweise sind, wie Kapitel 3.1.1 zeigt, Grundvoraussetzung für den Einsatz eines 3D-Modells. Diese werden nun durch die Lerngegenstände ausgetauscht. Dadurch kann in der Zuordnung die Orientierung konkreter und differenzierter gestaltet werden.

Tabelle 5-15: Zuordnen der Lerngegenstände

Ziel / **Lerngegenstand**	Visualisierung	Simulation
Grundgrößen		
Wirkungen		
Abläufe		

Im letzten Schritt werden die Interaktionsstufen hinzugefügt. Diese stehen mit der Zielstellung im engen Zusammenhang. Die Herausforderung ist diesbezüglich, dass drei Interaktionsstufen bestehen, jedoch nur zwei Zielstellungen benannt sind. Weiterhin ist die Interaktion kein im Vorfeld festzulegendes Kriterium, sondern ergibt sich aus der Zielstellung. Damit werden die Interaktionsstufen nach der Festlegung des Ziels offenbart (Tabelle 5-16). Eine mögliche Lösung zur Differenzierung bezüglich der Interaktionsstufen ergibt sich innerhalb der Simulation. Für eine einfache Simulation bzw. eine simple Darstellung einer Änderung kann eine qualitative Interaktionsmöglichkeit bereits den gewünschten Effekt verdeutlichen. Das Ziel ist hierbei, Zusammenhänge zu erkennen bzw. Prinzipien zu identifizieren. Dabei wird z. B. der Widerstand in einer elektrischen Schaltung ohne Angabe des Wertes durch einen Schieberegler erhöht oder verringert sowie die Auswirkung auf den Strom und die Spannung qualitativ verdeutlicht. Demgegenüber steht der konkrete Wert einer Größe in einer quantitativen Simulation im Vordergrund. Dies ist vor allem bei Konstruktionen entscheidend. Hierzu müssen Maße eingehalten werden und kleinste Abweichungen können bereits Problemstellungen hervorbringen. Ein typisches Beispiel ist dabei die Konstruktion von Baugruppen einer Maschine mit einem CAD-Programm. Somit wird die Simulation für die Zuordnung in die quantitative

und qualitative Simulation getrennt. Da die Ziele mit den Interaktionsstufen in Abhängigkeit stehen, wird hierbei auch wie bei den Interaktionsstufen die Verbform der Zielstellung verwendet. Tabelle 5-16 fasst die Erkenntnisse zur Zuordnung von Lerngegenstand, Ziel und Interaktionsstufen zusammen. Diese wurde durch typische Anwendungsfälle erstellt und dient damit als reine Orientierung. Es hat sich gezeigt, dass gerade bei den 3D-Modellen Systematiken schwer anzulegen sind, da die Grenzen oftmals nicht trennscharf sind. Dies ist der Versuch einer möglichen Darstellung des Zusammenhangs der beschriebenen Zuordnungskriterien für eine Entwicklung von interaktiven 3D-Modellen.

Tabelle 5-16: Verortung von Lerngegenstand, Ziel und Interaktionsstufen

Ziel / **Lerngegenstand**	Visualisieren	Qualitatives Simulieren	Quantitatives Simulieren
Grundgrößen			
Wirkungen			
Abläufe			
	Interaktion I Rezipieren und variieren der Repräsentationsform	**Interaktion II** Variieren der Daten	**Interaktion III** Konstruieren, Prozesse generieren und manipulieren mit Rückmeldung

Um den Aufwand besser einzuschätzen, werden qualitativ der Programmier- und Modellierungsaufwand der Verortung hinzugefügt. Zur Abgrenzung gilt folgende Definition.

- Modellieren: räumliches Erbauen eines Objekts mit Hilfe einer 3D-Software (Kapitel 2.2)
- Programmieren: Integrieren von Funktionen und Interaktionen durch Programmcode

Dabei ist zu beachten, dass der Modellierungsaufwand steigt, je mehr Details im Lerngegenstand des 3D-Modells präsentiert werden. Der Programmieraufwand verläuft dagegen horizontal in Abhängigkeit des Ziels. Für eine Simulation müssen mehr Interaktionsmöglichkeiten programmiert werden als für die Visualisierung. Das Ergebnis ist nun eine Zuordnung für die Aufwandsabschätzung (Tabelle 5-17), die im nächsten Kapitel in die Entscheidungshilfe intergiert wird.

Tabelle 5-17: Ergebnis der Verortung mit Aufwandsabschätzung

Ziel / **Lerngegenstand**	Visualisieren	Qualitatives Simulieren	Quantitatives Simulieren
Grundgrößen			
Wirkungen			
Abläufe			
	Interaktion I Rezipieren und variieren der Repräsentationsform	**Interaktion II** Variieren der Daten	**Interaktion III** Konstruieren, Prozesse generieren und manipulieren mit Rückmeldung

steigender Programmieraufwand

steigender Modellierungsaufwand

5.3 Umsetzung der Entscheidungshilfe

Im Verlauf der Analysen und Recherchen zum Einsatz von 3D-Modellen haben sich Kriterien und Anforderungen herausgestellt, die den didaktisch sinnvollen Einsatz eines interaktiven 3D-Modells in der Lehre verdeutlichen. Derzeit ist der technische Aufwand bezüglich der Modellierung und der Interaktionsprogrammierung entsprechend hoch. Jedoch zeigen die Analysen den hohen Motivationsgrad und die erhöhte Behaltensleistung des Gelernten durch das selbstständige Bedienen des 3D-Modells. Mit dem Bewusstwerden der Vorteile eines interaktiven 3D-Modells kann der Einsatz für ein besseres Verständnis der komplexen Sachverhalte sowie die Erhöhung der räumlichen Vorstellung vorteilig sein. Dieses Bewusstwerden wird durch die Entscheidungshilfe unterstützt. Vorrangig gilt die Entscheidungshilfe für den sinnvollen didaktischen Einsatz des 3D-Modells in der ingenieurwissenschaftlichen Lehre zur Visualisierung und Simulation von technischen Gebilden. Dazu werden die Ergebnisse aus den Kapiteln 2, 3 und 5 in der Entscheidungshilfe zusammengeführt. Tabelle 5-18 listet die Erkenntnisse aus den vorangegangenen Kapiteln auf.

Tabelle 5-18: Zusammenfassung der Erkenntnisse aus den vorangegangenen Kapiteln

Kapitel	**Überschrift**	**Erkenntnisse**
2.3	3D in der Didaktik	Räumliches Verständnis, Motivation
3.1.1	Analyse von Lernplattformen	Ziel von 3D-Modellen: visualisieren und simulieren
3.1.1	Analyse von Lernplattformen	Einsatz von 3D-Modellen in den Ingenieurwissenschaften: Aufbau und Funktionsweise von technischen Gebilden
3.1.2	Eigenschaften der 3D-Lerngegenstände	Einsatz von 3D-Modellen: Verdeckung, Verfügbarkeit, Dynamik, Komplexität, Betrachtung
5.1	Klassifikation der Lerngegenstände	Grundgrößen, Wirkungen und Abläufe

5.2	Ableitung einer Interaktionstaxonomie	Rezipieren und variieren der Repräsentationsform; Variieren der Daten; Konstruieren, Prozesse generieren und manipulieren mit Rückmeldung
5.2.3	Zuordnung der Lerngegenstände	Zuordnung von Lerngegenstand, Ziel und Interaktionsstufen

Die Erkenntnisse sind nun so zu überführen, dass für Lehrende eine Orientierung für den sinnvollen Einsatz eines 3D-Modells für die Lehre entsteht. Dazu werden die Erkenntnisse nach Kategorien sortiert, um die Übersichtlichkeit zu stärken.

Sortierung

Es zeigen sich deutliche Charakteristiken der gesammelten Erkenntnisse. Diese sind nun für die Entscheidungshilfe einzuordnen. Auch wenn die Ziele gleichermaßen für 2D-Visualisierungen gelten, sind das Visualisieren und Simulieren Grundvoraussetzung für das Aufbereiten eines Sachverhalts in dreidimensionaler Darstellung. Weiterhin grundsätzlich für 3D-Modelle, jedoch speziell für die Ingenieurwissenschaften, ist die Vermittlung von Aufbau und Funktionsweise technischer Gebilde. Die Bedingungen für den Einsatz von 3D-Modellen aus dem dritten Kapitel werden als Vorteile deklariert, die den Lehrenden eine Orientierung für den sinnvollen didaktischen Einsatz ermöglichen soll. Schließlich wurden die Erkenntnisse der Lerngegenstände und Interaktionsstufen der 3D-Modelle in eine Systematik abgeleitet, um den Aufwand bezüglich der Modellierung und der Interaktionsprogrammierung zu verdeutlichen. Damit gliedern sich die Erkenntnisse in drei Kategorien. Tabelle 5-19 zeigt noch einmal die Sortierung der Erkenntnisse zu den Kategorien in der Entscheidungshilfe.

Tabelle 5-19: Sortierung der Erkenntnisse

Kapitel	Erkenntnisse	Kategorien der Entscheidungshilfe
2.3	Räumliches Verständnis, Motivation	Einsatzbedingungen
3.1.2	Einsatz von 3D-Modellen: Verdeckung, Verfügbarkeit, Dynamik, Komplexität, Betrachtung	
3.1.1	Ziel von 3D-Modellen: visualisieren und simulieren	Grundvoraussetzung
3.1.1	Einsatz von 3D-Modellen in den Ingenieurwissenschaften: Aufbau und Funktionsweise von technischen Gebilden	
5.1	Grundgrößen, Wirkungen und Abläufe	Aufwandsabschätzung
5.2	Rezipieren und variieren der Repräsentationsform; Variieren der Daten; Konstruieren, Prozesse generieren und manipulieren mit Rückmeldung	
5.2.3	Zuordnung von Lerngegenstand, Ziel und Interaktionsstufen	

Grundvoraussetzung

Die Grundvoraussetzung wird für die Entscheidungshilfe an erste Stelle gesetzt. Dazu wird die Abbildung 3-5 aus Kapitel 3.1.1 genutzt. Wenn diese allgemeinen Ziele erfüllt sind, müssen die Einsatzbedingungen abgeglichen werden. Sind diese nicht erfüllt, müssen andere Visualisierungsmöglichkeiten genutzt werden, wie z. B. Grafiken oder Videos. Eine weiterführende Verwendung der Entscheidungshilfe wäre an dieser Stelle beendet. Anschließend kann der Aufwand mit der Aufwandsabschätzung beurteilt werden. Im nächsten Abschnitt werden die Einsatzbedingungen, die gleichzeitig die Vorteile von 3D-Modellen verdeutlichen, erklärt und für die Entscheidungshilfe aufbereitet.

Einsatzbedingungen

Die Einsatzbedingungen stammen grundsätzlich aus der Analyse der Eigenschaften von 3D-Lerngegenständen im praktischen Einsatz (Kapitel 3.1.2) sowie der Untersuchung zu 3D in der Didaktik (Kapitel 2.3). Diese sollen nun aufgelistet und einzeln beschrieben werden, um den potenziellen Einsatz eines 3D-Modells für die Lehrenden zu präzisieren. Als Hilfestellung wird jeweils eine Frage formuliert, die die Einsatzbedingung inhaltlich verdeutlicht. Zu diesen zählen:

- Verdeckung,
- Verfügbarkeit,
- Dynamik,
- Komplexität und
- Betrachtung.

Verdeckung ist die wichtigste Bedingung für den Einsatz von 3D. Es ermöglicht durch die Rotation den Blick hinter oder unter das technische Gebilde. Damit werden nicht sichtbare bzw. verdeckte Elemente sichtbar. Weiterhin lassen sich durch die Rotation die räumlichen Ausmaße vollständig erkennen. Verdeckte Elemente können weiterhin im Inneren des 3D-Modells liegen und müssen durch verschiedene Methoden, wie z. B. ein Schnitt oder Transparenz, sichtbar gemacht werden.

- Frage zur Verdeckung: Sind wichtige Bauteile verdeckt, die hinter, unter oder im Inneren des Lerngegenstandes liegen?

Eine weitere Einsatzbedingung kann die *Verfügbarkeit* darstellen. Ist der Lerngegenstand nicht für jeden Lernenden gleichermaßen erhältlich, kann ein 3D-Modell helfen, ein virtuelles Abbild zu schaffen. Dabei sind die Lerngegenstände oftmals gefährlich, teuer, sel-

ten vorhanden, nicht mehr existent oder liegen an einem Ort, der zudem schwer zugänglich ist (z. B. im Reinraum).

- Frage zur Verfügbarkeit: Ist der Lerngegenstand schwer zugänglich?

Die *Dynamik* bedeutet die zeitliche Abfolge bzw. Bewegungsvorgänge, mit denen Elemente innerhalb des Lerngegenstandes verständlich werden. Sie zeigen die Änderung mit der Zeit. Damit sind typischerweise Animationen oder Teilanimationen gemeint.

- Frage zur Dynamik: Müssen Elemente des Lerngegenstandes animiert werden, um eine zeitliche Änderung zu verdeutlichen?

Es existieren weiterhin sehr *komplexe* Lerngegenstände, die z. B. durch ihre baulichen Ausmaße schwer verständlich und schwer handhabbar sind, sodass Details im Einzelnen näher betrachtet werden müssen.

- Frage zur Komplexität: Ist der Lerngegenstand so komplex, dass z. B. an wichtigen Stellen gezoomt werden sollte?

Die *Betrachtung* beinhaltet zu vermittelnde Wirkungen, die z. B. in die Zeichen- bzw. Tafelebene zeigen, sodass der Lehrende eine perspektivische Darstellung einsetzen müsste. Reichen statische Visualisierungen mit wenigen Ansichten (z. B. eine Zweitafelprojektion) zur Veranschaulichung eines Lerngegenstandes nicht mehr aus, müssen weitere Ansichten für eine intensivere Betrachtung generiert werden. Anhand eines 3D-Modells kann der Lerngegenstand dann aus jedem möglichen Winkel betrachtet werden.

- Frage zur Betrachtung: Werden mehrere Ansichten benötigt?

Das Schulen der räumlichen Vorstellung wird in dem Kontext von 3D-Modellen als wichtige Eigenschaft betrachtet. Dies erfolgt jedoch beim Erlernen des Lerngegenstands eher sekundär und wird als Nebeneffekt angesehen. Daher wird dieser Fakt bei den Einsatzbedingungen vernachlässigt.

Aus der Analyse der Lernplattformen im Kapitel 3.1.1 wurde deutlich, dass bei den gezeigten 3D-Modellen oftmals mindestens drei der aufgelisteten und beschriebenen Einsatzbedingungen erfüllt waren. In der Entscheidungshilfe soll hierbei gelten, je mehr Einsatzbedingungen erfüllt sind, desto mehr lohnt sich die Aufbereitung als 3D-Modell.

Aufwandsabschätzung

Der dritte Teil der Entscheidungshilfe ist die Aufwandsabschätzung, die sich noch einmal auf die Ziele der Grundvoraussetzung bezieht. Sie verdeutlicht den steigenden Program-

mieraufwand in Abhängigkeit des Lerngegenstands und der Zielstellung von 3D-Modellen. Diese werden durch die Interaktionsstufen ergänzt. Die Erarbeitung der Aufwandsabschätzung wurde in Kapitel 5.2.2 beschrieben. Abbildung 5-4 zeigt die entwickelte Entscheidungshilfe in entsprechender Dreiteilung.

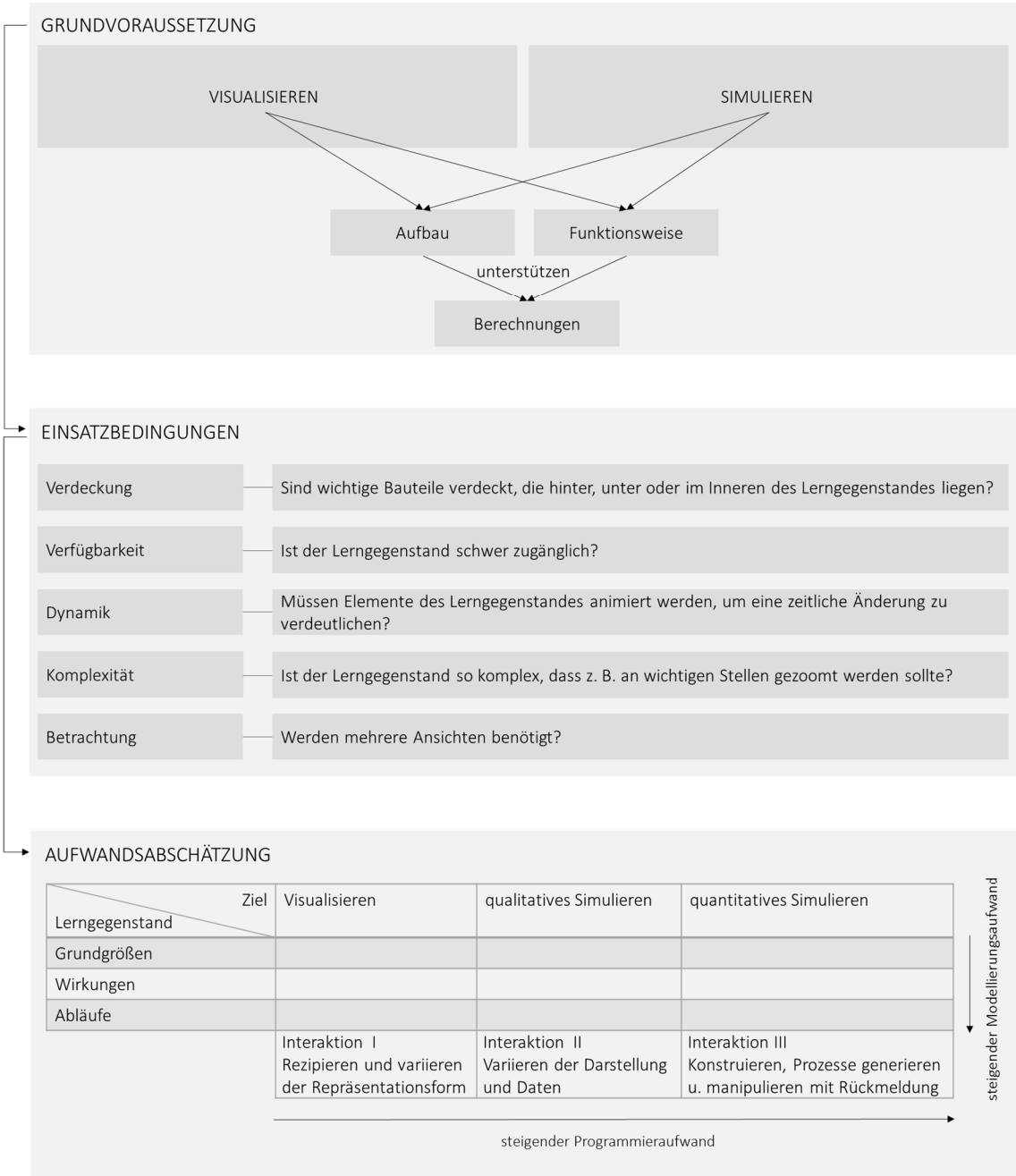


Abbildung 5-4: Entscheidungshilfe (e. D.)

Es ist zu betonen, dass dies als Orientierung zu verstehen ist. In individuellen Anwendungsfällen und mit der Voraussetzung praxiserfahrener Programmierer und Programmierinnen sowie Modellierer und Modellierinnen kann der zu erwartende Aufwand geringer ausfallen. Nachdem die Entscheidung für ein 3D-Modell getroffen wurde, kann die Entwicklung anhand des nachfolgenden Vorgehensmodells durchgeführt werden.

6 Vorgehensmodell für die Entwicklung von interaktiven 3D-Modellen

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der vorangegangenen Kapitel in ein Vorgehensmodell überführt. Es beschreibt damit den Prozess, wie 3D-Modelle für die ingenieurwissenschaftliche Lehre systematisch entwickelt werden können. Vorgehensmodelle werden verwendet, um Vorhaben und Projekte planbar zu gestalten. Sie sind als Anleitungen zu betrachten, die den Projektmitgliedern und -mitgliederinnen ein kontrolliertes und einheitliches Durchführen der Projekte gewährleisten und die einzelnen Schritte zum Erreichen des Projektziels aufzeigen. Eine Verringerung der Risiken bei der Entwicklung gilt daraus als großer Vorteil. Weiterhin wird eine verbesserte Kommunikation gesichert [Grande 2014, S. 111].

Für die Entwicklung des Vorgehensmodells für 3D-Modelle werden zunächst etablierte Vorgehensmodelle aus verschiedenen Disziplinen analysiert. Die Analyseergebnisse liefern Struktur und Merkmale, die der Entwicklung des 3D-Vorgehensmodells zugrunde liegen werden. Die bisherigen Ergebnisse der Arbeit, wie z. B. die aus Kapitel 4 stammenden 3D-Patterns und die in Kapitel 5 entstandene Entscheidungshilfe, werden den entsprechenden Phasen zugeordnet. Nach der Erstellung und Darstellung des 3D-Vorgehensmodells wird dieses mit Experten und Expertinnen aus den entsprechenden Disziplinen, wie z. B. Didaktik und Technik, evaluiert. Die Evaluation zeigt die Bewertung des entwickelten 3D-Vorgehensmodells bezüglich der Stärken und Schwächen und weist disziplinbezogenes Verbesserungspotenzial auf. Am Ende dieses sechsten Kapitels wird das finale 3D-Vorgehensmodell zur Entwicklung von interaktiven 3D-Modellen als Ergebnis vorgestellt. Dazu werden die einzelnen Abschnitte im Detail erläutert und eine grafische Darstellung des 3D-Vorgehensmodells präsentiert.

6.1 Analyse von Vorgehensmodellen

Ein Vorgehensmodell ist ein Plan, der den systematischen Entwicklungsprozess eines Produkts als abstrakte Darstellung in überschaubare, zeitlich und inhaltlich begrenzte Phasen unterteilt und in denen Arbeitsschritte und Aktivitäten beschrieben werden. Daraus ergibt sich die Vorgabe einer Reihenfolge der Bearbeitung mit definierten Zwischenergebnissen bzw. Meilensteinen [Sommerville 2007, S. 95], [Zuser et al. 2004, S. 69]. In den letzten Jahrzehnten haben sich dazu einige Vorgehensmodelle etabliert, die für die Analyse herangezogen werden.

Das Ziel der Analyse ist es, eine grundlegende Struktur und wichtige Merkmale des Vorgehensmodells für 3D-Modelle festzulegen. Dafür werden etablierte Vorgehensmodelle untersucht, um die passende Art des Vorgehens zu bestimmen und inhaltliche Details von Vorgehensmodellen zu übertragen. Anschließend werden die einzelnen Phasen innerhalb der Vorgehensmodelle untersucht, um wichtige Phasen herauszustellen und als Grundlage für das zu entwickelnde Vorgehensmodell heranzuziehen.

Die häufigsten Vorgehensmodelle sind im Bereich des Software-Engineerings zu finden. Sie weisen hierbei ein hohes Analysepotenzial auf. Da die späteren interaktiven 3D-Modelle in der Lehre eingesetzt und digital bzw. webbasiert zur Verfügung stehen werden, zählen diese zu den E-Learning-Anwendungen. Daher sollen Vorgehensmodelle des E-Learnings bzw. der Didaktik zusätzlich analysiert werden. Ein wesentlicher Anteil zur Nutzung solcher E-Learning-Anwendungen wird durch die Benutzerfreundlichkeit beeinflusst. Somit sind Usability-Engineering-Vorgehensmodelle weiterhin Teil der Analyse. Tabelle 6-1 listet die Vorgehensmodelle auf, die für die Analyse verwendet wurden. Es herrscht eine Vielzahl von existierenden Vorgehensmodellen, die in Weiterentwicklungen vielfältige Modifikationen aufweisen. Daher wurden klassische Vertreter innerhalb der Disziplinen Didaktik/E-Learning, Software-Engineering und Usability, die in Kapitel 2.4 festgelegt wurden, ausgewählt.

Tabelle 6-1: Liste der analysierten Vorgehensmodelle

Name	**Kategorie**	**Quelle**
Wasserfall	Software Engineering	[Royce 1970]
V-Modell	Software Engineering	[Boehm 1979]
Spiral-Modell	Software Engineering	[Boehm 1988]
Rational Unified Process	Software Engineering	[Kruchten 2000]
Extreme Programming (XP)	Software Engineering	[Beck 2000]
W-Modell	Software Engineering	[Spillner 2003]
Kanban	Software Engineering	[Anderson 2011]
Scrum	Software Engineering	[Schwaber 1997]
Referenzmodell für Qualitätsmanagement und Qualitätssicherung	Didaktik/E-Learning	[DIN PAS 1032-1]
DO-ID	Didaktik/ E-Learning	[Niegemann et al. 2008]
IPISD	Didaktik/ E-Learning	[Branson et al. 1987]
ORWelt	Didaktik/ E-Learning	[Blumstengel 1998]
SMART	Didaktik/ E-Learning	[Osswald 2003]
Usability Engineering Lifecycle	Usability Engineering	[Mayhew 1999]
Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme	Usability Engineering	[DIN EN ISO 9241-210]
Scenario-based Usability Engineering	Usability Engineering	[Carroll et al. 1992]
Pervasive Usability Process	Usability Engineering	[Brinck et al. 2002]

Allgemeines

Die Analyse zeigt Vorgehensmodelle aus den drei unterschiedlichen Bereichen, die in ihrem Detailgrad, ihrer Darstellung sowie ihrem Vorgehen verschieden sind. Das erste Ergebnis der Analyse ist jedoch, dass sich bisher kein Vorgehensmodell für den speziellen Fall der interaktiven 3D-Modelle herausgestellt hat.

Bezüglich der aufgelisteten Vorgehensmodelle besteht die Auffälligkeit des verschiedenen Vokabulars, das die Kommunikation mit unterschiedlicher Projekterfahrung der Projektmitglieder und -mitgliederinnen erschweren kann. Dazu soll für das zu entwickelnde Vorgehensmodell eine konkrete Definition der verwendeten Begriffe von z. B. Phasen, Aktivitäten oder Vorgehen erfolgen.

Die Vorgehensmodelle aus dem Software-Engineering-Bereich werden zunächst in zwei Gruppen eingeteilt. Das sind zum einen die klassischen Vorgehensmodelle, wie Wasserfall oder V-Modell, und zum anderen die agilen, wie z. B. Scrum oder Kanban [Kammerer et al. 2012, S. 165]. Dazu wird zusätzlich die Art des Vorgehens, z. B. iterativ, inkrementell oder sequenziell, jeweils zugeteilt. Für die Entwicklung des 3D-Vorgehensmodells bieten sich die klassischen Vorgehensmodelle aufgrund ihrer linearen abgegrenzten Abfolge zur Strukturgestaltung an. Weiterhin liefern die Vorgehensmodelle aus dem E-Learning- und Usability-Bereich inhaltliche Ergänzungen und Details.

Phasen

Trotz der Unterschiedlichkeit, die die Vorgehensmodelle aufweisen, zeigen sie wiederkehrende Phasen. Die Phasen der agilen Vorgehensmodelle sind nicht eindeutig gekennzeichnet, lassen sich jedoch in die Phasen der klassischen Vorgehensmodelle übertragen. Die analysierten Vorgehensmodelle sind überwiegend auf vier Kernphasen rückführbar. Analyse, Konzept, Implementierung und Test beschreiben typische Phasen. Dabei werden die Tests oft im letzten Schritt durchgeführt. Dies ist bei den klassischen Vorgehensmodellen des Software-Engineerings deutlich erkennbar. Nach den Erfahrungen aus dem BMBF-geförderten Projekt (Kapitel 3.2.1) sollte jedoch die Testphase für eine effiziente Entwicklung frühzeitig beginnen und den gesamten Prozess begleiten. Gleichzeitig wird deutlich, dass die Zielgruppe bei den Vorgehensmodellen eher punktuell in wenige Phasen des Entwicklungsprozesses einbezogen wird. Das Einbeziehen von Lehrenden und Lernenden in den gesamten Entwicklungsprozess der 3D-Modelle ist essenziell, da dadurch die spezifischen didaktischen Anforderungen eingebracht werden können. Die

Zielgruppe hilft durch die kontinuierliche Evaluation der ständigen Verbesserung des 3D-Modells. Aus der Analyse ergeben sich vier grundsätzliche Phasen (Tabelle 6-2).

Tabelle 6-2: Wiederkehrende Phasen innerhalb der Vorgehensmodelle

Phase	**Synonyme aus den analysierten Vorgehensmodellen**
Analyse	Anforderungsanalyse, Prüfung
Konzept	Design, Gestaltung, Entwurf
Implementierung	Umsetzung, Durchführung, Realisierung, Integration, Entwicklung
Test	Validation, Evaluation

Bei jeweils drei der analysierten Vorgehensmodelle wird die Inbetriebnahme bzw. Wartung nach der Testphase oder eine Voruntersuchung vor der Analyse ergänzt.

Interdisziplinarität

Mit Ausnahme des DO-ID und des SMART weisen die analysierten Vorgehensmodelle nicht explizit die Interdisziplinarität bei der Entwicklung aus. Durch die Erfahrungen aus dem BMBF-Projekt wurde jedoch schnell deutlich, dass solche Entwicklungen durch das Zusammenspiel der vier Disziplinen Content, Didaktik, Technik und Usability zu einer erfolgreichen digitalen Lernanwendung führen kann. Dabei können aus den verschiedenen Disziplinen wesentliche Kriterien und Zusammenhänge für das Entwickeln abgeleitet werden. Eine Auflistung der Kriterien hilft dem gesamten Projektteam zur Erfolgskontrolle und erleichtert Review-Vorgänge.

Projektmanagement

Über die Hälfte der analysierten Vorgehensmodelle legt das Projektmanagement nicht explizit dar bzw. spart dieses in der Darstellung aus Platzmangel ein. Für das zu entwickelnde Vorgehensmodell ist das Projektmanagement jedoch essenziell, da für die Entwicklung von 3D-Modellen, wie bereits erwähnt, ein interdisziplinäres Team notwendig ist. Dies beansprucht eine konzentrierte Koordinierung, was durch das Projektmanagement realisiert wird. Ist das Projektmanagement bei den analysierten Vorgehensmodellen ausgewiesen, begleitet dieses den gesamten Entwicklungsprozess. Das Projektmanagement beinhaltet dabei alle koordinatorischen Maßnahmen zum Steuern, Planen und Durchführen des Projektes.

Evaluation

Die Evaluationsphasen sind bei über der Hälfte der Vorgehensmodelle der eigentlichen Entwicklung hinten angestellt. Tests und Bewertungen sind damit zu einem späteren Zeitpunkt veranschlagt. Das bewirkt, dass Fehler spät erkannt werden und Verbesserungen einen hohen Zeitaufwand erfordern. In diesem Zusammenhang wird deutlich, dass häufig die Zielgruppe zu Bewertungszwecken sehr spät einbezogen wird. Die Erfahrungen und Ergebnisse aus dem BMBF-Projekt zeigen, wie erfolgreich ein Produkt bzw. Projekt wird, wenn die Zielgruppe bereits zu Beginn bei Reviews und Evaluationen eingebunden wird. Dadurch können frühzeitig die Bedarfe der Zielgruppen erkannt und umgesetzt werden. Dies beinhalten lediglich die Vorgehensmodelle aus dem E-Learning- und Usability-Bereich, die die Evaluation frühzeitig integrieren. Das PAS, das W-Modell, DO-ID sowie der Pervasive Usability Process zeigen dabei einen parallelen Verlauf von Reviews und werden hierbei als Orientierung dienen. Weiterhin weist das PAS explizit Evaluationskriterien auf, die sich einfach auf das 3D-Vorgehensmodell übertragen lassen.

Vorgehen

In der Literatur wird meist von den klassischen und den modernen (agilen) Vorgehensmodellen gesprochen. Aus den sequenziellen und starren Vorgehensmodellen entwickelten sich die iterativen, inkrementellen und damit agilen Arbeitsweisen, deren Trend stark erkennbar ist [Dogs et al. 2005, S. 24]. Die analysierten Vorgehensmodelle variieren, neben der Einteilung in Phasen- und Prozessmodelle, vorrangig in den Iterationsschleifen. Während beim Wasserfallmodell typischerweise keine Iterationen vorgesehen sind, werden die neueren Vorgehensmodelle mit vielen Schritten zur Erarbeitung und ständigem Verbessern beschrieben. Für das 3D-Vorgehensmodell sind Iterationsschleifen vorgesehen, um die Entwicklung aufgrund der Interdisziplinarität schrittweise anzupassen und durch Reviews stets abzusichern.

Zusammenfassung

Bei der Analyse von passfähigen Vorgehensmodellen für die Entwicklung von 3D-Modellen stellen sich vorrangig sehr generische Vorgehen heraus, die die spezifischen Anforderungen bei der Entwicklung von 3D-Modellen für die ingenieurwissenschaftliche Lehre weniger berücksichtigen. Die Analyse bezog sich auf bestehende und etablierte Vorgehensmodelle aus den Bereichen Software-Engineering, Didaktik bzw. E-Learning

sowie Usability. Im Bereich des Software-Engineerings hat sich der Großteil der Vorgehensmodelle als geeignet herausgestellt. Sie dienen daher als Basis für das Vorgehensmodell für die 3D-Modelle. Weitere wichtige Elemente, wie z. B. die Lernzielformulierung und die Zielgruppenanalyse, werden aus den E-Learning- und Usability-Vorgehensmodellen verwendet.

Die Analyse der Vorgehensmodelle erbrachte wertvolle Hinweise und Grundvoraussetzungen für die Entwicklung eines angepassten Vorgehensmodells für interaktive 3D-Modelle. Die Ergebnisse der Analyse sind nachfolgend aufgelistet:

- kein bewährtes Vorgehensmodell für 3D-Modelle existent
- wiederkehrende Entwicklungsphasen erkennbar
- keine Definition des Vokabulars
- fehlendes Einbeziehen der Zielgruppen während der Entwicklung
- wenige interdisziplinäre Ansätze
- Koordinierung durch Projektmanagement selten dargestellt
- häufig später Evaluationsbeginn
- Trend zum agilen Vorgehen

Die Analyse zeigt zum einen die Vielfältigkeit der Vorgehensmodelle, die zum anderen aber auch wiederkehrende Kernphasen aufweisen. Diese zeigen das Grundgerüst für das zu entwickelnde Vorgehensmodell für die interaktiven 3D-Modelle auf. Im nächsten Schritt werden die Ergebnisse der Analyse in die Entwicklung des Vorgehensmodells überführt. Dabei sind zwei wesentliche Anforderungen zu erfüllen. Das ist zum einen die Interdisziplinarität bei der Entwicklung und zum anderen die iterative und frühzeitige Evaluation, die die Entwicklung stets begleiten soll.

6.2 Entwicklung des Vorgehensmodells

Nach der Analyse aus Kapitel 6.1 ist es nun das Ziel, das Vorgehensmodell für interaktive 3D-Modelle konkret zu entwickeln. Das Ergebnis soll ein ganzheitliches Vorgehensmodell für die Entwicklung von didaktisch hochwertigen 3D-Modellen ergeben. Die Analyse verdeutlichte die Anforderung des Zusammenspiels der Disziplinen Content, Didaktik, Technik und Usability. Für alle Entwicklungsphasen sind weiterhin iterative Evaluationen zu erstellen. Abbildung 6-1 fasst noch einmal in grafischer Form zusammen, welchen primären Anforderungen das Vorgehensmodell entsprechen soll.

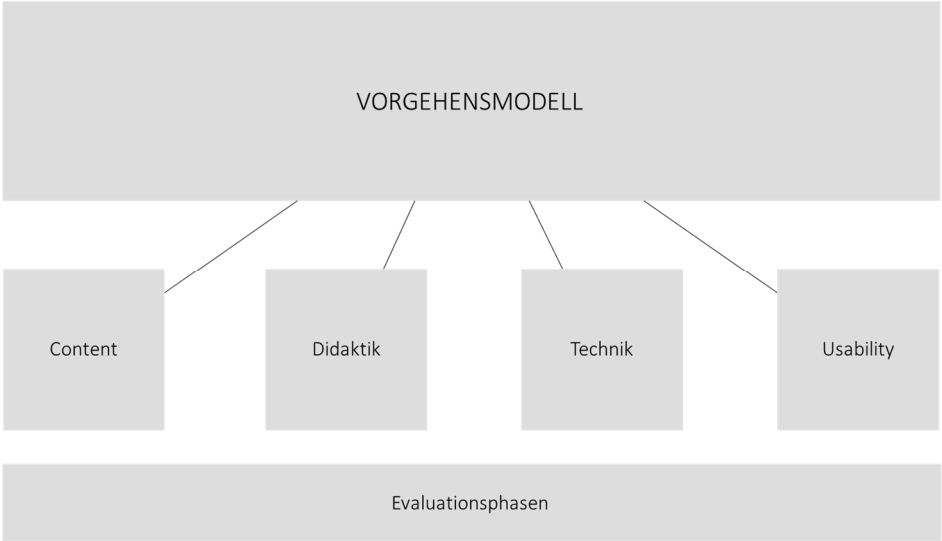


Abbildung 6-1: Interdisziplinäres Vorgehensmodell mit iterativer Evaluationsphase (e. D.)

Das 3D-Vorgehensmodell besteht aus einem Prozessmodell, das die grafische Darstellung des Vorgehens zeigt, sowie einem Beschreibungsmodell, welches die Informationen der einzelnen Phasen beinhaltet. Im Nachfolgenden wird das Prozessmodell aus den Anforderungen erarbeitet.

Prozessmodell

Das Vorgehensmodell orientiert sich am W-Modell von Paul Herzlich [Spillner 2003], eine Weiterentwicklung des bekannten und bewährten V-Modells [Boehm 1979]. Das W-Modell diente erfolgreich im Rahmen des BMBF-Projekts (Kapitel 3.2.1) als Grundlage für die Entwicklung einer Wissensplattform mit 3D-Modellen. Die Entwicklungsphase ist einer iterativen und parallelen Evaluationsphase gegenübergestellt, sodass eine Evaluation frühzeitig gegeben ist. Damit ist zugleich das rechtzeitige Einbeziehen der Zielgruppen gegeben. Dies wirkt sich durch wiederkehrende Reviews und Tests positiv auf die nutzerorientierte Entwicklung aus. Da die 3D-Modelle als Darstellung von Lerngegenständen zu einem wichtigen Teil des Lernprozesses beitragen sollen, müssen auch in diesen Entwicklungen die Lernenden als Zielgruppe zu Beginn einbezogen werden. Diese können innerhalb der Phasen wichtige und entscheidende Bewertungen liefern. Daher erhält das zu entwickelnde Vorgehensmodell folgende Beschreibung (Abbildung 6-2).

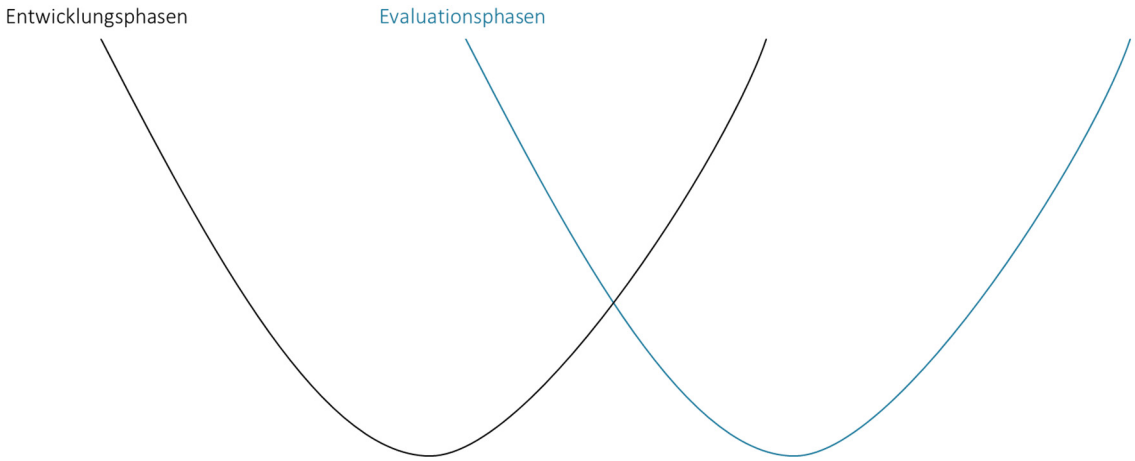


Abbildung 6-2: Beschreibung des Vorgehensmodells in Anlehnung an das W-Modell [Spillner 2003]

Für den Ablauf der Entwicklung haben sich in der Analyse in Kapitel 6.1 durch wiederkehrendes Auftreten wichtige Phasen herausgestellt. Somit besteht ein Vorgehensmodell aus

- der Analyse, in der die Anforderungen gelistet werden,
- dem Konzept, das das Ergebnis skizziert,
- der Implementierung, die die Inhalte umsetzt und
- der Evaluation, in der die Tests durchgeführt werden.

Wie zuvor gezeigt, wird die Evaluation als parallele Ausführung den Entwicklungsphasen gegenübergestellt. Durch die Erfahrungen aus dem BMBF-Projekt hat sich die Phase des Prototypings nach der Konzepterstellung als wertvoll herausgestellt. Bei dem Prototyping erfolgt das Erstellen eines Prototyps im Rahmen eines nutzerzentrierten Prozesses, z. B. für verschiedene Klassen von Endgeräten, die vom Smartphone über das Tablet bis hin zum PC reichen können. Das Projektteam benötigt frühzeitig eine gemeinsame Kommunikationsplattform in Form eines Prototyps, um einen gezielten Informationsaustausch der Disziplinen zu fördern.

- Für die Entwicklung des technischen Konzepts ist es unabdingbar, von Anfang an mit Prototypen die technischen Grenzen und Möglichkeiten zu ergründen.
- Für die Lehrenden und Lernenden ist sowohl bei der Anforderungsermittlung als auch der Evaluation wesentlich, Darstellungs- und Interaktionsmöglichkeiten zu sehen und ausprobieren zu können.

Für die Entwicklung eines 3D-Modells sind bei der Erstellung eines Prototyps zwei wesentliche Schritte essenziell. Das betrifft das Modellieren und das Programmieren (Kapi-

tel 5.2.3). Das Programmieren erfolgt generell nach dem Modellieren. Die Praxis zeigt jedoch, dass in diesen zwei Phasen eine Vielzahl an Iterationen zu erwarten sind.

Die Datenfusion als weitere wichtige Phase bei der Erstellung von 3D-Lernanwendungen steht im engen Zusammenhang zum Prototyping. Ein wichtiges Merkmal der Datenfusion ist die Zusammenführung der aufbereiteten Materialien mit dem Prototyp. Im Hinblick auf die Implementierung wird dann das Zusammenwirken erprobt und verfeinert. In dieser Phase erhalten alle Projektmitglieder und Projektmitgliederinnen eine genaue Vorstellung wie ein 3D-Modell im entsprechenden Kontext wirkt. Das Zusammenspiel der Visualisierung, der Information sowie der Interaktion wird durch die Datenfusion besonders erfahrbar. Nach der Datenfusion erfolgt die Implementierung. Abbildung 6-3 zeigt die beschriebenen Phasen.

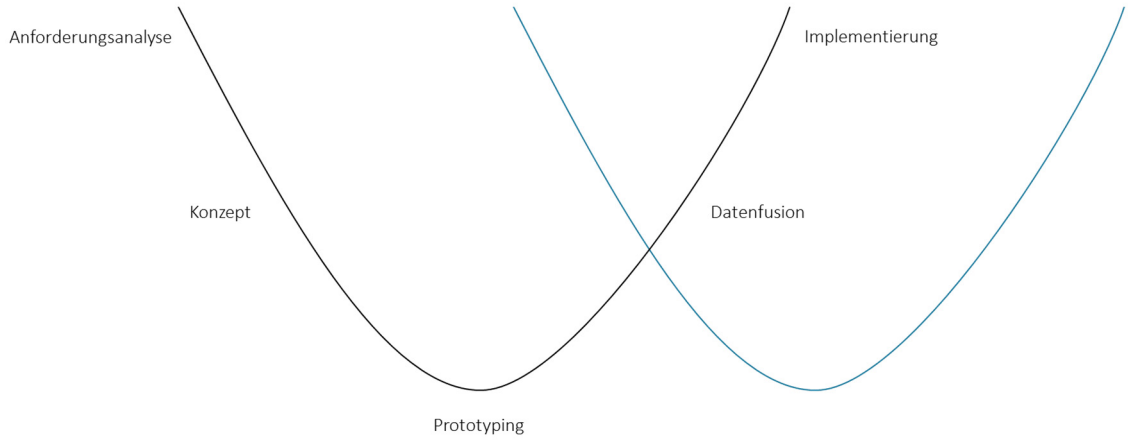


Abbildung 6-3: Phasen des Vorgehensmodells

Im nächsten Schritt werden die Evaluationsphasen, die den Entwicklungsphasen gegenüberstehen, integriert. Diese Phasen werden gehaltvoll und brauchbar, wenn entsprechende Methoden und Kriterien durch die Evaluationen bezüglich des Zusammenspiels der Disziplinen Content, Didaktik, Technik und Usability leiten. Dazu wird als nächstes eine Auswahl an Methoden hinzugefügt, die innerhalb der Evaluationen nachweislich erfolgreiche 3D-Modellentwicklungen unterstützen. Grundsätzlich beziehen sich diese auf Reviews der Disziplinen. In der Anforderungsanalyse erwies es sich als sinnvoll, die Zielgruppe durch Personas (stereotype, fiktive Nutzer und Nutzerinnen [Cooper 2004]) und in Szenarien darzustellen, um die Bedürfnisse der Zielgruppe und die Nutzung des 3D-Modells zu konkretisieren. Weiterhin unterstützt eine Fachlandkarte als grafische Darstellung zur Strukturierung von Lehrveranstaltungen der anschließenden Verortung des 3D-Modells [Lehner 2009, S. 160].

Ergeben sich nach der Evaluation Verbesserungspotenziale, können diese durch Iterationen in die Entwicklung einfließen. Hierfür werden rückläufige Pfeile in das Vorgehensmodell integriert. Abbildung 6-4 zeigt die Integration der Evaluationsmethoden und der Iterationen.

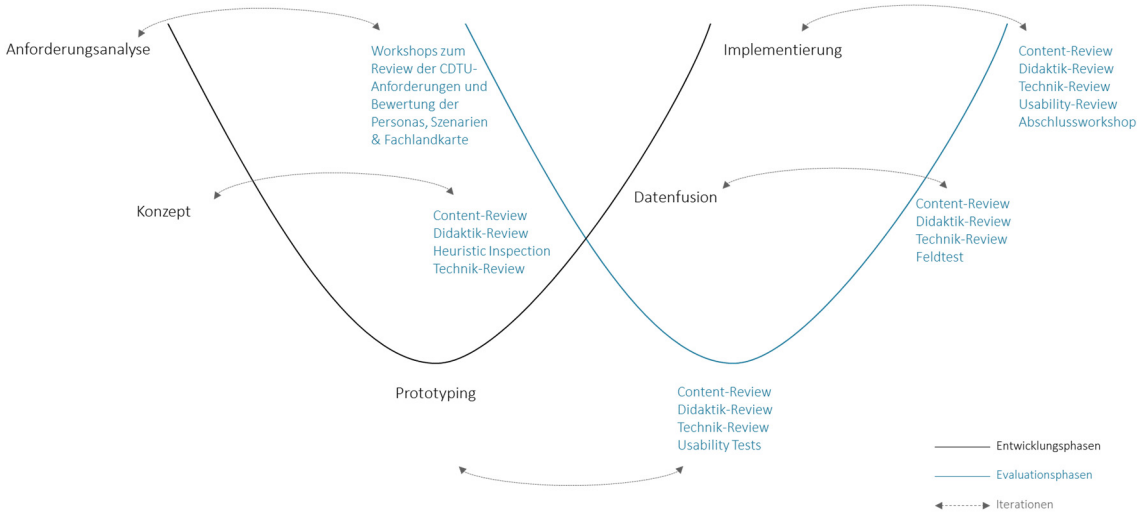


Abbildung 6-4: Evaluationskriterien und Iterationen

Aus dem Vorgehen zum Instruktionsdesign DO-ID [Niegemann et al. 2008] ist eine Phase zur Bewertung der Realisierbarkeit eines Vorhabens bzw. Projektes vorgeschaltet. Gerade bei einem 3D-Modell ist es entscheidend, zuvor die Sinnhaftigkeit und Machbarkeit einzuschätzen. Hierfür wurde zunächst die Entscheidungshilfe (Kapitel 5.3) entwickelt, durch die es sich abschätzen lässt, ob sich die Entwicklung eines 3D-Modells lohnt. Diese Orientierung wird der Phase der Situationsanalyse (Abbildung 6-5) zugeordnet, die dem Vorgehen vorangestellt wird. Sie wird Kriterien zum allgemeinen Projektvorhaben, die Ziele des Projektes und die Rahmenbedingungen abfragen.

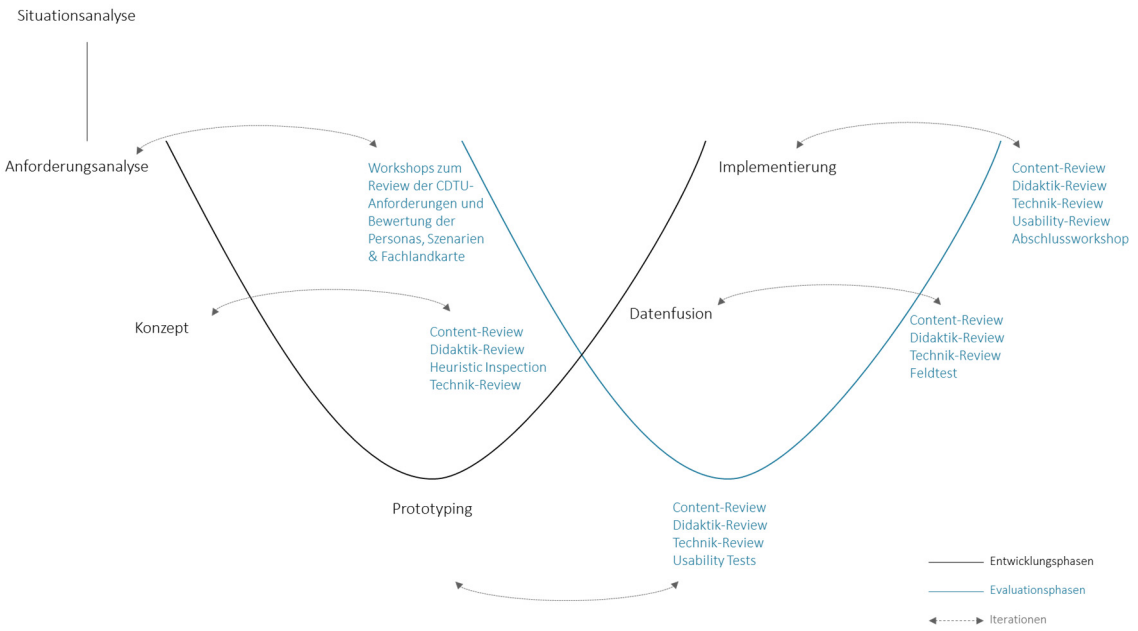


Abbildung 6-5: Hinzufügen der Situationsanalyse

Das Projektmanagement umfasst alle zur Durchführung des Projekts notwendigen Koordinations- und Abstimmungsaufgaben zwischen den am Projekt beteiligten Partnern und Partnerinnen. Das Projektmanagement begleitet das gesamte Vorhaben, wie in Abbildung 6-6 dargestellt wird.

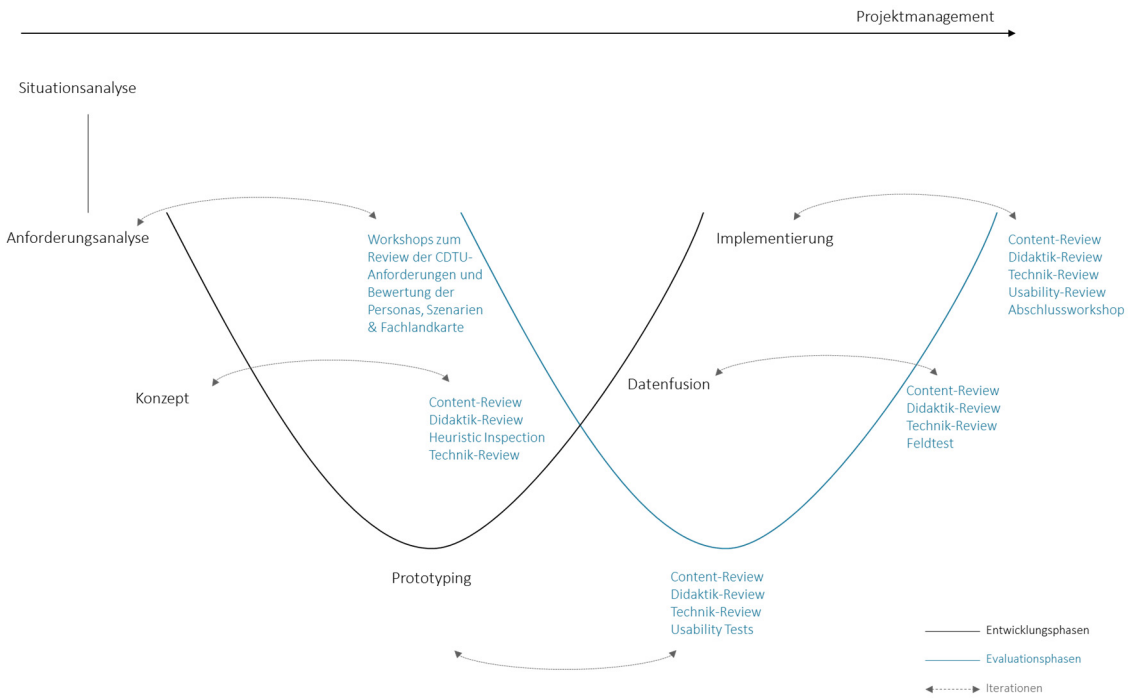


Abbildung 6-6: Hinzufügen des Projektmanagements

Die Phasen werden nun mit den inhaltlichen Aktivitäten ergänzt (Abbildung 6-7). Grundsätzlich sind diese aus dem BMBF-Projekt. Innerhalb des Konzepts wurden die Format-

entscheidungen aus dem DO-ID-Vorgehensmodell [Niegemann et al. 2008] gewählt, da diese alle wichtigen Elemente zur Festlegung des Konzepts enthalten. Zusätzlich werden die Komponenten des ARCS-Modells [Keller et al. 1987] im Motivationsdesign hinzugefügt, da sich diese im Instruktionsdesign für E-Learning aufgrund zahlreicher empirischer Studien, z. B. in [Astleitner et al. 2003], etabliert haben.

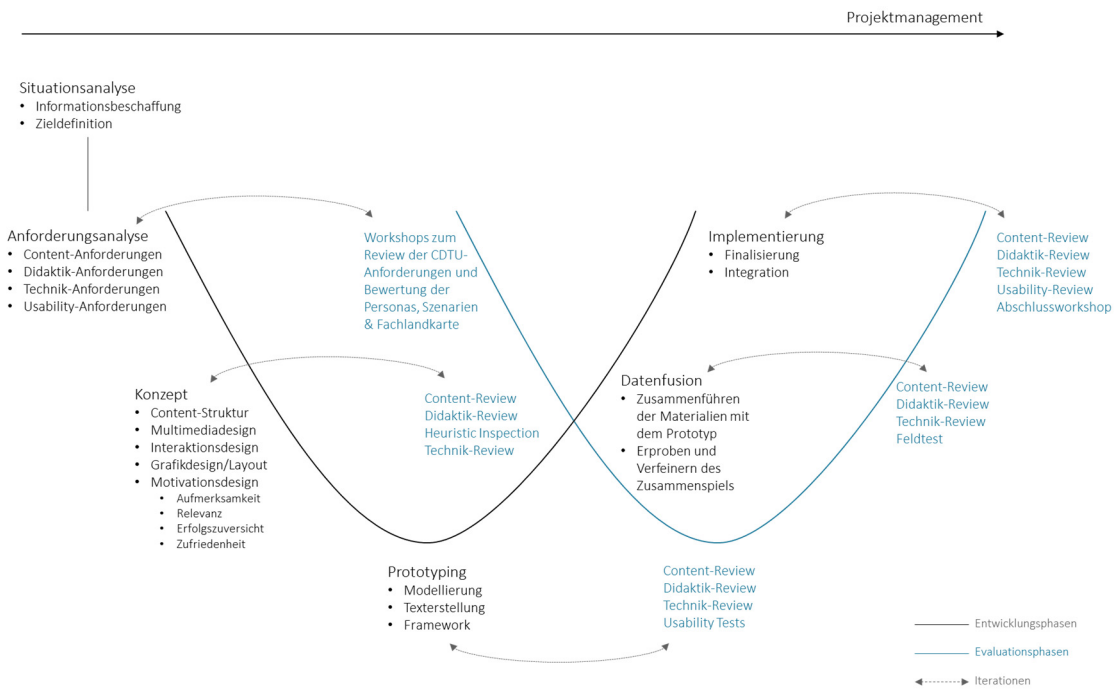


Abbildung 6-7: Entwurf des finalen Vorgehensmodells

Beschreibungsmodell

Die gesammelten Ergebnisse sind nun in das finale Vorgehensmodell zu überführen und mit inhaltlichen Details zu beschreiben. Die Details der Phasen werden in einem Beschreibungsmodell aufgeschlüsselt, das in Tabellenform vorliegt und in der Evaluation stets Bezug zum Content, zur Didaktik, Technik und Usability nimmt. Aus der Analyse (Kapitel 6.1) besteht der Bedarf einer einheitlichen Kommunikationsbasis. Hierfür werden die vier wichtigsten Begriffe definiert.

- Phase: definierter Abschnitt innerhalb des Vorgehensmodells, der durch Aufgaben, Aktivitäten und Dokumente beschrieben ist
- Aufgabe: Beschreibung der Kerntätigkeit innerhalb der Phase
- Aktivitäten: Tätigkeiten und Teilschritte zur Erfüllung der Phasenaufgabe
- Dokument: verschriftlichtes Ergebnis der Aktivitäten

Tabelle 6-3: Beschreibungsmodell: Details der Phasen

Phase	**Aufgaben und Aktivitäten in Bezug auf Content, Didaktik, Technik, Usability (CDTU)**	**Evaluation in Bezug auf Content, Didaktik, Technik, Usability (CDTU)**
Projektmanagement	**Aufgabe:** Übergreifende Projektplanung und Qualitätssicherung **Aktivitäten:** – Definition von Kosten, Terminen und der Vorgehensweise – Erarbeiten einer Projektstrukturplanung, z. B. in einem Gantt-Diagramm oder Projektstrukturplan – Koordination und Abstimmung der Projektpartner/-innen (CDTU) – Rückmeldungen aus den Disziplinen während der gesamten Entwicklung **Dokument:** – Projektstrukturplan	
Situationsanalyse	**Aufgabe:** Allgemeine Informationsbeschaffung, erfassen aller Gegebenheiten und definieren der Ziele **Aktivitäten:** – Festlegen des Lerngegenstandes – Zielbestimmung des 3D-Modells – Bestimmung durch Entscheidungshilfe, ob ein 3D-Modell geeignet ist – Machbarkeitsprüfung **Dokument:** – Liste der erfassten Informationen und Bestimmungen	
Anforderungsanalyse	**Aufgabe:** Erheben der funktionalen und nichtfunktionalen Anforderungen für die Bereiche: Content, Didaktik, Technik, Usability **Aktivitäten:** – Festlegen der Rahmenbedingungen: • Adressatenanalyse (Lernvoraussetzungen der Zielgruppe) • Wissens- und Aufgabenanalyse (Lernziele) • Analyse verfügbarer Ressourcen (Sachmittel, Zeit, Personal) – Definieren der Zielgruppe (Lernende) als Personas **Dokumente:** – Beschreibung der Personas, Szenarien und eventuell Fachlandkarte – Liste der priorisierten Anforderungen	Workshops zum Review der CDTU-Anforderungen und Bewertung der Personas

Konzept	**Aufgabe:** Festlegen des inhaltlichen, didaktischen, technischen und ergonomischen Konzepts **Aktivitäten:** – Formatentscheidung: • Content-Strukturierung: Auswahl, Sequenzierung, Segmentierung des Lehrstoffs • Multimediadesign: Auswahl, Kombination und Gestaltung der Medien (z. B. 3D-Modell, Texte, Grafiken, Animationen) • Interaktionsdesign: Formen und Ausmaß der Interaktionen zwischen Lernenden und der Lernumgebung • Grafikdesign/Layout: Berücksichtigung softwareergonomischer Aspekte und Beachtung rechtlicher und ethischer Normen (Rechte, Barrierefreiheit, Unterlassung von Diskriminierung) • Motivationsdesign: Förderungen und Aufrechterhaltung der Motivation der Lernenden (ARCS: Aufmerksamkeit, Relevanz, Erfolgszuversicht und Zufriedenheit) – Auswahl der 3D-Patterns – Darstellung des geplanten 3D-Modells mit Inhaltstypen (Texte, Abbildungen, Aufgaben), z. B. mit einer Skizze, Mock-Up oder Papierprototyp **Dokumente:** – Liste der Entscheidungen – Darstellung und Entwurf des 3D-Modells mit Inhaltstypen – eventuell Storyboard/Ablaufdiagramm	Heuristic Inspection Expertenevaluation Content-Review Didaktik-Review
Prototyping	**Aufgabe:** Erstellen eines einfachen und funktionalen Prototyps zum Abschluss des Feinkonzeptes **Aktivitäten:** – Entwicklung eines Frameworks – Materialaufbereitung: • 3D-Modellierung (Erstellung oder Auswahl bestehender 3D-Modelle) • Texterstellung (ausformulierte Textelemente, wie z. B. Bauteilbeschreibungen oder Erklärung der Funktionsweise) • Aufgaben – Programmierung der Interaktionen **Dokumente:** – Dokument zur Beschreibung des Feinkonzeptes – Styleguide	Fokusgruppen Didaktik-Review Expertenevaluation Feldtests Usability-Tests

Datenfusion	**Aufgabe:** Übertragen der Materialien, erproben und verfeinern des Zusammenspiels der Inhaltstypen **Aktivitäten:** – Zusammenführen des 3D-Modells, der aufbereiteten Materialien und des Prototyps – Vervollständigen der Interaktionsprogrammierung – Abgesicherte Machbarkeit für die nachfolgende Implementierung mit besonderer Berücksichtigung auf • der Angemessenheit des didaktischen Konzepts • der Usability des Erstellens durch Lehrende sowie ihre Darstellungs- und Interaktionsmöglichkeiten für Lernende • der Erfüllung der definierten inhaltlichen Anforderungen • der technischen Realisierbarkeit **Dokumente:** – Checklisten zum Abgleich aller Aufgaben	Fokusgruppen Didaktik-Review Feldtests Usability-Tests
Implementierung	**Aufgabe:** Fertigstellen der Entwicklung und Installation **Aktivitäten:** – Integrieren des Verbesserungspotenzials – Finalisieren – Einführen, z. B. auf Moodle oder eigenentwickelter Plattform **Dokumente:** – Bericht	Content-Review Didaktik-Review Technik-Review Usability-Review Abschlussworkshop

Die Entscheidungshilfe (Kapitel 5.3) soll in der Situationsanalyse eingesetzt werden. Die 3D-Patterns (Kapitel 4.3.3) konzentrieren sich auf die Konzeptphase. Dieser Entwurf des Vorgehensmodells steht nun zur Evaluation durch typische Anwender und Anwenderinnen der Bereiche Content, Didaktik, Technik und Usability bereit.

6.3 Evaluation des Vorgehensmodells

Der Entwurf des 3D-Vorgehensmodells inklusive der Entscheidungshilfe und 3D-Patterns wird einer zweiteiligen Evaluation mit Vertretern und Vertreterinnen der genannten Disziplinen unterzogen. Nach dem erfolgreichen Review und der Evaluation mit Lehrenden erfolgt die Bewertung innerhalb einer Fokusgruppe mit Experten und Expertinnen aus den Bereichen Didaktik, Technik und Usability. Die Methode der Fokusgruppe wurde gewählt, da die Teilnehmenden aufgrund der interdisziplinären Zusammensetzung ihre Sichtweise verdeutlichen und disziplinabhängige Erklärungen geben können. Dies soll ein gesamtheitliches Verständnis des Vorgehensmodells fördern. Die Lehrenden werden

für die Evaluation durch ein leitfadengestütztes Experteninterview befragt. Ihnen als Zielgruppe für den Bereich Content wird eine besondere Rolle in dieser Evaluation zugesprochen, da das Vorgehensmodell vorrangig sie adressieren wird. Das Ziel ist es, das Vorgehensmodell als Anleitung für die 3D-Modell-Entwicklung in der ingenieurwissenschaftlichen Hochschullehre zu nutzen. Die Interviews bieten den Vorteil auf mögliche Unklarheiten einzugehen und die Bewertung detaillierter zu ergründen.

Die Evaluation hat das Ziel, die Kriterien Verständlichkeit, Vollständigkeit und Anwendbarkeit durch Vertreter und Vertreterinnen der Zielgruppen bewerten zu lassen sowie Stärken, Schwächen und das Verbesserungspotenzial des Vorgehensmodells zu analysieren. Die Ergebnisse fließen anschließend in das Vorgehensmodell und ergeben die finale Version, die in Kapitel 6.4 präsentiert wird.

Leitfadeninterviews mit Lehrenden

Für die Evaluation wurden drei Lehrende aus der Informatik, der Elektrotechnik und dem Maschinenbau (Tabelle 6-4) der TU Ilmenau in leitfadengestützten, 60-minütigen Interviews, die in ihren Büros stattfanden, zu den Kriterien befragt. Sie vertreten die Disziplin Content bzw. die Content-Erstellung.

Tabelle 6-4: Interviewpartner

Interviewpartner	Geschlecht	Fachbereich
Lehrender 1	m	Maschinenbau
Lehrender 2	m	Elektrotechnik
Lehrender 3	m	Informatik

Zur Einstimmung in das Thema wurde nach bereits bekannten und verwendeten Vorgehensmodellen, den expliziten Erfahrungen und den daraus abgeleiteten Anforderungen gefragt. Die Frage nach der bisherigen Verwendung von benennbaren Vorgehensmodellen wurde von einer Person verneint. Zwei der Lehrenden nutzen das V-Modell [Boehm 1979]. Hier wurde erläutert, dieses meist in Forschungsanträgen zu nennen, jedoch im Projektverlauf lediglich als Orientierung anzuwenden. Die Lehrenden wählen bei Projekten das V-Modell, da es zertifiziert und ein Standard in der Industrie ist. Das W-Modell, das in Anlehnung an das V-Modell erarbeitet wurde, war die Grundlage für das zu entwickelnde 3D-Vorgehensmodell. Durch diese Bekanntheit erhielt das 3D-Vorgehensmodell von allen Lehrenden ein positives Feedback bezüglich der Verständlichkeit und Vollständigkeit. Anhand der Darstellung war ein schnelles Einlesen möglich sowie die Phasen

nachvollziehbar und sinnvoll. Außerdem erhielten die Entscheidungshilfe und die 3D-Patterns große Aufmerksamkeit, weil sie in diesem Kontext etwas Neuartiges und Konkretes darstellen, das die Entwicklung erleichtern kann. Nach der Befragung zu den Details sind nachfolgende Verbesserungsvorschläge benannt worden.

Die Reviews innerhalb des 3D-Vorgehensmodells standen für alle Lehrenden zur Diskussion, da sie in den Testphasen lediglich als „Content- bzw. Technik-Reviews“ etc. genannt wurden, jedoch keine weiteren Informationen beinhalten. Zur Vereinfachung wurde von einem Lehrenden vorgeschlagen, die Nennung der Reviews wegzulassen und das Modell als „reviewbasiertes Vorgehensmodell“ zu deklarieren, weil die Reviews in fast allen Phasen genannt werden. Die Wichtigkeit der ständigen und iterativen Evaluation für das Vorgehensmodell wurde jedoch nach der Erklärung schnell klar. Somit wurde von allen drei Lehrenden die Anforderung gestellt, die Reviews näher zu beschreiben. Hierfür sind Kriterien für die Reviews und Tests konkret zu bestimmen.

Eine weitere Anforderung aus der Bewertung des Vorgehensmodells ist die Effizienz. Das Vorgehensmodell muss sicherstellen, dass nichts doppelt geprüft wird. Daher muss gewährleistet werden, dass das Zurückfallen bei Nichterfüllen der Evaluationskriterien höchstens einen Schritt beträgt.

Zum Abschluss wurde ein selbstgewählter Lerngegenstand zur Aufbereitung als 3D-Modell ausgewählt und anhand des Vorgehensmodells mit Entscheidungshilfe und 3D-Patterns beispielhaft durchgesprochen. Die Anwendbarkeit war bei allen Beispiellerngegenständen gegeben. Besonders hilfreich wäre es für die Lehrenden zusätzlich gewesen, beim 3D-Vorgehensmodell bereits eine Beispielentwicklung eines 3D-Modells zu sehen, um die Zwischenschritte abzugleichen. Damit lassen sich die Ergebnisse der Leitfadeninterviews folgendermaßen zusammenfassen.

Tabelle 6-5: Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Interviews

Stärken	**Schwächen**	**Verbesserungspotenzial**
– vollständiger und verständlicher Prozess – hohe Anwendbarkeit – Entscheidungshilfe und 3D-Patterns sind neuartig und anwendbar – klare grafische Darstellung – interdisziplinärer Ansatz	– fehlende Kriterien der Evaluation – fehlendes Beispiel	– Ergänzen von Evaluationskriterien – Darstellen der Entwicklungsphasen anhand eines einfachen 3D-Modells

Fokusgruppe mit Expertinnen und Experten

In einer Fokusgruppe mit Vertretern und Vertreterinnen der Disziplinen Didaktik, Technik und Usability wurde anschließend die Evaluation fortgesetzt. Das Ziel war es, das 3D-Vorgehensmodell auf Vollständigkeit, Verständlichkeit sowie Anwendbarkeit qualitativ zu testen. Dazu stand die Analyse der Stärken, Schwächen und des Verbesserungspotenzials im Vordergrund. Die Teilnehmenden wurden nach ihrem wissenschaftlichen Hintergrund ausgesucht und den disziplinabhängigen Gruppen zugeteilt, wie Tabelle 6-6 zeigt.

Tabelle 6-6: Teilnehmende der Fokusgruppe

Fokusgruppe	Anzahl der Teilnehmenden	Wissenschaftlicher Hintergrund der Teilnehmenden
Gruppe 1 - Didaktik	3 (1 w, 2 m)	Didaktiker/-in
Gruppe 2 - Technik	3 (1 w, 2 m)	Informatiker, Entwickler/-in
Gruppe 3 - Usability	3 (3 m)	Medientechniker

Im Usability-Labor des Fachgebiets Medienproduktion wurde die Fokusgruppe in einem zeitlichen Umfang von 150 Minuten durchgeführt (Abbildung 6-8).

Abbildung 6-8: Fokusgruppe

Nach der Vorstellungsrunde wurde das Ziel der Fokusgruppe verdeutlicht. Neben theoretischen Grundlagen zu 3D-Modellen wurden weiterhin die 3D-Patterns und die Entscheidungshilfe als Bestandteile des 3D-Vorgehensmodells präsentiert. Anschließend wurde ein Szenario vorgegeben, das die Teilnehmenden konkret in die Situation versetzte, ein 3D-Modell zu entwickeln. Dabei ging es um die Erarbeitung eines 3D-Modells des Elektromotors. Hierfür konnten sich die Teilnehmenden in verschiedene Vorgehensmodelle

einarbeiten, um die Vielfältigkeit der Vorgehensweisen, Aktivitäten und Details zu erfahren sowie ihr Wissen über bekannte Vorgehensmodelle aufzufrischen. Danach wurde das 3D-Vorgehenmsodell präsentiert und dessen Verständlichkeit durch die Teilnehmenden bewertet. Zudem sollten ihren ersten Eindruck beschreiben. Im Anschluss wurden Stärken, Schwächen sowie Verbesserungspotenzial im Hinblick auf Verständlichkeit, Vollständigkeit sowie Anwendbarkeit analysiert und durch die Teilnehmenden auf Kärtchen verschriftlicht. Abschließend wurden die Ergebnisse innerhalb der Fokusgruppe diskutiert. Die Methoden und der zeitliche Verlauf der Fokusgruppe zeigt Tabelle 6-7.

Tabelle 6-7: Ablauf der Fokusgruppen

Top	**Inhalt**
Begrüßung und Organisatorisches	– Vorstellen der Agenda und der Teilnehmenden
Vorstellung des Themas	– Zielbeschreibung – Präsentation der Grundlagen von 3D-Modellen
Einarbeitung	– Szenariobeschreibung – Sichten von klassischen und agilen Vorgehensmodellen – Präsentation des 3D-Vorgehensmodells
Methode	– Beurteilung des ersten Eindrucks bezüglich der Verständlichkeit – Beurteilung der Verständlichkeit – Auflistung der Stärken, Schwächen sowie des Verbesserungspotenzials in Hinblick auf Vollständigkeit und Anwendbarkeit – Diskussion der Ergebnisse
Verabschiedung	– Zusammenfassen der wichtigsten Erkenntnisse

Nach der Präsentation des 3D-Vorgehensmodells mussten die Teilnehmenden ihren ersten Eindruck beschreiben und die Verständlichkeit beurteilen. Für acht der neun Teilnehmenden wirkte das 3D-Vorgehensmodell im Vergleich zu anderen sehr komplex und verlangte eine intensive Einarbeitung. In der Diskussion wurde dann deutlich, dass diese Wirkung auch als positiv eingestuft wurde, da hierbei viele Details und Informationen vermittelt werden. Laut Aussage der Fokusgruppe ist eine vertiefende Einarbeitung, wie auch bei anderen Vorgehensmodellen, oftmals notwendig. Die Herausforderung bestand für die Teilnehmenden darin, dass die zeitliche Abfolge durch die zwei parallelen Parabeln schwer erkennbar war. Nachdem jedoch kurz die Darstellung erklärt wurde, war der Verlauf für jeden ersichtlich. Verbesserungsvorschläge zur optimierten Darstellung des Prozessmodells wurden im nächsten Abschnitt des Fokusgruppenverlaufs wieder aufgegriffen.

Anschließend wurden die Teilnehmenden aufgefordert die Stärken und Schwächen auf Kärtchen zu schreiben. Die Stärken wurden auf blauen und grünen Kärtchen formuliert,

die Schwächen auf roten und orangenen. Diese wurden an einer Pinnwand zusammengetragen, sortiert in Kategorien gefasst sowie innerhalb der Fokusgruppe diskutiert und bewertet. Allgemein war auffällig, dass die Teilnehmenden sehr oft die gleichen Stärken beschrieben, während ihnen unterschiedliche Schwächen auffielen. Innerhalb der Diskussion ließen sich drei Kategorien erfassen, denen die Stärken sowie auch die Schwächen zugeordnet werden konnten. Die Kategorie „Inhalt“ enthält dabei alle beschreibenden Details, die in dem 3D-Vorgehensmodell zusammengetragen wurden. Die „Struktur“ bezieht sich währenddessen auf die Phasenanordnung und die „Darstellung“ beinhaltet die Elemente zur äußeren Gestalt. Nachdem die Schwächen aufgelistet waren, wurden Lösungsansätze bzw. Verbesserungsvorschläge diskutiert und festgelegt. Eher selten waren dies kleinere Verbesserungen wie das Umbenennen von Begriffen, wie z. B. die „Aufgabe“ als „Ziel“. Den Experten des Usabilitys war es wichtig, dass innerhalb der Situationsanalyse die Kontext- und Problemanalysen durchgeführt werden, die im Beschreibungsmodell ergänzt werden. Der interdisziplinäre Ansatz, der als große Stärke betrachtet wurde, beinhaltet jedoch Vertreter und Vertreterinnen der Disziplinen Content, Didaktik, Technik und Usability, die dabei als Rollen definiert und ergänzt werden müssen. Zu dem Methodenvorschlag für die Evaluation, der auch hierbei als Stärke angesehen wurde, forderten die Teilnehmenden der Fokusgruppe weiterhin Werkzeuge zum Durchführen der Aktivitäten innerhalb der Phasen, wie z. B. Protokollierungs- oder Modellierungssoftware. Der didaktische Einfluss sollte weiterhin stärker angestrebt werden. Die Didaktiker und die Didaktikerin der Fokusgruppe empfahlen die Integration der didaktischen Planungsmatrix (Tabelle 6-11).

Innerhalb der Kategorie „Struktur“ stellte sich die parallele Evaluation zu den Entwicklungsphasen als Stärke heraus. Dabei wurde das Prozessmodell als vollständig betrachtet, für das jedoch zwei Anpassungen vorgesehen werden sollten. Die Aufgabe der Datenfusion war für über die Hälfte der Fokusgruppenteilnehmenden nicht sofort verständlich. Zusätzlich zeigt es ähnliche Aktivitäten wie die des Prototypings und erscheint eher als Teilschritt anstatt einer ganzen Phase. Daher wird für eine bessere Anwendbarkeit die Datenfusion in die Phase des Prototypings verschoben. Für sechs der neun Teilnehmenden fehlte im Vorgehensmodell für die Vollständigkeit eine abschließende Phase, in der Aktivitäten durchgeführt werden, um das 3D-Modell langfristig aktuell zu halten, zu verbessern und in den Lehrkonzepten zu etablieren.

Bei der „Darstellung“ wurden durch die Fokusgruppe vier wesentliche Verbesserungen festgelegt, um die Verständlichkeit zu erhöhen. Diese betreffen zunächst die Detailinformationen, die im Prozessmodell reduziert werden. Das Projektmanagement, das das gesamte Vorgehen umschließt, wirkte in der Darstellung eher losgelöst und wird nun stärker an die Phasen gesetzt. Weiterhin werden die Iterationspfeile angepasst, damit der Bezug zwischen Phase und Evaluationsschritt deutlicher wird. Für ein schnelleres Erfassen des Ablaufs wurde außerdem von der Fokusgruppe eine Nummerierung der Phasen sowie Pfeilspitzen an den Parabeln festgelegt. Die Ergebnisse der Fokusgruppe sind in Tabelle 6-8 zusammengefasst.

Tabelle 6-8: Zusammenfassung der Ergebnisse aus der Fokusgruppe

Kategorie	Stärken	Schwächen	Verbesserungspotenzial
Inhalt	– interdisziplinärer Ansatz – Detailgrad der Phasen – Entscheidungshilfe – Methodenvorschlag für die Evaluation – Gliederung der Tabelle in Aufgaben, Aktivitäten und Dokumente – gemeinsame Zielbestimmung – Nutzerorientierung – viele Tests	– unvollständige Situationsanalyse – Begrifflichkeiten – fehlende Rollen und Definition der Rollen – fehlende Werkzeuge – wenige didaktische Informationen	– Hinzufügen von Kontext- und Problemanalysen in der Situationsanalyse – Umbenennung: Aufgabe → Ziel Aktivität → Aufgabe – Definition der Rollen – Ergänzen der Werkzeuge – Integration einer didaktischen Planungsmatrix
Struktur	– parallele Evaluation – vollständiger Prozess – Projektmanagement zur Koordination – explizites Herausstellen der Situationsanalyse	– Datenfusion verwirrend, eher als Teil des Prototypings – fehlende Phase, z. B. Pflege, Wartung, Betrieb	– Verschieben der Datenfusion in Prototyping – Ergänzen einer abschließenden Phase → Praxiseinsatz
Darstellung	– innovatives Design	– zu viele Detailinfos in Prozessdarstellung – Projektmanagement wirkt wie Beiwerk – Iterationspfeile sollten Begriffe genauer treffen – Ablauf eindeutiger (zeitliche Einteilung)	– Reduzieren auf wichtigste Inhalte – Anpassen der Projektmanagement-Darstellung – Anpassen der Iterationspfeile – Ergänzen der Phasennummerierung und Pfeilspitzen

Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Auswertung zeigt ein durchweg positives Feedback zum präsentierten 3D-Vorgehensmodell. Es gab kaum Unterschiede in der Auswertung zwischen den Interviews mit Lehrenden sowie der Fokusgruppe mit Experten und Expertinnen. Stets positiv wurde der vollständige Prozess herausgestellt, zu dem die parallele Evaluation sowie das explizite

Voranstellen der Situationsanalyse weiterhin beitrugen. Das Zusammenführen der Disziplinen wurde als weitere Besonderheit erkannt und deutlich als Stärke definiert. Schließlich wurde der Detailgrad des Vorgehensmodells hervorgehoben, da neben dem Methodenvorschlag auch weitere Hilfsmittel zur Unterstützung der Entwicklung, wie z. B. die Entscheidungshilfe und 3D-Patterns, beinhaltet sind. Die Verständlichkeit und Anwendbarkeit ist laut den Lehrenden und den Teilnehmenden der Fokusgruppe gegeben, jedoch würden die vorgeschlagenen Anpassungen diese erhöhen. Die Stärken, Schwächen und Festlegungen zur Verbesserung aus den Interviews und der Fokusgruppe werden in Tabelle 6-9 zusammengeführt und im Anschluss in das 3D-Vorgehensmodell integriert. Die finale Version des Prozess- und Beschreibungsmodells wird im anschließenden Kapitel 6.4 präsentiert.

Tabelle 6-9: Zusammenfassung der Ergebnisse

Kategorie	**Stärken**	**Schwächen**	**Verbesserungspotenzial**
Inhalt	– interdisziplinärer Ansatz – verständlicher Prozess – Detailgrad der Phasen – Entscheidungshilfe und 3D-Patterns sind neuartig und anwendbar – Methodenvorschlag für die Evaluation – Gliederung der Tabelle in Aufgaben, Aktivitäten und Dokumente – gemeinsame Zielbestimmung – Nutzerorientierung – viele Tests – hohe Anwendbarkeit	– unvollständige Situationsanalyse – Begrifflichkeiten – fehlende Rollen und Definition der Rollen – fehlende Werkzeuge – wenige didaktische Informationen – fehlende Kriterien der Evaluation – fehlendes Beispiel	– Hinzufügen von Kontext- und Problemanalysen in der Situationsanalyse – Umbenennung: Aufgabe → Ziel Aktivität → Aufgabe – Definition der Rollen – Ergänzen der Werkzeuge – Integration der didaktischer Planungsmatrix – Ergänzen von Evaluationskriterien – Darstellen der Entwicklungsphasen anhand eines einfachen 3D-Modells
Struktur	– parallele Evaluation – vollständiger Prozess – Projektmanagement zur Koordination – explizites Herausstellen der Situationsanalyse	– Datenfusion verwirrend, eher als Teil des Prototypings – fehlende Phase, z. B. Pflege, Wartung, Betrieb	– Verschieben der Datenfusion in Prototyping – Ergänzen einer abschließenden Phase → Praxiseinsatz
Darstellung	– innovatives Design – klare grafische Darstellung	– zu viele Detailinfos in Prozessdarstellung – Projektmanagement wirkt wie Beiwerk – Iterationspfeile sollten Begriffe genauer treffen – Ablauf eindeutiger (zeitliche Einteilung)	– Reduzieren auf wichtigste Inhalte – Anpassen der Projektmanagement-Darstellung – Anpassen der Iterationspfeile – Ergänzen der Phasennummerierung und Pfeilspitzen

In der Situationsanalyse werden die Kontext- und Problemanalysen nach [Haberfellner et al. 2012, S. 199f] ergänzt. Diese beinhalten:

- die Wirkungs-Analyse, die Inputs und Outputs erfassen,
- die Struktur-Analyse für den inneren Aufbau des Systems sowie zum Identifizieren von Abläufen und Prozessen und
- die Einflussgrößen-Analyse zur Betrachtung von Quellen, Art und Umfang.

Aufgrund der Interdisziplinarität wurde von den Experten und Expertinnen der Fokusgruppe die Rollendefinition verlangt, die in Kapitel 6.4 beschrieben ist. Gleiches gilt für die Werkzeuge, die direkt im Ergebnis integriert werden. Den Lehrenden war es wichtig, dass das Vorgehensmodell durch die Tests garantieren kann, lediglich einen Schritt in der Entwicklung bei Nichterfüllung der Kriterien zurückzufallen. Dafür müssen die Kriterien der Tests und Reviews im Beschreibungsmodell ergänzt werden. Die Grundlage bilden hierfür die Kriterien aus dem [DIN PAS 1032-1]-Vorgehensmodell, da sich diese bereits etabliert haben und sich leicht auf die Entwicklungsphasen der 3D-Modelle übertragen lassen.

Die Lehrenden forderten zur Verdeutlichung des Vorgehensmodells zusätzlich ein konkretes Beispiel, das die Entwicklung eines 3D-Modells detailliert demonstriert. Ein Beispiel wird am Ende des Kapitels 6.4 gezeigt.

Im nächsten Schritt werden die Phasen angepasst. Die Datenfusion wird dem Prototyping zugeordnet und eine abschließende Phase („Praxiseinsatz“) ergänzt. Daraus ergibt sich folgende Reihenfolge, die in Abbildung 6-9 umgesetzt ist.

0. Projektmanagement
1. Situationsanalyse
2. Anforderungsanalyse
3. Konzept
4. Prototyping
5. Implementierung
6. Praxiseinsatz

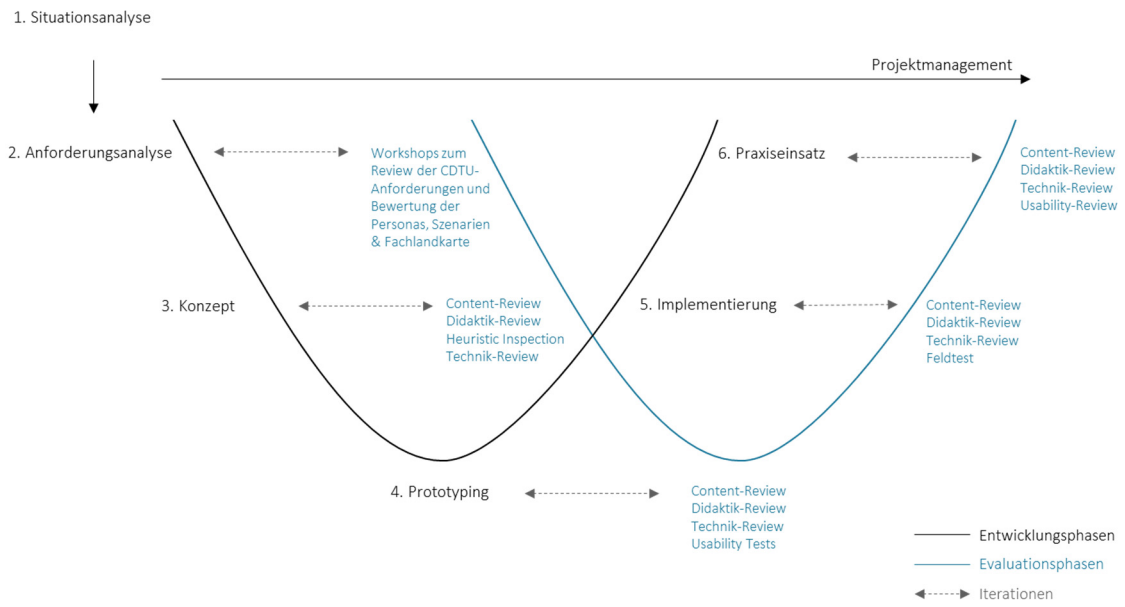


Abbildung 6-9: Phasenangepasstes Vorgehensmodell

Um die Phasen im Detail zu erläutern, werden diese wie zuvor in Tabellenform beschrieben. Eine Strukturanpassung soll die Übersichtlichkeit zur vorherigen Darstellung verbessern. Dazu werden die „Aufgaben“ und „Aktivitäten“ zu „Ziel“ und „Aufgaben“ umbenannt. Außerdem werden hierbei die Rollen, Werkzeuge und Evaluationskriterien ergänzt. Tabelle 6-10 zeigt die angepasste Struktur zur Phasenbeschreibung.

Tabelle 6-10: Anpasste Struktur der Tabellen für die Phasen

Phasenbezeichnung	
Ziel	
Aufgaben	
Rollen	
Werkzeuge	
Ergebnis und Dokumente	
Evaluationsmethoden	
Evaluationskriterien	

Da das 3D-Modell in ein Lehrkonzept integriert werden muss, dient eine Planungsmatrix (Tabelle 6-11) als Orientierung, wie das 3D-Modell als Medium eingesetzt werden kann. Entsprechend wird das 3D-Modell aufbereitet und den Lernenden zur Verfügung gestellt. Diese Planungsmatrix zur Planung der Lehre dient als Instrumentarium. In diesem wird der Ablauf einer Lehreinheit in mehrere Abschnitte unterteilt. Aus der Planungsmatrix wird z. B. ersichtlich, dass ein 3D-Modell in einer Motivierungsphase weniger Möglichkeiten der Interaktion bieten wird als in einer Anwendungsphase. In der Motivierungsphase könnte z. B. das 3D-Modell auch lediglich in einem Video präsentiert werden.

Tabelle 6-11: Planungsmatrix mit markiertem Teil für die Eingliederung des 3D-Modells [Meyer 2010, S. 177–181] und [Städeli et al. 2013, S. 17ff]

Dozentensicht / Lernendensicht	Bildungsstoff der Lehrveranstaltung		Lernhandlungen der Studierenden		Organisatorische Rahmenbedingungen der Lernhandlungen			
Didaktische Prinzipien	- Kompetenzorientierung - Qualifikationsentwicklung	- Wissenschaftlichkeit - Planmäßigkeit u. Systematik - wiss. Vereinfachung - Exemplarität	- Fasslichkeit	- Anschaulichkeit	- Vorbildlichkeit - Zugewandtheit	- soziales Lernen - Aktivität und Selbstständigkeit	- Leistungsgerechtigkeit	- Eindeutigkeit
Didaktische Phasen	Ziel	Inhalt	Methode	Medien (erkenntnisunterstützende Mittel)	Organisationsform des Lehrens	Organisationsform des Lernens	Zeit	Aufforderung
1. Motivierung (Vorbereitung auf die Arbeit am neuen Lehrstoff)	Lehrziel:							
2. Informierung (Arbeit am neuen Stoff)	Lehrziel:							
3. Anwendung (Arbeit mit behandeltem Stoff)	Lehrziel:							
4. Bestätigung (Kontrolle und Bewertung des behandelten Stoffes)	Lernziel:							

Im letzten Teil soll die grafische Darstellung des Vorgehensmodells angepasst werden. Zunächst werden Informationen im Prozessmodell reduziert. Dies bezieht sich vorrangig auf die Kriterien des Motivationsdesigns in der Konzeptphase. Sie sind im Beschreibungsmodell wiederzufinden. Ein weiterer Aspekt des Vorgehensmodells war das Projektmanagement, das in der vorherigen Version ungünstig positioniert wurde. Da jedoch das Projektmanagement einen hohen Stellenwert bei diesem interdisziplinären Vorhaben hat, wird die Darstellung im finalen Vorgehensmodell näher an die Entwicklungs- und Evaluationsphasen (Abbildung 6-10) gesetzt, um präsenter zu wirken. Schließlich werden die Iterationspfeile eindeutiger gestaltet. Durch Hinzufügen von Pfeilspitzen an den Phasenverläufen soll der Ablauf im Prozessmodell deutlicher und nachvollziehbarer werden. Zur Unterstützung erhalten dann die Phasen eine entsprechende Nummerierung. Das nachfolgende Kapitel präsentiert das finale Vorgehensmodell und damit die angepasste grafische Darstellung.

6.4 Ergebnis

Nach der Entwicklung des 3D-Vorgehensmodells und dessen Evaluation in den vorangegangenen Kapiteln wird nun das finale Ergebnis präsentiert. Dazu werden in diesem Kapitel das Prozess- und Beschreibungsmodell nachfolgend dargestellt und erläutert.

Die Ergebnisse der Evaluation mit Experten und Expertinnen aus den Bereichen Content, Didaktik, Technik und Usability (Kapitel 6.3) wurden in die finale Version des 3D-Vorgehensmodells integriert. Zuerst erhielt die grafische Darstellung des Prozessmodells Anpassungen bezüglich gerader Iterationspfeile, hinzugefügter Pfeilspitzen an den zwei Phasenverläufen, die die Richtung der Entwicklung angeben sowie die Nummerierung der Phasen für die eindeutige Reihenfolge. Außerdem wurde das Projektmanagement präsenter und näher an die beiden Phasenverläufe gesetzt (Abbildung 6-10).

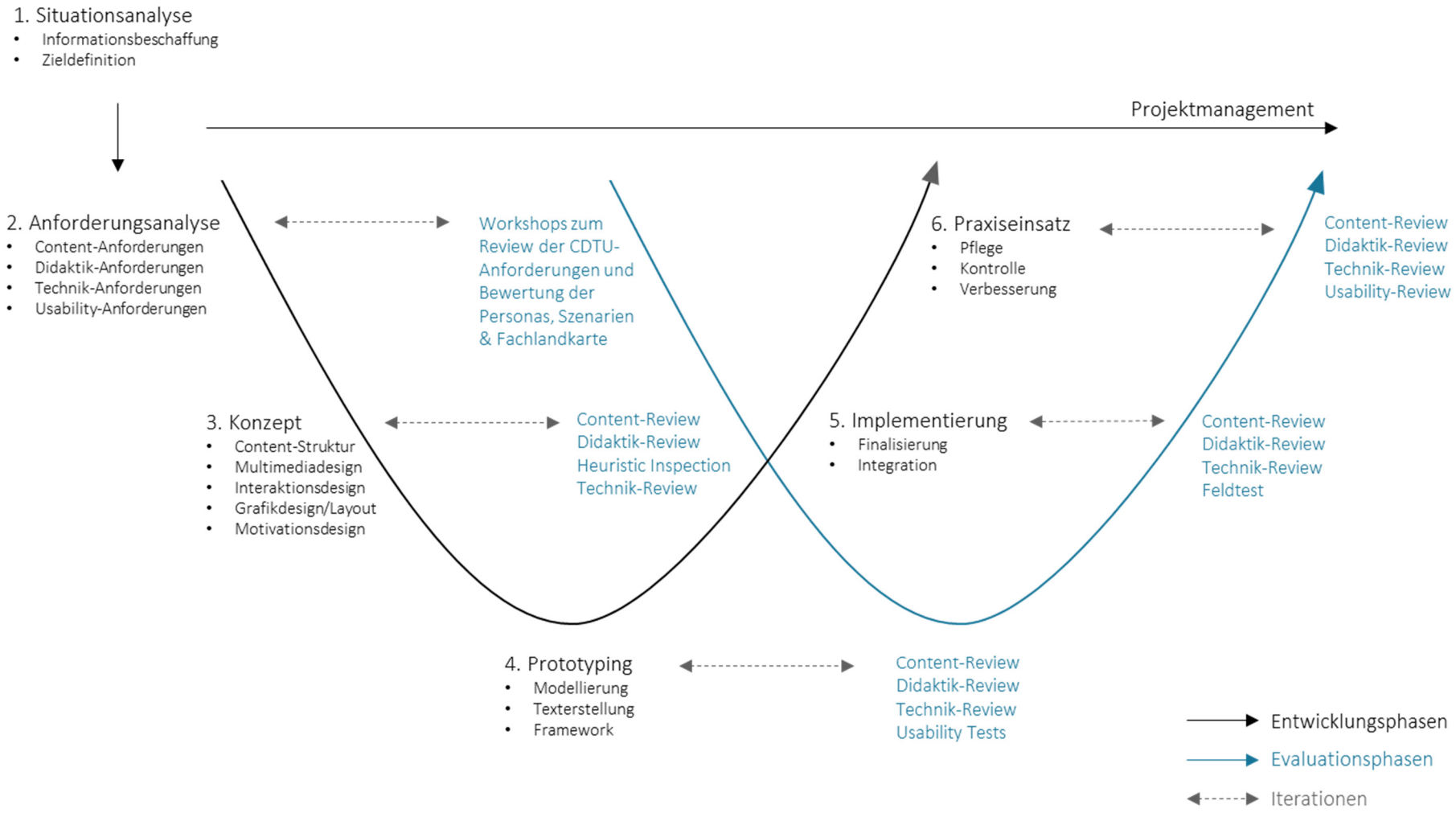


Abbildung 6-10: Finales Vorgehensmodell für die Entwicklung von interaktiven 3D-Modellen

Die Definition der wichtigsten Begriffe aus Kapitel 6.2 muss nach der Evaluation angepasst werden, um die einheitliche Kommunikationsbasis zu gewährleisten.

- Phase: definierter Abschnitt innerhalb des Vorgehensmodells, der durch Ziel, Aufgaben, Werkzeuge, Ergebnis und Dokumente beschrieben ist
- Ziel: Beschreibung der Kerntätigkeit innerhalb der Phase
- Aufgaben: Tätigkeiten und Teilschritte zur Erfüllung des Phasenziels
- Werkzeuge: Software-Tools und Handschriftliches zur Unterstützung der Aufgabendurchführung bzw. Speicherung der Ergebnisse
- Ergebnis und Dokumente: Resultat des Phasenziels und der Aufgaben sowie dessen Verschriftlichung

Nach der Definition erfolgt im nächsten Schritt das Ergänzen fehlender Elemente. Wie es die Fokusgruppe forderte, werden zu Beginn die Rollen der Projektmitglieder und Projektmitgliederinnen definiert (Tabelle 6-12). Es besteht dabei die Möglichkeit, dass sie mehrere Rollen einnehmen können.

Tabelle 6-12: Definition der Rollen

Rolle	**Definition**
Projektmanager/-in	Eine Person oder Gruppe zur Überwachung der Aktivitäten und zum Prüfen der Meilensteine und Ziele sowie zur Koordination der Evaluationsphasen.
Lehrende	Verantwortliche/-r für die Festlegung und Überwachung der Wissensvermittlung der Lerngegenstände. Überwachung der Integrierfähigkeit des 3D-Modells in das Lehrkonzept.
Lernende	Nutzer/-innen des 3D-Modells. Aktive Nutzung des Lehrmaterials und 3D-Modells zum Erreichen von Lernzielen.
Content-Ersteller/-in	Eine Person oder Gruppe zur systematischen inhaltlichen Erarbeitung von Lehrmaterial.
Didaktiker/-in	Eine Person oder Gruppe zur didaktischen Aufbereitung des 3D-Modells mit Inhaltstypen.
Techniker/-in	Eine Person oder Gruppe zur Umsetzung des technischen Konzepts, d. h. programmiertechnische Erstellung der Plattform, Implementierung der 3D-Lernanwendung (3D-Modell und Inhaltstypen) sowie Interaktivgestaltung des 3D-Modells.
3D-Modellierer/-in	Eine Person oder Gruppe zur Erstellung und Aufbereitung des 3D-Modells.
Usability Engineer	Eine Person oder Gruppe zur Einhaltung der Anforderungen sowie Erarbeitung von Konzept und Tests zur Benutzerfreundlichkeit.

Das Projektmanagement und die sechs Phasen des Vorgehensmodells sind nachfolgend detailliert in Tabellenform beschrieben (Tabellen 6-13 – 6-19). Die Rollenvergabe, Werkzeuge zur Umsetzung des Phasenziels sowie konkrete Evaluationskriterien werden durch die Ergebnisse der durchgeführten Evaluation ergänzt. Für das finale Vorgehensmodell werden dazu die Evaluationskriterien aus dem PAS [DIN PAS 1032-1] genutzt, da diese

bereits in der Entwicklung von E-Learning-Angeboten etabliert sind.

Tabelle 6-13: Phase 0 - Projektmanagement

Phasenbezeichnung	0. Projektmanagement
Ziel	Übergreifende Projektplanung und Qualitätssicherung
Aufgaben	– Administration der Kosten, Termine und der Vorgehensweise – Erarbeiten einer Projektstrukturplanung z. B. in einem Gantt-Diagramm oder einem Projektstrukturplan – Koordination und Abstimmung der Projektpartner/-innen (CDTU) – Forderung von Rückmeldungen der Projektpartner/-innen während der gesamten Entwicklung
Rollen	Projektmanager/-in
Werkzeuge	Projektmanagement-Tool, z. B. Trello [Atlassian 2020b] oder Jira [Atlassian 2020a]
Ergebnis und Dokumente	– Projektstrukturplan – zugewiesene Aufgaben an die jeweiligen Projektpartner/-innen

Tabelle 6-14: Phase 1 - Situationsanalyse

Phasenbezeichnung	1. Situationsanalyse
Ziel	Allgemeine Informationsbeschaffung und Definieren der Ziele
Aufgaben	– Festlegen des Lerngegenstandes – Zielbestimmung des 3D-Modells – Allgemeine Machbarkeitsprüfung – Bestimmung durch Entscheidungshilfe, ob der Lerngegenstand als 3D-Modell geeignet ist – Kontext- und Problemanalysen: • Wirkungs-Analyse (Input und Output) • Struktur-Analyse (innerer Aufbau des Systems, Abläufe und Prozesse) • Einflussgrößen-Analyse (Betrachtung von Quellen, Art und Umfang)
Rollen	Projektmanager/-in, Lehrende, Content-Ersteller/-in, Didaktiker/-in, Techniker/-in, Modellierer/-in, Usability Engineer
Werkzeuge	Protokollierungssoftware, z. B. Microsoft Word [Microsoft 2020d] oder Online-Wikis
Ergebnis und Dokumente	– Liste der erfassten Informationen, Analysen und Bestimmungen, z. B. als Checkliste – Bewertung der Zielerreichung – Kennzahlen

Tabelle 6-15: Phase 2 - Anforderungsanalyse

Phasenbezeichnung	2. Anforderungsanalyse
Ziel	Erheben der inhaltlichen, didaktischen, technischen und ergonomischen Anforderungen
Aufgaben	– Festlegen der Rahmenbedingungen: • Adressatenanalyse (Lernvoraussetzungen der Zielgruppe) • Wissens- und Aufgabenanalyse (Lernziele) • Analyse verfügbarer Ressourcen (Sachmittel, Technik, Zeit, Personal) – Definieren der Zielgruppe (Lernende) als Personas und Erarbeiten von Szenarien – Entwicklung einer Fachlandkarte
Rollen	Projektmanager/-in, Lehrende, Lernende, Content-Ersteller/-in, Didaktiker/-in, Techniker/-in, Usability Engineer
Werkzeuge	Textverarbeitungsprogramme, wie z. B Microsoft Word [Microsoft 2020d] oder schriftliche Notizen, Programme mit Tag-Funktion

Ergebnis und Dokumente	– Beschreibung der Personas, Szenarien und Fachlandkarte – Auflistung der Lernziele (anhand von Taxonomien) – Liste der priorisierten Anforderungen
Evaluationsmethoden	Workshops zum Review der CDTU-Anforderungen und Bewertung der Personas, Szenarien und Fachlandkarte
Evaluationskriterien	Plausibilität, Vollständigkeit der CDTU-Anforderungen, Gültigkeit der Personas, Szenarien und Fachlandkarte

Tabelle 6-16: Phase 3 - Konzept

Phasenbezeichnung	3. Konzept
Ziel	Festlegen des inhaltlichen, didaktischen, technischen und ergonomischen Konzepts
Aufgaben	– Formatentscheidung: • Content-Strukturierung: Auswahl, Sequenzierung und Segmentierung des Lehrstoffs • Multimediadesign: Auswahl, Kombination und Gestaltung der Medien zum 3D-Modell (z. B. Texte, Grafiken, Animationen) • Interaktionsdesign: Formen und Ausmaß der Interaktionen zwischen Lernenden und der Lernumgebung • Grafikdesign/Layout: Berücksichtigung softwareergonomischer Aspekte und Beachtung rechtlicher und ethischer Normen (Rechte, Barrierefreiheit, Unterlassung von Diskriminierung) • Motivationsdesign: Förderungen und Aufrechterhaltung der Motivation der Lernenden (ARCS: Aufmerksamkeit, Relevanz, Erfolgszuversicht und Zufriedenheit) – Auswahl der 3D-Patterns – Darstellung des geplanten 3D-Modells mit Inhaltstypen z. B. mit einer Skizze, Wireframes, Mock-Up oder Papierprototyp
Rollen	Projektmanager/-in, Lehrende, Content-Ersteller/-in, Didaktiker/-in, Techniker/-in, 3D-Modellierer/-in, Usability Engineer
Werkzeuge	Paper/Pencil, Mockup-/Skizzen-Tools, z. B. Microsoft Visio [Microsoft 2020c], Google AutoDraw [Google Creative Lab 2020] oder Adobe XD [Adobe 2020], Mind-Mapping-Tools, z. B. MindMaster [EDraw 2020]
Ergebnis und Dokumente	– Dokumentation der Entscheidungen – Darstellung und Entwurf des 3D-Modells mit Inhaltstypen – eventuell Storyboard/Ablaufdiagramm
Evaluationsmethoden	Content-Review, Didaktik-Review, Heuristische Evaluierung, Technik-Review
Evaluationskriterien	Angemessenheit des Konzepts und der technischen Machbarkeit, Erfüllung der Anforderungen, Vollständigkeit und Detailliertheit der Formatentscheidungen

Tabelle 6-17: Phase 4 - Prototyping

Phasenbezeichnung	4. Prototyping
Ziel	Erstellen eines einfachen und funktionalen Prototyps mit allen Inhaltstypen
Aufgaben	– Entwickeln eines Frameworks – Materialaufbereitung: • 3D-Modellierung (Erstellung oder Auswahl bestehender 3D-Modelle) • Texterstellung (ausformulierte Textelemente, wie z. B. Bauteilbeschreibungen oder Erklärung der Funktionsweise) • Aufgabenformulierung – Programmierung der Interaktionen – Zusammenführen der Inhaltstypen – Iterationen zur Verfeinerung
Rollen	Projektmanager/-in, Lehrende, Lernende, Content-Ersteller/-in, Didaktiker/-in, Techniker/-in, 3D-Modellierer/-in, Usability Engineer

Werkzeuge	3D-Modellierung: Design- oder Funktions-Software, wie z. B. Blender [Blender Foundation 2020], 3ds Max [Autodesk 2020a], Export z. B. mit dem Collada-Format .dae Texterstellung: Textverarbeitungsprogramm, z. B. Word [Microsoft 2020d] Interaktionen: Programmiersprachen und WebGL, HTML5, JavaScript, ThreeJS
Ergebnis und Dokumente	– Dokument zur Beschreibung des Feinkonzepts – Styleguide
Evaluationsmethoden	Content-Review, Didaktik-Review, Technik-Review, Usability-Tests
Evaluationskriterien	Erwartungskonformität (Interaktions- und Screendesign, Materialien)

Tabelle 6-18: Phase 5 - Implementierung

Phasenbezeichnung	5. Implementierung
Ziel	Finalisieren und Einführen des 3D-Modells
Aufgaben	– Finalisieren – Einführen, z. B. auf Moodle [Moodle 2020] oder entwickelter Plattform – Integration in das Lehrkonzept
Rollen	Projektmanager/-in, Lehrende, Lernende, Content-Ersteller/-in, Didaktiker/-in, Techniker/-in, 3D-Modellierer/-in, Usability Engineer
Werkzeuge	Framework, wie z. B. eigene Plattform oder Moodle (Tools), Foliensatz, z. B. durch Microsoft PowerPoint [Microsoft 2020b]
Ergebnis und Dokumente	– finales und integriertes 3D-Modell mit Inhaltstypen – Projektbericht/Freigabeprotokoll
Evaluationsmethoden	Content-Review, Didaktik-Review, Technik-Review, Feldtest mit Lernenden
Evaluationskriterien	Konformität bezüglich bestehender Vorgabe, Abnahme des Interaktions- und Screendesigns, Erfüllen des Konzepts, Fehlerfreiheit, Angemessenheit der Performanz, Korrektheit und Vollständigkeit der Materialien, Funktionsfähigkeit

Tabelle 6-19: Phase 6 - Praxiseinsatz

Phasenbezeichnung	6. Praxiseinsatz
Ziel	Regelmäßiges Kontrollieren, Verbessern und Pflegen des 3D-Modells
Aufgaben	– Analyse des Verbesserungspotenzials • Etablieren im Lehrkonzept • technische Nachhaltigkeitsphase
Rollen	Projektmanager/-in, Lehrende, Lernende, Content-Ersteller/-in, Didaktiker/-in, Techniker/-in, 3D-Modellierer/-in, Usability Engineer
Werkzeuge	Dokumentations-Tools, z. B. Office-Programme
Ergebnis und Dokumente	Checklisten für Verbesserungspotenzial
Evaluationsmethoden	Content-Review, Didaktik-Review, Technik-Review, Usability-Review
Evaluationskriterien	Lern- und Transfererfolg (Erfüllung des Lernziels, Kompetenzzuwachs), Zufriedenheit der Lernenden und Lehrenden, Verfügbarkeit

Beispiel zur Demonstration des 3D-Vorgehensmodells

Die Lehrenden forderten, das Vorgehensmodell anhand eines Beispiels zu verdeutlichen. Dafür eignen sich die im BMBF-Projekt (Kapitel 3.2.1) entstandenen 3D-Modelle. Das 3D-Vorgehensmodell soll konkret am Beispiel des Kontaktwinkelmessgeräts aufgezeigt werden. Diese Demonstration zeigt in Kürze die jeweiligen Schritte bzw. Ergebnisse und präsentiert damit das systematische Vorgehen.

Das Kontaktwinkelmessgerät ist ein Werkzeug, das Bestandteil in der Aus- und Weiterbildung von Mikrotechnologen und Mikrotechnologinnen ist. Es ermöglicht die Untersuchung der Benetzungseigenschaften von Materialien. Dies kann durch den Kontaktwinkel bestimmt werden. Der Kontaktwinkel ist ein Maß für die Benetzbarkeit einer bestimmten Oberfläche durch eine bestimmte Flüssigkeit. Dieser beschreibt die Form bzw. die Ausbreitung eines Tropfens auf einer Probenoberfläche und ist von den Grenzflächenenergien der drei Phasen (gasförmig, flüssig, fest) abhängig. Für die Messung wird ein Tropfen auf die Probe mit einer feinkanüligen Spritze abgesetzt. Anschließend wird der Tropfen rückseitig beleuchtet. Nach der Fokussierung und Einstellung der Beleuchtung wird ein Tropfenbild mit einer Kamera aufgenommen. Anhand dieses Bildes wird mit Hilfe einer Software der Kontaktwinkel bestimmt.

Phase 0 - Projektmanagement

Das Projektmanagement wurde von der Koordinatorin des BMBF-Projekts übernommen. Sie plante die fristgerechte Entwicklung und die Organisation der zahlreichen Projekttreffen, Reviews und Tests zur Evaluation mit Vertreterinnen und Vertretern der Zielgruppen. Außerdem unterstützte sie die Kommunikation zwischen den einzelnen Bereichen Content, Didaktik, Technik und Usability.

Phase 1 - Situationsanalyse

Der Lerngegenstand wurde festgelegt. Dabei war das Ziel, den Aufbau und die Funktionsweise eines Kontaktwinkelmessgeräts aufzuzeigen. Da mehrere Schritte für die Aufnahme des Tropfens nötig sind, zielte das 3D-Modell vorrangig auf den Prozess bzw. die Handlungsvorschrift zur Erzeugung eines Ausgabebildes ab. In der ersten Phase des Vorgehensmodells galt es herauszufinden, wann die Aufbereitung eines 3D-Modells für die Lehre sinnvoll ist. Dazu diente die Entscheidungshilfe (Abbildung 6-11), die durch Abfrage von wesentlichen Anforderungen und Kriterien eine Orientierung zur sinnvollen

Entwicklung eines 3D-Modells bietet. Da vier Kriterien (Verdeckung, Dynamik, Verfügbarkeit und Betrachtung) zutrafen und das 3D-Modell lediglich den Aufnahmeprozess visualisieren sollte, wurde der Aufwand als relativ einfach umsetzbar beurteilt.

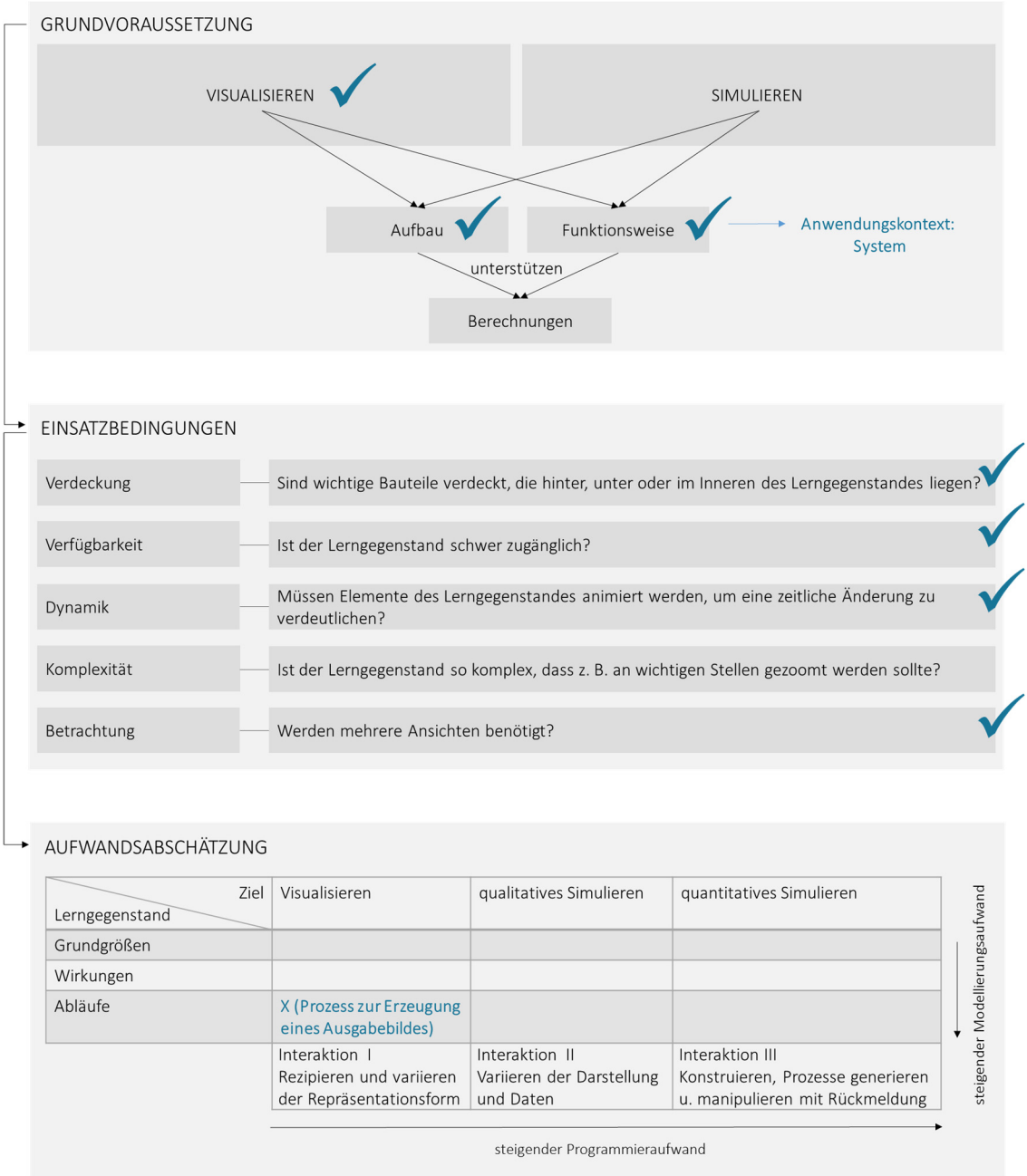


Abbildung 6-11: Die Entscheidungshilfe zur Orientierung für die Umsetzung eines 3D-Modells (e. D.)

Zudem wurden die Kontext- und Problemanalysen durchgeführt, um zu beschreiben in welcher Form das 3D-Modell Anwendung finden wird. Hierzu dient das 3D-Modell grundlegend für Lernende zur Vorbereitung der praktischen Tätigkeiten am realen Kontaktwinkelmessgerät. Das 3D-Modell sollte hierfür auf einer Lern- und Wissensplattform integriert werden. Die Plattform steht allen Lernenden in Unternehmen, Berufsschulen

und Hochschulen, die sich im Bereich Mikrosystemtechnik und Nanotechnologie (Mikrotechnologie) weiterbilden, zur Verfügung.

Phase 2 - Anforderungsanalyse

In der Anforderungsanalyse wurden die Rahmenbedingungen konkret festgelegt. Die Lernvorrausetzungen aller Lernenden aus den verschiedenen Aus- und Weiterbildungsbereichen wurden analysiert. Das Lernziel war es, den Aufbau zu benennen und die Funktionsweise zu verstehen. Dazu wurden die verfügbaren Ressourcen geplant und eine zeitliche Abschätzung für die Umsetzung des 3D-Modells erhoben. Aus den Rahmenbedingungen entstand die Anforderungsliste in Tabellenform, in der die Anforderungen disziplinabhängig sortiert und in Muss-, Soll- und Kann-Anforderung priorisiert wurden.

Zur besseren Vorstellung der Zielgruppen wurden Personas erstellt. Dabei sind vier stereotype Lernendengruppen analysiert worden, die durch jeweils eine Persona visualisiert sind (zwei Beispiele in Abbildung 6-12). Dazu muss hinzugefügt werden, dass diese Personas ihre Ziele und Bedarfe bezüglich der Lern- und Wissensplattform aufzeigen und die 3D-Modelle als Teil dieser gesehen werden. Zugehörig zu den Personas wurden Szenarien erstellt, die die Interaktion mit der Plattform bzw. mit den 3D-Modellen verdeutlichen. Die Querbeziehungen der beinhalteten Themen der Plattform wurden in einer Fachlandkarte visualisiert.

Lernende

„Das finde ich noch heraus.“

Position:	Bachelorabsolventin
Name:	Laura Kaiser
Alter:	25 Jahre
Geschlecht:	weiblich
Familienstand:	ledig, keine Kinder
Firma:	Layer AG
Unternehmensbereich:	Forschung und Entwicklung (Masterarbeit)
Eigenschaften:	freundlich, wissbegierig, ehrgeizig
Erwartungen:	tiefgründige Informationen, multiple Zugänge

„Ich brauche schnelle Antworten.“

Position:	Promovierter Ingenieur
Name:	Dr. Robert Zimmermann
Alter:	34 Jahre
Geschlecht:	männlich
Familienstand:	verheiratet, 2 Kinder
Firma:	Layer AG
Unternehmensbereich:	Forschung und Entwicklung
Eigenschaften:	idealistisch, technikaffin, kommunikativ
Erwartungen:	schnelle und interessante Inhalte, umfangreiche Informationen

Abbildung 6-12: Personas der Lern- und Wissensplattform

Phase 3 - Konzept

In der Konzeptphase wurden alle wichtigen Entscheidungen bezüglich des interaktiven 3D-Modells getroffen. Es wurde entschieden, dass Lerntexte und eine kurze Wissensabfrage hinzugefügt werden. Das Design wurde an das der Lern- und Wissensplattform angelehnt. Daher waren z. B. Farben und Schriften bereits durch den Styleguide vorgegeben (Abbildung 6-13).

Objekt	Beispiel	Farbe	Farbwert RGB	Farbwert HEX	Darstellung
Probenoberfläche, Festkörper	Dielektrikum, n-Gebiet	Helles Grau	233, 233, 233	#e9e9e9	
Probenoberfläche, Festkörper, flexible Bauteile	Oxidschicht	Helles bis mittleres Grau	210, 210, 210	#d2d2d2	
Probenoberfläche, Festkörper, unflexible Bauteile, Markierungen, Beschriftung	Pfeile, Linien Kontakt, Elektroden Gehäuse, Vakuumkammer	Dunkles Grau	95, 95, 95	#5f5f5f	
Fluide	Wasser, Wassertropfen für Kontaktwinkelmessung	Helles Blau	180, 200, 210	#b4c8d2	
Transparente Objekte	Linsen, Spiegel	Helles Blau-Grau	205, 210, 220	#cdd2dc	
Licht	Lichtstrahlen, Strahlengang, Lichtmikroskop	Helles Gelb	255, 235, 190	#ffebbe	

Abbildung 6-13: Auszug aus dem Styleguide zur Gestaltung des 3D-Modells

In Abhängigkeit des Lernziels wurden in dieser Phase die entsprechenden 3D-Patterns ausgewählt. Um den Aufbau des Kontaktwinkelmessgeräts zu demonstrieren, sollten Beschriftungen der einzelnen Bauteile eingefügt werden. Hierfür wurde das Pattern der „Beschriftungsgestaltung“ eingesetzt. Außerdem sollte die Funktion der einzelnen Bauteile durch eine kurze Beschreibung (Pattern „Beschreibende Texte - Kurztexte“) näher erläutert werden. Weitere Patterns waren z. B. „Aufgaben“ zur Wissensabfrage oder „Unsichtbare Flüsse, Ströme, Kräfte“, da der Lichtstrahl der Lampe zum Hinterleuchten des Tropfens visualisiert werden musste. Für die Präsentation der Funktionsweise sollte der gesamte Prozess animiert (Pattern „Gesamtanimation“) und durch eine gesamtheitliche Beschreibung (Pattern „Beschreibende Texte - Langtext“) erklärt werden. Das geplante 3D-Modell wurde anschließend auf Papier skizziert.

Phase 4 - Prototyping

In dieser Phase wurden sämtliche Materialien, wie z. B. das 3D-Modell, die Texte und alle weiteren Inhaltstypen aufbereitet und umgesetzt. Das Prototyping nahm die meiste

Zeit in Anspruch. Das 3D-Modell und die Texte wurden parallel entwickelt und das Zusammenspiel anschließend auf der Plattform getestet. Abbildung 6-14 zeigt den fertigen Prototypen.

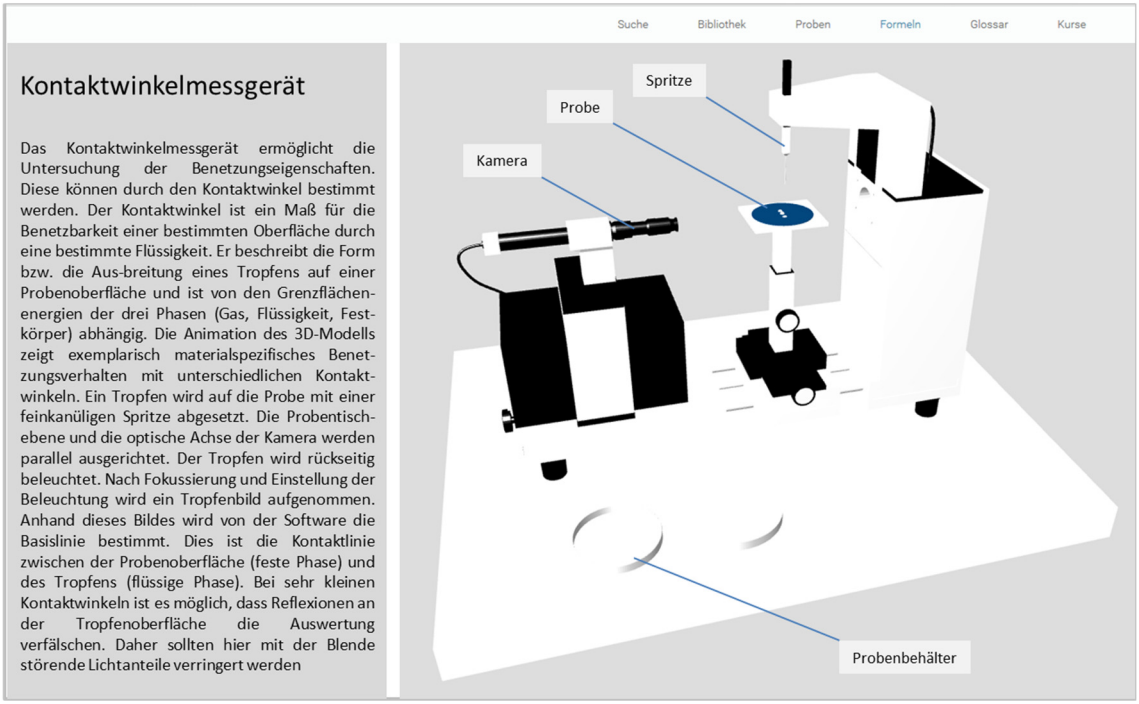


Abbildung 6-14: Prototyp des Frameworks

Phase 5 - Implementierung

Nachdem der Prototyp allen Reviews unterzogen wurde, stand in dieser Phase die Finalisierung des 3D-Modells an. Damit wurden alle Feinheiten und Überarbeitungen bezüglich der Informationen, der Visualisierung sowie der Interaktion umgesetzt. Dies musste nun noch einmal final getestet werden. Neben den zahlreichen Reviews und Tests während der bisherigen Entwicklung, wurde abschließend ein Feldtest mit Vertretern und Vertreterinnen der Zielgruppe durchgeführt (Abbildung 6-15), um die Usability zu testen und Verbesserungspotenzial zu erfassen.

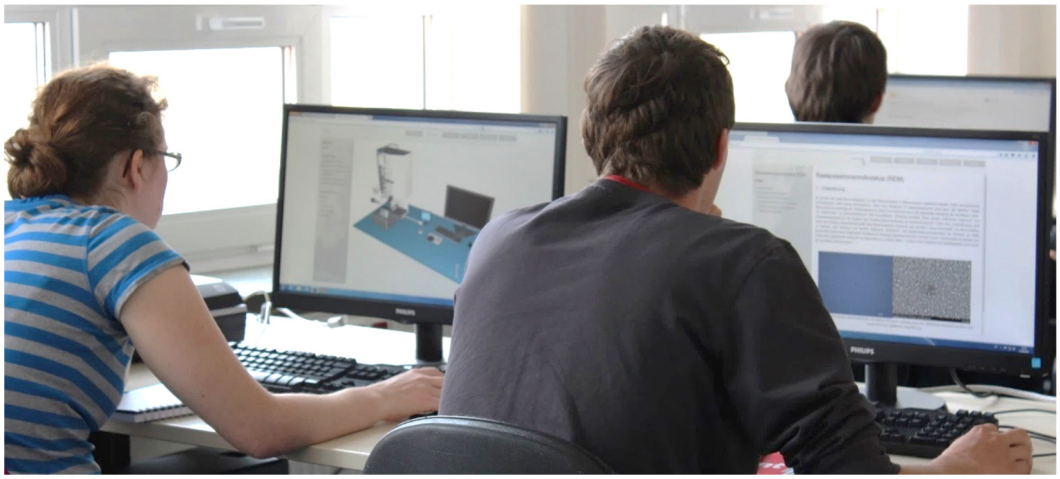


Abbildung 6-15: Evaluation mit Vertretern und Vertreterinnen der Zielgruppe Lernende

Nachdem gewonnenes Verbesserungspotenzial integriert wurde, stand die finale 3D-Lernanwendung zur Verfügung (Abbildung 6-16). Diese wurde auf der Wissensplattform öffentlich zugänglich gemacht. Anschließend erfolgte die Integration der 3D-Lernanwendung in die verschiedenen Lehrkonzepte durch Lehrende. Das 3D-Modell des Kontaktwinkelmessgeräts diente z. B. als Praktikumsvorbereitung in der Hochschullehre.

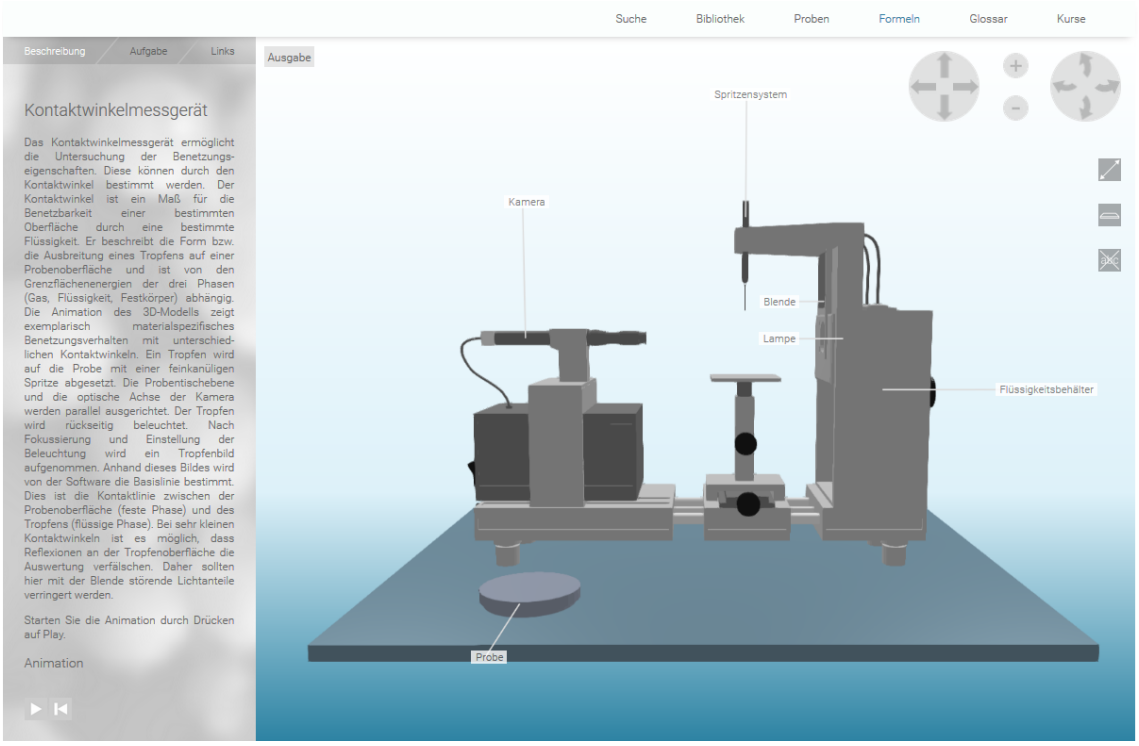


Abbildung 6-16: Finale interaktive 3D-Lernanwendung

Phase 6 - Praxiseinsatz

Im letzten Schritt muss sich nun die 3D-Lernanwendung innerhalb der Lehrkonzepte etablieren sowie regelmäßig kontrolliert und verbessert werden.

7 Zusammenfassung

Im letzten Kapitel werden zunächst die Kernergebnisse dieser Arbeit zusammengefasst und diskutiert. Ansatzpunkte für sich anschließende Arbeiten werden in Kapitel 7.2 dargelegt.

7.1 Diskussion und Fazit

Die vorliegende Dissertation wurde mit den Grundlagen zur 3D-Thematik eröffnet. Die 3D-Wahrnehmung offenbarte die Hinweisreize des Tiefensehens, die für die 3D-Modelle auf Bildschirmen Anwendung finden. Anschließend wurden die vielfältigen Einsatzgebiete für 3D-Visualisierungen aufgezeigt und deren verschiedenartige Präsentationsformen definiert. Das Kapitel der 3D-Werkzeuge zeigte, dass für die Erstellung von 3D-Modellen bereits eine Vielzahl an Software vorhanden ist. Die didaktische Gestaltung der 3D-Modelle ist dabei allerdings in seltenen Fällen möglich. In der anschließenden Recherche zur Didaktik zeigte sich, dass 3D-Modelle in Bezug auf räumliches Verständnis, schwer vorstellbare Sachverhalte und zur Unterstützung der Motivation eingesetzt werden können. Neben den vielen Vorteilen der 3D-Modelle im didaktischen Kontext erweist sich der Erstellungsaufwand als größte Herausforderung, der zudem meist unsystematisiert verläuft.

Aus diesen Erkenntnissen resultierend wurde die Forschungsfrage abgeleitet. Diese beinhaltete das Ziel, ein Vorgehensmodell für die Erstellung von interaktiven 3D-Modellen zu entwickeln. Um die Entwicklung zu unterstützen und effizienter zu gestalten, wurden 3D-Patterns als hilfreiches Instrument erstellt und eingesetzt. Sie verdeutlichen Probleme und stellen eine Musterlösung für die Umsetzung bereit. Neben der Erarbeitung eines Vorgehensmodells wurde die Zielstellung um die Erstellung von Patterns erweitert.

Die eigenständig durchgeführten Studien in Kapitel 3 zu vorhandenen 3D-Modellen zeigten, dass diese in Bezug auf ihre Visualisierung, die textliche Gestaltung und den präsentierten Inhaltstypen verschiedenartig aufbereitet sind und damit keine Systematik erkenntlich ist. Für die weiteren Untersuchungen wurden dann selbsterstellte 3D-Modelle aufwendig programmiert, um diese entsprechend einem Lernziel didaktisch aufzubereiten. Die Studien wurden hauptsächlich im Bereich der Nanotechnologie und Mikrosystemtechnik (Mikrotechnologie) durchgeführt und erbrachten vielfältige Erkenntnisse

über die 3D-Modelle aus Lehrenden- und Lernendensicht. So ist die Interaktion das zentrale Merkmal der 3D-Modelle. Durch die Interaktion wird das 3D-Modell zu einem motivierenden und behaltensfördernden Lehrmaterial.

Im vierten Kapitel wurden anschließend alle Erkenntnisse aus den Studien zusammen in 3D-Patterns überführt. Sie bieten Musterlösungen für die analysierten Bereiche Visualisierung, Information und Interaktion bei 3D-Modellen. Die 34 Patterns wurden analytisch sowie empirisch durch einen Variantentest mit Probanden und Probandinnen erarbeitet und in eine einheitliche Pattern-Struktur überführt.

Aus den Studien konnten weiterhin Eigenschaften von 3D-Lerngegenständen im praktischen Einsatz sowie deren Ziel zur Visualisierung und Simulation analysiert werden. Die Erkenntnisse wurden im fünften Kapitel in einer Entscheidungshilfe zusammengeführt. Sie dient als Orientierungshilfe zur Einschätzung des Aufwands und zur besseren Festlegung des Einsatzes des 3D-Modells. Neben den Zielen und Einsatzbedingungen von 3D-Modellen werden die 3D-Lerngegenstände in einer Systematik mit einer angepassten Interaktionstaxonomie präsentiert.

Die erstellte Entscheidungshilfe und die 3D-Patterns fließen im letzten inhaltlichen Kapitel in das entwickelte Vorgehensmodell (Abbildung 7-1). Für dieses wurden etablierte Vorgehensmodelle aus den Bereichen Software- und Usability Engineering sowie E-Learning analysiert und Merkmale für das Vorgehensmodell zur Entwicklung von 3D-Modellen verarbeitet. Eine Besonderheit, die dieses Vorgehensmodell von anderen hervorhebt, ist die parallele Evaluationsphase, die sicherstellt, dass die Entwicklungen stets durch die Zielgruppen getestet und bewertet werden. Eine weitere Besonderheit ist die Interdisziplinarität, die die Bereiche Content, Didaktik, Technik und Usability vereint und gleichermaßen beleuchtet. Das Ergebnis ist das Vorgehensmodell als Anleitung zur Entwicklung von didaktisch hochwertigen 3D-Modellen für die ingenieurwissenschaftliche Lehre.

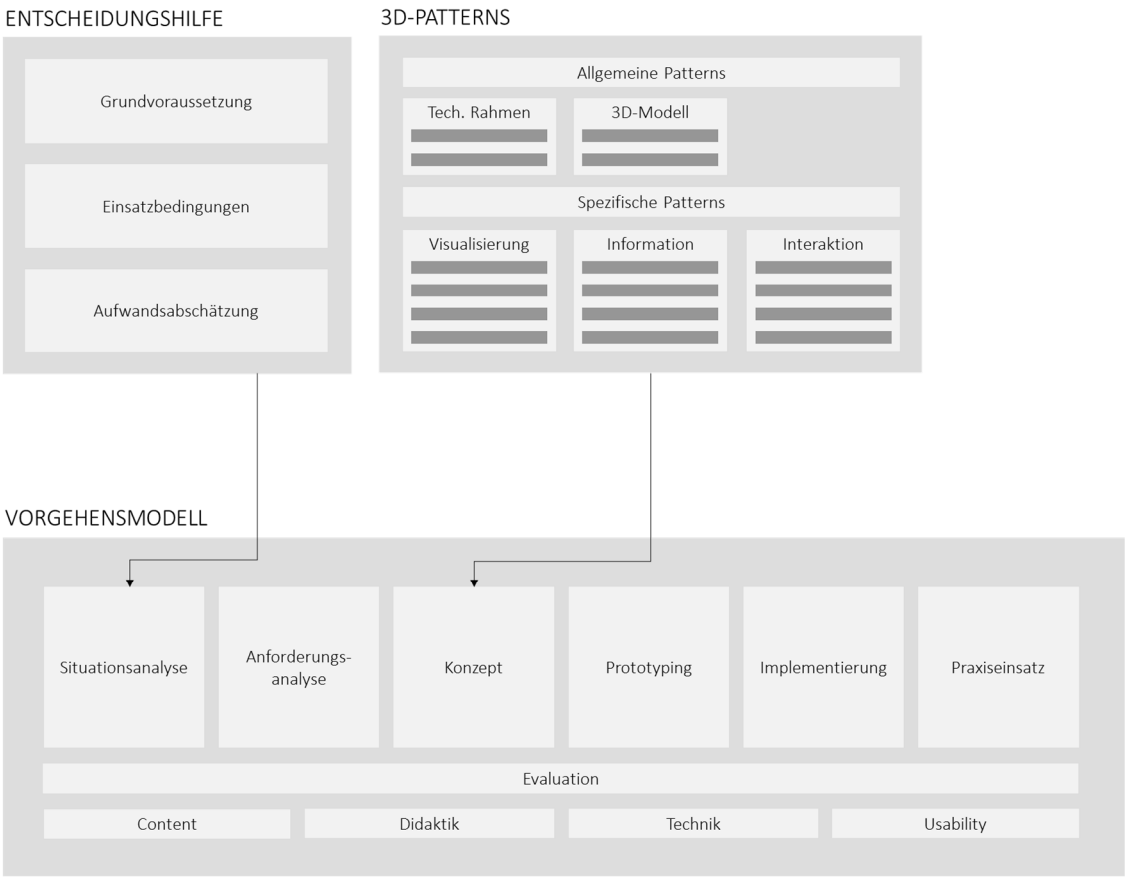


Abbildung 7-1: Grafische Darstellung der entstandenen Entwicklungen dieser Arbeit (e. D.)

Nach dieser Zusammenfassung des Verlaufs der Arbeit werden nachfolgend die gewonnenen Ergebnisse diskutiert. Bereits bei den Analysen aus dem dritten Kapitel wurde deutlich, dass aktuell 3D-Modelle den größten Einsatz im didaktischen Kontext der Biologie und Chemie finden. Für den ingenieurwissenschaftlichen Bereich existieren einzelne 3D-Modelle, die jedoch kaum eine Systematik der Erstellung oder eine didaktische Aufbereitung aufweisen. Gleichzeitig ist die eigenständige Modellierung von 3D-Modellen unverhältnismäßig aufwendig. Da die Lerngegenstände oftmals sehr speziell sind, müssen diese eigens erstellt werden. Lediglich wenige Bauteile können als fertiges 3D-Modell von Plattformen heruntergeladen werden. In den Analysen wurde deutlich, dass die 3D-Modelle trotzdem

1. angepasst werden müssen (z. B. drehbare Bauteile erstellen),
2. Plattformen oftmals die Ausgabe als 3D-Druck-Modell anstreben und
3. Anpassungen für die Lehre vorgenommen werden müssen (z. B. Anbringen von Texten, Beschriftungen oder Aufgaben).

Auch bei einer Modellierung mit angemessenem Aufwand darf der Anteil der Programmierung für die Interaktion und Information nicht unterschätzt werden. Insbesondere

wenn die 3D-Modelle für Simulationszwecke eine Vielzahl an Einstellmöglichkeiten bieten sollen, kann der Programmieraufwand weit über den Modellierungsaufwand hinausgehen. Dazu wurde an dieser Stelle weiterhin deutlich, dass vor allem bei Simulationen oftmals eine zweidimensionale Visualisierung ausreicht. Der Mensch ist es durch Bücher und Illustrationen gewohnt, vereinfachte Visualisierungen oder ikonische Darstellungen kognitiv als dreidimensionales Objekt zu interpretieren. Um Zusammenhänge von zwei Abhängigkeiten zu verdeutlichen, reicht an dieser Stelle die zweidimensionale Darstellung oftmals aus, wenn diese keine gravierenden Auswirkungen in die dritte Ebene haben. Hier ist aktuell die größte Herausforderung durch diese Arbeit erkennbar. Denn 3D-Modelle eignen sich in der ingenieurwissenschaftlichen Lehre vor allem in den ersten Semestern nur in einzelnen Fällen. Zusammenfassend sind die zwei wesentlichen Gründe hierfür aufgelistet:

1. Viele Lerngegenstände haben Auswirkungen in lediglich zwei Ebenen.
2. Der Aufwand zur Erarbeitung von interaktiven 3D-Modellen mit didaktischen Elementen ist so speziell, dass der Aufwand oftmals über dem Nutzen und daher in keinem guten Verhältnis steht.

Trotz der geringen Eignung von didaktisch aufbereiteten 3D-Modellen in der Hochschullehre ist jedoch die Interaktion das entscheidende Merkmal solcher Lernanwendungen. Es wurde gezeigt, dass die Interaktion die Behaltensleistung stärkt und die Lernenden durch das selbstständige Erkunden des Lerngegenstands zum Lernen motiviert werden. Aber auch hier sind interaktive Formeln als grafische 2D-Darstellung oder interaktive Bildschirmexperimente, die z. B. mit Fotos erstellt wurden, oftmals schneller und effizienter zu entwickeln als ein interaktives 3D-Modell. Denn die Ingenieurwissenschaften fokussieren oft ein Teilsystem einer Anlage und daher einen Ausschnitt des Gesamtsystems. Hierbei reicht in den meisten Fällen eine Darstellung von zwei Abhängigkeiten und damit eine Grafik bzw. perspektivische Visualisierungen. Diese Erkenntnis entstand durch die Arbeit im BMBF-Projekt (Kapitel 3.2.1), in welchem die Realisierung von interaktiven 3D-Modellen und Formeln verglichen werden konnte.

Zusammenfassend ergeben sich drei wichtige Erkenntnisse zum aktuellen Stand:

1. Die Interaktion ist der wichtigste Bestandteil einer 3D-Lernanwendung.
2. Interaktive 3D-Modelle in der ingenieurwissenschaftlichen Lehre eignen sich hauptsächlich zur Visualisierung von technischen Konstrukten (Aufbau und Funktionsweise).

3. Für das Ziel der Simulation sind interaktive Grafiken effizienter zu entwickeln.

In dieser Arbeit wurde weiterhin besonders deutlich, dass das Ziel stärker bei der Erstellung von 3D-Lernanwendungen fokussiert werden muss. Für die Entwicklung ist es besonders wichtig, das Lernziel durch die Lehrenden konkret bestimmen zu lassen. Daraus lassen sich oftmals die wichtigsten Eigenschaften sowie die Visualisierung- und Medienform (3D-Modell, Grafik, Video etc.) festlegen.

Es hat sich gezeigt, dass sich die beschriebenen und untersuchten 3D-Modelle in den seltensten Fällen lohnen, da der Erstellungsaufwand und die Ressourcenaufbringung immer noch zu hoch sind. Ein erster Schritt, diese Herausforderung handhabbar und planbar zu gestalten, ist das entwickelte Vorgehensmodell. Es greift die wesentlichen Herausforderungen in der Entwicklung von 3D-Modellen auf. Grundsätzlich werden durch das Vorgehensmodell planbare Entwicklungsabschnitte vorgegeben, in denen alle Disziplinen und wichtigen Phasen integriert sind. In der ersten Phase wird daher explizit die Analyse der aktuellen Situation verlangt und das Ziel deutlich abgefragt.

Eine weitere Herausforderung, die hierbei überwunden wird, ist die Abschätzung des Aufwands im Verhältnis zum Nutzen. Diese gelingt durch die entwickelte und in der Situationsanalyse intergierte Entscheidungshilfe. Das Vorgehensmodell bietet in den nachfolgenden Phasen Kriterien und Details, sodass die Entwicklung des 3D-Modells systematisch und effizient erfolgen kann. Einen wesentlichen Teil zur Aufwandsreduktion bieten dann die 3D-Patterns in der Konzept-Phase. Die Musterlösungen enthalten entscheidende Hinweise und verhindern das bisherige iterative Herantasten an eine Lösung. Die Phasen zeigen deutlich, welche Aspekte beachtet werden müssen, sodass die 3D-Modelle z. B. auch nachhaltig bleiben. Ein wesentlicher Schritt ist das Prototyping, um das erste Zusammenspiel von 3D-Modell mit den weiteren Inhaltstypen zu erfahren und die Implementierung zu erleichtern. Durch den nachfolgenden Praxiseinsatz soll gewährleistet werden, dass das 3D-Modell iterativ verbessert und angepasst werden kann.

Das Vorgehensmodell dient damit als Anleitung und wesentliche Unterstützung bei der Entwicklung von zukünftigen 3D-Modellen.

7.2 Ausblick

Diese Arbeit hat die Thematik der interaktiven 3D-Modelle analysiert, den Entwicklungsprozess in ein Vorgehensmodell integriert sowie unterstützende 3D-Patterns zur Erstellung und didaktischen Aufbereitung erstellt. Damit wurde eine Basis geschaffen, die verschiedene Ansatzpunkte für Weiterentwicklungen hervorbringt:

- Entwicklung eines spezifischen Autorensystems
- Erstellung von weiteren 3D-Patterns
- Studien zu alternativen Ausgabemedien (VR/AR, mobile Endgeräte, 3D-Druck)

Wie im Fazit deutlich wurde, steht der Aufwand und Nutzen bei der Entwicklung von 3D-Modellen für die ingenieurwissenschaftliche Lehre in keinem guten Verhältnis. Sie müssen aufwendig erarbeitet und didaktisch aufbereitet werden. An dieser Stelle würde ein **Autorensystem** helfen die Entwicklung effizienter zu gestalten. Das Autorensystem kann eine Tool-Palette an typischen didaktischen Elementen, wie z. B. Beschriftungen, Kurztexte oder Aufgaben bereithalten. Ein erster programmiertechnischer Ansatz könnte das Framework der Wissensplattform des BMBF-Projekts (Kapitel 3.2.1) bieten, in welcher dann die 3D-Modelle zur Visualisierung integriert werden. Eine Farbpalette könnte weiterhin eine Farbauswahl bieten, um die Bauteile entsprechend ihrer Funktion einzufärben. Zudem könnten Interaktionselemente, wie z. B. Knöpfe oder Drehschalter, zur Interaktion und Steuerung des 3D-Modells im Autorensystem bereitgestellt werden. Zur einfachen Konstruktion von themenspezifischen 3D-Modellen könnten entsprechende Modellsets z. B. für die Elektrotechnik oder den Maschinenbau zur Verfügung stehen. Trotzdem schließt dies nicht das vorherige Anpassen der 3D-Modelle zur Polygonreduktion und das Erarbeiten funktionaler Bauteile aus. Das Autorensystem könnte zunächst auf die Ingenieurwissenschaften beschränkt werden. Ist das Autorensystem generisch genug gehalten, könnte es dann auf weitere Themengebiete, wie z. B. die Chemie bzw. Medizin, erweitert werden.

Die **3D-Patterns** (Kapitel 4) zeigen bereits die vielfältigen Möglichkeiten zur Entwicklung der interaktiven 3D-Modelle und deren didaktischer Aufbereitung. Zudem sind jedoch weitere Untersuchungen zu Musterlösungen denkbar. Die Pattern-Kollektion könnte damit um weitere 3D-Patterns ergänzt werden, z. B. im Bereich Audio (Vorlesefunktion, Hintergrundmusik, akustische Rückmeldungen etc.). Diese Arbeit fokussierte bereits zu

Beginn einzelne 3D-Modelle zur Visualisierung und Simulation von technischen Konstrukten. Wie sich jedoch im State of the Art gezeigt hat, werden oftmals 3D-Modelle bzw. 3D-Umgebungen bei Trainings eingesetzt. Für diesen Bereich können weitere 3D-Patterns mögliche Musterlösungen zur Darstellung der Umgebung geben und die Handlungsabläufe, z. B. in Laboren, damit stärker elaborieren.

Der Forschungsgegenstand dieser Arbeit waren interaktive 3D-Modelle, die auf herkömmlichen Bildschirmen bzw. Computermonitoren präsentiert werden. Weiterführende Studien können bei **alternativen Ausgabemedien** ansetzen. Bereits bei den Studien aus Kapitel 3.2 wurden mobile Endgeräte bei den Untersuchungen einbezogen. Diese erzeugen neue Anforderungen an die Inhaltstypen, wie z. B. die Reduktion der Steuerungselemente oder eine unbedingte Ausblendfunktion für Langtexte. Weitere Untersuchungen können die Anforderungen konkretisieren und schaffen zusätzliches Forschungspotenzial. Eine weitere alternative Ausgabe ist die Präsentation durch Virtual Reality (VR)- und Augmented Reality (AR)-Brillen oder VR-Projektionseinrichtungen (z. B. CAVE). Trotz des aktuellen Trends wurden sie bewusst bei der Definition der Forschungslücke ausgelassen. Sie stellen neben der noch geringen Verbreitung der Technik im Lehrbetrieb ein Risiko für den Lernprozess dar, da die Nutzer und Nutzerinnen aufgrund von Cybersickness unerwünschte Nebenwirkungen erfahren können, wie z. B. Schwindel, Kopfschmerzen, Übelkeit oder Desorientierung [Dörner et al. 2019b, S. 67]. Zudem sind die Anschaffungskosten entsprechend hoch. Bei den voranschreitenden Entwicklungen ist es jedoch denkbar, dass aktuell bestehende Herausforderungen bewältigt werden und die Lernenden VR- oder AR-Systeme zum Lernen verwenden. Schließlich ergibt sich eine dritte Ausgabemöglichkeit. Wie in Kapitel 2.2 (Abbildung 2-12) verdeutlicht wurde, besteht neben der Präsentation des 3D-Modells auf einem Bildschirm auch die zusätzliche Möglichkeit eines Drucks mit einem 3D-Drucker als Ausgabeoption. In diesem Fall hätten die Lernenden den Lerngegenstand als haptisches Objekt vor sich.

Die Thematik der interaktiven 3D-Modelle ist ein sehr weitreichendes Feld, das großes Potenzial für die Lehre aufweist. In dieser Arbeit konnte mit den 3D-Patterns, dem 3D-Vorgehensmodell und der Entscheidungshilfe die grundlegende Basis für weitere Untersuchungen geschaffen werden.

Glossar

Begriff	Erklärung
3D-Patterns	Musterlösungen für 3D-Lernanwendungen
Autorensystem	Grafisch-interaktive Entwicklungsumgebung zum Erstellen von multimedialen Anwendungen für deren Nutzung keine Programmierkenntnisse erforderlich sind [Lehner 2001, S. 162]
Bottom-Sicht	Sicht auf die Unterseite des 3D-Modells
Fachlandkarte	Grafische Darstellung zur Strukturierung von Lehrveranstaltungen [Lehner 2009, S. 160]
Framework	Programmiergerüst mit vorgefertigten Funktionen und Elementen für eine schnellere Programmierung sowie in dieser Arbeit als Rahmen für die Platzierung des 3D-Modells und der Inhaltstypen angesehen
Inhaltstyp	Einheiten für visuellen, textlichen und interaktiven Content
Personas	Stereotype, fiktive Nutzer und Nutzerinnen der Zielgruppe, die Ziele und Bedürfnisse verdeutlichen und mit deren Unterstützung eine nutzerfreundliche Entwicklung angestrebt wird [Cooper 2004, S. 123ff]
Prototyp	Vereinfachtes, funktionsfähiges Vorbild eines zu entwickelnden Produkts oder Software
Reinraum	Raum oder Labor, bei dem luftgetragene Teilchen und Partikel sehr gering gehalten werden
Cybersickness	durch das Präsenzgefühl des Nutzers oder Nutzerin in einer virtuellen Umgebung kann es durch die veränderte räumliche Wahrnehmung zu Kopfschmerzen, Schwindel oder Übelkeit kommen [Tanaka et al. 2004, S. 1]
Virtuelle Welt	beinhaltet z. B. Modelle von Objekten, deren Verhaltensbeschreibung und Anordnung im Raum [Dörner et al. 2019a, S. 7]
WebGL	JavaScript-Programmierschnittstelle, mit deren Hilfe 3D-Visualisierungen hardwarebeschleunigt im Webbrowser ohne zusätzliche Erweiterungen oder Installationen dargestellt werden können [Parisi 2014, S. 3–8]

Literaturverzeichnis

3D Slash (2020): 3D Slash is praised as the easiest 3D modeling tool on the market. URL: https://www.3dslash.net/index.php. Zuletzt abgerufen am 10.04.2020.

3D Systems (2017): Wytze de Haan: VR in healthcare: 3 developments pushing boundaries in 2017. URL: https://thenextweb.com/virtual-reality/2017/10/09/vr-healthcare-3-developments-pushing-boundaries-2017/. Zuletzt abgerufen am 15.06.2020.

3Dnatives (2019): TOP 10 CAD Software für jedes Niveau. URL: https://www.3dnatives.com/de/top-10-cad-software-fuer-jedes-niveau/. Zuletzt abgerufen am 15.06.2020.

Adobe (2020): XD - UI/UX-Design und Zusammenarbeit. URL: https://www.adobe.com/de/products/xd.html. Zuletzt abgerufen am 15.06.2020.

Alexander, Christopher (1979): The timeless way of building. New York: Oxford University Press.

Alexander, Christopher; Ishikawa, Sara; Silverstein, Murray; Jacobson, Max (1977): A pattern language. Towns, buildings, construction. 36. print. New York: Oxford University Press.

Anderson, David J. (2011): Kanban: Evolutionäres Change Management für IT-Organisationen. Heidelberg: dpunkt.verlag.

Anderson, Lorin W.; Krathwohl, David R. (2001): A taxonomy for learning teaching and assessing. New York: Addison-Wesley Longman.

Astleitner, Hermann; Hufnagl, Manuela (2003): The effects of situation-outcome-expectancies and of ARCS-strategies on self-regulated learning with web-lectures. In: Journal of Educational Multimedia and Hypermedia. Vol. 12, No. 4, S. 361-376.

Atlassian (2020a): Jira - Software zur Vorgangs- und Projektverfolgung. URL: https://www.atlassian.com/de/software/jira. Zuletzt abgerufen am 15.06.2020.

Atlassian (2020b): Trello. URL: https://trello.com/. Zuletzt abgerufen am 15.06.2020.

Autodesk (2020a): 3ds Max - Software für Modellierung, Animation und Visualisierung in 3D. URL: https://www.autodesk.de/products/3ds-max/overview?plc=3DSMAX&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1. Zuletzt abgerufen am 12.06.2020.

Autodesk (2020b): Inventor - Software für mechanische 3D-Konstruktion und 3D-CAD. URL: https://www.autodesk.de/products/inventor/overview?plc=INVPROSA&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1. Zuletzt abgerufen am 12.06.2020.

Autodesk (2020c): Tinkercad - Create 3D digital designs with online CAD. URL: https://www.tinkercad.com/. Zuletzt abgerufen am 10.04.2020.

Ballstaedt, Steffen-Peter (2011): Visualisieren. Stuttgart: UTB GmbH; UVK.

Baumgartner, Peter; Payr, Sabine (1999): Lernen mit Software. 2. Auflage. Innsbruck: Studien-Verlag.

Beck, Kent (2000): Extreme Programming. Die revolutionäre Methode für Softwareentwicklung in kleinen Teams, das Manifest. 2. Auflage. München: Addison-Wesley.

Beck, Kent; Cunningham, Ward (1987): Using Pattern Languages for Object-Oriented. Technical Report No. CR-87-43, September 17, 1987, Tektronix, Inc., OOPSLA-87 Workshop on the Specification and Design for Object-Oriented Programming. Orlando, Florida.

Bergin, Joseph; Eckstein, Jutta; Manns, Mary Lynn; Sharp, Helen; Marquardt, Klaus; Chandler, Jane; Sipos, Marianna; Voelter, Markus; Wallingford, Eugene (2012): Pedagogical patterns. Advice for educators. 2nd print. Pleasantville, NY: Joseph Bergin Software Tools.

Blender Foundation (2020): Home of the Blender project - Free and Open 3D Creation Software. URL: https://www.blender.org/. Zuletzt abgerufen am 12.06.2020.

Bloom, Benjamin Samuel; Engelhart, Max d.; Furst, Edward J.; Hill, Walker H.; Krathwohl, David R. (1973): Taxonomie von Lernzielen im kognitiven Bereich. 3. Auflage. Weinheim: Beltz.

Blumstengel, Astrid (1998): Entwicklung hypermedialer Lernsysteme. Universität Paderborn, Dissertation. Berlin: Wiss. Verl. Berlin.

BMBF (2014): Deutscher Qualifikationsrahmen - DQR-Niveaus. URL: https://www.dqr.de/content/2315.php. Zuletzt abgerufen am 28.04.2020.

Boehm, Barry (1979): Guidelines for verifying and validating software requirements and design specification. Euro IFIP 79, North Holland.

Boehm, Barry (1988): A Spiral Model of Software Development and Enhancement. In:

IEEE Computer. Vol. 21, No. 5, S. 61-72.

Bowman, Doug A. (2005): 3D user interfaces. Theory and practice. Boston: Addison-Wesley.

Branson, R.; Grow, G. (1987): Instructional Systems Development. In: Gagné, R. M. (Hrsg.): Instructional technology: Foundations. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, S. 397-428.

Brinck, Tom; Gergle, Darren; Wood, Scott (2002): Usability for the Web. Designing Web sites that work. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.

Brosius, Hans-Bernd; Koschel, Friederike; Haas, Alexander (2008): Methoden der empirischen Kommunikationsforschung. Eine Einführung. 4. Auflage. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Butz, Andreas (2008): Stereoskopie - Arbeitskreis Digitalfotografie WS2008/2009. URL: https://www.medien.ifi.lmu.de/lehre/ws0809/akf/Stereoskopie.pdf. Zuletzt abgerufen am 09.04.2020.

Carroll, John M.; Rosson, Mary Beth (1992): Getting around the task-artifact cycle: how to make claims and design by scenario. ACM Transactions on Information Systems. Vol. 10, No 2. URL: https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/146802.146834. Zuletzt abgerufen am 09.07.2020.

Chip Digital (2020): Top 100 3D-Software Downloads der Woche. URL: https://www.chip.de/download/75415_3D-Software/wochen-charts/. Zuletzt abgerufen am 15.06.2020.

Choker, Jerry (1986): Patterns for Jazz. For Bass Clef Instruments. Los Angeles: Warner Bros. Publications.

Clarke, Alan (2018): Designing computer-based learning materials. New York: Routledge.

Cooper, Alan (2004): The inmates are running the asylum. Why High-Tech Products Drive Us Crazy and How to Restore the Sanity. 2. Auflage. Indianapolis: SAMS Publishing.

Coplien, James O.; Schmidt, Douglas C. (1995): Pattern languages of program design. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.

Cunningham, Ward (1995): Welcome Visitors. URL: http://wiki.c2.com/?WelcomeVisitors. Zuletzt abgerufen am 04.05.2020.

Dalgarno, Barney; Lee, Mark J.W.; Carlson, Lauren; Gregory, Sue; Tynan, Belinda (2011): An Australian and New Zealand scoping study on the use of 3D immersive virtual worlds in higher education. URL: https://ajet.org.au/index.php/AJET/article/download/978/251. Zuletzt abgerufen am 08.06.2020.

Dassault Systèmes (2020): Solidworks - 3D-CAD-Konstruktionssoftware. URL: https://www.solidworks.com/de. Zuletzt abgerufen am 12.06.2020.

deNoyelles, Aimee; Hornik, Steven; Johnson, Richard (2014): Exploring the Dimensions of Self-Efficacy in Virtual World Learning: Environment, Task, and Content. In: MERLOT Journal of Online Learning and Teaching, Vol. 10, No. 2. URL: https://jolt.merlot.org/vol10no2/denoyelles_0614.pdf. Zuletzt abgerufen am 16.04.2020.

DIN 40150 (1979): Begriffe zur Ordnung von Funktions- und Baueinheiten. Berlin: Beuth.

DIN 5008 (2011): Schreib- und Gestaltungsregeln für die Text- und Informationsverarbeitung. Berlin: Beuth.

DIN EN ISO 9241-11 (1999): Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit. Berlin: Beuth.

DIN EN ISO 9241-12 (1996): Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 12: Informationsdarstellung. Berlin: Beuth.

DIN EN ISO 9241-210 (2011): Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme. Berlin: Beuth.

DIN PAS 1032-1 (2004): Aus- und Weiterbildung unter besonderer Berücksichtigung von E-Learning. Teil 1: Referenzmodell für Qualitätsmanagement und Qualitätssicherung; Planung, Entwicklung, Durchführung und Evaluation von Bildungsprozessen und Bildungsangeboten. Berlin: Beuth.

Dogs, Carsten; Klimmer, Timo (2005): Agile Software-Entwicklung kompakt. Grundlagen agiler Software-Entwicklung. Bonn: mitp-Verlag.

Dörner, Ralf; Broll, Wolfgang; Jung, Bernhard; Grimm, Paul; Göbel, Martin (2019a): Einführung in Virtual und Augmented Reality. In: Dörner, Ralf; Broll, Wolfgang;

Grimm, Paul; Jung, Bernhard (Hrsg.): Virtual und Augmented Reality VR/AR. Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität. 2. Auflage. Berlin: Springer Spektrum, S. 1-42.

Dörner, Ralf; Steinicke, Frank (2019b): In: Dörner, Ralf; Broll, Wolfgang; Grimm, Paul; Jung, Bernhard (Hrsg.): Virtual und Augmented Reality VR/AR. Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität. 2. Auflage. Berlin: Springer Vieweg, S. 43-78.

Ecma International (2017): The JSON Data interchange Syntax. URL: http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/ECMA-404.pdf. Zuletzt abgerufen am 27.07.2020.

EDraw (2020): MindMaster: Powerful Online Mind Mapping Tool. URL: https://www.mindmaster.io/. Zuletzt abgerufen am 15.06.2020.

E-Teaching.org (2015a): 3D. URL: https://www.e-teaching.org/technik/aufbereitung/3d/index_html. Zuletzt abgerufen am 29.11.2019.

E-Teaching.org (2015b): Aufbereitung. URL: https://www.e-teaching.org/technik/aufbereitung. Zuletzt abgerufen am 17.04.2020.

E-Teaching.org (2015c): Interaktivitätsdesign. URL: https://www.e-teaching.org/didaktik/gestaltung/interaktiv/gestaltung. Zuletzt abgerufen am 30.11.2019.

Fastermann, Petra (2012): 3D-Druck/Rapid Prototyping. Eine Zukunftstechnologie - kompakt erklärt. Berlin: Springer.

Fleuren, Daniela (2016): Open MINT Labs - Mit virtuellen Laboren zu höherem Lernerfolg. In: Aßmann, Sandra; Bettinger, Patrick; Bücker, Diana; Hofhues, Sandra; Lucke, Ulrike; Schiefner-Rohs, Mandy; Schramm, Christin; Schumann, Marlen; van Treeck, Timo (Hrsg.): Lern- und Bildungsprozesse gestalten. Junges Forum Medien und Hochschulentwicklung, S. 141-150. URL: https://www.pedocs.de/volltexte/2017/14777/pdf/Assmann_ua_Lern_und_Bildungsprozesse_gestalten.pdf. Zuletzt abgerufen am 10.03.2020.

FreeCAD (2020): Your own 3D parametric modeler. URL: https://www.freecadweb.org/index.php. Zuletzt abgerufen am 12.06.2020.

Freepik (2020a): The people's emotions in the cinema Free Photo - 2020. URL:

https://www.freepik.com/free-photo/people-s-emotions-cinema_8609467.htm#page=1&query=3d%20cinema&position=7#&position=7. Zuletzt abgerufen am 13.06.2020.

Freepik (2020b): Young woman wearing vr glasses and playing virtual game using remote Free Photo - 2019. URL: https://www.freepik.com/free-photo/young-woman-wearing-vr-glasses-playing-virtual-game-using-remote_6190903.htm#page=5&query=vr&position=25. Zuletzt abgerufen am 13.06.2020.

Freyas, Carmen (2016): Fächergruppe Ingenieurwissenschaften. URL: http://www.studienwahl.de/de/studieren/studienfelder/ingenieurwissenschaften/einfuehrung0117.htm. Zuletzt abgerufen am 29.07.2017.

Frings, Stephan; Müller, Frank (2014): Biologie der Sinne. Vom Molekül zur Wahrnehmung. Heidelberg: Springer Spektrum.

Gamma, Erich; Helm, R.; Johnson, R.; Vlissides, J. (1994): Design patterns. Elements of reusable object-oriented software. Boston: Addison-Wesley.

Goldstein, E. Bruce; Ritter, Manfred; Herbst, Gabriele (2002): Wahrnehmungspsychologie. 2. Auflage. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Google Creative Lab (2020): AutoDraw - Experiments with Google. URL: https://experiments.withgoogle.com/autodraw. Zuletzt abgerufen am 15.06.2020.

Grande, Marcus (2014): 100 Minuten für Anforderungsmanagement. Kompaktes Wissen nicht nur für Projektleiter und Entwickler. 2. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg.

Gundelsweiler, Fredrik (2012): Design-Patterns zur Unterstützung der Gestaltung von interaktiven, skalierbaren Benutzungsschnittstellen: Universität Konstanz, Dissertation.

Haack, Johannes (2002): Interaktivität als Kennzeichen von Multimedia und Hypermedia. In: Issing, Ludwig J.; Klimsa, Paul (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis. 3. Auflage. Weinheim: Beltz PVU, S. 127-138.

Haberfellner, Reinhard; Weck, O. de; Fricke, E.; Vössner, S. (2012): Systems Engineering. Grundlagen und Anwendung. 12. Auflage. Zürich: Orell Füssli.

Hagenhofer, Thomas (2017): Social Virtual Learning - Social Augmented Learning. URL: https://www.social-augmented-learning.de/. Zuletzt abgerufen am 10.04.2020.

Hahsler, Michael (2001): Analyse Patterns im Softwareentwicklungsprozeß. Mit Beispielen für Informationsmanagement und deren Anwendungen für die Virtuelle Universität der Wirtschaftsuniversität Wien. Wirtschaftsuniversität Wien, Dissertation.

Hartwig, Ronald; Herczeg, Michael (2007): Ergonomie interaktiver Lernmedien. Kriterien und Entwicklungsprozesse für E-Learning-Systeme. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag.

Hirt, Ilona (2016): BMBF-Projekt NanoTecLearn - Die Wissensplattform für die Aus- und Weiterbildung in der Mikro-Nano-Integration. URL: https://www.tu-ilmenau.de/nanoteclearn. Zuletzt abgerufen am 26.04.2020.

Jockenhövel, Jesko (2014): Der digitale 3D-Film. Narration, Stereoskopie, Filmstil. Wiesbaden: Springer VS.

Jong, Ton de (2011): Instruction based on computer simulations. In: Mayer, R. E.; Alexander, P. A. (Hrsg.): Handbook of research on learning and instruction. New York: Taylor & Francis, S. 446-466.

Jung, Bernhard; Vitzthum, Arnd (2019): Virtuelle Welten. In: Dörner, Ralf; Broll, Wolfgang; Grimm, Paul; Jung, Bernhard (Hrsg.): Virtual und Augmented Reality VR/AR. Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität. 2. Auflage. Berlin: Springer Vieweg, S. 79-116.

Kammerer, Sebastian; Lang, Michael; Amberg, Michael; Achtert, Werner (2012): IT-Projektmanagement-Methoden. Best Practices von Scrum bis PRINCE2. Düsseldorf: Symposion Verlag.

Kaufmann, Hannes; Schmalstieg, Dieter (2002): Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality. In: Appolloni, Tom (Hrsg.): ACM SIGGRAPH 2002 conference abstracts and applications, S. 37-41. URL: https://www.ims.tu-wien.ac.at/publications/tuw-137415.pdf. Zuletzt abgerufen am 08.06.2020.

Keller, J. M.; Kopp, T. W. (1987): An application of the ARCS model of motivational design. In: Reigeluth, C. M. (Hrsg.): Instructional theories in action. Lessons illustrating selected theories and models. Hillsdale, NJ: Erlbaum. S. 289-320.

Kerres, Michael (2002): Technische Aspekte multi- und telemedialer Lernangebote. In: Issing, Ludwig J.; Klimsa, Paul (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. 3. Auflage. Weinheim: Beltz PVU, S. 19-28.

Kerres, Michael (2018): Mediendidaktik: Konzeption und Entwicklung digitaler Lernangebote. 5. Auflage. Berlin: De Gruyter.

Khronos (2020): WebGL - OpenGL for the Web. URL: https://www.khronos.org/webgl/. Zuletzt abgerufen am 13.06.2020.

Klesper, Milan (2017): Was ist Ingenieurwesen? URL: http://www.ingenieurwesen-studieren.de/was-ist-ingenieurwesen/. Zuletzt abgerufen am 07.08.2017.

Kohls, Christian (2007): Design Patterns zur Dokumentation von Erfahrungswissen. URL: http://www.bildungstechnologie.net/blog/interview-mit-christian-kohls. Zuletzt abgerufen am 02.02.2016.

Kohls, Christian (2015): Gestalten mit Entwurfsmustern. URL: https://www.e-teaching.org/didaktik/konzeption/entwurfsmuster. Zuletzt abgerufen am 29.07.2017.

Koller, Rudolf (1998): Konstruktionslehre für den Maschinenbau. Grundlagen zur Neu- und Weiterentwicklung technischer Produkte mit Beispielen. neubearbeitete und erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer.

Kruchten, Philippe (2000): The rational unified process. An introduction. Reading, MA: Addison-Wesley.

Kunert, Tibor (2009): User-Centered Interaction Design Patterns for Interactive Digital Television Applications. Heidelberg: Springer.

Laing, Gordon (2004): Digital retro - The Evolution and Design of the Personal Computer. Alameda, CA: Sybex.

Laugwitz, Bettina; Held, Theo; Schrepp, Martin (2008): Construction and evaluation of a user experience questionnaire. In: Holzinger, A. (Hrsg.): HCI and Usability for Education and Work: 4th Symposium, USAB, S. 63-76. URL: https://www.researchgate.net/publication/221217803_Construction_and_Evaluation_of_a_User_Experience_Questionnaire. Zuletzt abgerufen am 10.07.2020.

Lehner, Franz (2001): Einführung in Multimedia. Grundlagen, Technologien und Anwendungsbeispiele. Wiesbaden: Gabler Verlag.

Lehner, Martin (2009): Viel Stoff - wenig Zeit. Wege aus der Vollständigkeitsfalle. 2. Auflage. Bern: Haupt.

Leopoly (2019): 3D/VR Software Solutions. URL: https://makers.leopoly.com/cubecreate?id=33765. Zuletzt abgerufen am 11.06.2020.

Linden Lab (2020): Second Life - Virtual Worlds, Virtual Reality, VR, Avatars, Free 3D Chat. URL: https://secondlife.com/. Zuletzt abgerufen am 07.04.2020.

Mach, Rüdiger (2000): 3D-Visualisierung. Optimale Ergebnispräsentation mit AutoCAD und 3D-Studio MAX. Bonn: Galileo Press.

Mader, Günter; Stöckl, Walter (1999): Virtuelles Lernen. Begriffsbestimmung und aktuelle empirische Befunde. Innsbruck: Studien-Verlag.

May, Markus; Zaremba, Johannes (2018): 3D-Programme für Einsteiger & Fortgeschrittene - 3Faktur. URL: https://3faktur.com/3d-programme-fuer-einsteiger-fortgeschrittene/. Zuletzt abgerufen am 19.07.2020.

Mayhew, Deborah J. (1999): The usability engineering lifecycle. A practitioner's handbook for user interface design. San Francisco, CA: Kaufmann.

Mayrberger, Kerstin (2015): E-Learning-Patterns. URL: https://www.uni-hamburg.de/elearning/methoden.html. Zuletzt abgerufen am 01.12.2018.

Meyer, Hilbert (2010): Leitfaden Unterrichtsvorbereitung. 5. Auflage. Berlin: Cornelsen.

Microsoft (2020a): Paint 3D. URL: https://www.microsoft.com/de-de/p/paint-3d/9nblggh5fv99?activetab=pivot:overviewtab. Zuletzt abgerufen am 17.06.2020.

Microsoft (2020b): PowerPoint (PPT) - Präsentationssoftware. URL: https://www.microsoft.com/de-de/microsoft-365/powerpoint. Zuletzt abgerufen am 24.06.2020.

Microsoft (2020c): Visio - Flussdiagramm-Designer und Diagrammdesign-Software. URL: https://www.microsoft.com/de-de/microsoft-365/visio/flowchart-software. Zuletzt abgerufen am 15.06.2020.

Microsoft (2020d): Word - Textverarbeitungssoftware. URL: https://www.microsoft.com/de-de/microsoft-365/word. Zuletzt abgerufen am 15.06.2020.

MobyGames (2020): Tomb Raider (1996). URL: https://www.mobygames.com/game/tomb-raider. Zuletzt abgerufen am 13.06.2020.

Moment of Inspiration (2014): MoI, 3D modeling for designers and artists. URL: http://moi3d.com/. Zuletzt abgerufen am 12.06.2020.

Moodle (2020): Open-source learning platform Moodle.org. URL: https://moodle.org/. Zuletzt abgerufen am 25.06.2020.

Mozaik (2020): Der menschliche Körper (Mann) - 3D-Modell. URL: https://www.mozaweb.com/de/Extra-3D_Modelle-Der_menschliche_Korper_Mann-4022. Zuletzt abgerufen am 16.06.2020.

Niegemann, Helmut M.; Domagk, Steffi; Hessel, Silvia; Hein, Alexandra; Hupfer, Matthias; Zobel, Annett (2008): Kompendium multimediales Lernen. Berlin, Heidelberg: Springer.

Niegemann, Helmut M.; Hessel, Silvia; Hochscheid-Mauel, Dirk; Aslanski, Kristina; Deimann, Markus; Kreuzberger, Gunther (2004): Kompendium E-Learning. Berlin, Heidelberg: Springer.

Nintendo (2020a): Super Mario 3D World. URL: https://www.nintendo.de/Spiele/Wii-U/SUPER-MARIO-3D-WORLD-765385.html#Galerie. Zuletzt abgerufen am 11.06.2020.

Nintendo (2020b): Super Mario Bros. URL: https://www.nintendo.de/Spiele/NES/Super-Mario-Bros--803853.html. Zuletzt abgerufen am 11.06.2020.

OpenSCAD (2019): The Programmers Solid 3D CAD Modeller. URL: https://www.openscad.org/. Zuletzt abgerufen am 12.06.2020.

Osswald, Kerstin (2003): Konzeptmanagement. Interaktive Medien - interdisziplinäre Projekte. Berlin: Springer.

Parisi, Tony (2014): Programming 3D applications with HTML5 and WebGL. Sebastopol, CA: O'Reilly Media.

Pixologic (2020): Sculptris: Enter a world of digital art without barriers. URL: https://pixologic.com/sculptris/. Zuletzt abgerufen am 12.06.2020.

Potkonjak, Veljko; Gardner, Michael; Callaghan, Victor; Mattila, Pasi; Guetl, Christian; Petrovic, Vladimir M.; Jovanovic, Kosta (2015): Virtual laboratories for education in science, technology and engineering: A review. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131516300227?via%3Dihub. Zuletzt abgerufen am 14.12.2019.

Powers, Shelley (2007): Einführung in JavaScript. Köln: O'Reilly Verlag.

Preim, Bernhard; Dachselt, Raimund (2015): Interaktive Systeme, Band 2: User Interface Engineering, 3D-Interaktion, Natural User Interfaces. 2. Auflage. Berlin: Springer Vieweg.

Preim, Bernhard; Deussen, Oliver; Ritter, Felix (1999): Interaktive Zusammensetzung von 3D-Modellen zur Unterstützung des räumlichen Verständnisses. In: Deussen, O.; Hinz, V.; Lorenz, P. (Hrsg.): Simulation and Visualization (SimVis) '99, SCS-Society for Computer Simulation, Erlangen, S. 109-126. URL: https://www.researchgate.net/publication/30012796_Interaktive_Zusammensetzung_von_3D-Modellen_zur_Unterstutzung_des_raumlichen_Verstandnisses. Zuletzt abgerufen am 23.06.2020.

Radermacher, Berthold; Mayas, Cindy; Hörold, Stephan; Wehrmann, Andreas (2014): Nutzerorientierte Gestaltungsprinzipien für mobile Fahrgastinformation. Ergebnisse aus dem Projekt IP-KOM-ÖV - Feldtest Report und Pattern-Katalog. VDV-Mitteilung 7035. URL: https://www.vdv.de/schriften---mitteilungen.aspx?mode=detail&id=FC9529D1-2954-4F80-8711-26CAE1DB87AF. Zuletzt abgerufen am 20.05.2020.

Royce, Winston (1970): Managing the development of large software systems: concepts and techniques. IEEE Computer Society Press. URL: https://leadinganswers.typepad.com/leading_answers/files/original_waterfall_paper_winston_royce.pdf. Zuletzt abgerufen am 15.05.2020.

Saverschek, Nicole (2020): TU9 - German Universities of Technology. URL: https://www.tu9-universities.de/. Zuletzt abgerufen am 09.07.2020.

Schiele, Hans-Günter (2012): Computergrafik für Ingenieure. Eine anwendungsorientierte Einführung. Berlin: Springer Vieweg.

Schulmeister, Rolf (2005): Interaktivität in Multimedia-Anwendungen. URL: https://www.e-teaching.org/didaktik/gestaltung/interaktiv/InteraktivitaetSchulmeister.pdf. Zuletzt abgerufen am 09.07.2019.

Schulmeister, Rolf (2007): Grundlagen hypermedialer Lernsysteme. Theorie - Didaktik - Design. 4. Auflage. München, Wien: Oldenbourg Verlag.

Schwaber, Ken (1997): Scrum Development Process. In: Sutherland, Jeff; Casanave, Cory; Miller, Joaquin; Patel, Philip, Hollowell, Glenn (Hrsg.): Business Object Design and Implementation. London: Springer, S. 117-134.

Silén, Charlotte; Wirell, Staffan; Kvist, Joanna; Nylander, Eva; Smedby, Orjan (2008): Advanced 3D visualization in student-centred medical education. URL: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01421590801932228. Zuletzt abgerufen am 08.05.2020.

SketchUp (2020): Kostenlose 3D-Modellierungssoftware. URL: https://www.sketchup.com/de/plans-and-pricing/sketchup-free. Zuletzt abgerufen am 12.06.2020.

Sommerville, Ian (2007): Software engineering. 8. Auflage. München: Pearson Studium.

Sorko, Sabrina Romina; Irsa, Wolfram (2019): Interaktive Lehre des Ingenieursstudiums. Technische Inhalte handlungsorientiert unterrichten. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Spillner, Andreas (2003): Das W-Modell - Vorteile der agilen Prozesse in einem konservativen Umfeld nutzen. URL: https://docplayer.org/1127337-Das-w-modell-vorteile-der-agilen-prozesse-in-einem-konservativen-umfeld-nutzen.html. Zuletzt abgerufen am 25.06.2020.

Städeli, Christoph; Willy; Grassi, Andreas; Rhiner, Katy (2013): Kompetenzorientiert unterrichten - Das AVIVA-Modell. Fünf Phasen guten Unterrichts. Bern: hep verlag.

Steam (2020): QUAKE. URL: https://store.steampowered.com/app/2310/QUAKE/. Zuletzt abgerufen am 13.06.2020.

Steinberg, Peter (2017): Zentralperspektive zeichnen.png – Wikimedia Commons - gemeinfrei nach UrhG §64. URL: https://www.medien.ifi.lmu.de/lehre/ws0809/akf/Stereoskopie.pdf. Zuletzt abgerufen am 07.04.2020.

Strzebkowski, Robert; Kleeberg, Nicole (2002): Interaktivität und Präsentation als Komponenten multimedialer Lernanwendungen. In: Issing, Ludwig J.; Klimsa, Paul (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis. Weinheim: Beltz PVU, S. 229-246.

Tanaka, Nobuhisa; Takagi, Hideyuki (2004): Virtual reality environment design of managing both presence and virtual reality sickness. URL: https://www.semanticscholar.org/paper/Virtual-reality-environment-design-of-managing-both-Tanaka-Takagi/38ca86d538211ed45bc5c565e3e11ee9d4ff6e89. Zuletzt abgerufen am 12.05.2020.

Tauer, Holger (2010): Stereo 3D. Grundlagen, Technik und Bildgestaltung. Berlin: Schiele & Schön.

Tidwell, Jenifer (2011): Designing interfaces. Patterns for effective interaction design. 2. Edition. Beijing: O'Reilly.

Triumph (2019): Unleashing the Power of 3D Internet - Blend4Web. URL: https://www.blend4web.com/en/. Zuletzt abgerufen am 21.04.2020.

Tufte, Edward R. (2006a): Beautiful evidence. Cheshire, Conn.: Graphics Press.

Tufte, Edward R. (2006b): The visual display of quantitative information. 2. Edition. Cheshire, Conn.: Graphics Press.

Tufte, Edward Rolf (2008): Envisioning information. Cheshire, Conn: Graphics Press.

Tzu, Sun (1983): The art of war. New York: Delacorte Press.

Ubbens, Theo (2020): Grundlagen 3D-Technologie - Kompendium. URL: https://kompendium.infotip.de/3d-technik.html. Zuletzt abgerufen am 22.10.2017.

van Welie, Martijn (2008): A Pattern Library for Interaction Design. URL: http://www.welie.com/patterns/. Zuletzt abgerufen am 13.06.2020.

Virtual Dimension Center Fellbach: 3D-Guide. URL: https://www.3d-guide.net/. Zuletzt abgerufen am 16.07.2019.

Vlissides, John (1995): Reverse Architecture. Position Paper for Software Architectures Seminar: Hillside Group.

Walber, Markus; Schäffer, Dennis (2010): Web³ im Hochschuleinsatz - Potenziale digitaler Lernwelten. In: Hugger, Kai-Uwe; Walber, Markus (Hrsg.): Digitale Lernwelten - Konzepte, Beispiele und Perspektiven. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, GWV Fachverlage GmbH, S. 213-227.

Wedekind, Joachim (2015): Didaktische Entwurfsmuster und Unterrichtsmethoden – unterrichts-praktische Überlegungen. URL: https://www.e-teaching.org/et-resources/pdf/langtext_2015_wedekind-joachim_didaktische-entwurfsmuster-und-unterrichtsmethoden.pdf. Zuletzt abgerufen am 09.06.2020.

Weidenmann, Bernd (2002): Abbilder in Multimediaanwendungen. In: Issing, Ludwig J.; Klimsa, Paul (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis. Weinheim: Beltz PVU, S. 83-98.

Wildbur, Peter; Burke, Michael; Dewsbery, Victor (1998): Information graphics. Innovative Lösungen im Bereich Informationsdesign. Mainz: Schmidt.

Wippermann, Sven (2009): Pattern Katalog der Didaktischen Design Patterns. URL: http://www.didaktische-design-patterns.de/new/VIB-Patterns.html. Zuletzt abgerufen am 16.07.2019.

Witzke, Ingo; Hoffart, Eva (2018): 3D-Drucker: Eine Idee für den Mathematikunterricht? Mathematikdidaktische Perspektiven auf ein neues Medium für den Unterricht. In: Fachgruppe Didaktik der Mathematik der Universität Paderborn: Beiträge zum Mathematikunterricht. Band 4. Münster: WTM-Verlag, S. 2015-2018.

Wolf, Mark J. P.; Perron, Bernard (2003): The video game theory reader. New York: Routledge.

Xproger (2020): OpenLara. URL: http://xproger.info/projects/OpenLara/. Zuletzt abgerufen am 15.06.2020.

YouTube (2013): Das 3D-Modell - CAD für Architektur und Tragwerksplanung. URL: https://www.youtube.com/watch?v=1WnzJ7E2siM. Zuletzt abgerufen am 13.06.2020.

Zalando (2015): High Heel Pumps rot. URL: https://www.zalando.de/tamaris-plateau-pumps-rose-ta11171-j11.html. Zuletzt abgerufen am 13.04.2015.

Zuser, Wolfgang; Grechenig, Thomas; Köhle, Monika (2004): Software Engineering mit UML und dem Unified Process. 2. Auflage. München: Pearson Studium.

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
AR	Augmented Reality
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CAD	Computer Aided Design
CAVE	Cave Automatic Virtual Environment
CDTU	Content, Didaktik, Technik, Usability
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DQR	Deutscher Qualifikationsrahmen für lebenslanges Lernen
e. D.	eigene Darstellung
ISO	International Organization for Standardization
NUI	Natural User Interface
VR	Virtual Reality

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Methodisches Vorgehen ... 5
Abbildung 1-2: Aufbau der Arbeit ... 6
Abbildung 2-1: Perspektive [Steinberg 2017] ... 7
Abbildung 2-2: Fusion und Stereopsis nach [Tauer 2010, S. 59] ... 9
Abbildung 2-3: Entstehung der Stereopsis nach [Goldstein et al. 2002, S. 226] ... 9
Abbildung 2-4: Systematisierung der Hinweisreize des Tiefensehens nach [Tauer 2010, S. 44–53] und [Goldstein et al. 2002, S. 228–235] ... 10
Abbildung 2-5: Beispiele der verschiedenen 3D-Einsatzbereiche (v. l. n. r.): Konstruktion [Dassault Systèmes 2020], Gaming [Xproger 2020], Produktpräsentation [Zalando 2015], Entwurfsplanung [YouTube 2013], Bildung [Mozaik 2020] ... 12
Abbildung 2-6: 3D-Stereo-Kino [Freepik 2020a] ... 12
Abbildung 2-7: 3D-Simulationen und Trainings [Freepik 2020b], [3D Systems 2017] ... 13
Abbildung 2-8: 2D- vs. 3D-Darstellung (2D [Nintendo 2020b], 3D [Nintendo 2020a]) ... 15
Abbildung 2-9: Beispiele für 3D-Anfänger-Software (v. l. n. r.): 3DSlash [3D Slash 2020], Leopoly [Leopoly 2019], Tinkercad [Autodesk 2020c], Sculptris [Pixologic 2020] ... 19
Abbildung 2-10: Beispiele für 3D-Fortgeschrittene-Software (v. l. n. r.): SketchUp [SketchUp 2020], OpenSCAD [OpenSCAD 2019], FreeCAD [FreeCAD 2020], MoI [Moment of Inspiration 2014] ... 20
Abbildung 2-11: Beispiele für 3D-Experten-Software (v. l. n. r.): Blender [Blender Foundation 2020], 3ds Max [Autodesk 2020a], SolidWorks [Dassault Systèmes 2020], Inventor [Autodesk 2020b] ... 21
Abbildung 2-12: Zusammenhang der 3D-Werkzeuge von der Erzeugung bis zur finalen Ausgabe (e. D.) 27
Abbildung 2-13: Darstellung der für diese Arbeit relevanten Schritte ... 28
Abbildung 2-14: Einteilung des Anwendungsstatus im Lehrkontext (e. D) ... 29
Abbildung 2-15: Lernsoftware-Typologie nach [Baumgartner et al. 1999, S. 141] ... 32
Abbildung 3-1: Analytische Studien zu den 3D-Modellen ... 39
Abbildung 3-2: Beispiele der Lernplattformen mit 3D-Modellen (Anordnung gemäß Tabelle 3-1) ... 42
Abbildung 3-3 (Fortsetzung): Beispiele der Lernplattformen mit 3D-Modellen (Anordnung gemäß Tabelle 3-1) ... 43
Abbildung 3-4: Präsenzreduktion der 3D-Visualisierung innerhalb des Verlaufs (e. D.) ... 49
Abbildung 3-5: Ziel der 3D-Modelle für ingenieurwissenschaftliche Inhalte (e. D.) ... 50
Abbildung 3-6: Einsatz von 3D-Modellen (e. D.) ... 51
Abbildung 3-7: Variante 1 des Screen-Layouts (L-Form) ... 56
Abbildung 3-8: Variante 2 des Screen-Layouts (Rahmen-Form) ... 56
Abbildung 3-9: Empirische Studien zu 3D-Lernanwendungen ... 58
Abbildung 3-10: Lichtmikroskop, Rasterelektronenmikroskop, Focused Ion Beam und Kontaktwinkelmessgerät als 3D-Modell ... 70
Abbildung 3-11: Interaktive 3D-Modelle (FIB links und REM rechts) für den Ergonomie-Test ... 72
Abbildung 3-12: Testkonzept ... 73
Abbildung 3-13: Auswertung des UEQ ... 73
Abbildung 3-14: Statische (links) und interaktive 3D-Visualisierung (rechts) des Rasterelektronenmikroskops ... 76
Abbildung 3-15: Statische (links) und interaktive Visualisierung (rechts) des Focused Ion Beams ... 76
Abbildung 3-16: Testkonzept ... 78
Abbildung 3-17: Gegenüberstellung der Ergebnisse: Behaltensleistung mit statischen und interaktiven 3D-Visualisierungen ... 79
Abbildung 3-18: Gegenüberstellung der Bewertung zur Anmutung zwischen der statischen und der interaktiven 3D-Visualisierung des FIBs ... 80
Abbildung 4-1: Pattern-Konstrukt (e. D.) ... 86
Abbildung 4-2: Mehrstufige Vorgehensweise für die Pattern-Entwicklung (e. D.) ... 91
Abbildung 4-3: Ausgewählte Gestaltungsvarianten der Markierung (links Kontur, rechts Einfärben) ... 95
Abbildung 4-4: Ausgewählte Gestaltungsvarianten des Untergrunds (links ohne, rechts mit Schatten) ... 97
Abbildung 4-5: Gestaltungsvarianten des Hintergrunds (links endlich, rechts unendlich) ... 98
Abbildung 4-6: Gestaltungsvarianten der 3D-Erkennbarkeit (links statisch, rechts mit automatischer Rotation) ... 98
Abbildung 4-7: Ausgewählte Gestaltungsvarianten der Beschriftung (links Bezugslinie, rechts Label) ... 99
Abbildung 4-8: Gestaltungsvarianten der Langtexte (links vertikal, rechts horizontal) ... 100
Abbildung 4-9: Gestaltungsvarianten der Kurztexte (links verknüpft, rechts separat) ... 100
Abbildung 4-10: Gestaltungsvarianten der Kamerasteuerung (links mit, rechts ohne Buttons) ... 101
Abbildung 4-11: Gestaltungsvarianten der Modellsteuerung (links mit, rechts ohne Buttons) ... 101
Abbildung 4-12: Testkonzept der komparativen Analyse ... 103

Abbildung 4-13: Testgegenstand mit Umschalter für die Gestaltungsvarianten 103
Abbildung 4-14: Testgegenstand mit alternativen Gestaltungsvarianten 104
Abbildung 4-15: Geschlecht und Alter der Probanden und Probandinnen 104
Abbildung 4-16: Berufliche Position und Vorerfahrung mit 3D 105
Abbildung 4-17: Bewertung und Favorit der Beschriftungsvarianten 105
Abbildung 4-18: Bewertung und Favorit der Markierungsvarianten 106
Abbildung 4-19: Bewertung und Favorit der Kurztextvarianten 107
Abbildung 4-20: Bewertung und Favorit der Langtextvarianten 107
Abbildung 4-21: Bewertung und Favorit der Hintergrundvarianten 108
Abbildung 4-22: Favorit der Untergrundvarianten 109
Abbildung 4-23: Vorgehensweise mit Fokus auf der Definition der Patterns (e. D.) 117
Abbildung 4-24: Allgemeine 3D-Patterns (e. D.) 118
Abbildung 4-25: Spezifische 3D-Patterns (e. D.) 119
Abbildung 4-26: Pattern-Kollektion (e. D.) 142
Abbildung 5-1: Ingenieurstudiengänge 146
Abbildung 5-2: Module 146
Abbildung 5-3: Zusammenfassung der Ergebnisse für die Klassifikation der Lerngegenstände (e. D.) .. 151
Abbildung 5-4: Entscheidungshilfe (e. D.) 165
Abbildung 6-1: Interdisziplinäres Vorgehensmodell mit iterativer Evaluationsphase (e. D.) 172
Abbildung 6-2: Beschreibung des Vorgehensmodells in Anlehnung an das W-Modell [Spillner 2003] .. 173
Abbildung 6-3: Phasen des Vorgehensmodells 174
Abbildung 6-4: Evaluationskriterien und Iterationen 175
Abbildung 6-5: Hinzufügen der Situationsanalyse 176
Abbildung 6-6: Hinzufügen des Projektmanagements 176
Abbildung 6-7: Entwurf des finalen Vorgehensmodells 177
Abbildung 6-8: Fokusgruppe 183
Abbildung 6-9: Phasenangepasstes Vorgehensmodell 189
Abbildung 6-10: Finales Vorgehensmodell für die Entwicklung von interaktiven 3D-Modellen 192
Abbildung 6-11: Die Entscheidungshilfe zur Orientierung für die Umsetzung eines 3D-Modells (e. D.) 198
Abbildung 6-12: Personas der Lern- und Wissensplattform 199
Abbildung 6-13: Auszug aus dem Styleguide zur Gestaltung des 3D-Modells 200
Abbildung 6-14: Prototyp des Frameworks 201
Abbildung 6-15: Evaluation mit Vertretern und Vertreterinnen der Zielgruppe Lernende 202
Abbildung 6-16: Finale interaktive 3D-Lernanwendung 202
Abbildung 7-1: Grafische Darstellung der entstandenen Entwicklungen dieser Arbeit (e. D.) 205

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Monokulare Indikatoren nach [Goldstein et al. 2002, S. 128ff] und [Tauer 2010, S. 44ff] 8
Tabelle 2-2: 3D-Einsatz nach Branchen [E-Teaching.org 2015a] und [Preim et al. 2015, S. 233–237] 13
Tabelle 2-3: Ausgabearten 17
Tabelle 2-4: 3D-Software nach Nutzergruppen 21
Tabelle 2-5: Klassifikation nach Ziel der 3D-Software 22
Tabelle 2-6: Plattformen für den Download von 3D-Modellen (Stand August 2019) 23
Tabelle 2-7: Medienauflistung 30
Tabelle 2-8: Chancen und Herausforderungen von 3D-Modellen 35
Tabelle 3-1: 3D-Lernplattformen mit 3D-Modellen (Stand Juni 2019) 40
Tabelle 3-2: Unterschiedliche Elemente in 3D-Lernanwendungen 48
Tabelle 3-3: Inhaltliche Kategorien des Leitfadens 60
Tabelle 3-4: Interviewpartner und -partnerinnen mit entsprechendem DQR-Niveau 65
Tabelle 3-5: Profile der Probanden und Probandinnen 65
Tabelle 3-6: Übersicht der Lernendengruppen aus den Interviews 66
Tabelle 3-7: Wissensbedarfe, Wissenstiefe und allgemeine Anforderungen 66
Tabelle 3-8: Verbesserungen aus der Vorstudie 71
Tabelle 3-9: Erreichung der Lernziele 77
Tabelle 3-10: Einteilung der Gruppen 77
Tabelle 3-11: Zusammenfassung der analytischen Studien 81
Tabelle 3-12: Zusammenfassung der empirischen Studien 81
Tabelle 4-1: Patterns innerhalb verschiedener Anwendungsgebiete 87
Tabelle 4-2: Regeln bei der Dokumentation von Patterns [Vlissides 1995, S. 7–10] 89
Tabelle 4-3: Gütekriterien für Patterns nach [Kohls 2007, S. 7–9] 90
Tabelle 4-4: Gestaltungsvarianten der Markierung 95
Tabelle 4-5: Gestaltungsvarianten zum Blick ins Innere 95
Tabelle 4-6: Gestaltungsvarianten zum Blick ins Innere 96
Tabelle 4-7: Gestaltungsvarianten des Untergrunds (grün – positiv, orange – negativ) 97
Tabelle 4-8: Gestaltungsmöglichkeiten der Varianten 99
Tabelle 4-9: Ranking der Schnittstellen (1 - sehr intuitiv, 5 - wenig intuitiv) 110
Tabelle 4-10: Problem-Lösungs-Konstrukte bezüglich der Visualisierung 112
Tabelle 4-11: Problem-Lösungs-Konstrukte bezüglich der Visualisierung (Fortsetzung) 113
Tabelle 4-12: Problem-Lösungs-Konstrukte bezüglich der Information 114
Tabelle 4-13: Problem-Lösungs-Konstrukte bezüglich der Interaktion 115
Tabelle 4-14: Ursprüngliche Pattern-Struktur 120
Tabelle 4-15: Finale Struktur 120
Tabelle 4-16: Regeln bei der Dokumentation von Patterns [Vlissides 1995, S. 7–10] 142
Tabelle 4-17: Gütekriterien für Patterns nach [Kohls 2007, S. 7–9] 143
Tabelle 5-1: TU9 145
Tabelle 5-2: Typische Lehrinhalte bzw. Themenfelder der fünf Module 146
Tabelle 5-3: Typische Lerngegenstände, die häufig als 3D-Visualisierung präsentiert werden 147
Tabelle 5-4: Technische und natürliche Systeme nach [Koller 1998, S. 30] 147
Tabelle 5-5: Klassifikation der Lerngegenstände 148
Tabelle 5-6: Gegenüberstellung der abgeleiteten Klassen mit den Wissensdimensionen 148
Tabelle 5-7: Abbilden der physikalischen Systeme auf die Klassifikation der Lerngegenstände 149
Tabelle 5-8: Unsichtbare und sichtbare Elemente aus Beispielen der physikalischen Systeme 149
Tabelle 5-9: Dreistufige Klassifikation des Anwendungskontextes der 3D-Lerngegenstände 150
Tabelle 5-10: Gegenüberstellung der Interaktivitätsstufen nach Haack, Clarke und Schulmeister 154
Tabelle 5-11: Beispiele von Lernzielen in den Ingenieurwissenschaften 155
Tabelle 5-12: Gegenüberstellung der Lernziele und der Interaktionsstufen 156
Tabelle 5-13: Ableitung der Interaktionstaxonomie 158
Tabelle 5-14: Abbilden der Visualisierung und Simulation auf Aufbau und Funktionsweise 159
Tabelle 5-15: Zuordnen der Lerngegenstände 159
Tabelle 5-16: Verortung von Lerngegenstand, Ziel und Interaktionsstufen 160
Tabelle 5-17: Ergebnis der Verortung mit Aufwandsabschätzung 161
Tabelle 5-18: Zusammenfassung der Erkenntnisse aus den vorangegangenen Kapiteln 161
Tabelle 5-19: Sortierung der Erkenntnisse 162
Tabelle 6-1: Liste der analysierten Vorgehensmodelle 167
Tabelle 6-2: Wiederkehrende Phasen innerhalb der Vorgehensmodelle 169
Tabelle 6-3: Beschreibungsmodell: Details der Phasen 178

Tabelle 6-4: Interviewpartner ... 181
Tabelle 6-5: Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Interviews ... 182
Tabelle 6-6: Teilnehmende der Fokusgruppe ... 183
Tabelle 6-7: Ablauf der Fokusgruppen ... 184
Tabelle 6-8: Zusammenfassung der Ergebnisse aus der Fokusgruppe ... 186
Tabelle 6-9: Zusammenfassung der Ergebnisse ... 187
Tabelle 6-10: Anpasste Struktur der Tabellen für die Phasen ... 189
Tabelle 6-11: Planungsmatrix mit markiertem Teil für die Eingliederung des 3D-Modells [Meyer 2010, S. 177–181] und [Städeli et al. 2013, S. 17ff] ... 190
Tabelle 6-12: Definition der Rollen ... 193
Tabelle 6-13: Phase 0 - Projektmanagement ... 194
Tabelle 6-14: Phase 1 - Situationsanalyse ... 194
Tabelle 6-15: Phase 2 - Anforderungsanalyse ... 194
Tabelle 6-16: Phase 3 - Konzept ... 195
Tabelle 6-17: Phase 4 - Prototyping ... 195
Tabelle 6-18: Phase 5 - Implementierung ... 196
Tabelle 6-19: Phase 6 - Praxiseinsatz ... 196

Eigenständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet.

Bei der Auswahl und Auswertung folgenden Materials haben mir die nachstehend aufgeführten Personen in der jeweils beschriebenen Weise unentgeltlich geholfen:

Auswertung der Ergonomie- und Behaltensstudie (Kapitel 3.2.4 und 3.2.5)

1 Jan Kurtz
2 Anna-Maria Daschner

Informationen aus der Abschlussarbeit

3 Melanie Gäbelein (Kapitel 5.2.1 Vergleich von Interaktionstaxonomien)

Weitere Personen waren an der inhaltlich-materiellen Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich hierfür nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberater oder anderer Personen) in Anspruch genommen. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen.

Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ich bin darauf hingewiesen worden, dass die Unrichtigkeit der vorstehenden Erklärung als Täuschungsversuch bewertet wird und gemäß § 7 Abs. 10 der Promotionsordnung den Abbruch des Promotionsverfahrens zur Folge hat.

Manebach, 28. September 2021 Nadja Huntemann